



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL HIPOCLORITO DE SODIO DURANTE EL PROCESO Y EN PRODUCTO TERMINADO EN UN INTERVALO DE TEMPERATURA AMBIENTE DE 18°C A 41°C Y PRESIÓN DE 640 mmHg A 642 mmHg EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA**

**María Isabel Amoretti Rivera**

Asesorado por el Ing. Danilo Fernando Pérez López

Guatemala, enero de 2016



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL HIPOCLORITO DE SODIO DURANTE EL PROCESO Y EN PRODUCTO TERMINADO EN UN INTERVALO DE TEMPERATURA AMBIENTE DE 18°C A 41 °C Y PRESIÓN DE 640 mmHg A 642 mmHg EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**MARÍA ISABEL AMORETTI RIVERA**

ASESORADO POR EL ING. DANILO FERNANDO PÉREZ LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, ENERO DE 2016



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
EXAMINADORA	Inga. Hilda Piedad Palma Ramos
EXAMINADOR	Ing. Jorge Rodolfo García Carrera
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL HIPOCLORITO DE SODIO DURANTE EL PROCESO Y EN PRODUCTO TERMINADO EN UN INTERVALO DE TEMPERATURA AMBIENTE DE 18°C A 41 °C Y PRESIÓN DE 640 mmHg A 642 mmHg EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 29 de julio de 2014.



María Isabel Amoretti Rivera



**Guatemala, Mayo de 2015**

Ingeniero Víctor Manuel Monzón Valdez  
Director Escuela Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Universidad San Carlos de Guatemala

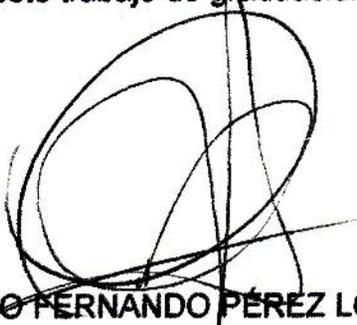
Señor director:

Por este medio, comunico que he revisado el informe final de investigación de trabajo de graduación de la estudiante María Isabel Amoretti Rivera, titulada: **"Evaluación de las propiedades fisicoquímicas del hipoclorito de sodio durante el proceso y en producto terminado en un intervalo de temperatura ambiente de 18°C a 41°C y presión de 640 mmHg a 642 mmHg en el departamento de Escuintla"**; haciendo constar el cumplimiento de su contenido según los requerimientos de un trabajo de graduación de ingeniería química.

Por tanto, en calidad de asesor, y después de las revisiones necesarias expreso mi aprobación del informe final de investigación de este trabajo de graduación.

Sin más que manifestar, me suscribo atentamente:



  
DANILO FERNANDO PÉREZ LÓPEZ  
INGENIERO QUÍMICO

Guatemala, 21 de agosto de 2015.  
Ref. EIQ.TG-IF.057.2015.

Ingeniero  
**Víctor Manuel Monzón Valdez**  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **050-2013** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

### INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **María Isabel Amoretti Rivera**.  
Identificada con número de carné: **97-11780**.  
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

### EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL HIPOCLORITO DE SODIO DURANTE EL PROCESO Y EN PRODUCTO TERMINADO EN UN INTERVALO DE TEMPERATURA AMBIENTE DE 18°C A 41°C Y PRESIÓN DE 640 mmHg A 642 mmHg EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Danilo Fernando Pérez López**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Licda. Ingrid Loreña Benítez Pacheco  
COORDINADORA DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



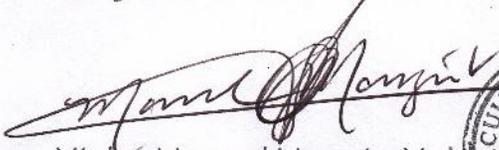
C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.163.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **MARÍA ISABEL AMORETTI RIVERA** titulado: **"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL HIPOCLORITO DE SODIO DURANTE EL PROCESO Y EN PRODUCTO TERMINADO EN UN INTERVALO DE TEMPERATURA AMBIENTE DE 18 °C A 41 °C Y PRESIÓN DE 640 MMHG A 642 MMHG EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Ing. Víctor Manuel Manzón Valdez  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, noviembre 2015

Cc: Archivo  
VMMV/ale





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISIQUÍMICAS DEL HIPOCLORITO DE SODIO DURANTE EL PROCESO Y EN PRODUCTO TERMINADO EN UN INTERVALO DE TEMPERATURA AMBIENTE DE 18 °C A 41 °C Y PRESIÓN DE 640mmHg A 642mmHg EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA**, presentado por la estudiante universitaria **María Isabel Amoretti Rivera**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

*907/152*  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, enero 2016

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por cuidarme, darme fortalezas en los momentos difíciles y estar en cada paso que doy.
- Mis padres** Luis Humberto Amoretti Laureira y Eva Rivera Nuila, por su esfuerzo, ejemplo, nobleza, amor, entrega, apoyo incondicional y por todos los sacrificios que hicieron para permitirme vivir este momento. Aunque no se los diga los quiero mucho.
- Mi esposo** Ronaldo P. Hidalgo Morales, por su apoyo incondicional, amor, comprensión y estar conmigo en todo momento. Te amo.
- Mis hermanos** Eva Luz, Luis Humberto, Ana Josefina, Luis Walter y Luisa María Amoretti Rivera, por su apoyo incondicional, por ser mis confidentes, mis mejores amigos y estar siempre dispuestos a ayudarme sin ninguna excusa. Los quiero mucho.
- Mis sobrinos** Alejandro, Sebastián, Aída y Humberto Cifuentes Amoretti, Laura y Beatriz Amoretti Barrientos, por su cariño y respeto.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por abrirme las puertas y darme la oportunidad de forjarme como profesional.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por brindarme los conocimientos necesarios para lograr ser una ingeniera química y adquirir una de las carreras más completas.
<b>Mi asesor</b>	Ing. Danilo Fernando Pérez López, por su paciencia y ayuda en la realización de este trabajo de graduación.
<b>Planta de cloro</b>	Por permitirme realizar los análisis necesarios para elaborar mi trabajo de graduación.
<b>Mis amigos</b>	Eddy Escobar, Iván Morales, Edwin Ramírez, Rodolfo Rodríguez, Carlos Lucero e Israel Guerra, por su apoyo y momentos compartidos.
<b>Mis amigas</b>	Dina Villacinda, Ingrid Miranda, Lucy Rosales, Nildred Montúfar, Ruth Valdez, Regina y Elisa Castellanos, Zulema Calderón, Zoila Reyes, Bárbara Martínez, Dina Soto, Débora Santizo, Kimberly Icaza, Jennifer Bautista, Ana Batén y Lesly Fuentes, por los momentos compartidos, su apoyo y cariño.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
Hipótesis.....	XVI
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1.    ELABORACIÓN DE HIPOCLORITO DE SODIO .....	1
2.    EVALUACIÓN DE LAS MUESTRAS EN ESTUDIO A Y B.....	3
2.1.    Comportamiento de las propiedades fisicoquímicas del hipoclorito de sodio de las dos muestras.....	4
2.2.    Densidad .....	5
2.3.    Fórmula para determinar la concentración de hipoclorito de sodio.....	5
2.4.    Fórmula para determinar el porcentaje de cloro libre .....	5
2.5.    Fórmula para determinar la concentración de alcalinidad .....	7
2.6.    Determinación de la cinética de reacción .....	7
2.7.    Análisis de varianza Anova.....	8
3.    ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS A Y B .....	9
3.1.    Propiedades fisicoquímicas del hipoclorito de sodio .....	9
3.2.    Densidad .....	9
3.3.    Concentración de hipoclorito de sodio.....	10

3.4.	Porcentaje de cloro libre.....	11
3.5.	Concentración de alcalinidad .....	11
3.6.	Cinética de reacción.....	12
3.7.	Análisis de varianza Anova .....	13
4.	RESULTADOS.....	15
4.1.	Densidad en función de la temperatura a concentración constante.....	15
4.2.	Concentración de hipoclorito de sodio en función del tiempo ..	29
4.3.	Concentración de hipoclorito de sodio en función de la alcalinidad .....	30
4.4.	Porcentaje de cloro libre en función del tiempo.....	31
4.5.	Porcentaje de cloro libre en función de la alcalinidad .....	32
4.6.	Porcentaje de cloro libre en función de la concentración de hipoclorito de sodio .....	33
4.7.	Alcalinidad en función del tiempo .....	35
4.8.	Cinética de reacción que se da en el hipoclorito de sodio.....	36
4.9.	Análisis de varianza .....	37
4.10.	Condiciones de almacenamiento .....	38
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	39
	CONCLUSIONES.....	15
	RECOMENDACIONES .....	49
	BIBLIOGRAFÍA.....	51
	APÉNDICES.....	53
	ANEXOS.....	53

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Densidad vs temperatura a 13,57120 % p/p.....	15
2.	Densidad vs temperatura a 13,03420 % p/p .....	16
3.	Densidad vs temperatura a 12,42161 % p/p .....	16
4.	Densidad vs temperatura a 12,12084 % p/p .....	17
5.	Densidad vs temperatura a 11,04945 % p/p .....	17
6.	Densidad vs temperatura a 10,66714 % p/p .....	18
7.	Densidad vs temperatura a 10,57814 % p/p .....	18
8.	Densidad vs temperatura a 9,76638 % p/p .....	19
9.	Densidad vs temperatura a 8,53125 % p/p .....	19
10.	Densidad vs temperatura a 8,25767 % p/p .....	20
11.	Densidad vs temperatura a 8,06961 % p/p .....	20
12.	Densidad vs temperatura a 7,22839 % p/p .....	21
13.	Densidad vs temperatura a 6,76815 % p/p .....	21
14.	Densidad vs temperatura a 6,38938 % p/p .....	22
15.	Densidad vs temperatura a 5,58043 % p/p .....	22
16.	Densidad vs temperatura a 5,09944 % p/p .....	23
17.	Densidad vs temperatura a 4,92225 % p/p .....	23
18.	Densidad vs temperatura a 4,68485 % p/p .....	24
19.	Densidad vs temperatura a 4,15768 % p/p .....	24
20.	Densidad vs temperatura a 3,78725 % p/p .....	25
21.	Densidad vs temperatura a 3,55016 % p/p .....	25
22.	Densidad vs temperatura a 3,19244 % p/p .....	26
23.	Densidad vs temperatura a 2,45607 % p/p .....	26

24.	Densidad vs temperatura a 2,03557 % p/p.....	27
25.	Densidad vs temperatura a 1,93352 % p/p.....	27
26.	Densidad vs temperatura a 1,63606 % p/p.....	28
27.	Densidad vs temperatura a 1,21985 % p/p.....	28
28.	Comportamiento de la concentración de NaClO durante la producción .....	29
29.	Degradación de la concentración de NaClO en producto almacenado .....	29
30.	Comportamiento de la concentración de hipoclorito de sodio en relación con la alcalinidad durante la producción.....	30
31.	Degradación de la concentración de hipoclorito de sodio en relación con la alcalinidad en producto terminado.....	30
32.	Comportamiento del cloruro de sodio durante el tiempo de producción .....	31
33.	Degradación de cloro libre durante el tiempo de almacenamiento .....	31
34.	Comparación del comportamiento de cloro libre respecto a la alcalinidad durante el proceso de producción .....	32
35.	Comparación del comportamiento de cloro libre respecto a la alcalinidad durante el almacenamiento.....	33
36.	Comparación del comportamiento de cloro libre respecto a la concentración de hipoclorito de sodio durante el proceso de producción .....	34
37.	Comparación del comportamiento de cloro libre respecto a la concentración de hipoclorito de sodio durante el almacenamiento.....	34
38.	Comportamiento de la alcalinidad durante el tiempo de producción.....	35
39.	Comportamiento de la alcalinidad durante el tiempo de almacenamiento.....	36

## TABLAS

I.	Velocidad a la que reacciona el hipoclorito de sodio.....	36
II.	Resumen del análisis de varianza de las muestras A y B.....	37
III.	Análisis de varianza de las muestras A y B .....	37



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Ca</b>	Concentración de alcalinidad
<b>[NaOH]</b>	Concentración de hidróxido de sodio
	Densidad
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>h</b>	Hora
<b>L</b>	Litro
<b>m</b>	Masa
<b>mL</b>	Mililitro
<b>mmHg</b>	Milímetros de mercurio
<b>N</b>	Normalidad
	Orden de reacción
<b>%</b>	Porcentaje (por ciento)
<b>%Cl<sub>2</sub></b>	Porcentaje de cloro libre
<b>% p/p</b>	Porcentaje peso/peso
<b>rxn</b>	Reacción
<b>s</b>	Segundo
<b>T</b>	Temperatura
<b>Ka</b>	Velocidad específica de reacción
<b>V</b>	Volumen



## GLOSARIO

<b>Ácido</b>	Sustancia que libera iones hidrógenos cuando se disuelve en agua.
<b>Anova</b>	Analysis Of Variance (según siglas en inglés), es una colección de modelos estadísticos en la que participa la varianza.
<b>Alícuota</b>	Cantidad proporcionalmente representativa de un lote para su respectivo análisis.
<b>Alcalinidad</b>	Rango de contenido de hidróxido de sodio en una sustancia.
<b>Cinética de reacción</b>	Velocidad con que se degrada o aparece una sustancia en una reacción.
<b>Cloro disponible</b>	Es el término utilizado en la desinfección de cloro con relación a su capacidad oxidante total.
<b>Coguanor</b>	Comisión Guatemalteca de Normas.
<b>Concentración</b>	Relación entre la cantidad de soluto y la cantidad de disolvente en una solución química.

<b>Correlacionar</b>	Indica correspondencia o relación recíproca entre dos o más cosas.
<b>Degradación</b>	Capacidad de un compuesto a desaparecer y convertirse en otro.
<b>Densidad</b>	Relación entre la masa de un cuerpo y su volumen.
<b>Desinfección</b>	Proceso químico por medio del cual se destruyen microorganismos, pero no sus formas resistentes.
<b>Dilución</b>	Procedimiento para preparar una disolución menos concentrada a partir de otra de mayor concentración.
<b>Disolución</b>	Mezcla homogénea de dos o más sustancias.
<b>Disolvente</b>	O solvente, es el componente de mayor cantidad presente en una solución, que diluye un soluto.
<b>Hidróxido de sodio</b>	Combinación de agua, óxido metálico y sodio. Se representa con la fórmula NaOH y es conocido como soda cáustica o sosa cáustica.
<b>Hipoclorito de sodio</b>	Disolución acuosa de color amarillo translúcido y olor irritante, conocido comercialmente como cloro.
<b>Inestable</b>	Se refiere a la alteración o descomposición que sufre una reacción química de forma rápida.

<b>Justipreciar</b>	Tasar, determinar el valor de algo.
<b>Monitoreo</b>	Acción y efecto de controlar una serie de datos.
<b>Muestra</b>	Cantidad representativa de un lote para su correspondiente estudio.
<b>Porcentaje de cloro</b>	Es el cloro que se halla disuelto en el agua.
<b>Presión</b>	Fuerza aplicada por unidad de área.
<b>Presión atmosférica</b>	Presión ejercida por la atmósfera terrestre.
<b>Producto terminado</b>	Solución obtenida del proceso de producción.
<b>Regresión polinómica</b>	Es un ajuste no lineal entre la relación de las variables X y Y con una tendencia de orden n.
<b>Solución química</b>	Mezcla homogénea de dos o más sustancias.
<b>Soluto</b>	Sustancia que se encuentra en menor proporción en una disolución.
<b>Substancia</b>	O sustancia, según la real academia española. Se refiere a la materia caracterizada por un conjunto específico y estable de propiedades.
<b>Sustancia</b>	Materia caracterizada por un conjunto específico y estable de propiedades.

<b>Tasar</b>	Determinar el valor de algo.
<b>Tiosulfato de sodio</b>	Compuesto inorgánico cristalino que diluido a ciertas concentraciones es utilizado como titulante. Es un neutralizador de cloro eficaz.
<b>Velocidad de reacción</b>	Cambio en las concentraciones de reactivos o productos respecto del tiempo.

## RESUMEN

Se evaluará las propiedades fisicoquímicas del hipoclorito de sodio durante el proceso y en producto terminado, en un intervalo de temperatura ambiente de 18 a 41°C y presión atmosférica de 640 mmHg a 642 mmHg en el departamento de Escuintla.

Se realizarán gráficas donde muestre el comportamiento de las propiedades fisicoquímicas del hipoclorito de sodio. Dichas gráficas ahorrarán tiempo y de esta manera se podrá determinar qué condiciones son necesarias para optimizar la producción.

Las propiedades fisicoquímicas a utilizar son las siguientes: porcentaje de cloro libre, concentración de hipoclorito de sodio, densidad, alcalinidad y se determinará la cinética de reacción de la solución en estudio.

Para ello se realizará un monitoreo de datos a dos muestras de hipoclorito de sodio, (una a temperatura del laboratorio y otra a temperatura del ambiente) en el reactor de una planta de producción de hipoclorito de sodio.

Y por último se realizará un análisis de varianza (Anova) para correlacionar los datos, y evaluar los resultados para determinar si es aceptada o no la hipótesis planteada en esa sección.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar las propiedades fisicoquímicas del hipoclorito de sodio durante el proceso de producción y en producto terminado, en un intervalo de temperatura ambiente de 18 a 41°C y presión de 640 mmHg a 642 mmHg en el departamento de Escuintla.

### **Específicos**

1. Evaluar la tendencia de la gráfica de densidad en función de la temperatura, a una concentración constante.
2. Estimar la tendencia de la gráfica de la concentración de hipoclorito de sodio en función del tiempo y de la alcalinidad.
3. Valorar la tendencia de la gráfica del porcentaje de cloro libre en función del tiempo, de la alcalinidad y de la concentración de hipoclorito de sodio.
4. Tasar la tendencia de la gráfica de alcalinidad en función del tiempo.
5. Justipreciar estadísticamente los resultados fisicoquímicos a través de un análisis de varianza.
6. Calcular la cinética de reacción que se da en el hipoclorito de sodio.

7. Determinar las condiciones adecuadas para el almacenamiento del producto terminado para que la concentración de hipoclorito de sodio se degrade lentamente.

## **Hipótesis**

El rendimiento de la reacción de producción del hipoclorito de sodio a partir de la gasificación de cloro en soda cáustica líquida es afectado por las condiciones ambientales del área donde se fabrique y se almacene.

### **Hipótesis estadística:**

### **Hipótesis nula:**

No existen diferencias significativas en el rendimiento de producción que correlaciona la temperatura de reacción y de almacenamiento, influyendo en la cinética de reacción y degradación del hipoclorito de sodio.

### **Hipótesis alternativa:**

Existen diferencias significativas en el rendimiento de producción que correlaciona la temperatura de reacción y de almacenamiento, influyendo en la cinética de reacción y degradación del hipoclorito de sodio.

## INTRODUCCIÓN

El hipoclorito de sodio es un blanqueador y desinfectante de mayor consumo, muy eficaz y económico a su vez, cuyo nombre comercial es cloro. Se debe controlar la cantidad de cloro que se agrega al agua para su utilización, ya que un exceso incontrolado, sea libre o combinado, puede afectar negativamente a quien lo manipule.

Se produce por la reacción de una solución diluida de hidróxido de sodio con gas cloro a bajas temperaturas. Es necesario que el hipoclorito de sodio se produzca a ciertas condiciones de trabajo para optimizar su rendimiento y controlar la reacción, por ello es apropiado contar con gráficas y tablas que muestren el comportamiento si una de esas condiciones ideales se cambia.

Para ello se evaluaron las propiedades fisicoquímicas del hipoclorito de sodio, durante el proceso de producción y en producto terminado, en un intervalo de temperatura ambiente de 18 a 41°C, y una presión de 640 a 642 mmHg; para dos lotes almacenados en diferentes lugares y distintas condiciones de almacenamiento. Lo que llevó a realizar una comparación de resultados entre las dos muestras, demostrando con esto que tanto afecta el lugar de almacenamiento del producto terminado, y cuáles deben ser las condiciones adecuadas para que no se produzca una rápida degradación y por tanto, tenga una mayor vida útil.

Primero se realizó un monitoreo de datos a las condiciones mencionadas, para dos muestras de producción en el reactor de una planta de hipoclorito de sodio. Se inició con una muestra de hipoclorito de sodio de un

lote, a la temperatura de producción; luego se apartó una muestra del producto envasado y se siguió el análisis a temperatura ambiente para determinar la alcalinidad, el porcentaje de cloro libre y la concentración de hipoclorito de sodio, conforme pasaba el tiempo; además se realizaron graficas del deterioro que se produce. Una de las muestras estuvo expuesta a temperatura ambiente del laboratorio y la otra a temperatura ambiente fuera del laboratorio, donde estuvo revelado al sol y los cambios climáticos del día.

Las fórmulas utilizadas para determinar la concentración de hipoclorito de sodio, el porcentaje de cloro libre y la alcalinidad se obtuvieron de las normas Coguanor; las cuales son documentos que normalizan las especificaciones de productos y la realización de los mismos para protección del consumidor en toda Guatemala. Para el contenido de cloro libre, se realizó un balance de reacción de los reactivos involucrados y luego por estequiometría se despejó el porcentaje de cloro en función de la cantidad de titulante y el volumen de la muestra titulada.

El hipoclorito de sodio es muy inestable ya que se descompone en presencia de la luz y del calor, por lo que se debe guardar en lugar a condiciones controladas. Por otro lado el cloro disponible en un hipoclorito es una medida del poder oxidante de su cloro activo expresada en términos de cloro elemental.

Además, se determinó la cinética de reacción para demostrar la velocidad a la que reaccionó el hipoclorito de sodio, durante la producción. Se tomó en cuenta que la velocidad de reacción varía mucho según la naturaleza de los reactivos y se ve influenciada por la temperatura del sistema reaccionante, la concentración de los reactivos, la facilidad con que entran en contacto los reactivos y en el caso que se dé, la presencia de un catalizador. El

orden de reacción siempre se define en términos de las concentraciones de los reactivos y no de los productos, por lo que la velocidad de reacción se determinó a partir de la concentración de hidróxido de sodio, ya que la rapidez con la que se disminuye es la misma con la que aparece la concentración de hipoclorito de sodio en el proceso de producción. Se debe tomar en cuenta también que la concentración final de la solución de hipoclorito de sodio depende de la concentración inicial de la solución de hidróxido de sodio.

Se empleó el modelo estadístico Anova para la comparación de medias. El cual, también es conocido como diseño de experimentos y difiere en que las variables explicativas son cualitativas o factores. Es similar al análisis de regresión y en realidad los dos pertenecen a la gran familia de los modelos lineales. Dichos modelos lineales se caracterizan por investigar la relación entre una variable respuesta cuantitativa y una o más variables explicativas. Sin embargo, el análisis de varianza difiere del análisis de regresión en que en el Anova las variables explicativas son cualitativas o factores.

En este caso se tiene un Anova de un factor lo cual implica que las medias poblacionales son iguales y por ende significa que los grupos no difieren en la variable cuantitativa (dependiente), y que, en consecuencia, la variable categórica es independiente de la variable cuantitativa.



## 1. ELABORACIÓN DE HIPOCLORITO DE SODIO

En cada planta de cloro se tiene diferentes formas de trabajar, pero el procedimiento para la elaboración de hipoclorito de sodio es la misma. Se hace reaccionar hidróxido de sodio con gas cloro y se obtiene hipoclorito de sodio, cloruro de sodio, moléculas de agua y calor.

Las diluciones de soda cáustica líquida por lo general se trabajan hasta un 22% máximo, ya que si es mayor junto con una alta temperatura a la que se trabaje, se forma sal en lugar de hipoclorito de sodio, debido a la naturaleza de la reacción.

Esto también implica que el rango aceptable de alcalinidad es entre 1 y 1,8 para grados industriales en el producto terminado, y para grados comerciales debe ser menor a 1, porque si ya no se tiene hidróxido de sodio o es muy bajo el porcentaje, aparte de formarse el cloruro de sodio, la solución se torna color negro, lo cual desfavorece la producción de hipoclorito de sodio.

Esta reacción se lleva a cabo isotérmicamente en un reactor intermitente de volumen constante, y registra la concentración en función del tiempo, por lo que la rapidez con que reacciona (o se desvanece) el hidróxido de sodio durante el proceso, es la misma velocidad de reacción con la que se forma el hipoclorito de sodio, pero con signo contrario. La reacción que se produce, se clasifica como simple reversible.

Para este proceso se usa agua tratada, ya que el agua dura contiene sales disueltas de calcio y magnesio, por lo que podría ocasionar

incrustaciones, precipitados y afectar el producto final tanto en aspecto como en estabilidad. Se utiliza un intercambiador iónico cuya resina utilizada es la “zeolita”.

La producción va acompañada de un enfriamiento, ya que el hidróxido de sodio es isotérmico y produciría sal en lugar de hipoclorito de sodio.

## **2. EVALUACIÓN DE LAS MUESTRAS EN ESTUDIO A Y B**

Como se mencionó anteriormente, se evaluaron las propiedades fisicoquímicas del hipoclorito de sodio a condiciones de trabajo de presión de 640 mmHg a 642 mmHg y temperatura ambiente de 18a 41°C, durante el proceso y en producto terminado. Para lo cual, como se mencionó en la introducción, primero se realizó un monitoreo de datos a las condiciones ya mencionadas, para 2 muestras de producción en el reactor de una planta de hipoclorito de sodio.

Se inició con una muestra de hipoclorito de sodio de un lote, a la temperatura de producción; luego se apartó una muestra del producto envasado y se siguió el análisis a temperatura ambiente para determinar la alcalinidad, el porcentaje de cloro libre y la concentración de hipoclorito de sodio, conforme pasaba el tiempo, y se graficó para ver el deterioro que se producía.

Una de las muestras estuvo almacenada dentro del laboratorio y la otra expuesta a temperatura ambiente, donde estuvo revelado al sol y los cambios climáticos del día. Lo que llevó a realizar una comparación de resultados entre las dos muestras, demostrando que tanto afecta el lugar de almacenamiento del producto terminado, y cuáles deben ser las condiciones adecuadas para que no se produzca una rápida degradación.

## **2.1. Comportamiento de las propiedades fisicoquímicas del hipoclorito de sodio de las dos muestras**

Se realizó una comparación de datos entre dos muestras expuestas a diferentes condiciones de almacenamiento y para ello se estableció una serie de gráficas, las cuales mostraron el comportamiento de:

- La densidad en función de la temperatura, a concentración constante.
- La concentración del hipoclorito de sodio en función del tiempo, durante el proceso y en el producto terminado.
- La concentración del hipoclorito de sodio en función de la alcalinidad, durante el proceso y en el producto terminado.
- El porcentaje de cloro libre en función del tiempo, durante el proceso y en el producto terminado.
- El porcentaje de cloro libre en función de la alcalinidad, durante el proceso y en el producto terminado.
- El porcentaje de cloro libre en función de la concentración de hipoclorito de sodio.
- La alcalinidad en función del tiempo, durante el proceso y en el producto terminado.

## 2.2. Densidad

Para determinar la densidad se utilizó la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Donde:  $\rho$  = densidad de la muestra

m = masa de la muestra

V = volumen de la muestra

## 2.3. Fórmula para determinar la concentración de hipoclorito de sodio

Para la concentración de hipoclorito de sodio se tiene la siguiente fórmula:

$$\% \frac{p}{p} NaClO = \frac{V_1 \times N \times 0,03722 \times 100}{V_2 \times \rho}$$

Donde: %p/p NaClO = porcentaje masa/masa de hipoclorito de sodio

$V_1$  = volumen del titulante (tiosulfato de sodio)

N = normalidad del titulante

$V_2$  = volumen original de la muestra

$\rho$  = densidad

Obtenida de la sección 5.5.2 de la Norma Coganor 30-035.

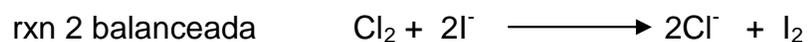
## 2.4. Fórmula para determinar el porcentaje de cloro libre

Para el porcentaje de cloro libre, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \frac{p}{p} Cl_2 = \frac{0,035453 \times V_1 \times N}{V_2 \times \rho} \times 100$$

Donde:  $\%p/\rho Cl_2$  = porcentaje masa/masa de cloro libre  
 $V_1$  = volumen del titulante (tiosulfato de sodio)  
 $N$  = normalidad del titulante  
 $V_2$  = volumen original de la muestra  
 $\rho$  = densidad

Obtenida a partir de las siguientes reacciones ya balanceadas:



Al balancear la reacción 1, se obtiene por estequiometria los moles de ion yoduro que reaccionan a partir del volumen consumido de tiosulfato de sodio de concentración conocida. Se tiene una relación 1:1, por cada mol de titulante se produce un mol de ion yodo.

Los moles de ion yodo que se consumen equivalen a los moles de cloro libre consumidos, se balancea entonces la reacción 2 y se tiene una relación 2:1, es decir, 2 moles de ion yodo consume 1 mol de cloro libre.

Por estequiometria se obtienen los gramos de cloro libre los cuales se multiplica por el volumen de titulante gastado y se divide entre la masa de la muestra titulada; dicha masa se obtiene a partir de la densidad de la muestra por el volumen utilizado para la alícuota. Es por ello que en la fórmula aparece volumen por densidad.

Esta ecuación se obtuvo de la sección 5.5.1 de la Norma Coguanor 30-035 h1.

## 2.5. Fórmula para determinar la concentración de alcalinidad

Para la concentración de alcalinidad se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \frac{P}{P} NaOH = \frac{V_{H_2SO_4} \times 8}{\rho \times 10}$$

Donde: %p/p NaOH = porcentaje peso/peso de hidróxido de sodio

$V_{H_2SO_4}$  = volumen de ácido sulfúrico

$\rho$  = densidad

Obtenida de la Norma Coguanor 30-035 h2.

## 2.6. Determinación de la cinética de reacción

Para ello se graficó la alcalinidad en función del tiempo, y se le aplicó regresión polinómica con la ayuda del programa Microsoft Excel, dando como resultado una curva cuya ecuación es de tercer grado

$$Ca = at^3 + bt^2 + ct + d \text{ y un } R^2 \text{ lo más próximo a } 1.$$

Esta ecuación es una técnica descrita en el capítulo 5 del libro de Fogler denominada: ajuste de polinomios. Así, en cualquier instante  $t$  se conoce tanto la concentración como la velocidad de cambio de la concentración, teniendo cuidado de escoger bien el orden de polinomio para que se ajuste lo más posible a la curva de la gráfica.

Se derivó y se realizó una nueva gráfica en función del logaritmo natural de la concentración de alcalinidad. De la combinación del balance molar con la ley de velocidad se obtiene:

$$-r_A = K_A * C_A$$

Luego se aplica el logaritmo natural en ambos lados y queda la siguiente ecuación lineal:

$$\ln(-Ca/dt) = \ln(Ca) + \ln(Ka)$$

La cual se sustituye con la obtenida de la regresión lineal aplicada a la segunda gráfica

$$(Y = mX + b)$$

Donde:  $C_a$  = concentración de alcalinidad

$Ca/dt$  = es el cambio de la concentración respecto al tiempo

= orden de reacción

$K_a$  = velocidad específica de reacción

## 2.7. Análisis de varianza (Anova)

Se quiere saber si la degradación del hipoclorito sodio en producto terminado guarda alguna relación con el lugar de almacenamiento, para ello se planteó la hipótesis siguiente: “la atmósfera en la que se almacena el producto terminado afecta directamente la concentración de hipoclorito de sodio positiva o negativamente”.

Utilizando un nivel de significación del 5%, se define entonces que la variable será la degradación de hipoclorito de sodio y el factor será el lugar de almacenamiento, por lo que se tiene una Anova de 1 factor.

### **3. ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS A Y B**

#### **3.1. Propiedades fisicoquímicas del hipoclorito de sodio**

Se realizó análisis para cada una de las siguientes propiedades fisicoquímicas

- Densidad
- Concentración de hipoclorito de sodio
- Porcentaje de cloro libre
- Alcalinidad

Una vez obtenido los resultados de cada una se procedió a graficar a cada una respecto al tiempo y entre ellas para observar su comportamiento. De estos resultados se determinó la velocidad de reacción y se realizó un análisis Anova para comparar las medias de los resultados obtenidos en cada muestra.

#### **3.2. Densidad**

Para la densidad se pesó una alícuota de cada muestra a determinada concentración y a diferentes temperaturas, cuyo intervalo fue desde 4 a 41°C, esto en el caso de la muestra almacenada a la intemperie; ya que la guardada en el laboratorio no tuvo una temperatura mayor a los 26°C, debido a que esta era la máxima temperatura del laboratorio. Se realizó desde 4°C para tener mayor información sobre el comportamiento de la densidad respecto al tiempo.

Sin embargo, interesa más el intervalo de 18 a 41°C, que es la variación durante el día y la noche del lugar de la planta.

### 3.3. Concentración de hipoclorito de sodio

Para determinar la concentración de hipoclorito se utilizó el siguiente procedimiento:

Reactivos utilizados:        yoduro de potasio  
   ácido acético glacial  
   tiosulfato de sodio 0.1 N  
   solución de almidón 1 %

Cristalería utilizada:        1 *beacker* plástico de 250 mL  
   1 Earlenmeyer de 250 mL  
   1 pizeta  
   1 probeta de 50 mL  
   1 pipeta de 10 mL  
   1 gotero

Procedimiento:

- Se tomó una muestra de solución de hipoclorito de sodio en un *beacker* plástico de 250 ml, abriendo la válvula de purga de la línea de producción.
- Se pesaron 3 g de yoduro de potasio y luego se agregó en un Earlenmeyer previamente tarado.
- Se agregaron 50 mililitros de agua destilada y se agitó suavemente hasta que se disolvió todo el yoduro de potasio.
- Luego se agregaron 10 mililitros de ácido acético glacial y se agitó suavemente.

- Seguido se agregó 1 mililitro de la muestra de hipoclorito de sodio y se siguió agitando suavemente; observando el cambio de color, de incoloro a rojo fuerte.
- La solución anterior se tituló con tiosulfato de sodio 0,1 N hasta que la solución cambió de color a amarillo suave.
- En ese momento se agregó 1 mililitro de almidón al 1%, dándose un cambio de color de amarillo suave a negro.
- Se prosiguió titulando con la solución de tiosulfato de sodio 0,1 N, hasta que se tornó incolora la solución titulada.
- Se anotó el volumen de titulante necesario para el viraje de color y se substituyó en la fórmula correspondiente, para obtener la concentración de hipoclorito de sodio.

#### **3.4. Porcentaje de cloro libre**

Del procedimiento para determinar la concentración de hipoclorito de sodio, también se puede obtener el porcentaje de cloro libre, haciendo un balance de las reacciones involucradas y por estequiometria obtener la ecuación para calcular dicho porcentaje, detallado en la sección 2.3.

#### **3.5. Concentración de alcalinidad**

Para determinar la concentración de alcalinidad se utilizó el siguiente procedimiento:

Reactivos utilizados:	ácido sulfúrico 1N
	peróxido de hidrógeno al 3%
	fenolftaleína
Cristalería utilizada:	1 pipeta aforada de 5 mL
	1 Earlenmeyer de 250 mL

1 probeta de 50 mL

1 pizeta

1 gotero

Procedimiento:

- Se tomó con una *pipeta* una alícuota de 5 mililitros de la muestra de hipoclorito de sodio.
- Se agregó la alícuota en el Earlenmeyer.
- Se agregó 25 mililitros de peróxido de hidrógeno al 3% y se agitó lentamente hasta que ya no se observó presencia de espuma.
- Se agregó 50 mililitros de agua destilada y luego se agitó suavemente.
- Se agregaron 10 gotas de fenolftaleína como indicador y la solución se tornó color fucsia.
- Se tituló con ácido sulfúrico 1 N hasta que la solución se tornó incolora.
- Se agregaron nuevamente 10 gotas de fenolftaleína para verificar que la solución ya no presentaba alcalinidad.
- Se anotó el volumen de ácido sulfúrico requerido para el viraje.
- Se sustituyó dicho volumen en la fórmula correspondiente, para obtener la concentración de alcalinidad.

### 3.6 Cinética de reacción

La reacción balanceada es:



Como la velocidad de reacción se relaciona con la rapidez de desaparición de los reactivos o de aparición de los productos con respecto al

tiempo, y con signo contrario. Se determinó la velocidad de reacción con la que se formó el hipoclorito de sodio a partir del hidróxido de sodio que es uno de los reactivos implicados en la producción.

Se realizó la gráfica de alcalinidad en función del tiempo, mostrando una degradación lineal y terminando con una serie de datos constantes en los últimos puntos. Al aplicar la regresión polinómica con la ayuda del programa Microsoft Excel, el resultado fue una curva representada por una ecuación de tercer grado  $Ca = at^3 + bt^2 + ct + d$  y un  $R^2$  lo más próximo a 1. El siguiente paso fue derivar la ecuación anterior quedando  $dCa/dt$  y se determinó el logaritmo natural de la concentración ( $\ln Ca$ ), luego se realizó una nueva tabla y se graficaron los datos, quedando una curva cuya ecuación lineal proporcionó el orden de reacción y la velocidad específica de reacción.

### 3.7 Análisis de varianza Anova

Por medio de Excel se obtuvo: la suma de cuadrados, grados de libertad, promedio de los cuadrados, el valor de F, probabilidad de F y valor crítico para F. Una vez obtenido estos datos se pudo concluir respecto a las hipótesis ya planteadas:

**H1:** no existen diferencias significativas en el rendimiento de producción que correlaciona la temperatura de reacción y de almacenamiento influyendo en la cinética de reacción y degradación del hipoclorito de sodio.

**Ho:** existen diferencias significativas en el rendimiento de producción que correlaciona la temperatura de reacción y de almacenamiento influyendo en la cinética de reacción y degradación del hipoclorito de sodio.

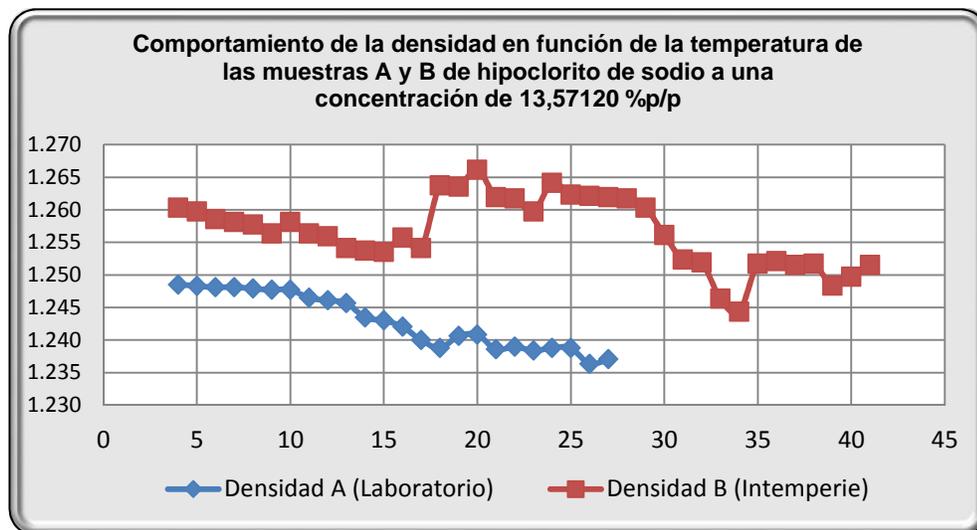
Una vez obtenida la tabla con los resultados, se observó que el valor de probabilidad de F es mucho menor al 5 % considerado y que el valor de F es mucho mayor al valor crítico de F, por lo que dicho resultado es significativo.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Densidad en función de la temperatura a concentración constante

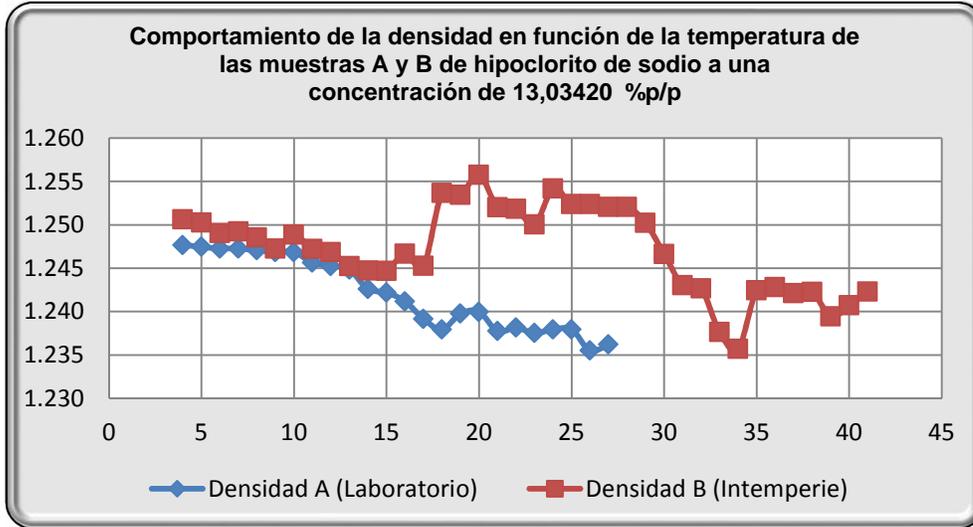
En esta sección se muestra el comportamiento de la densidad en función de la temperatura a 27 diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio presentado en porcentaje peso/peso (% p/p).

Figura 1. Densidad vs temperatura a 13,57120 % p/p



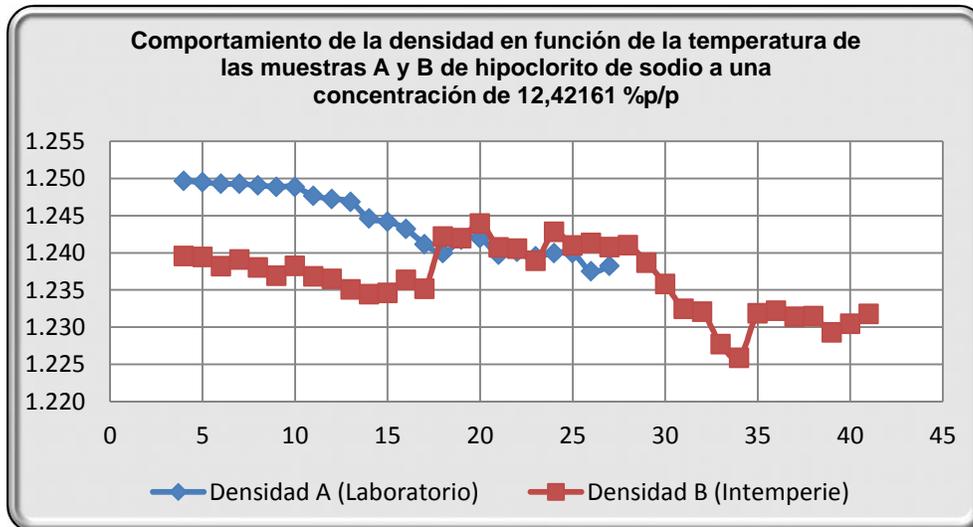
Fuente: sección apéndice, tabla 1, empleando Microsoft Excel.

Figura 2. **Densidad vs temperatura a 13,03420 % p/p**



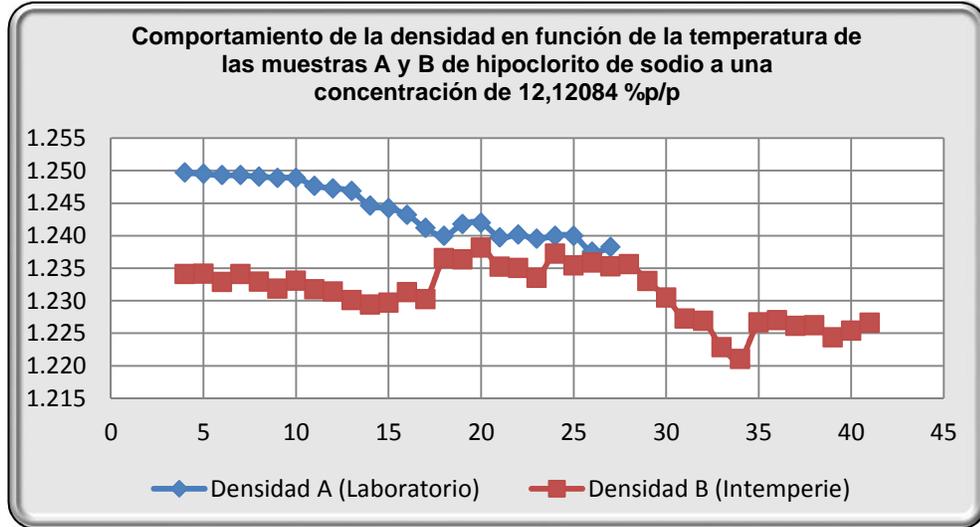
Fuente: sección apéndice, tabla 1, empleando Microsoft Excel.

Figura 3. **Densidad vs temperatura a 12,42161 % p/p**



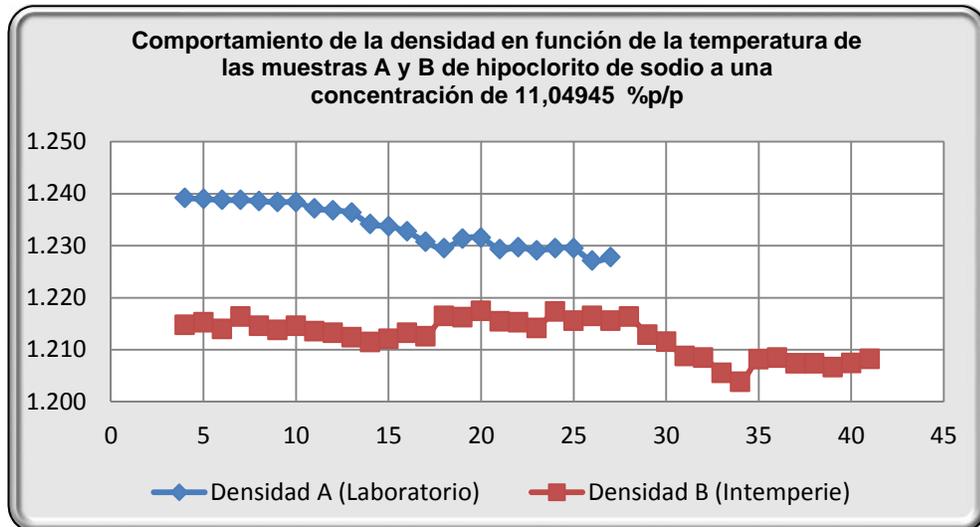
Fuente: sección apéndice, tabla 1, empleando Microsoft Excel.

Figura 4. Densidad vs temperatura a 12,12084 % p/p



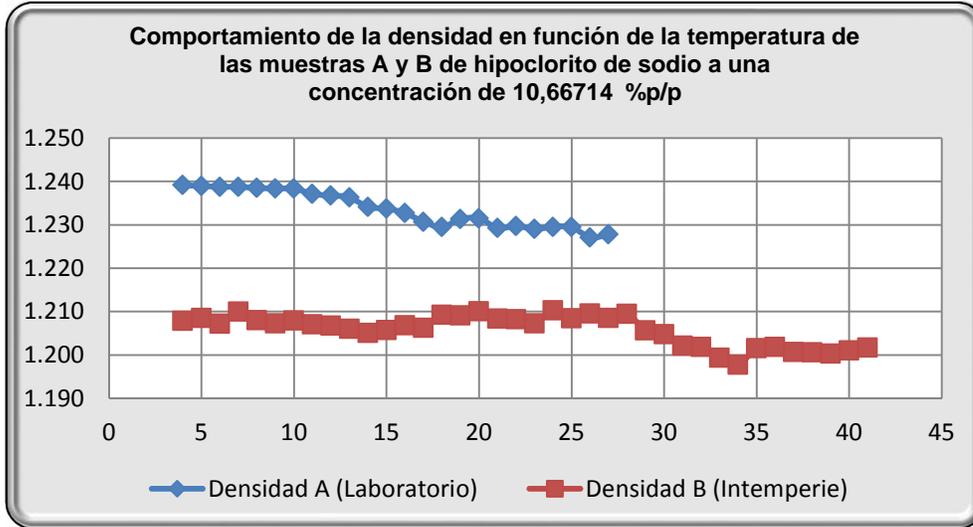
Fuente: sección apéndice, tabla 2, empleando Microsoft Excel.

Figura 5. Densidad vs temperatura a 11,04945 % p/p



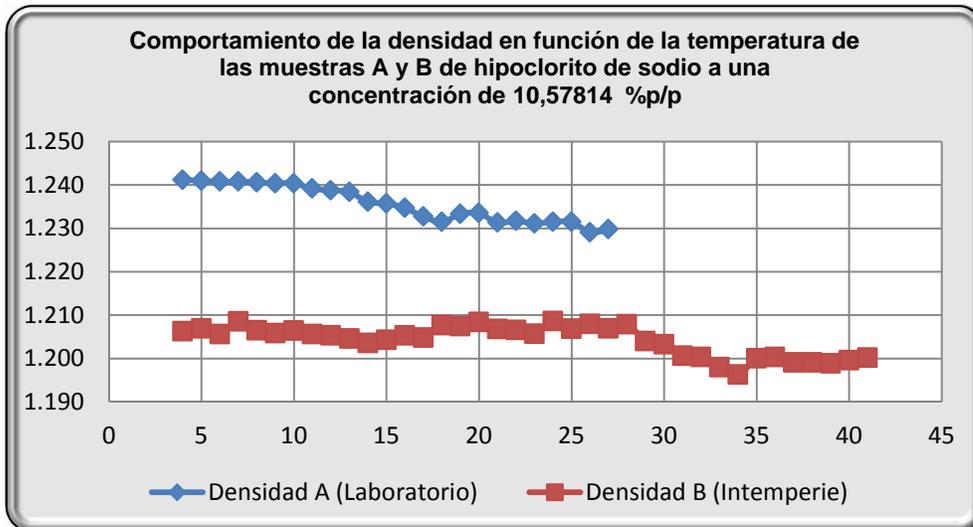
Fuente: sección apéndice, tabla 2, empleando Microsoft Excel.

Figura 6. **Densidad vs temperatura a 10,66714 % p/p**



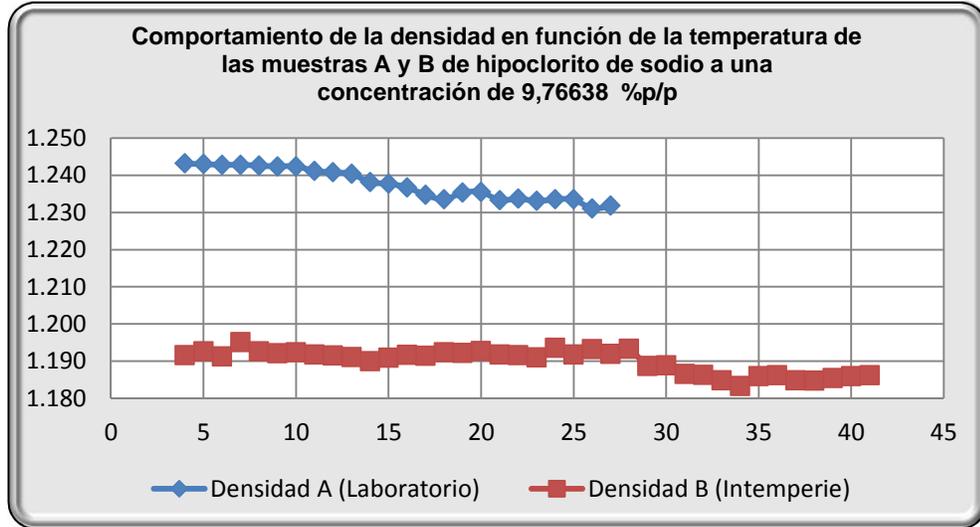
Fuente: sección apéndice, tabla 2, empleando Microsoft Excel.

Figura 7. **Densidad vs temperatura a 10,57814 % p/p**



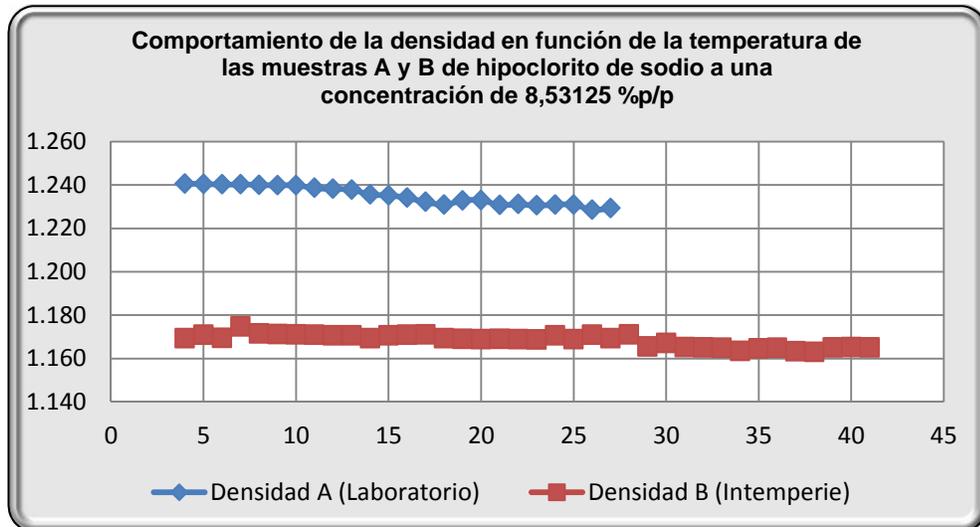
Fuente: sección apéndice, tabla 3, empleando Microsoft Excel.

Figura 8. **Densidad vs temperatura a 9,76638 % p/p**



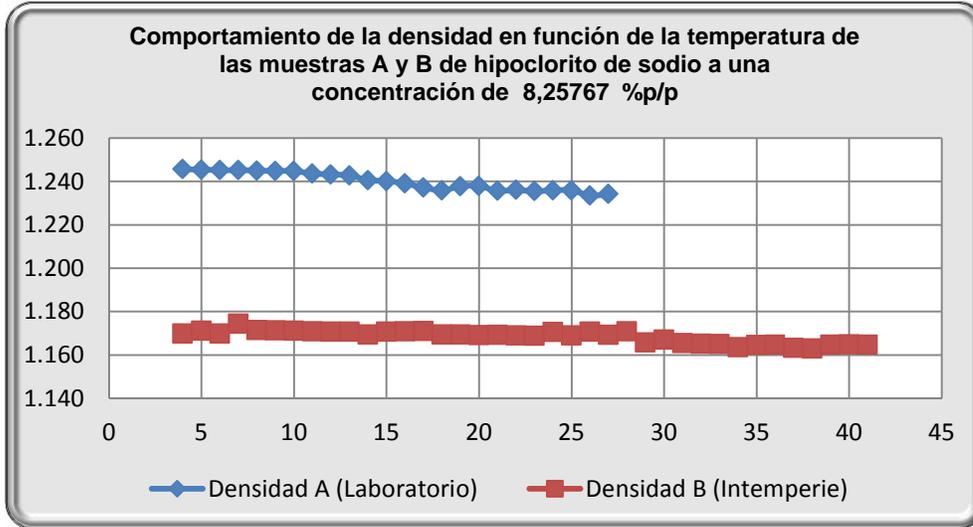
Fuente: sección apéndice, tabla 3, empleando Microsoft Excel.

Figura 9. **Densidad vs temperatura a 8,53125 % p/p**



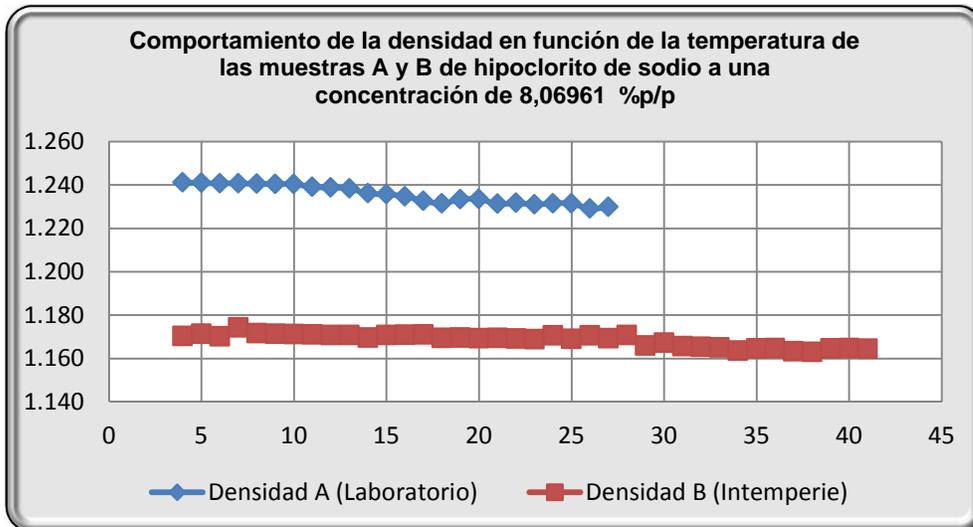
Fuente: sección apéndice, tabla 3, empleando Microsoft Excel.

Figura 10. **Densidad vs temperatura a 8,25767 % p/p**



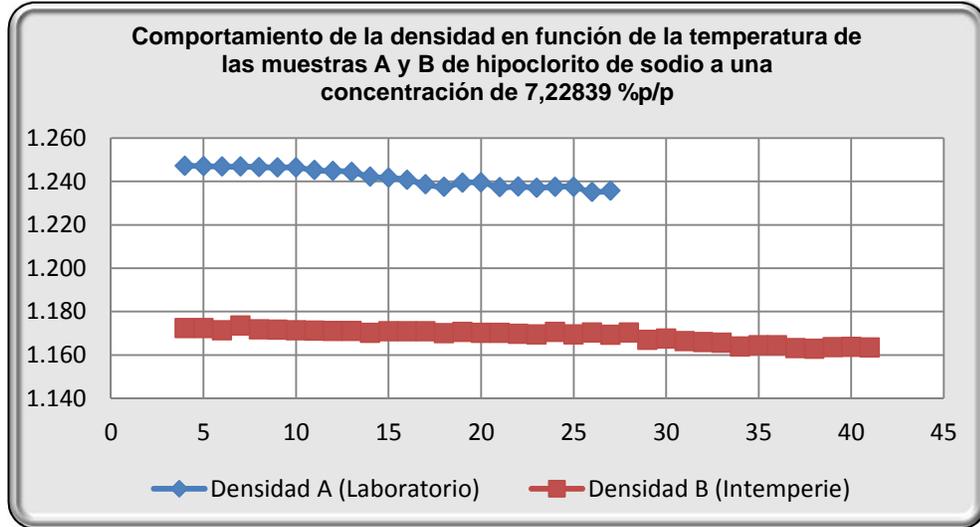
Fuente: sección apéndice, tabla 4, empleando Microsoft Excel.

Figura 11. **Densidad vs temperatura a 8,06961 % p/p**



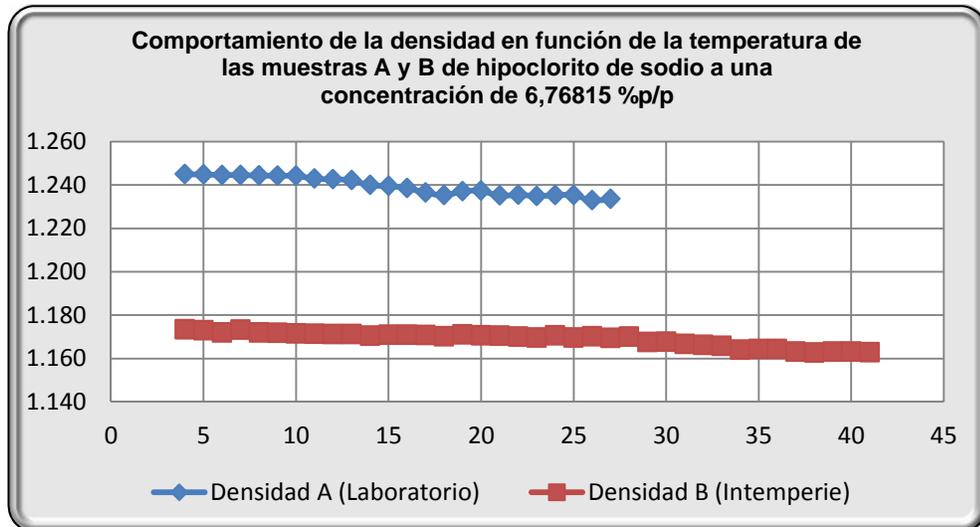
Fuente: sección apéndice, tabla 4, empleando Microsoft Excel.

Figura 12. **Densidad vs temperatura a 7,22839 % p/p**



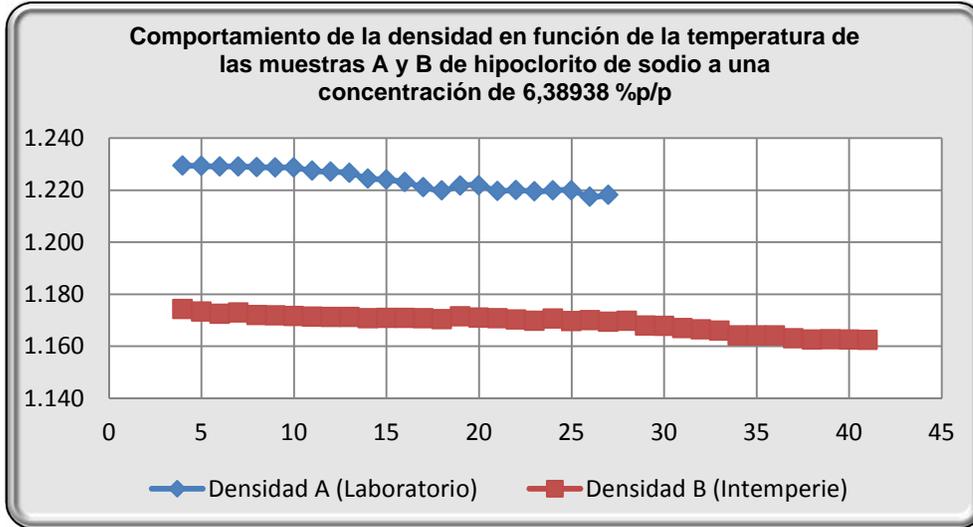
Fuente: sección apéndice, tabla 4, empleando Microsoft Excel.

Figura 13. **Densidad vs temperatura a 6,76815 % p/p**



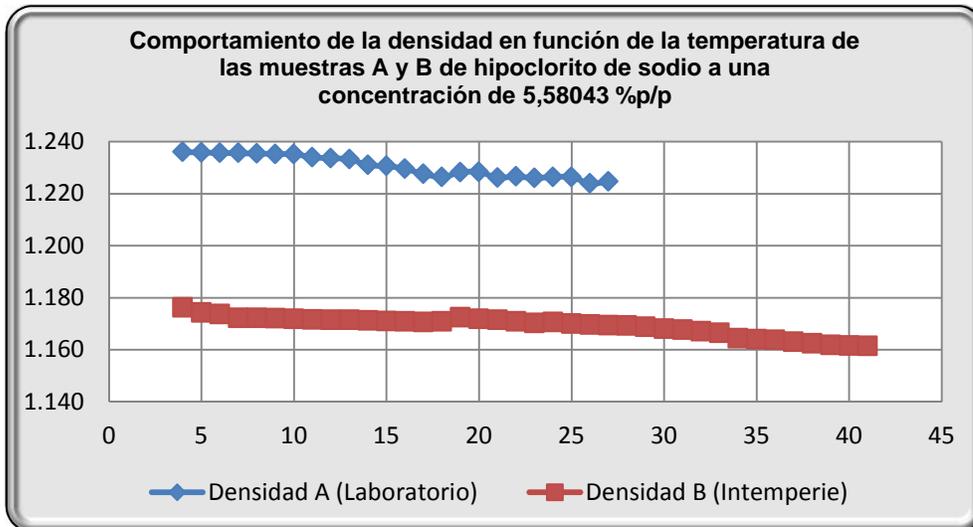
Fuente: sección apéndice, tabla 5, empleando Microsoft Excel.

Figura 14. **Densidad vs temperatura a 6,38938 % p/p**



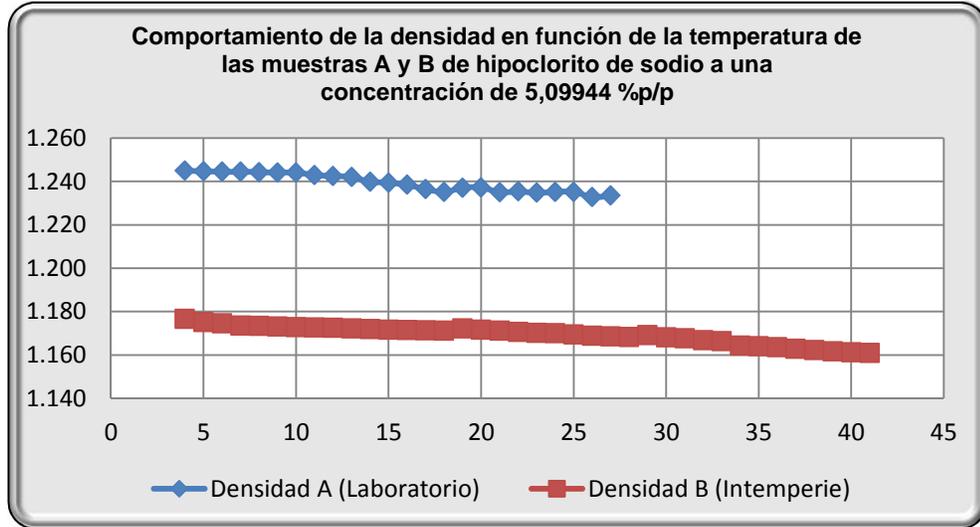
Fuente: sección apéndice, tabla 5, empleando Microsoft Excel.

Figura 15. **Densidad vs temperatura a 5,58043 % p/p**



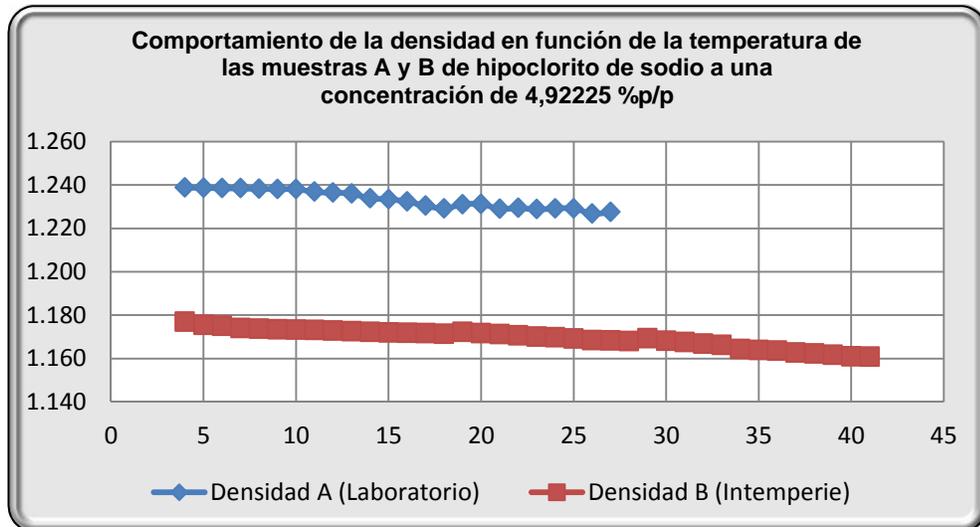
Fuente: sección apéndice, tabla 5, empleando Microsoft Excel.

Figura 16. **Densidad vs temperatura a 5,09944 % p/p**



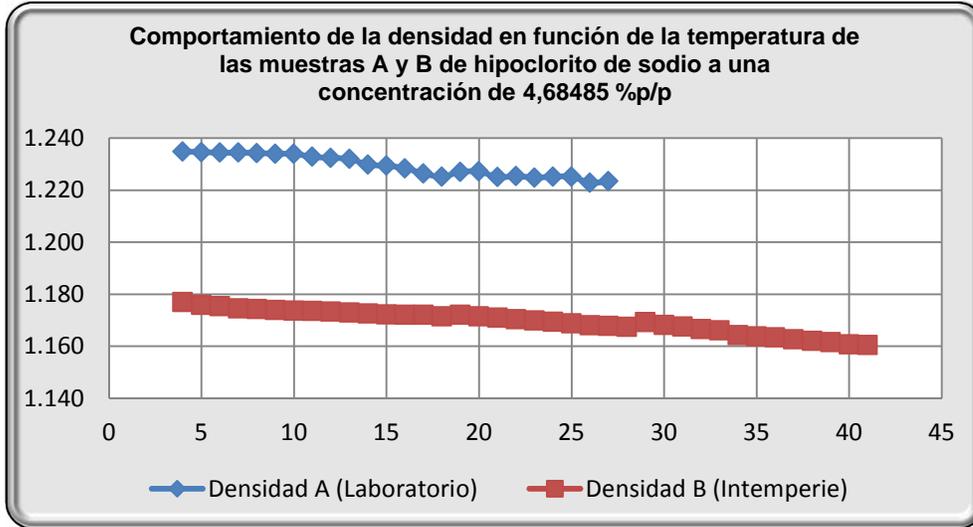
Fuente: sección apéndice, tabla 6, empleando Microsoft Excel.

Figura 17. **Densidad vs temperatura a 4,92225 % p/p**



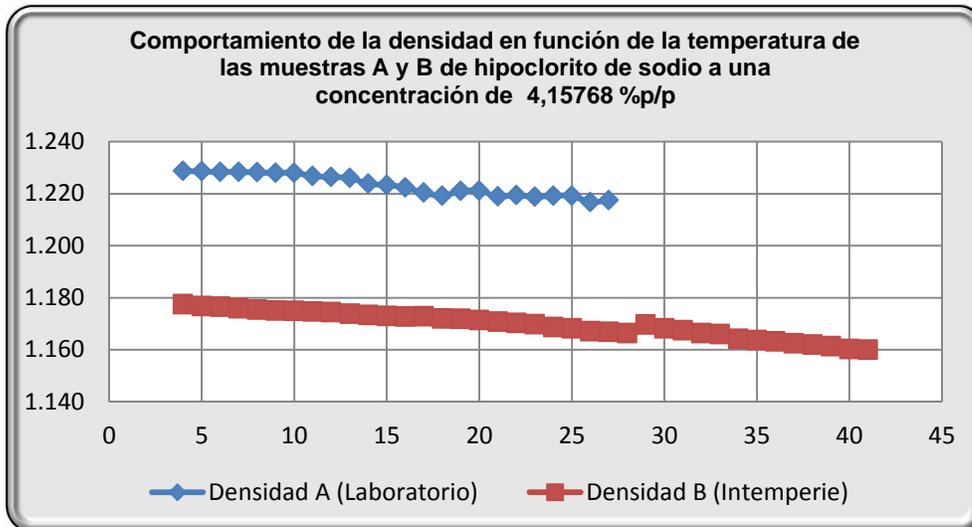
Fuente: sección apéndice, tabla 6, empleando Microsoft Excel.

Figura 18. Densidad vs temperatura a 4,68485 % p/p



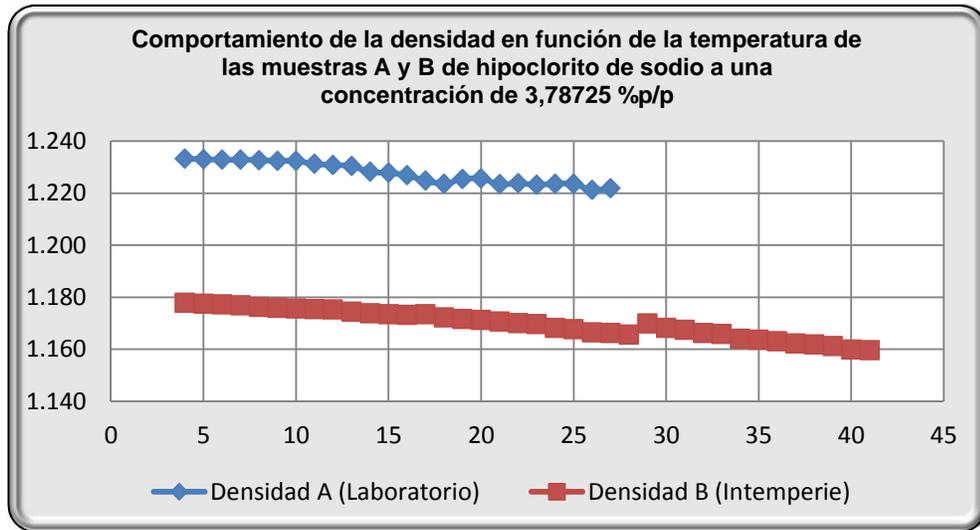
Fuente: sección apéndice, tabla 6, empleando Microsoft Excel.

Figura 19. Densidad vs temperatura a 4,15768 % p/p



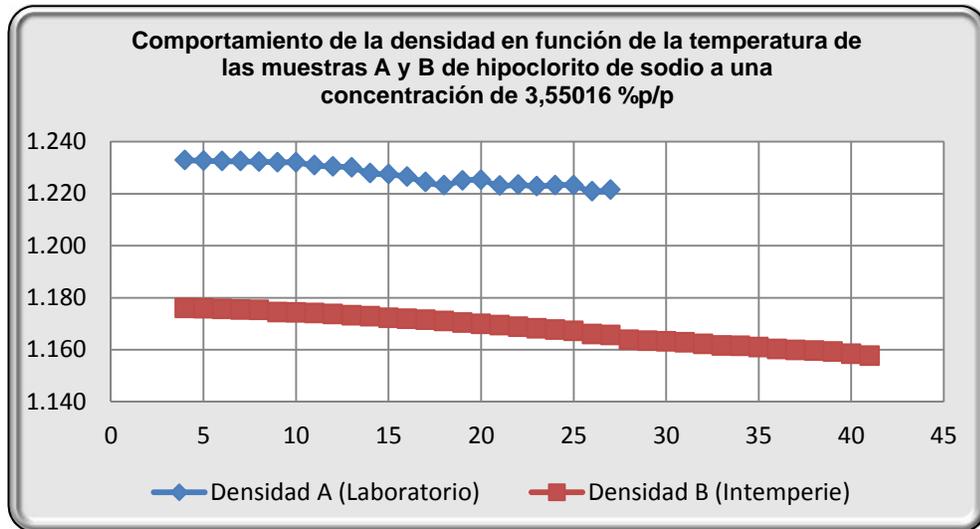
Fuente: sección apéndice, tabla 7, empleando Microsoft Excel.

Figura 20. **Densidad vs temperatura a 3,78725 % p/p**



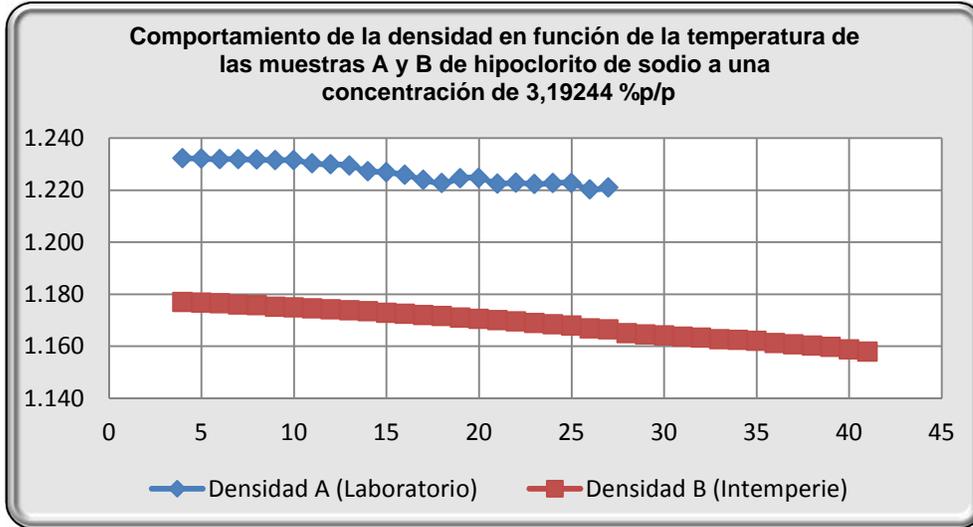
Fuente: sección apéndice, tabla 7, empleando Microsoft Excel.

Figura 21. **Densidad vs temperatura a 3,55016 % p/p**



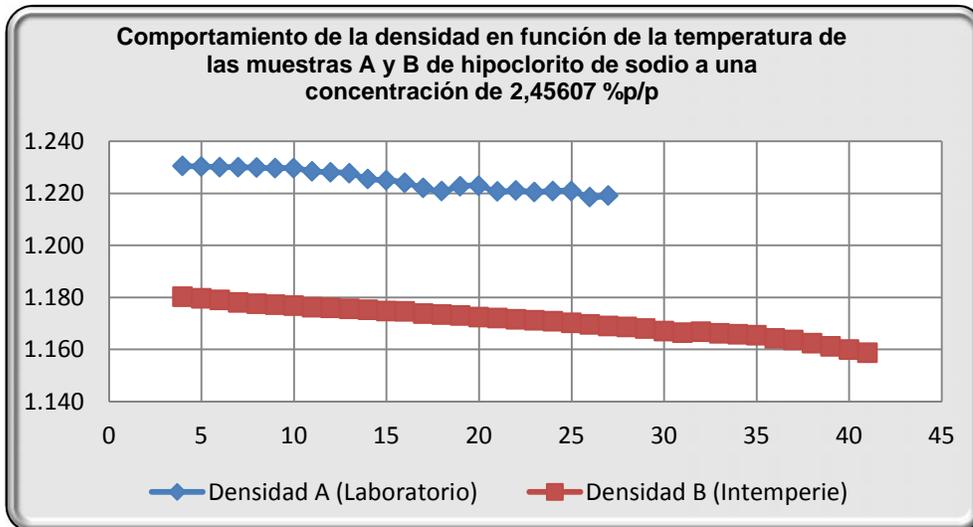
Fuente: sección apéndice, tabla 7, empleando Microsoft Excel.

Figura 22. Densidad vs temperatura a 3,19244 % p/p



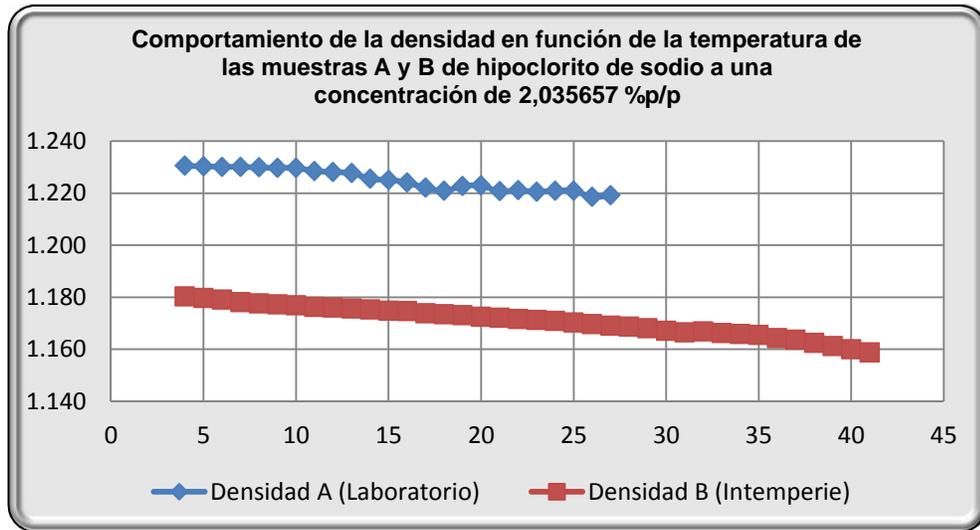
Fuente: sección apéndice, tabla 8, empleando Microsoft Excel.

Figura 23. Densidad vs temperatura a 2,45607 % p/p



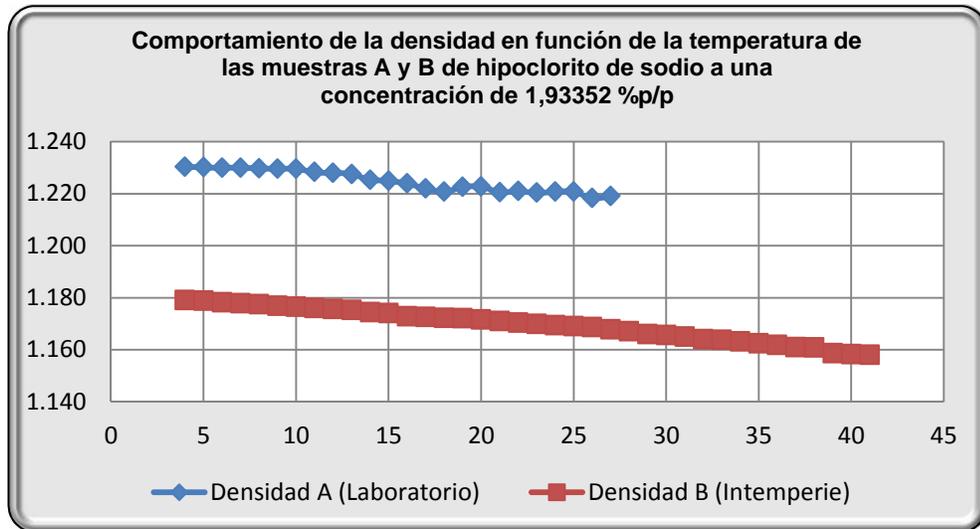
Fuente: sección apéndice, tabla 8, empleando Microsoft Excel.

Figura 24. **Densidad vs temperatura a 2,03557 % p/p**



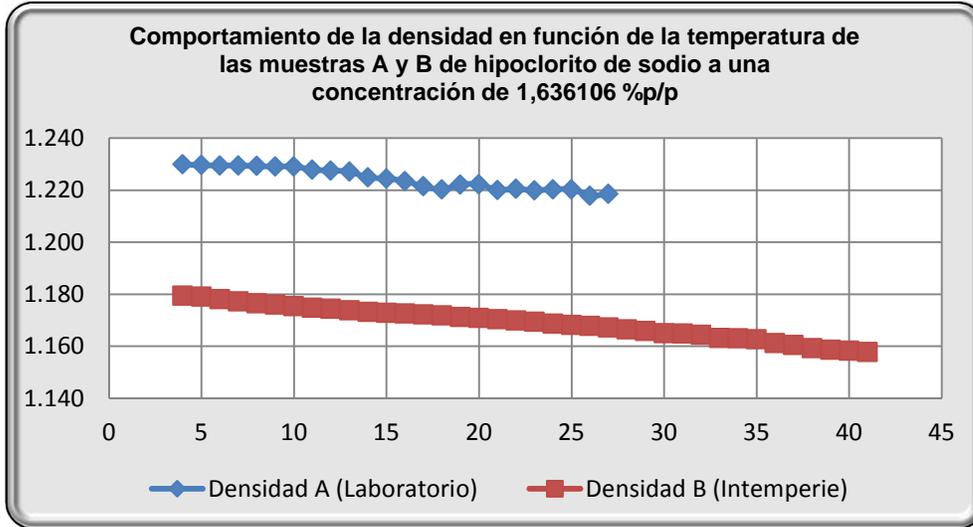
Fuente: sección apéndice, tabla 8, empleando Microsoft Excel.

Figura 25. **Densidad vs temperatura a 1,93352 % p/p**



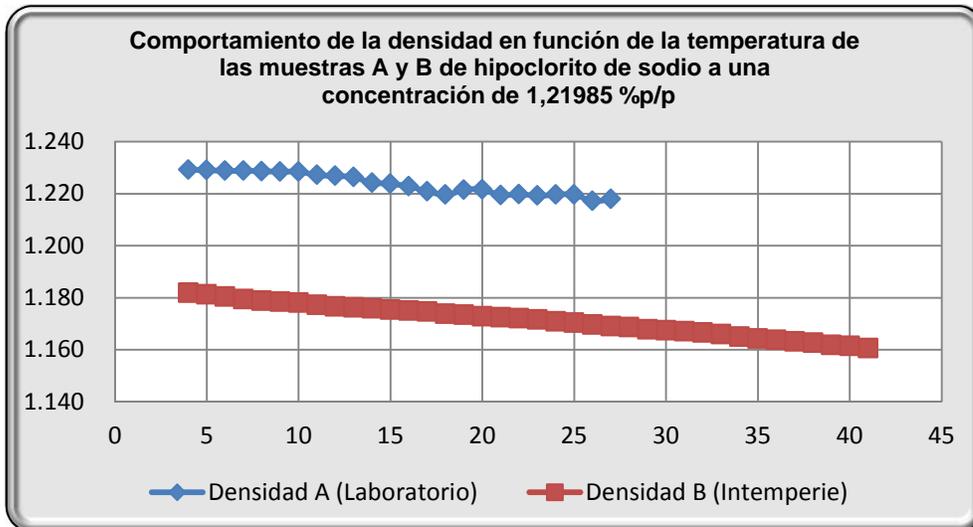
Fuente: sección apéndice, tabla 9, empleando Microsoft Excel.

Figura 26. Densidad vs temperatura a 1,63606 % p/p



Fuente: sección apéndice, tabla 9, empleando Microsoft Excel.

Figura 27. Densidad vs temperatura a 1,21985 % p/p

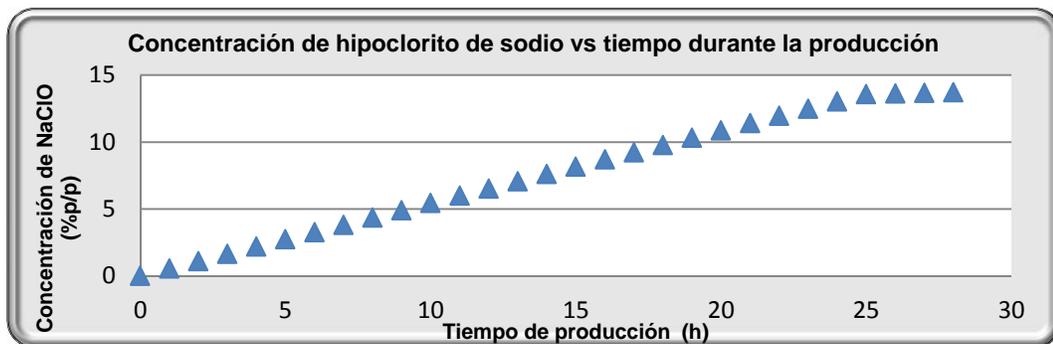


Fuente: sección apéndice, tabla 9, empleando Microsoft Excel.

#### 4.2. Concentración de hipoclorito de sodio en función del tiempo

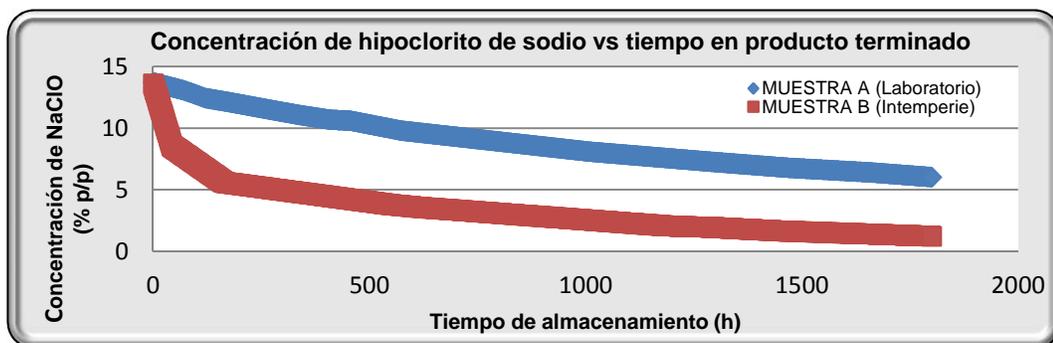
Se muestra el comportamiento de la concentración de hipoclorito de sodio durante el tiempo de producción y en el período de almacenamiento.

Figura 28. **Comportamiento de la concentración de NaClO durante la producción**



Fuente: sección apéndice, tabla 10, empleando Microsoft Excel.

Figura 29. **Degradación de la concentración de NaClO en producto almacenado**

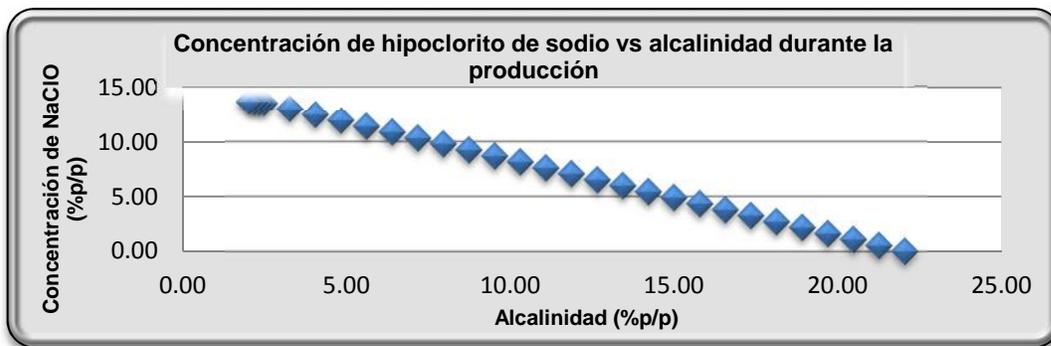


Fuente: sección apéndice, tabla 11, empleando Microsoft Excel.

### 4.3. Concentración de hipoclorito de sodio en función de alcalinidad

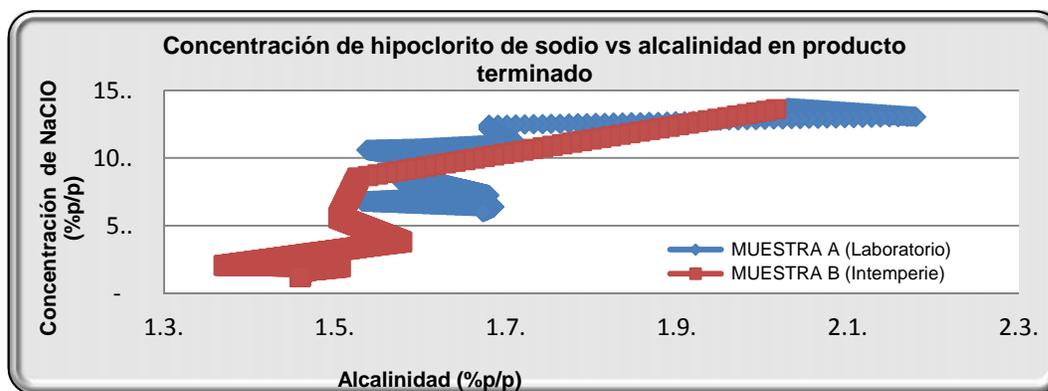
Se muestra el comportamiento de la concentración de hipoclorito de sodio respecto a la alcalinidad durante producción y en almacenamiento.

Figura 30. Comportamiento de la concentración de hipoclorito de sodio en relación con la alcalinidad durante la producción



Fuente: sección apéndice, tabla 12, empleando Microsoft Excel.

Figura 31. Degradación de la concentración de hipoclorito de sodio en relación con la alcalinidad en producto terminado

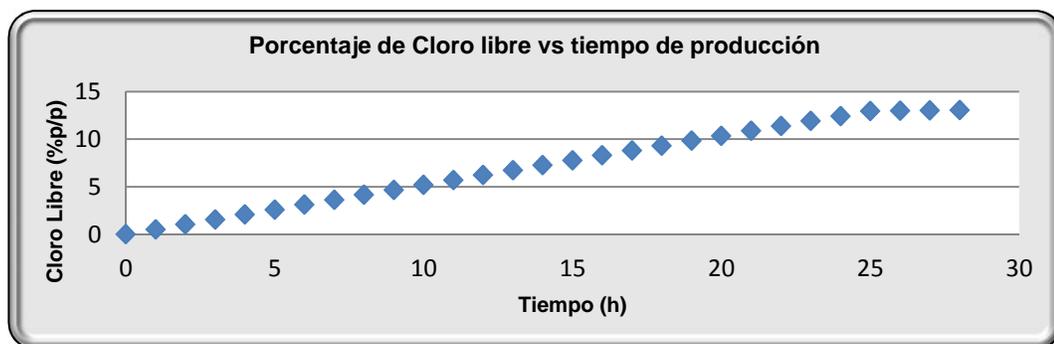


Fuente: sección apéndice, tabla 13, empleando Microsoft Excel.

#### 4.4. Porcentaje de cloro libre en función del tiempo

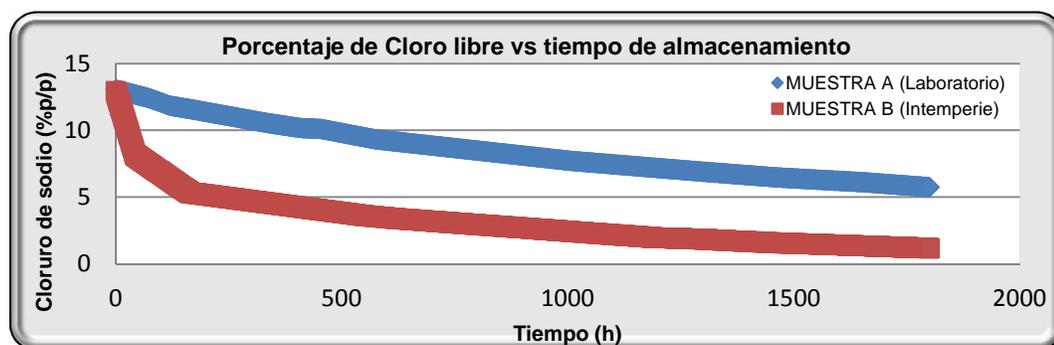
En esta sección se muestra el comportamiento del cloro libre durante el tiempo de producción y en el período de almacenamiento.

Figura 32. **Comportamiento del cloruro de sodio durante el tiempo de producción**



Fuente: sección apéndice, tabla 14, empleando Microsoft Excel.

Figura 33. **Degradación de cloro libre durante el tiempo de almacenamiento**

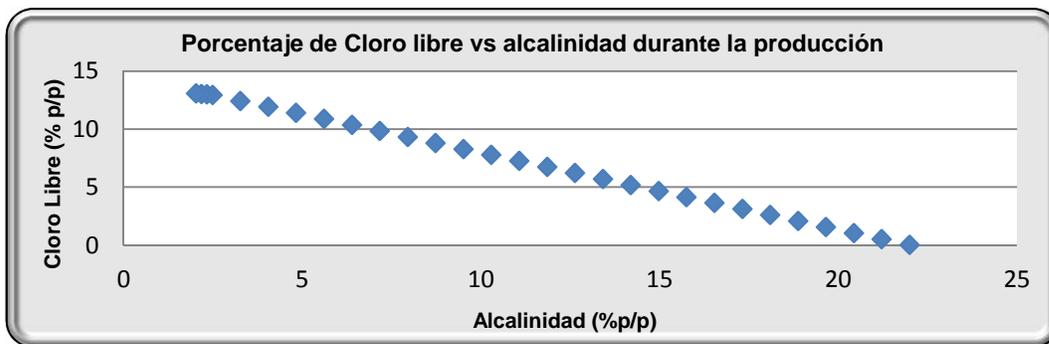


Fuente: sección apéndice, tabla 15, empleando Microsoft Excel.

#### 4.5. Porcentaje de cloro libre en función de la alcalinidad

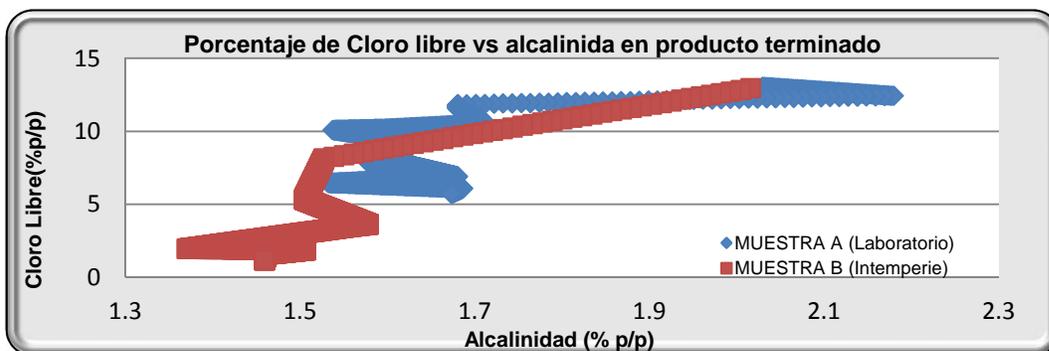
Se muestra el comportamiento de cloro libre respecto a la alcalinidad, tanto en producción como en el período de almacenamiento.

Figura 34. **Comparación del comportamiento de cloro libre respecto a la alcalinidad durante el proceso de producción**



Fuente: sección apéndice, tabla 16, empleando Microsoft Excel.

Figura 35. **Comparación del comportamiento de cloro libre respecto a la alcalinidad durante el almacenamiento**

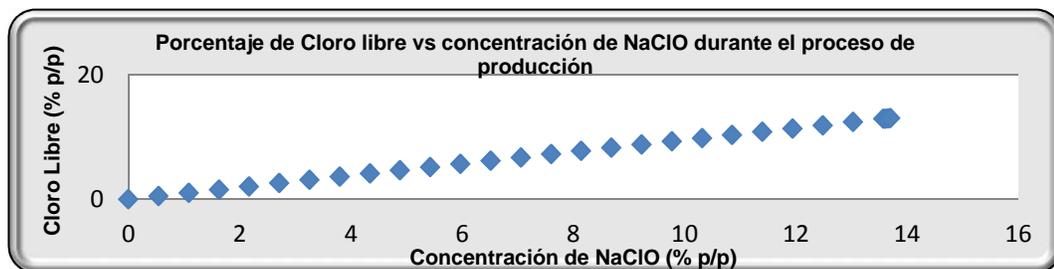


Fuente: sección apéndice, tabla 17, empleando Microsoft Excel.

#### 4.6. Porcentaje de cloro libre en función de la concentración de hipoclorito de sodio

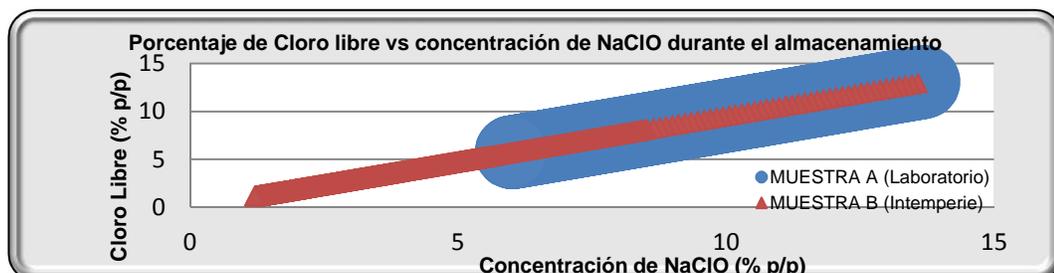
Se muestra el comportamiento de cloro libre respecto a la concentración de hipoclorito de sodio, tanto en producción como en almacenamiento.

Figura 36. **Comparación del comportamiento de cloro libre respecto a la concentración de hipoclorito de sodio durante el proceso de producción**



Fuente: sección apéndice, tabla 18, empleando Microsoft Excel.

Figura 37. **Comparación del comportamiento de cloro libre respecto a la concentración de hipoclorito de sodio durante el almacenamiento**

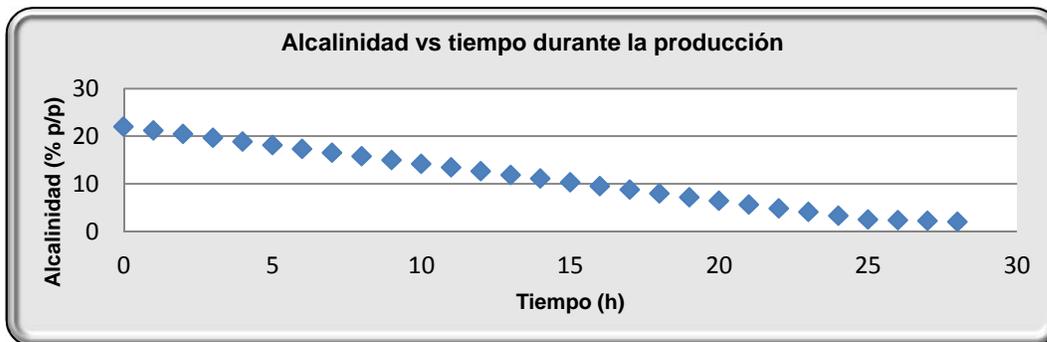


Fuente: sección apéndice, tabla 19, empleando Microsoft Excel.

#### 4.7. Alcalinidad en función del tiempo

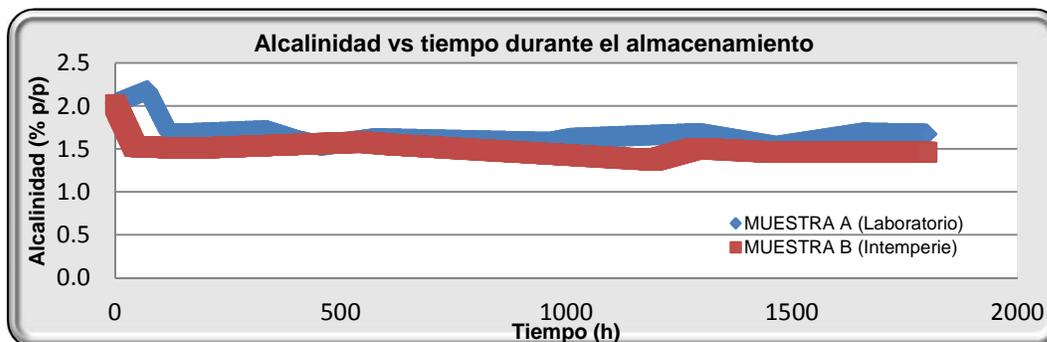
Se muestra el comportamiento de la alcalinidad, durante el tiempo de producción y en el período de almacenamiento.

Figura 38. Comportamiento de la alcalinidad durante el tiempo de producción



Fuente: sección apéndice, tabla 20, empleando Microsoft Excel.

Figura 39. Comportamiento de la alcalinidad durante el tiempo de almacenamiento



Fuente: sección apéndice, tabla 21, empleando Microsoft Excel.

#### 4.8. Cinética de reacción que se da en el hipoclorito de sodio

Durante la producción reacciona al cloro gas con el hidróxido de sodio dando como producto el hipoclorito de sodio cuya velocidad de reacción se da en la siguiente tabla.

Tabla I. **Cinética de reacción del hipoclorito de sodio**

Velocidad específica de reacción del hipoclorito de sodio <b>0,6099 molL<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup></b>
Orden de reacción es <b>0</b>

Fuente: resultados de laboratorio.

#### 4.9. Análisis de varianza

Con esto se pretende analizar si las hipótesis alternativa y nula planteadas anteriormente, son aceptables o no, es decir, si la degradación del hipoclorito de sodio es afectado por las condiciones de almacenamiento, o no.

Tabla II. **Resumen del análisis de varianza de las muestras A y B**

<b>RESUMEN</b>				
<b>Grupos</b>	<b>Cuenta</b>	<b>Suma</b>	<b>Promedio</b>	<b>Varianza</b>
<b>Almacenado dentro de laboratorio</b>	1801,000	16021,745	8,896	4,348
<b>Almacenado al intemperie</b>	1801,000	5972,974	3,316	4,103

Fuente: resultados de laboratorio.

Tabla III. **Análisis de varianza de las muestras A y B**

<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>						
<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
<b>Entre grupos</b>	28 033,812	1.000	28 033,812	6 634,476	0.000	3,844
<b>Dentro de los grupos</b>	15 211,710	3 600,000	4,226			
<b>Total</b>	43245,522	3 601,000				

Fuente: resultados de laboratorio.

#### **4.10. Condiciones de almacenamiento**

Las condiciones adecuadas para el almacenamiento del producto terminado para que no se degrade rápidamente son las siguientes:

- Recipientes oscuros y bien cerrados
- Recipientes de polietileno
- Temperatura menor a 25 °C
- Área ventilada
- Que no le pegue la luz directamente
- Que la bodega de almacenaje tenga temperatura controlada
- El producto no esté más 6 días a la intemperie



## 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En los resultados se incluyeron gráficas que muestran el comportamiento de las propiedades fisicoquímicas, para poder observar el cambio que se tiene ya como producto envasado y cómo se ve afectado por las condiciones de almacenamiento, pero realmente no tienen un cambio significativo por ser un sistema controlado, y la temperatura se mantiene constante porque se utiliza un sistema de enfriamiento.

De los objetivos específicos, el primero es evaluar la tendencia de la densidad respecto a la temperatura a concentración constante, para dos muestras retenidas en diferentes circunstancias. Siendo la muestra "A" almacenada a condiciones controladas y la muestra "B" en condiciones no controladas, con temperaturas máximas de 26 y 41 °C respectivamente. Esto implica que para la muestra "A", por ser de lenta degradación se forma cloruro de sodio y clorato de sodio; en la muestra "B" por ser de rápida disminución se produce cloruro de sodio y clorito de sodio.

En la figura 1, se ve una notable diferencia en el comportamiento de la densidad de cada muestra respecto a la temperatura, debido a que los enlaces iónicos están fuertemente unidos por la alta concentración de ambas, y el tiempo de almacenaje que es diferente. Obviamente, para una misma concentración de 13,5712, la muestra "A" estuvo 14 horas almacenada, mientras que la muestra "B" solo 1,5 horas.

De igual forma, en las figuras 2 a la 27 se observa un comportamiento similar, teniendo una tendencia lineal a medida que decrece la concentración,

porque con el tiempo las muestras se degradan a diferente velocidad, resultado de las condiciones de almacenamiento, mostrando que en circunstancias controladas es más lenta la degradación del producto. También se observó, que sin importar la concentración a la que esté la solución de hipoclorito de sodio, la densidad siempre tiende a disminuir con el aumento de la temperatura, llegando a ser lineal a concentraciones bajas en ambas muestras, indicando que al tener menos cantidad de cationes y aniones presentes en la solución, ceden con facilidad ante el cambio de temperatura, porque no forman enlaces con otras moléculas en la solución.

En las figuras 28 y 29, se observa el comportamiento del hipoclorito de sodio respecto el tiempo en producción y almacenamiento respectivamente. La concentración de hipoclorito de sodio es el resultado de la reacción del hidróxido de sodio con el cloro gas en un universo controlado, es por ello, que durante el proceso, la concentración aumenta de forma lineal hasta llegar a un punto donde tiende a ser constante, y por ende implica que disminuya la cantidad de soda caustica hasta que desaparece casi por completo dando lugar al hipoclorito de sodio y cloro libre. De lo observado, se deduce que la concentración es inversamente proporcional a la alcalinidad.

En almacenamiento, la muestra "A" disminuye de forma lineal y a paso constante, mientras que la muestra B, expone una degradación más rápida antes de las doscientas horas y luego tiende a ser lineal, esta variación de degradación es debido a las condiciones de almacenamiento, ya que a fuertes cambios de temperatura provoca una brusca degradación del producto en menos tiempo que si se almacena a condiciones controladas, por la volatilidad de cloro.

En las figuras 30 y 31, se muestra el comportamiento de la concentración de hipoclorito de sodio respecto a la alcalinidad. En producción tiende a ser lineal la disminución de hidróxido de sodio conforme aumenta la concentración de hipoclorito de sodio, implicando dependencia de este último respecto a la alcalinidad. Por el contrario, en el producto envasado se determina que son independientes, porque no es una reacción reversible, tal como lo muestra la figura 31, donde la degradación de concentración de hipoclorito de sodio es más notable que la disminución de alcalinidad.

De las figura 32 y 33 se puede determinar que el comportamiento de cloro libre es similar a la concentración de hipoclorito de sodio, tanto en producción como en producto terminado. Por tanto, se manifiesta que al igual que la concentración de hipoclorito de sodio, el porcentaje de cloro libre se ve afectado por las condiciones ambientales durante el almacenamiento, descomponiéndose fácilmente a altas temperaturas debido a su volatilidad, en cuyo caso la velocidad de reacción será más rápida. Esta diferencia se hace notoria en las gráficas, mostrando para el primer caso un descenso lineal y constante, mientras que para el segundo caso, se da una disminución brusca y rápida en los primeros días, y al llegar a un porcentaje de cloro baja aproximadamente a 5 %, la disminución sigue constante y lineal.

Al igual que lo anterior, el comportamiento del cloro libre respecto a la alcalinidad es similar al comportamiento de la concentración de hipoclorito de sodio respecto a dicha alcalinidad, como se observa en las figuras 34 y 35. El cloro libre no afecta al hidróxido de sodio, son independientes en su degradación. Dejando en claro la influencia de las condiciones de almacenamiento.

En las figuras 36 y 37, se puede notar que el porcentaje de cloro libre es directamente proporcional a la concentración de hipoclorito de sodio, tanto en el tiempo de producción como en el de almacenamiento, independientemente de la alcalinidad de cada muestra y de las condiciones de almacenamiento.

Por último, en las figuras 38 y 39 el comportamiento de la alcalinidad durante la producción tiende a disminuir linealmente, mientras que en producto terminado tiende a ser constante después de aproximadamente 50 horas de guardadas a diferentes condiciones de almacenamiento. Por lo visto en las anteriores figuras que implican alcalinidad y en esta última, se percibe que la alcalinidad no afecta la degradación del hipoclorito de sodio ni la del porcentaje de cloro libre en el producto terminado, por lo que se mantiene en el mismo rango durante pasa el tiempo.

Como bien se sabe, la velocidad de reacción aumenta al incrementarse la concentración de hipoclorito de sodio, o lo que es lo mismo, al disminuir la concentración de hidróxido de sodio, durante el proceso de producción, y por ende aumenta la frecuencia de colisión. Es por ello que la cinética de reacción del hipoclorito de sodio es la misma que se obtiene para la concentración de alcalinidad por ser inversamente proporcional. Y como el orden de reacción controla la concentración a dicha velocidad, se tiene que la cinética química a la que se forma el hipoclorito de sodio es de  $0,6099 \text{ mol/L}\cdot\text{s}$ , que es la misma velocidad con la que disminuye la concentración de la alcalinidad.

Respecto al análisis Anova, la hipótesis alternativa se refiere a que las condiciones de almacenamiento no contribuyen a la degradación del hipoclorito de sodio, mientras que la hipótesis nula hace referencia a que si favorece a la degradación del producto final, independientemente de la concentración inicial de almacenamiento. Por lo tanto, según la tabla con los resultados, se tiene

que el valor de probabilidad de F es mucho menor al 5 % considerado y que el valor de F es mucho mayor al valor crítico de F, por lo que es significativa la hipótesis nula “Ho” con lo que se acepta que “existen diferencias significativas en el rendimiento de producción que correlaciona la temperatura de reacción y de almacenamiento influyendo en la cinética de reacción y degradación del hipoclorito de sodio”.

Las condiciones adecuadas para el almacenamiento del producto terminado para que no se degrade rápidamente deben tomar en cuenta el tiempo que permanecerá sin ser distribuido, las condiciones ambientales del día, el tipo de envase en el que debe guardarse, la temperatura y área donde deberá estar. Por ello es recomendable lo siguiente:

- Usar recipientes oscuros y bien cerrados, preferiblemente de polietileno.
- Almacenar a temperatura menor a 25 °C, en un área ventilada y que no le pegue la luz directamente.
- El producto no esté más 6 días a la intemperie.

De esta manera no se ve afectada la vida útil del hipoclorito de sodio en el producto terminado.



## CONCLUSIONES

1. Las propiedades fisicoquímicas del hipoclorito de sodio durante el proceso no tienen un cambio significativo.
2. Durante el proceso, la temperatura se mantiene constante por su sistema de enfriamiento.
3. Según los resultados, la densidad tiende a disminuir respecto a la temperatura a una concentración constante.
4. El producto almacenado en circunstancias ambientales se degrada más rápido que a condiciones controladas.
5. Según lo observado en los resultados, sin importar la concentración a la que esté la solución de hipoclorito de sodio, la densidad siempre tiende a disminuir con el aumento de la temperatura.
6. Las condiciones de almacenamiento afectan la vida útil del hipoclorito de sodio.
7. Según los resultados, la concentración de hipoclorito de sodio es inversamente proporcional a la alcalinidad durante la producción.
8. Por lo observado, la concentración de hipoclorito de sodio es independiente de la alcalinidad en el producto terminado.

9. Entre más concentración de hipoclorito de sodio, la solución no es influenciada por el efecto de la temperatura.
10. El porcentaje de cloro libre aumenta con el tiempo que transcurre en producción en un sistema controlado.
11. Las condiciones de almacenamiento afectan el porcentaje de cloro libre.
12. Según los resultados, el porcentaje de cloro libre es inversamente proporcional a la alcalinidad durante la producción.
13. Por lo observado, el porcentaje de cloro libre es independiente de la alcalinidad en el producto terminado.
14. Por los resultados obtenidos, se concluye que el porcentaje de cloro libre es directamente proporcional a la concentración de hipoclorito de sodio, tanto producción como en almacenamiento.
15. La alcalinidad tiende a ser constante durante el producto envasado.
16. La cinética de reacción del hipoclorito de sodio es la misma que se obtiene para la concentración de alcalinidad.
17. Según la cinética de reacción obtenida, el hipoclorito de sodio tiene mayor vida útil durante el almacenamiento a condiciones controladas.
18. Según el análisis Anova, las condiciones de almacenamiento del producto envasado si afecta la vida útil del hipoclorito de sodio.

19. El producto terminado debe almacenarse en un sistema controlado.
20. Con base en los resultados, se concluye que el tiempo de almacenaje no debe ser mayor a una semana.
21. Las propiedades fisicoquímicas del hipoclorito de sodio en producto terminado varían según las condiciones a las que se almacenen.



## RECOMENDACIONES

1. Despachar en el menor tiempo posible el producto si no se cuenta con un ambiente controlado para su almacenamiento.
2. No mantener almacenado el producto más de una semana.
3. Realizar mantenimiento periódicamente a los intercambiadores iónicos para su buen funcionamiento.
4. Cerrar bien los recipientes que contienen el producto terminado para que no exista ningún tipo de fuga.
5. Al transportar no sobrecargar los recipientes al colocar uno encima de otro para que no se doblen y produzcan algún tipo de incidente.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Academia. *Cinética informe*. [en línea]. <[http://www.academia.edu/9045065/Cinetica\\_informe?login=&email\\_was\\_taken=true&login=&email\\_was\\_taken=true](http://www.academia.edu/9045065/Cinetica_informe?login=&email_was_taken=true&login=&email_was_taken=true)> [Consulta: 20 de enero de 2015].
2. ANIQ. *Cloro*. [en línea]. <[http://www.aniq.org.mx/pqta/pdf/Manual%20del%20Cloro%20\(LIT\).pdf](http://www.aniq.org.mx/pqta/pdf/Manual%20del%20Cloro%20(LIT).pdf)> [Consulta: 18 de octubre de 2013].
3. BÁILLO MORENO, Amparo. *Guión para realizar ANOVA I con Excel*. España: Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Matemáticas, 2010. 2 p.
4. Colombia. Ministerio de Ambiente. *Lineamientos técnicos para la atención de emergencias con hipoclorito de sodio*. [en línea]. <<http://www.minambiente.gob.co/documentos/Guia18.pdf>> [Consulta: 15 de octubre de 2013].
5. FOGLER, H. Scott. *Elementos de ingeniería química*. 3aed. México: Pearson Education, 2008. 968 p.
6. LinkedIn Corporation. *Las reacciones químicas*. [en línea]. <<http://es.slideshare.net/Aguilamapache/lasreaccioesquimicasylaestequiometraengeneral>> [Consulta: 29 de enero de 2015].

7. \_\_\_\_\_. *Guía para elaboración de artículos científicos*. [en línea]. <[http://www.slideshare.net/felixsigno/redaccion-articulo-cientifico?qid=39f503f6-9be3-4da9-9073-5995e5559109&v=default&b=&from\\_search=4](http://www.slideshare.net/felixsigno/redaccion-articulo-cientifico?qid=39f503f6-9be3-4da9-9073-5995e5559109&v=default&b=&from_search=4)>. [Consulta: 29 de enero de 2015].
8. Monografías. *Calidad de lejías* [en línea]. <<http://www.monografias.com/trabajos82/controlcalidadejias/controlcalidad-lejias.shtml>> [Consulta: 14 de febrero de 2014].
9. Real Academia Española. *Felipe IV*. [en línea] <<http://dle.rae.es/?id=yplehqm&o=h>>. [Consulta: 6 de noviembre de 2015].
10. RINCÓN ARCE, Sonia. *Determinación del cloro activo*. [en línea]. <<http://html.rincondelvago.com/determinacion-del-cloro-ativo.html>> [Consulta: 13 de febrero de 2014].
11. SENCAMER. *Gobierno de Venezuela*. [en línea]. <<http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/3664-01.pdf>> [Consulta: 19 de agosto de 2013].
12. UNAM. *Química* [en línea]. <<http://www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/22hipocloritona.pdf>> [Consulta: 20 octubre de 2013].
13. WIKIPEDIA. *Análisis de varianza* [en línea]. <[http://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis\\_de\\_la\\_varianza](http://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_de_la_varianza)> [Consulta: 14 de febrero de 2014].

## APÉNDICES

Tabla I

**Densidad de la muestra A y B a concentración en porcentaje peso/peso de hipoclorito de sodio a 13,57120, 13,03420 y 12,42161, en un intervalo de temperatura de 4 a 41°C**

[NaClO]	13,57120		13,03420		12,42161	
T (°C)	Densidad A (Laboratorio)	Densidad B (Intemperie)	Densidad A (Laboratorio)	Densidad B (Intemperie)	Densidad A (Laboratorio)	Densidad B (Intemperie)
4	1,24851	1,26034	1,24767	1,25063	1,24969	1,23956
5	1,24831	1,25974	1,24747	1,25026	1,24949	1,23946
6	1,24810	1,25854	1,24727	1,24904	1,24929	1,23821
7	1,24810	1,25813	1,24727	1,24924	1,24929	1,23909
8	1,24790	1,25773	1,24706	1,24854	1,24908	1,23805
9	1,24770	1,25633	1,24686	1,24727	1,24888	1,23692
10	1,24770	1,25813	1,24686	1,24885	1,24888	1,23827
11	1,24648	1,25633	1,24564	1,24722	1,24766	1,23683
12	1,24608	1,25593	1,24524	1,24684	1,24726	1,23647
13	1,24567	1,25413	1,24483	1,24523	1,24685	1,23508
14	1,24344	1,25373	1,24260	1,24473	1,24462	1,23445
15	1,24303	1,25353	1,24220	1,24470	1,24421	1,23462
16	1,24202	1,25573	1,24118	1,24669	1,24320	1,23637
17	1,23999	1,25413	1,23916	1,24528	1,24117	1,23517
18	1,23877	1,26374	1,23794	1,25367	1,23995	1,24218
19	1,24060	1,26354	1,23976	1,25347	1,24177	1,24198
20	1,24080	1,26614	1,23997	1,25578	1,24198	1,24395
21	1,23857	1,26194	1,23774	1,25204	1,23974	1,24075
22	1,23898	1,26174	1,23814	1,25184	1,24015	1,24055
23	1,23837	1,25974	1,23753	1,25003	1,23954	1,23895
24	1,23877	1,26414	1,23794	1,25418	1,23995	1,24281
25	1,23877	1,26234	1,23794	1,25238	1,23995	1,24101
26	1,23634	1,26214	1,23551	1,25241	1,23751	1,24131
27	1,23706	1,26194	1,23623	1,25206	1,23823	1,24079
28		1,26174		1,25207		1,24105
29		1,26034		1,25022		1,23869
30		1,25613		1,24664		1,23581
31		1,25233		1,24305		1,23246
32		1,25193		1,24267		1,23210
33		1,24632		1,23764		1,22773
34		1,24432		1,23570		1,22587
35		1,25173		1,24245		1,23186
36		1,25213		1,24283		1,23221
37		1,25153		1,24212		1,23138
38		1,25173		1,24228		1,23149
39		1,24832		1,23945		1,22932
40		1,24972		1,24072		1,23045
41		1,25153		1,24231		1,23180

Fuente: Resultados de laboratorio.

Tabla II

Densidad de la muestra A y B a concentración en porcentaje peso/peso de hipoclorito de sodio a 12,12084, 11,04945 y 10,66714 en un intervalo de temperatura de 4 a 41°C

[NaClO]	12,12084		11,04945		10,66714	
T (°C)	Densidad A (Laboratorio)	Densidad B (Intemperie)	Densidad A (Laboratorio)	Densidad B (Intemperie)	Densidad A (Laboratorio)	Densidad B (Intemperie)
4	1,24969	1,23412	1,23917	1,21475	1,24724	1,20784
5	1,24949	1,23415	1,23896	1,21525	1,24704	1,20851
6	1,24929	1,23289	1,23876	1,21395	1,24683	1,20719
7	1,24929	1,23411	1,23876	1,21635	1,24683	1,21002
8	1,24908	1,23290	1,23856	1,21455	1,24663	1,20800
9	1,24888	1,23184	1,23836	1,21375	1,24643	1,20730
10	1,24888	1,23307	1,23836	1,21455	1,24643	1,20794
11	1,24766	1,23173	1,23715	1,21355	1,24521	1,20706
12	1,24726	1,23138	1,23675	1,21325	1,24481	1,20678
13	1,24685	1,23010	1,23635	1,21235	1,24440	1,20602
14	1,24462	1,22941	1,23413	1,21145	1,24217	1,20504
15	1,24421	1,22967	1,23373	1,21205	1,24177	1,20576
16	1,24320	1,23130	1,23272	1,21325	1,24075	1,20681
17	1,24117	1,23022	1,23071	1,21255	1,23873	1,20625
18	1,23995	1,23654	1,22950	1,21645	1,23751	1,20928
19	1,24177	1,23634	1,23131	1,21625	1,23933	1,20908
20	1,24198	1,23814	1,23151	1,21745	1,23954	1,21007
21	1,23974	1,23520	1,22930	1,21545	1,23731	1,20840
22	1,24015	1,23500	1,22970	1,21525	1,23771	1,20820
23	1,23954	1,23352	1,22910	1,21415	1,23710	1,20724
24	1,23995	1,23723	1,22950	1,21735	1,23751	1,21026
25	1,23995	1,23543	1,22950	1,21555	1,23751	1,20846
26	1,23751	1,23586	1,22708	1,21645	1,23508	1,20953
27	1,23823	1,23526	1,22780	1,21555	1,23580	1,20852
28		1,23564		1,21635		1,20947
29		1,23302		1,21285		1,20565
30		1,23049		1,21155		1,20479
31		1,22726		1,20874		1,20214
32		1,22692		1,20844		1,20185
33		1,22287		1,20554		1,19936
34		1,22104		1,20384		1,19770
35		1,22666		1,20814		1,20154
36		1,22700		1,20844		1,20182
37		1,22611		1,20734		1,20064
38		1,22620		1,20734		1,20061
39		1,22435		1,20664		1,20032
40		1,22541		1,20744		1,20103
41		1,22663		1,20824		1,20168

Fuente: Resultados de laboratorio.

Tabla III

Densidad de la muestra A y B a concentración en porcentaje peso/peso de hipoclorito de sodio a 10,57814, 9,76638 y 8,53125, en un intervalo de temperatura de 4 a 41°C

[NaClO]	10,57814		9,76638		8,53125	
T (°C)	Densidad A (Laboratorio)	Densidad B (Intemperie)	Densidad A (Laboratorio)	Densidad B (Intemperie)	Densidad A (Laboratorio)	Densidad B (Intemperie)
4	1,24118	1,20623	1,24320	1,19155	1,24064	1,16923
5	1,24098	1,20694	1,24300	1,19262	1,24044	1,17083
6	1,24078	1,20562	1,24280	1,19126	1,24024	1,16943
7	1,24078	1,20855	1,24280	1,19510	1,24024	1,17463
8	1,24058	1,20648	1,24260	1,19258	1,24004	1,17143
9	1,24038	1,20579	1,24239	1,19209	1,23983	1,17123
10	1,24038	1,20641	1,24239	1,19238	1,23983	1,17103
11	1,23917	1,20555	1,24118	1,19178	1,23862	1,17083
12	1,23876	1,20527	1,24078	1,19153	1,23822	1,17063
13	1,23836	1,20454	1,24037	1,19109	1,23782	1,17063
14	1,23614	1,20355	1,23815	1,18994	1,23560	1,16923
15	1,23574	1,20430	1,23775	1,19094	1,23520	1,17063
16	1,23473	1,20531	1,23674	1,19164	1,23419	1,17083
17	1,23271	1,20478	1,23472	1,19139	1,23217	1,17103
18	1,23150	1,20761	1,23350	1,19239	1,23096	1,16923
19	1,23332	1,20741	1,23532	1,19219	1,23278	1,16903
20	1,23352	1,20835	1,23553	1,19268	1,23298	1,16883
21	1,23130	1,20676	1,23330	1,19180	1,23076	1,16903
22	1,23170	1,20656	1,23371	1,19160	1,23117	1,16883
23	1,23110	1,20563	1,23310	1,19095	1,23056	1,16863
24	1,23150	1,20861	1,23350	1,19355	1,23096	1,17063
25	1,23150	1,20681	1,23350	1,19174	1,23096	1,16883
26	1,22908	1,20791	1,23108	1,19321	1,22854	1,17083
27	1,22980	1,20688	1,23180	1,19195	1,22926	1,16923
28		1,20787		1,19326		1,17103
29		1,20397		1,18868		1,16542
30		1,20321		1,18886		1,16702
31		1,20060		1,18657		1,16522
32		1,20032		1,18632		1,16502
33		1,19792		1,18479		1,16482
34		1,19627		1,18325		1,16342
35		1,20000		1,18597		1,16462
36		1,20028		1,18622		1,16482
37		1,19908		1,18486		1,16322
38		1,19905		1,18476		1,16302
39		1,19885		1,18544		1,16502
40		1,19954		1,18593		1,16522
41		1,20015		1,18622		1,16502

Fuente: Resultados de laboratorio.

Tabla IV

Densidad de la muestra A y B a concentración en porcentaje peso/peso de hipoclorito de sodio a 8,25767, 8,06961 y 7,22839, en un intervalo de temperatura de 4 a 41°C

[NaClO]	8,25767		8,06961		7,22839	
T (°C)	Densidad A (Laboratorio)	Densidad B (Intemperie)	Densidad A (Laboratorio)	Densidad B (Intemperie)	Densidad A (Laboratorio)	Densidad B (Intemperie)
4	1,24565	1,16988	1,24118	1,17032	1,24724	1,17232
5	1,24545	1,17114	1,24098	1,17136	1,24704	1,17233
6	1,24524	1,16982	1,24078	1,17008	1,24683	1,17128
7	1,24524	1,17441	1,24078	1,17426	1,24683	1,17357
8	1,24504	1,17150	1,24058	1,17155	1,24663	1,17178
9	1,24484	1,17130	1,24038	1,17135	1,24643	1,17158
10	1,24484	1,17110	1,24038	1,17115	1,24643	1,17138
11	1,24363	1,17090	1,23917	1,17095	1,24521	1,17118
12	1,24322	1,17070	1,23876	1,17075	1,24481	1,17098
13	1,24282	1,17070	1,23836	1,17075	1,24440	1,17098
14	1,24059	1,16941	1,23614	1,16954	1,24217	1,17011
15	1,24018	1,17067	1,23574	1,17069	1,24177	1,17080
16	1,23917	1,17083	1,23473	1,17083	1,24075	1,17083
17	1,23715	1,17099	1,23271	1,17097	1,23873	1,17085
18	1,23593	1,16937	1,23150	1,16948	1,23751	1,16993
19	1,23776	1,16934	1,23332	1,16956	1,23933	1,17053
20	1,23796	1,16910	1,23352	1,16930	1,23954	1,17015
21	1,23573	1,16925	1,23130	1,16940	1,23731	1,17009
22	1,23614	1,16901	1,23170	1,16914	1,23771	1,16971
23	1,23553	1,16877	1,23110	1,16888	1,23710	1,16933
24	1,23593	1,17063	1,23150	1,17063	1,23751	1,17063
25	1,23593	1,16894	1,23150	1,16901	1,23751	1,16936
26	1,23350	1,17072	1,22908	1,17064	1,23508	1,17030
27	1,23422	1,16925	1,22980	1,16926	1,23580	1,16931
28		1,17086		1,17075		1,17023
29		1,16574		1,16595		1,16692
30		1,16712		1,16718		1,16747
31		1,16544		1,16560		1,16628
32		1,16521		1,16533		1,16591
33		1,16497		1,16507		1,16553
34		1,16351		1,16358		1,16386
35		1,16457		1,16453		1,16436
36		1,16473		1,16466		1,16438
37		1,16320		1,16319		1,16313
38		1,16296		1,16292		1,16275
39		1,16472		1,16452		1,16361
40		1,16489		1,16466		1,16363
41		1,16469		1,16446		1,16343

Fuente: Resultados de laboratorio.

Tabla V

Densidad de la muestra A y B a concentración en porcentaje peso/peso de hipoclorito de sodio a 6,76815, 6,38938 y 5,58043, en un intervalo de temperatura de 4 a 41°C

[NaClO]	6,76815		6,38938		5,58043	
T (°C)	Densidad A (Laboratorio)	Densidad B (Intemperie)	Densidad A (Laboratorio)	Densidad B (Intemperie)	Densidad A (Laboratorio)	Densidad B (Intemperie)
4	1,24502	1,17341	1,22947	1,17431	1,23603	1,17624
5	1,24481	1,17286	1,22927	1,17330	1,23583	1,17423
6	1,24461	1,17194	1,22907	1,17248	1,23563	1,17363
7	1,24461	1,17320	1,22907	1,17289	1,23563	1,17223
8	1,24441	1,17191	1,22887	1,17201	1,23543	1,17223
9	1,24421	1,17171	1,22867	1,17181	1,23523	1,17203
10	1,24421	1,17151	1,22867	1,17161	1,23523	1,17183
11	1,24299	1,17131	1,22747	1,17141	1,23402	1,17163
12	1,24259	1,17111	1,22707	1,17121	1,23362	1,17143
13	1,24218	1,17111	1,22668	1,17121	1,23322	1,17143
14	1,23996	1,17042	1,22448	1,17068	1,23101	1,17123
15	1,23955	1,17087	1,22408	1,17092	1,23061	1,17103
16	1,23854	1,17083	1,22308	1,17083	1,22961	1,17083
17	1,23652	1,17079	1,22108	1,17074	1,22760	1,17063
18	1,23531	1,17018	1,21988	1,17039	1,22639	1,17083
19	1,23713	1,17106	1,22168	1,17150	1,22820	1,17243
20	1,23733	1,17062	1,22188	1,17101	1,22840	1,17183
21	1,23510	1,17046	1,21968	1,17077	1,22619	1,17143
22	1,23551	1,17002	1,22008	1,17028	1,22659	1,17083
23	1,23490	1,16958	1,21948	1,16979	1,22599	1,17023
24	1,23531	1,17063	1,21988	1,17063	1,22639	1,17063
25	1,23531	1,16954	1,21988	1,16970	1,22639	1,17003
26	1,23288	1,17011	1,21749	1,16996	1,22398	1,16963
27	1,23359	1,16935	1,21819	1,16937	1,22469	1,16943
28		1,16995		1,16972		1,16923
29		1,16746		1,16789		1,16883
30		1,16762		1,16775		1,16802
31		1,16666		1,16697		1,16762
32		1,16622		1,16647		1,16702
33		1,16578		1,16598		1,16642
34		1,16402		1,16415		1,16442
35		1,16426		1,16418		1,16402
36		1,16422		1,16409		1,16382
37		1,16310		1,16307		1,16302
38		1,16266		1,16258		1,16242
39		1,16311		1,16270		1,16182
40		1,16307		1,16261		1,16162
41		1,16287		1,16241		1,16142

Fuente: Resultados de laboratorio.

Tabla VI

Densidad de la muestra A y B a concentración en porcentaje peso/peso de hipoclorito de sodio a 5,09944, 4,92225 y 4,68485, en un intervalo de temperatura de 4 a 41°C

[NaClO]	5,09944		4,92225		4,68485	
T (°C)	Densidad A (Laboratorio)	Densidad B (Intemperie)	Densidad A (Laboratorio)	Densidad B (Intemperie)	Densidad A (Laboratorio)	Densidad B (Intemperie)
4	1,24493	1,17666	1,23886	1,17682	1,23482	1,17704
5	1,24472	1,17509	1,23866	1,17541	1,23462	1,17583
6	1,24452	1,17460	1,23846	1,17495	1,23442	1,17543
7	1,24452	1,17347	1,23846	1,17392	1,23442	1,17453
8	1,24432	1,17330	1,23826	1,17370	1,23422	1,17423
9	1,24412	1,17305	1,23806	1,17343	1,23402	1,17393
10	1,24412	1,17285	1,23806	1,17323	1,23402	1,17373
11	1,24290	1,17265	1,23685	1,17303	1,23281	1,17353
12	1,24250	1,17245	1,23645	1,17283	1,23241	1,17333
13	1,24209	1,17223	1,23604	1,17253	1,23201	1,17293
14	1,23987	1,17193	1,23383	1,17218	1,22980	1,17253
15	1,23946	1,17167	1,23343	1,17191	1,22940	1,17223
16	1,23845	1,17147	1,23242	1,17171	1,22840	1,17203
17	1,23643	1,17138	1,23041	1,17166	1,22639	1,17203
18	1,23522	1,17120	1,22920	1,17134	1,22519	1,17153
19	1,23704	1,17222	1,23101	1,17214	1,22699	1,17203
20	1,23724	1,17167	1,23121	1,17161	1,22720	1,17153
21	1,23501	1,17121	1,22900	1,17114	1,22499	1,17103
22	1,23542	1,17061	1,22940	1,17053	1,22539	1,17043
23	1,23481	1,17007	1,22880	1,17001	1,22479	1,16993
24	1,23522	1,16998	1,22920	1,16975	1,22519	1,16943
25	1,23522	1,16938	1,22920	1,16915	1,22519	1,16883
26	1,23279	1,16877	1,22678	1,16845	1,22278	1,16803
27	1,23350	1,16857	1,22750	1,16825	1,22349	1,16783
28		1,16826		1,16790		1,16743
29		1,16909		1,16919		1,16933
30		1,16808		1,16810		1,16812
31		1,16757		1,16755		1,16752
32		1,16681		1,16673		1,16662
33		1,16626		1,16620		1,16612
34		1,16431		1,16427		1,16422
35		1,16391		1,16387		1,16382
36		1,16361		1,16353		1,16342
37		1,16280		1,16272		1,16262
38		1,16226		1,16220		1,16212
39		1,16166		1,16160		1,16152
40		1,16113		1,16096		1,16072
41		1,16093		1,16076		1,16052

Fuente: Resultados de laboratorio.

Tabla VII

Densidad de la muestra A y B a concentración en porcentaje peso/peso de hipoclorito de sodio a 4,15768, 3,78725 y 3,55016, en un intervalo de temperatura de 4 a 41°C

[NaClO]	4,15768		3,78725		3,55016	
T (°C)	Densidad A (Laboratorio)	Densidad B (Intemperie)	Densidad A (Laboratorio)	Densidad B (Intemperie)	Densidad A (Laboratorio)	Densidad B (Intemperie)
4	1,22876	1,17751	1,23323	1,17784	1,23286	1,17603
5	1,22856	1,17677	1,23303	1,17744	1,23266	1,17583
6	1,22836	1,17649	1,23283	1,17724	1,23246	1,17563
7	1,22836	1,17588	1,23283	1,17684	1,23246	1,17543
8	1,22816	1,17541	1,23263	1,17624	1,23226	1,17523
9	1,22796	1,17505	1,23243	1,17583	1,23206	1,17443
10	1,22796	1,17485	1,23243	1,17563	1,23206	1,17423
11	1,22676	1,17465	1,23123	1,17543	1,23086	1,17403
12	1,22636	1,17445	1,23083	1,17523	1,23046	1,17363
13	1,22596	1,17381	1,23043	1,17443	1,23006	1,17323
14	1,22377	1,17329	1,22822	1,17383	1,22785	1,17283
15	1,22337	1,17294	1,22782	1,17343	1,22745	1,17223
16	1,22237	1,17273	1,22682	1,17323	1,22645	1,17183
17	1,22037	1,17285	1,22482	1,17343	1,22445	1,17143
18	1,21917	1,17194	1,22361	1,17223	1,22325	1,17103
19	1,22097	1,17179	1,22542	1,17163	1,22505	1,17043
20	1,22117	1,17135	1,22562	1,17123	1,22525	1,16983
21	1,21897	1,17079	1,22341	1,17063	1,22305	1,16943
22	1,21937	1,17019	1,22381	1,17003	1,22345	1,16883
23	1,21877	1,16975	1,22321	1,16963	1,22285	1,16823
24	1,21917	1,16872	1,22361	1,16823	1,22325	1,16762
25	1,21917	1,16812	1,22361	1,16762	1,22325	1,16722
26	1,21678	1,16708	1,22121	1,16642	1,22084	1,16602
27	1,21749	1,16688	1,22192	1,16622	1,22155	1,16562
28		1,16637		1,16562		1,16382
29		1,16962		1,16983		1,16342
30		1,16818		1,16823		1,16322
31		1,16747		1,16742		1,16282
32		1,16639		1,16622		1,16222
33		1,16595		1,16582		1,16162
34		1,16410		1,16402		1,16142
35		1,16370		1,16362		1,16102
36		1,16318		1,16302		1,16022
37		1,16238		1,16222		1,15981
38		1,16194		1,16182		1,15961
39		1,16134		1,16122		1,15921
40		1,16019		1,15981		1,15841
41		1,15999		1,15961		1,15761

Fuente: Resultados de laboratorio.

Tabla VIII

Densidad de la muestra A y B a concentración en porcentaje peso/peso de hipoclorito de sodio a 3,19244, 2,45607 y 2,03557, en un intervalo de temperatura de 4 a 41°C

[NaClO]	3,19244		2,45607		2,03557	
T (°C)	Densidad A (Laboratorio)	Densidad B (Intemperie)	Densidad A (Laboratorio)	Densidad B (Intemperie)	Densidad A (Laboratorio)	Densidad B (Intemperie)
4	1,23230	1,17703	1,23115	1,17907	1,23050	1,18024
5	1,23210	1,17673	1,23095	1,17858	1,23030	1,17964
6	1,23190	1,17644	1,23075	1,17809	1,23010	1,17904
7	1,23190	1,17605	1,23075	1,17731	1,23010	1,17804
8	1,23170	1,17580	1,23055	1,17697	1,22990	1,17764
9	1,23150	1,17509	1,23035	1,17646	1,22970	1,17724
10	1,23150	1,17485	1,23035	1,17611	1,22970	1,17684
11	1,23030	1,17455	1,22915	1,17562	1,22850	1,17624
12	1,22990	1,17420	1,22875	1,17537	1,22810	1,17603
13	1,22950	1,17380	1,22835	1,17497	1,22770	1,17563
14	1,22730	1,17340	1,22615	1,17457	1,22550	1,17523
15	1,22690	1,17284	1,22575	1,17411	1,22510	1,17483
16	1,22590	1,17249	1,22475	1,17385	1,22410	1,17463
17	1,22389	1,17200	1,22275	1,17316	1,22210	1,17383
18	1,22269	1,17160	1,22155	1,17276	1,22090	1,17343
19	1,22449	1,17104	1,22335	1,17231	1,22270	1,17303
20	1,22469	1,17044	1,22355	1,17171	1,22290	1,17243
21	1,22249	1,17004	1,22135	1,17131	1,22070	1,17203
22	1,22289	1,16949	1,22175	1,17085	1,22110	1,17163
23	1,22229	1,16893	1,22115	1,17039	1,22050	1,17123
24	1,22269	1,16838	1,22155	1,16994	1,22090	1,17083
25	1,22269	1,16793	1,22155	1,16939	1,22090	1,17023
26	1,22029	1,16687	1,21915	1,16863	1,21850	1,16963
27	1,22100	1,16643	1,21986	1,16808	1,21921	1,16903
28		1,16495		1,16729		1,16863
29		1,16451		1,16675		1,16802
30		1,16412		1,16597		1,16702
31		1,16367		1,16542		1,16642
32		1,16331		1,16554		1,16682
33		1,16270		1,16494		1,16622
34		1,16246		1,16460		1,16582
35		1,16206		1,16420		1,16542
36		1,16116		1,16311		1,16422
37		1,16071		1,16256		1,16362
38		1,16028		1,16164		1,16242
39		1,15969		1,16066		1,16122
40		1,15879		1,15957		1,16002
41		1,15790		1,15848		1,15881

Fuente: Resultados de laboratorio.

Tabla IX

Densidad de la muestra A y B a concentración en porcentaje peso/peso de hipoclorito de sodio a 1,93352, 1,63606 y 1,21985, en un intervalo de temperatura de 4 a 41°C

[NaClO]	1,93352		1,63606		1,21985	
T (°C)	Densidad A (Laboratorio)	Densidad B (Intemperie)	Densidad A (Laboratorio)	Densidad B (Intemperie)	Densidad A (Laboratorio)	Densidad B (Intemperie)
4	1,23034	1,17904	1,22987	1,17944	1,22922	1,18184
5	1,23014	1,17884	1,22967	1,17904	1,22902	1,18124
6	1,22994	1,17824	1,22947	1,17804	1,22882	1,18044
7	1,22994	1,17784	1,22947	1,17724	1,22882	1,17944
8	1,22974	1,17744	1,22927	1,17644	1,22862	1,17884
9	1,22954	1,17684	1,22907	1,17603	1,22842	1,17844
10	1,22954	1,17644	1,22907	1,17543	1,22842	1,17804
11	1,22834	1,17603	1,22787	1,17483	1,22723	1,17724
12	1,22794	1,17563	1,22747	1,17443	1,22683	1,17664
13	1,22754	1,17523	1,22708	1,17383	1,22643	1,17624
14	1,22534	1,17443	1,22488	1,17323	1,22423	1,17583
15	1,22494	1,17403	1,22448	1,17283	1,22383	1,17543
16	1,22394	1,17283	1,22348	1,17263	1,22283	1,17503
17	1,22194	1,17263	1,22148	1,17223	1,22083	1,17463
18	1,22074	1,17223	1,22028	1,17183	1,21964	1,17383
19	1,22254	1,17203	1,22208	1,17123	1,22143	1,17343
20	1,22274	1,17163	1,22228	1,17083	1,22163	1,17283
21	1,22054	1,17103	1,22008	1,17043	1,21944	1,17243
22	1,22094	1,17043	1,22048	1,16983	1,21984	1,17203
23	1,22034	1,16983	1,21988	1,16943	1,21924	1,17163
24	1,22074	1,16943	1,22028	1,16863	1,21964	1,17083
25	1,22074	1,16903	1,22028	1,16823	1,21964	1,17043
26	1,21834	1,16863	1,21788	1,16782	1,21724	1,16963
27	1,21905	1,16782	1,21859	1,16722	1,21795	1,16903
28		1,16702		1,16642		1,16863
29		1,16602		1,16582		1,16782
30		1,16562		1,16502		1,16742
31		1,16502		1,16482		1,16702
32		1,16402		1,16442		1,16662
33		1,16382		1,16322		1,16602
34		1,16322		1,16302		1,16502
35		1,16242		1,16262		1,16422
36		1,16182		1,16122		1,16382
37		1,16102		1,16042		1,16322
38		1,16082		1,15921		1,16262
39		1,15861		1,15861		1,16182
40		1,15821		1,15821		1,16142
41		1,15801		1,15781		1,16062

Fuente: Resultados de laboratorio.

Tabla X  
**Concentración de hipoclorito de sodio en función  
del tiempo durante la producción**

Dato No.	Tiempo transcurrido en la producción (h)	Concentración de Hipoclorito de sodio (%p/p)
1	0	0,00000
2	1	0,54285
3	2	1,08570
4	3	1,62854
5	4	2,17139
6	5	2,71424
7	6	3,25709
8	7	3,79994
9	8	4,34279
10	9	4,88563
11	10	5,42848
12	11	5,97133
13	12	6,51418
14	13	7,05703
15	14	7,59987
16	15	8,14272
17	16	8,68557
18	17	9,22842
19	18	9,77127
20	19	10,31412
21	20	10,85696
22	21	11,39981
23	22	11,94266
24	23	12,48551
25	24	13,02836
26	25	13,57120
27	26	13,61414
28	27	13,65707
29	28	13,70000

Fuente: Resultados de laboratorio.

Tabla XI  
**Concentración de hipoclorito de sodio en función  
del tiempo durante el almacenamiento**

Dato No.	Tiempo de Almacenamiento (h)	Concentración de Hipoclorito de sodio (%p/p)	
		MUESTRA A (Laboratorio)	MUESTRA B (Intemperie)
1	1	13,69088	13,58253
2	2	13,68176	13,46506
3	3	13,67264	13,34759
4	4	13,66352	13,23011
5	5	13,65440	13,11264
6	6	13,64528	12,99517
7	7	13,63616	12,87770
8	8	13,62704	12,76023
9	9	13,61792	12,64276
10	10	13,60879	12,52528
11	11	13,59967	12,40781
12	12	13,59055	12,29034
13	13	13,58143	12,17287
14	14	13,57231	12,05540
15	15	13,56319	11,93793
16	16	13,55407	11,82045
17	17	13,54495	11,70298
18	18	13,53583	11,58551
19	19	13,52671	11,46804
20	20	13,51759	11,35057
21	21	13,50847	11,23310
22	22	13,49935	11,11562
23	23	13,49023	10,99815
24	24	13,48111	10,88068
25	25	13,47199	10,76321
26	26	13,46287	10,64574
27	27	13,45375	10,52827
28	28	13,44463	10,41079
29	29	13,43551	10,29332
30	30	13,42638	10,17585
31	31	13,41726	10,05838
32	32	13,40814	9,94091
33	33	13,39902	9,82344
34	34	13,38990	9,70596
35	35	13,38078	9,58849
36	36	13,37166	9,47102
37	37	13,36254	9,35355
38	38	13,35342	9,23608
39	39	13,34430	9,11861
40	40	13,33518	9,00113
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
1793	1793	6,02659	1,22108
1794	1794	6,02390	1,21985
1795	1795	6,02121	1,21862
1796	1796	6,01852	1,21738
1797	1797	6,01584	1,21615
1798	1798	6,01315	1,21492
1799	1799	6,01046	1,21369
1800	1800	6,00777	1,21246
1801	1801	6,00509	1,21123

Fuente: Resultados de laboratorio.

Tabla XII  
**Concentración de hipoclorito de sodio en función  
de la alcalinidad durante la producción**

Dato No.	Alcalinidad (%p/p)	Concentración de Hipoclorito de sodio (%p/p)
1	22,00000	0,00000
2	21,21972	0,54285
3	20,43944	1,08570
4	19,65915	1,62854
5	18,87887	2,17139
6	18,09859	2,71424
7	17,31831	3,25709
8	16,53803	3,79994
9	15,75775	4,34279
10	14,97746	4,88563
11	14,19718	5,42848
12	13,41690	5,97133
13	12,63662	6,51418
14	11,85634	7,05703
15	11,07605	7,59987
16	10,29577	8,14272
17	9,51549	8,68557
18	8,73521	9,22842
19	7,95493	9,77127
20	7,17465	10,31412
21	6,39436	10,85696
22	5,61408	11,39981
23	4,83380	11,94266
24	4,05352	12,48551
25	3,27324	13,02836
26	2,49295	13,57120
27	2,33787	13,61414
28	2,18278	13,65707
29	2,02770	13,70000

Fuente: Resultados de laboratorio.

Tabla XIII

**Concentración de hipoclorito de sodio en función de la alcalinidad durante el almacenamiento**

Dato No.	Alcalinidad (%p/p)		Concentración de Hipoclorito de sodio (%p/p)	
	MUESTRA A	MUESTRA B	MUESTRA A	MUESTRA B
	(Laboratorio)	(Intemperie)	(Laboratorio)	(Intemperie)
1	2,02978	2,01633	13,69087	13,58252
2	2,03187	2,00497	13,68175	13,46506
3	2,03395	1,99361	13,67263	13,34758
4	2,03604	1,98225	13,66351	13,23011
5	2,03812	1,97089	13,65439	13,11264
6	2,04021	1,95953	13,64527	12,99517
7	2,04229	1,94817	13,63615	12,87769
8	2,04438	1,93681	13,62703	12,76022
9	2,04646	1,92545	13,61791	12,64275
10	2,04855	1,91408	13,60879	12,52528
11	2,05064	1,90272	13,59967	12,40781
12	2,05272	1,89136	13,59055	12,29034
13	2,05481	1,88000	13,58143	12,17287
14	2,05689	1,86864	13,57231	12,05539
15	2,05898	1,85728	13,56319	11,93792
16	2,06106	1,84592	13,55407	11,82045
17	2,06315	1,83456	13,54495	11,70298
18	2,06523	1,82320	13,53583	11,58551
19	2,06732	1,81184	13,52671	11,46803
20	2,06940	1,80047	13,51758	11,35056
21	2,07149	1,78912	13,50846	11,23309
22	2,07358	1,77776	13,49934	11,11562
23	2,07566	1,76640	13,49022	10,99815
24	2,07775	1,75503	13,48110	10,88068
25	2,07983	1,74367	13,47198	10,76320
26	2,08192	1,73231	13,46286	10,64573
27	2,08400	1,72095	13,45374	10,52826
28	2,08609	1,70959	13,44462	10,41079
29	2,08817	1,69823	13,43550	10,29332
30	2,09026	1,68687	13,42638	10,17585
31	2,09235	1,67551	13,41726	10,05838
32	2,09443	1,66415	13,40814	9,94090
33	2,09652	1,65278	13,39902	9,82343
34	2,09860	1,64142	13,38990	9,70596
35	2,10069	1,63006	13,38078	9,58849
36	2,10277	1,61870	13,37166	9,47102
37	2,10486	1,60734	13,36254	9,35354
38	2,10694	1,59598	13,35342	9,23608
39	2,10903	1,58461	13,34430	9,11860
40	2,11111	1,57326	13,33517	9,00113
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
1793	1,67429	1,45965	6,02658	1,22108
1794	1,67420	1,45965	6,02389	1,21984
1795	1,67411	1,45964	6,02121	1,21862
1796	1,67402	1,45964	6,01852	1,21738
1797	1,67393	1,45963	6,01583	1,21615
1798	1,67384	1,45963	6,01314	1,21492
1799	1,67375	1,45962	6,01048	1,21369
1800	1,67366	1,45962	6,00777	1,21245
1801	1,67357	1,45961	6,00508	1,21122

Fuente: Resultados de laboratorio.

Tabla XIV

**Porcentaje de Cloro libre en función del tiempo  
transcurrido durante la producción**

<b>Dato No.</b>	<b>Tiempo transcurrido en la producción (h)</b>	<b>Porcentaje de Cloro Libre (% p/p)</b>
1	0	0,00000
2	1	0,51708
3	2	1,03415
4	3	1,55123
5	4	2,06831
6	5	2,58538
7	6	3,10246
8	7	3,61954
9	8	4,13661
10	9	4,65369
11	10	5,17077
12	11	5,68784
13	12	6,20492
14	13	6,72200
15	14	7,23907
16	15	7,75615
17	16	8,27323
18	17	8,79030
19	18	9,30738
20	19	9,82446
21	20	10,34153
22	21	10,85861
23	22	11,37569
24	23	11,89276
25	24	12,40984
26	25	12,92692
27	26	12,96781
28	27	13,00871
29	28	13,04960

Fuente: Resultados de laboratorio.

Tabla XV  
**Porcentaje de cloro libre en función del tiempo  
durante el almacenamiento**

Dato No.	Tiempo de almacenamiento (h)	Porcentaje de cloro libre (% p/p)	
		MUESTRA A (Laboratorio)	MUESTRA B (Intemperie)
1	1	13,04091	12,93770
2	2	13,03222	12,82581
3	3	13,02354	12,71392
4	4	13,01485	12,60202
5	5	13,00616	12,49013
6	6	12,99747	12,37823
7	7	12,98879	12,26634
8	8	12,98010	12,15444
9	9	12,97141	12,04255
10	10	12,96272	11,93065
11	11	12,95404	11,81876
12	12	12,94535	11,70686
13	13	12,93666	11,59497
14	14	12,92797	11,48307
15	15	12,91929	11,37118
16	16	12,91060	11,25928
17	17	12,90191	11,14739
18	18	12,89322	11,03549
19	19	12,88454	10,92360
20	20	12,87585	10,81170
21	21	12,86716	10,69981
22	22	12,85847	10,58792
23	23	12,84979	10,47602
24	24	12,84110	10,36413
25	25	12,83241	10,25223
26	26	12,82372	10,14034
27	27	12,81504	10,02844
28	28	12,80635	9,91655
29	29	12,79766	9,80465
30	30	12,78897	9,69276
31	31	12,78029	9,58086
32	32	12,77160	9,46897
33	33	12,76291	9,35707
34	34	12,75422	9,24518
35	35	12,74554	9,13328
36	36	12,73685	9,02139
37	37	12,72816	8,90949
38	38	12,71947	8,79760
39	39	12,71079	8,68570
40	40	12,70210	8,57381
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
1793	1793	5,74048	1,16311
1794	1794	5,73792	1,16194
1795	1795	5,73536	1,16076
1796	1796	5,73280	1,15959
1797	1797	5,73024	1,15842
1798	1798	5,72768	1,15724
1799	1799	5,72512	1,15607
1800	1800	5,72256	1,15490
1801	1801	5,72000	1,15373

Fuente: Resultados de laboratorio.

Tabla XVI  
**Porcentaje de Cloro libre en función de la  
 alcalinidad durante la producción**

Dato No.	Alcalinidad (%p/p)	Porcentaje de Cloro Libre (% p/p)
1	22,00000	0,00000
2	21,21972	0,51708
3	20,43944	1,03415
4	19,65915	1,55123
5	18,87887	2,06831
6	18,09859	2,58538
7	17,31831	3,10246
8	16,53803	3,61954
9	15,75775	4,13661
10	14,97746	4,65369
11	14,19718	5,17077
12	13,41690	5,68784
13	12,63662	6,20492
14	11,85634	6,72200
15	11,07605	7,23907
16	10,29577	7,75615
17	9,51549	8,27323
18	8,73521	8,79030
19	7,95493	9,30738
20	7,17465	9,82446
21	6,39436	10,34153
22	5,61408	10,85861
23	4,83380	11,37569
24	4,05352	11,89276
25	3,27324	12,40984
26	2,49295	12,92692
27	2,33787	12,96781
28	2,18278	13,00871
29	2,02770	13,04960

Fuente: Resultados de laboratorio.

**Tabla XVII**  
**Porcentaje de cloro libre en función de la alcalinidad**  
**durante el almacenamiento**

Dato No.	Alcalinidad (%p/p)		Porcentaje de Cloro Libre (% p/p)	
	MUESTRA A (Laboratorio)	MUESTRA B (Intemperie)	MUESTRA A (Laboratorio)	MUESTRA B (Intemperie)
1	2,02979	2,01634	13,04091	12,93770
2	2,03187	2,00498	13,03222	12,82581
3	2,03396	1,99362	13,02354	12,71392
4	2,03604	1,98226	13,01485	12,60202
5	2,03813	1,97089	13,00616	12,49013
6	2,04021	1,95953	12,99747	12,37823
7	2,04230	1,94817	12,98879	12,26634
8	2,04438	1,93681	12,98010	12,15444
9	2,04647	1,92545	12,97141	12,04255
10	2,04855	1,91409	12,96272	11,93065
11	2,05064	1,90273	12,95404	11,81876
12	2,05273	1,89137	12,94535	11,70686
13	2,05481	1,88001	12,93666	11,59497
14	2,05690	1,86865	12,92797	11,48307
15	2,05898	1,85728	12,91929	11,37118
16	2,06107	1,84592	12,91060	11,25928
17	2,06315	1,83456	12,90191	11,14739
18	2,06524	1,82320	12,89322	11,03549
19	2,06732	1,81184	12,88454	10,92360
20	2,06941	1,80048	12,87585	10,81170
21	2,07150	1,78912	12,86716	10,69981
22	2,07358	1,77776	12,85847	10,58792
23	2,07567	1,76640	12,84979	10,47602
24	2,07775	1,75503	12,84110	10,36413
25	2,07984	1,74367	12,83241	10,25223
26	2,08192	1,73231	12,82372	10,14034
27	2,08401	1,72095	12,81504	10,02844
28	2,08609	1,70959	12,80635	9,91655
29	2,08818	1,69823	12,79766	9,80465
30	2,09026	1,68687	12,78897	9,69276
31	2,09235	1,67551	12,78029	9,58086
32	2,09444	1,66415	12,77160	9,46897
33	2,09652	1,65279	12,76291	9,35707
34	2,09861	1,64142	12,75422	9,24518
35	2,10069	1,63006	12,74554	9,13328
36	2,10278	1,61870	12,73685	9,02139
37	2,10486	1,60734	12,72816	8,90949
38	2,10695	1,59598	12,71947	8,79760
39	2,10903	1,58462	12,71079	8,68570
40	2,11112	1,57326	12,70210	8,57381
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
1794	1,67421	1,45965	5,73792	1,16194
1795	1,67411	1,45965	5,73536	1,16076
1796	1,67402	1,45964	5,73280	1,15959
1797	1,67393	1,45964	5,73024	1,15842
1798	1,67384	1,45963	5,72768	1,15724
1799	1,67375	1,45963	5,72512	1,15607
1800	1,67366	1,45962	5,72256	1,15490
1801	1,67357	1,45962	5,72000	1,15373

Fuente: Resultados de laboratorio.

**Tabla XVIII**  
**Porcentaje de Cloro libre en función de la concentración**  
**de hipoclorito de sodio durante la producción**

Dato No.	Concentración de Hipoclorito de sodio (%p/p)	Porcentaje de Cloro Libre (% p/p)
1	0,00000	0,00000
2	0,54285	0,51708
3	1,08570	1,03415
4	1,62854	1,55123
5	2,17139	2,06831
6	2,71424	2,58538
7	3,25709	3,10246
8	3,79994	3,61954
9	4,34279	4,13661
10	4,88563	4,65369
11	5,42848	5,17077
12	5,97133	5,68784
13	6,51418	6,20492
14	7,05703	6,72200
15	7,59987	7,23907
16	8,14272	7,75615
17	8,68557	8,27323
18	9,22842	8,79030
19	9,77127	9,30738
20	10,31412	9,82446
21	10,85696	10,34153
22	11,39981	10,85861
23	11,94266	11,37569
24	12,48551	11,89276
25	13,02836	12,40984
26	13,57120	12,92692
27	13,61414	12,96781
28	13,65707	13,00871
29	13,70000	13,04960

Fuente: Resultados de laboratorio.

**Tabla XIX**  
**Porcentaje de cloro libre en función de la concentración**  
**de hipoclorito de sodio durante el almacenamiento**

Dato No.	Concentración de Hipoclorito de sodio (%p/p)		Porcentaje de Cloro Libre (% p/p)	
	MUESTRAA (Laboratorio)	MUESTRAB (Intemperie)	MUESTRAA (Laboratorio)	MUESTRAB (Intemperie)
1	13,69088	13,58253	13,04091	12,93770
2	13,68176	13,46506	13,03222	12,82581
3	13,67264	13,34759	13,02354	12,71392
4	13,66352	13,23011	13,01485	12,60202
5	13,65440	13,11264	13,00616	12,49013
6	13,64528	12,99517	12,99747	12,37823
7	13,63616	12,87770	12,98879	12,26634
8	13,62704	12,76023	12,98010	12,15444
9	13,61792	12,64276	12,97141	12,04255
10	13,60879	12,52528	12,96272	11,93065
11	13,59967	12,40781	12,95404	11,81876
12	13,59055	12,29034	12,94535	11,70686
13	13,58143	12,17287	12,93666	11,59497
14	13,57231	12,05540	12,92797	11,48307
15	13,56319	11,93793	12,91929	11,37118
16	13,55407	11,82045	12,91060	11,25928
17	13,54495	11,70298	12,90191	11,14739
18	13,53583	11,58551	12,89322	11,03549
19	13,52671	11,46804	12,88454	10,92360
20	13,51759	11,35057	12,87585	10,81170
21	13,50847	11,23310	12,86716	10,69981
22	13,49935	11,11562	12,85847	10,58792
23	13,49023	10,99815	12,84979	10,47602
24	13,48111	10,88068	12,84110	10,36413
25	13,47199	10,76321	12,83241	10,25223
26	13,46287	10,64574	12,82372	10,14034
27	13,45375	10,52827	12,81504	10,02844
28	13,44463	10,41079	12,80635	9,91655
29	13,43551	10,29332	12,79766	9,80465
30	13,42638	10,17585	12,78897	9,69276
31	13,41726	10,05838	12,78029	9,58086
32	13,40814	9,94091	12,77160	9,46897
33	13,39902	9,82344	12,76291	9,35707
34	13,38990	9,70596	12,75422	9,24518
35	13,38078	9,58849	12,74554	9,13328
36	13,37166	9,47102	12,73685	9,02139
37	13,36254	9,35355	12,72816	8,90949
38	13,35342	9,23608	12,71947	8,79760
39	13,34430	9,11861	12,71079	8,68570
40	13,33518	9,00113	12,70210	8,57381
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
1794	6,02390	1,21985	5,73792	1,16194
1795	6,02121	1,21862	5,73536	1,16076
1796	6,01852	1,21738	5,73280	1,15959
1797	6,01584	1,21615	5,73024	1,15842
1798	6,01315	1,21492	5,72768	1,15724
1799	6,01046	1,21369	5,72512	1,15607
1800	6,00777	1,21246	5,72256	1,15490
1801	6,00509	1,21123	5,72000	1,15373

Fuente: Resultados de laboratorio.

**Tabla XX**  
**Alcalinidad en función del tiempo transcurrido**  
**durante la producción**

Dato No.	Tiempo transcurrido en la producción (h)	Alcalinidad (%p/p)
1	0	22,00000
2	1	21,21972
3	2	20,43944
4	3	19,65915
5	4	18,87887
6	5	18,09859
7	6	17,31831
8	7	16,53803
9	8	15,75775
10	9	14,97746
11	10	14,19718
12	11	13,41690
13	12	12,63662
14	13	11,85634
15	14	11,07605
16	15	10,29577
17	16	9,51549
18	17	8,73521
19	18	7,95493
20	19	7,17465
21	20	6,39436
22	21	5,61408
23	22	4,83380
24	23	4,05352
25	24	3,27324
26	25	2,49295
27	26	2,33787
28	27	2,18278
29	28	2,02770

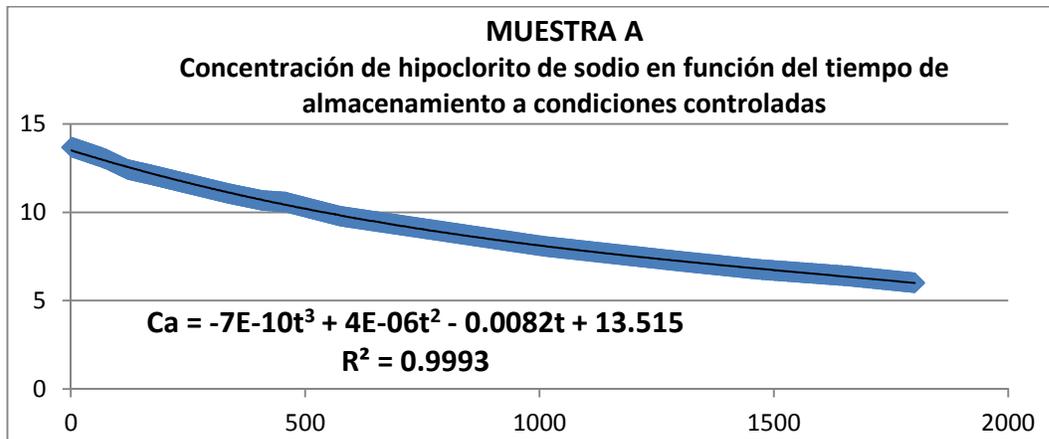
Fuente: Resultados de laboratorio.

Tabla XXI  
**Alcalinidad en función del tiempo transcurrido  
durante el almacenamiento**

Dato No.	Tiempo de almacenamiento (h)	Alcalinidad (%p/p)	
		MUESTRA A (Laboratorio)	MUESTRAB (Intemperie)
1	1	2,02979	2,01634
2	2	2,03187	2,00498
3	3	2,03396	1,99362
4	4	2,03604	1,98226
5	5	2,03813	1,97089
6	6	2,04021	1,95953
7	7	2,04230	1,94817
8	8	2,04438	1,93681
9	9	2,04647	1,92545
10	10	2,04855	1,91409
11	11	2,05064	1,90273
12	12	2,05273	1,89137
13	13	2,05481	1,88001
14	14	2,05690	1,86865
15	15	2,05898	1,85728
16	16	2,06107	1,84592
17	17	2,06315	1,83456
18	18	2,06524	1,82320
19	19	2,06732	1,81184
20	20	2,06941	1,80048
21	21	2,07150	1,78912
22	22	2,07358	1,77776
23	23	2,07567	1,76640
24	24	2,07775	1,75503
25	25	2,07984	1,74367
26	26	2,08192	1,73231
27	27	2,08401	1,72095
28	28	2,08609	1,70959
29	29	2,08818	1,69823
30	30	2,09026	1,68687
31	31	2,09235	1,67551
32	32	2,09444	1,66415
33	33	2,09652	1,65279
34	34	2,09861	1,64142
35	35	2,10069	1,63006
36	36	2,10278	1,61870
37	37	2,10486	1,60734
38	38	2,10695	1,59598
39	39	2,10903	1,58462
40	40	2,11112	1,57326
41	41	2,11321	1,56190
42	42	2,11529	1,55054
43	43	2,11738	1,53918
44	44	2,11946	1,52781
45	45	2,12155	1,52762
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
1797	1797	1,67393	1,45964
1798	1798	1,67384	1,45963
1799	1799	1,67375	1,45963
1800	1800	1,67366	1,45962
1801	1801	1,67357	1,45962

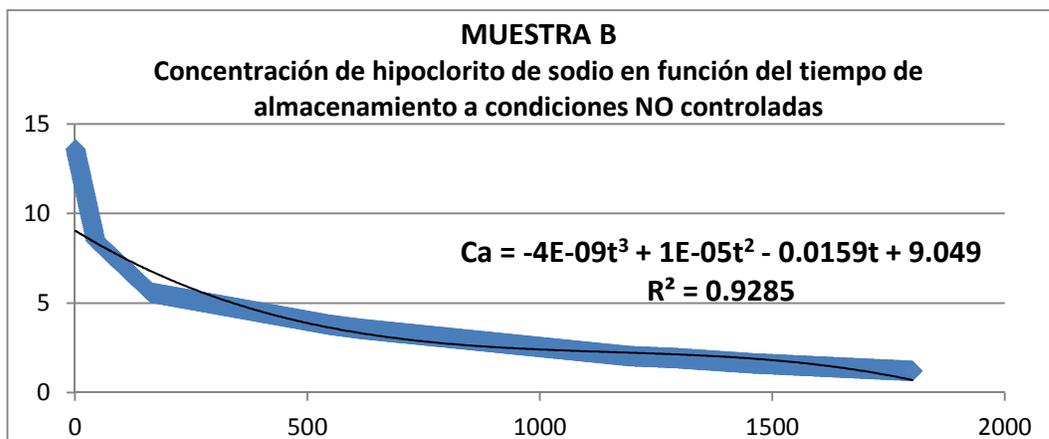
Fuente: Resultados de laboratorio.

Figura 40. Para obtener el polinomio de grado 3 para determinar la derivada de concentración respecto al tiempo de almacenamiento



Fuente: Tabla 9 de la sección apéndice.

Figura 41. Para obtener el polinomio de grado 3 para determinar la derivada de concentración respecto al tiempo de almacenamiento



Fuente: Tabla11 de la sección apéndice.

Tabla XXII

**Ecuación polinómica y su correspondiente derivada respecto al tiempo para la muestra A, a partir de la Figura 40**

<b>MUESTRA A</b> (almacenada dentro del laboratorio a condiciones controladas)	
<b>Ecuación polinómica</b>	$Ca = -(7E-10)t^3 + (4E-06)t^2 - (0,0082)t + 13,515$
<b>Derivada de la ecuación polinómica</b>	$dCa/dt = - 21E-10t^2 + 8E-6t - 0,0082$
<b>Al evaluar t = 0</b>	$dCa/dt = -0,0082$

Fuente: Figura 40.

Tabla XXIII

**Ecuación polinómica y su correspondiente derivada respecto al tiempo para la muestra B, a partir de la gráfica No.41**

<b>MUESTRA B</b> (almacenada al intemperie a condiciones no controladas)	
<b>Ecuación polinómica</b>	$Ca = -(4E-09)t^3 + (1E-05)t^2 - (0,0159)t + 9,049$
<b>Derivada de la ecuación polinómica</b>	$dCa/dt = -(12E-9)t^2 + (2E-5)t - 0,0159$
<b>Al evaluar t = 0</b>	$dCa/dt = -0,0159$

Fuente: Figura 41.

Tabla XXIV

**Datos a graficar y obtener la ecuación lineal para determinar la cinética de reacción a condiciones de almacenamiento controladas**

Tiempo de almacenamiento dentro del laboratorio (h)	dCa/dt	-dCa/dt	LnCa	Ln( -dCa/dt )
1	-0,00819	0,00819	2,61673	-4,80460
2	-0,00818	0,00818	2,61606	-4,80557
3	-0,00818	0,00818	2,61540	-4,80655
4	-0,00817	0,00817	2,61473	-4,80753
5	-0,00816	0,00816	2,61406	-4,80850
6	-0,00815	0,00815	2,61339	-4,80948
7	-0,00814	0,00814	2,61272	-4,81046
8	-0,00814	0,00814	2,61206	-4,81144
9	-0,00813	0,00813	2,61139	-4,81242
10	-0,00812	0,00812	2,61072	-4,81340
11	-0,00811	0,00811	2,61005	-4,81438
12	-0,00810	0,00810	2,60937	-4,81536
13	-0,00810	0,00810	2,60870	-4,81634
14	-0,00809	0,00809	2,60803	-4,81732
15	-0,00808	0,00808	2,60736	-4,81830
16	-0,00807	0,00807	2,60669	-4,81929
17	-0,00806	0,00806	2,60601	-4,82027
18	-0,00806	0,00806	2,60534	-4,82125
19	-0,00805	0,00805	2,60467	-4,82224
20	-0,00804	0,00804	2,60399	-4,82322
21	-0,00803	0,00803	2,60332	-4,82421
22	-0,00803	0,00803	2,60264	-4,82519
23	-0,00802	0,00802	2,60197	-4,82618
24	-0,00801	0,00801	2,60129	-4,82716
25	-0,00800	0,00800	2,60061	-4,82815
26	-0,00799	0,00799	2,59994	-4,82914
27	-0,00799	0,00799	2,59926	-4,83012
28	-0,00798	0,00798	2,59858	-4,83111
29	-0,00797	0,00797	2,59790	-4,83210
30	-0,00796	0,00796	2,59722	-4,83309
31	-0,00795	0,00795	2,59654	-4,83408
32	-0,00795	0,00795	2,59586	-4,83507
33	-0,00794	0,00794	2,59518	-4,83606
34	-0,00793	0,00793	2,59450	-4,83705
35	-0,00792	0,00792	2,59382	-4,83804
36	-0,00791	0,00791	2,59314	-4,83903
37	-0,00791	0,00791	2,59246	-4,84002
38	-0,00790	0,00790	2,59177	-4,84102
39	-0,00789	0,00789	2,59109	-4,84201
40	-0,00788	0,00788	2,59041	-4,84300
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
1793	-0,00061	0,00061	1,79618	-7,40668
1794	-0,00061	0,00061	1,79573	-7,40745
1795	-0,00061	0,00061	1,79529	-7,40821
1796	-0,00061	0,00061	1,79484	-7,40897
1797	-0,00061	0,00061	1,79440	-7,40972
1798	-0,00060	0,00060	1,79395	-7,41047
1799	-0,00060	0,00060	1,79350	-7,41120
1800	-0,00060	0,00060	1,79305	-7,41194
1801	-0,00060	0,00060	1,79261	-7,41266

Fuente: derivada de la ecuación polinómica de la figura 40.

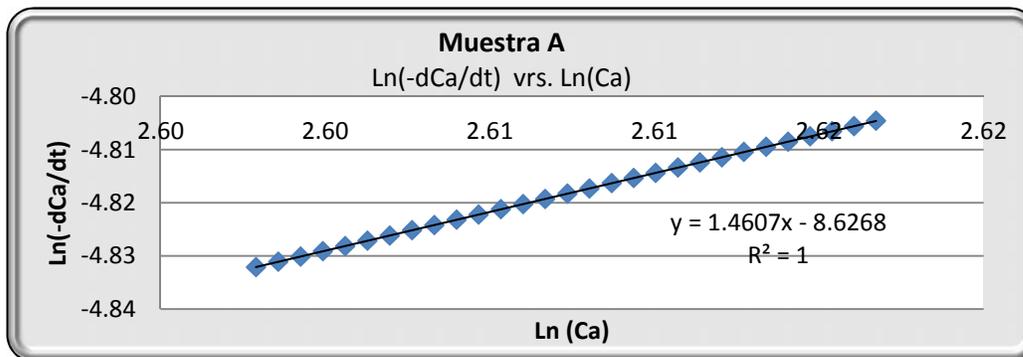
Tabla XXV

Datos a graficar y obtener la ecuación lineal para determinar la cinética de reacción a condiciones de almacenamiento NO controladas

Tiempo de almacenamiento al intemperie (h)	dCa/dt	-dCa/dt	LnCa	Ln( -dCa/dt )
1	-0,01588	0,01588	2,60878	-4,14269
2	-0,01586	0,01586	2,60010	-4,14395
3	-0,01584	0,01584	2,59134	-4,14521
4	-0,01582	0,01582	2,58250	-4,14647
5	-0,01580	0,01580	2,57358	-4,14773
6	-0,01578	0,01578	2,56458	-4,14898
7	-0,01576	0,01576	2,55550	-4,15024
8	-0,01574	0,01574	2,54633	-4,15150
9	-0,01572	0,01572	2,53708	-4,15276
10	-0,01570	0,01570	2,52775	-4,15402
11	-0,01568	0,01568	2,51833	-4,15528
12	-0,01566	0,01566	2,50881	-4,15654
13	-0,01564	0,01564	2,49921	-4,15779
14	-0,01562	0,01562	2,48951	-4,15905
15	-0,01560	0,01560	2,47972	-4,16031
16	-0,01558	0,01558	2,46983	-4,16157
17	-0,01556	0,01556	2,45984	-4,16283
18	-0,01554	0,01554	2,44976	-4,16409
19	-0,01552	0,01552	2,43956	-4,16535
20	-0,01550	0,01550	2,42927	-4,16661
21	-0,01549	0,01549	2,41886	-4,16786
22	-0,01547	0,01547	2,40835	-4,16912
23	-0,01545	0,01545	2,39773	-4,17038
24	-0,01543	0,01543	2,38699	-4,17164
25	-0,01541	0,01541	2,37613	-4,17290
26	-0,01539	0,01539	2,36516	-4,17416
27	-0,01537	0,01537	2,35406	-4,17542
28	-0,01535	0,01535	2,34284	-4,17668
29	-0,01533	0,01533	2,33150	-4,17794
30	-0,01531	0,01531	2,32002	-4,17920
31	-0,01529	0,01529	2,30841	-4,18046
32	-0,01527	0,01527	2,29666	-4,18172
33	-0,01525	0,01525	2,28477	-4,18297
34	-0,01523	0,01523	2,27274	-4,18423
35	-0,01521	0,01521	2,26056	-4,18549
36	-0,01520	0,01520	2,24824	-4,18675
37	-0,01518	0,01518	2,23576	-4,18801
38	-0,01516	0,01516	2,22312	-4,18927
39	-0,01514	0,01514	2,21032	-4,19053
40	-0,01512	0,01512	2,19735	-4,19179
41	-0,01510	0,01510	2,18421	-4,19305
42	-0,01508	0,01508	2,17090	-4,19431
43	-0,01506	0,01506	2,15741	-4,19557
44	-0,01504	0,01504	2,14374	-4,19683
45	-0,01502	0,01502	2,14085	-4,19809
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
1794	-0,01864	0,01864	0,19873	-3,98238
1795	-0,01866	0,01866	0,19772	-3,98114
1796	-0,01869	0,01869	0,19671	-3,97991
1797	-0,01871	0,01871	0,19569	-3,97867
1798	-0,01873	0,01873	0,19468	-3,97743
1799	-0,01876	0,01876	0,19367	-3,97620
1800	-0,01878	0,01878	0,19265	-3,97496
1801	-0,01880	0,01880	0,19163	-3,97373

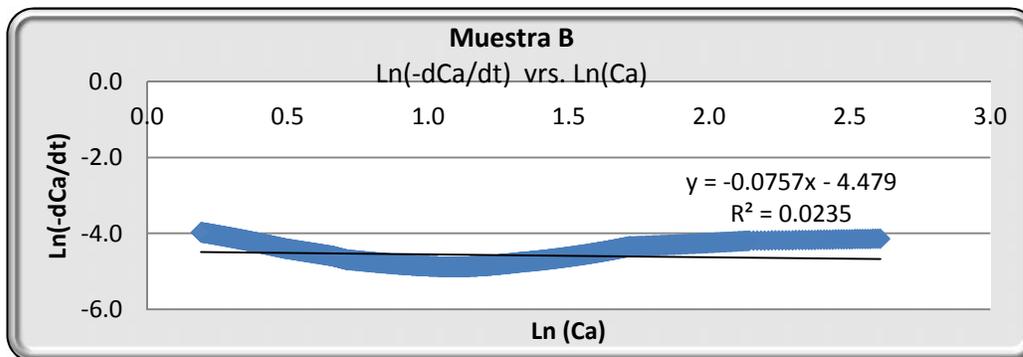
Fuente: derivada de la ecuación polinómica de la gráfica No.41.

Figura 3. **Gráfica para obtener la ecuación lineal y determinar la cinética de reacción de degradación del hipoclorito de sodio durante el almacenamiento a condiciones controladas**



Fuente: Sección apéndice, tabla 22, empleando Microsoft Excel.

Figura 4. **Gráfica para obtener la ecuación lineal y determinar la cinética de reacción de degradación del hipoclorito de sodio durante el almacenamiento a condiciones no controladas**



Fuente: Sección apéndice, tabla 23, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXVI  
**Comparación del comportamiento del hipoclorito de sodio  
a dos diferentes ambientes de almacenamiento**

	<b>Muestra A</b>	<b>Muestra B</b>
<b>Ecuación lineal</b>	$\ln(Ca/dt) = 1,4607t - 8,6268$	$\ln(Ca/dt) = -0,0758t - 4,4789$
<b>Orden de reacción</b>	1	0
<b>Velocidad de reacción (Ka)</b>	0,00018	0,01135

Fuente: Figuras 42 y 43.

En la tabla 22, se plasma la ecuación lineal, orden de reacción y cinética de reacción de la degradación del hipoclorito de sodio durante el almacenamiento a condiciones controladas, es decir, dentro del laboratorio y a condiciones no controladas o al intemperie. Como bien se observa la degradación es mayor en la muestra B que es la almacenada al intemperie. Por lo que el almacenamiento a condiciones controladas ofrece una mayor vida útil del producto.

Tabla XXVII

**Comparación del comportamiento del hipoclorito de sodio  
a dos diferentes ambientes de almacenamiento**

<b>Tiempo</b>	<b>MUESTRA A</b>	<b>MUESTRA B</b>
<b>Concentración de Hipoclorito de Sodio (%p/p)</b>		
<b>Factor (o independiente)</b>	<b>Dependiente</b>	<b>Dependiente</b>
<b>Condiciones de almacenamiento</b>		
	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Hora de almacenamiento</b>	<b>Almacenado dentro de laboratorio</b>	<b>Almacenado al intemperie</b>
1	13,69087	13,58252
2	13,68175	13,46505
3	13,67263	13,34758
4	13,66351	13,23011
5	13,65439	13,11264
6	13,64527	12,99517
7	13,63615	12,87769
8	13,62703	12,76022
9	13,61791	12,64275
10	13,60879	12,52528
11	13,59967	12,40781
12	13,59055	12,29034
13	13,58143	12,17286
14	13,57231	12,05539
15	13,56319	11,93792
16	13,55407	11,82045
17	13,54495	11,70298
18	13,53583	11,58551
19	13,52671	11,46803
20	13,51758	11,35056
21	13,50846	11,23309
22	13,49934	11,11562
23	13,49022	10,99815
24	13,48110	10,88068
25	13,47198	10,76320
26	13,46286	10,64573
27	13,45375	10,52826
28	13,44462	10,41079
29	13,43550	10,29332
30	13,42638	10,17585
31	13,41726	10,05837
32	13,40814	9,94091
33	13,39902	9,82343
34	13,38990	9,70596
.	.	.
.	.	.
1796	6,01852	1,21738
1797	6,01584	1,21615
1798	6,01314	1,21492
1799	6,01048	1,21369
1800	6,00777	1,21246
1801	6,00509	1,21122

Fuente: Resultados de laboratorio.

Tabla XXVIII  
**Promedio mensual de presión atmosférica  
en milímetros de Mercurio (mmHg)**

<b>Mes</b>	<b>Año</b>	<b>Presión (mmHg)</b>
<b>Septiembre</b>	2013	640,2
<b>Octubre</b>	2013	640,9
<b>Noviembre</b>	2013	641,3
<b>Diciembre</b>	2013	641,7
<b>Enero</b>	2014	642,0

Fuente: Insivumeh.



## ANEXOS

### CONCEPTOS

#### **Coguanor:**

Es el Organismo Nacional de Normalización, adscrito al ministerio de economía, cuya función principal es la de desarrollar actividades de normalización que contribuyan al mejoramiento competitivo de las empresas nacionales y elevar la calidad tanto de los productos como de los servicios que ofrecen dichas empresas a nivel nacional e internacional.

#### **Cinética de reacción:**

Es la cantidad de producto que se forma por unidad de tiempo en una reacción química, o cantidad de reactivo que desaparece por unidad de tiempo. Varía mucho según la naturaleza de los reactivos, es por ello que aumenta al elevar la concentración de los reactivos. Otro factor es la temperatura, mientras más alta sea, mayor será la energía cinética que poseen las moléculas. Los catalizadores también aumentan la velocidad de reacción. El orden de una reacción siempre se define en términos de las concentraciones de los reactivos y no de los productos. Ni se relaciona con el coeficiente estequiométrico del reactivo en la reacción global balanceada. Generalmente la cinética de reacción depende de los siguientes factores:

- Facilidad con que los reactivos entran en contacto
- Concentración de los reactivos
- Temperatura del sistema reaccionante
- Presencia de un catalizador

## ILUSTRACIÓN PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE HIPOCLORIO DE SODIO

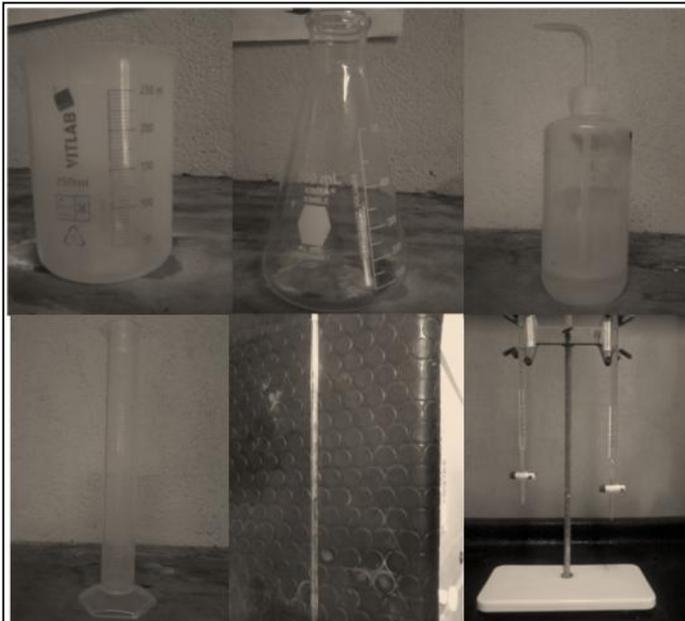
### Reactivos utilizados:



Yoduro de Potasio. Ácido Acético glacial. Almidón. Tiosulfato de sodio.

Fuente: Ilustración propia en laboratorio de planta química.

### Cristalería:



Beacker plástico 250 mL  
Earlenmeyer de 250 mL  
Pizeta

Probeta de 50 mL  
Pipeta de 10 mL  
Bureta de 50 mL  
Soporte con pinzas

Fuente: Ilustración propia en laboratorio de planta química.

**Procedimiento:**

1. Se tomó una muestra  $\text{NaClO}$ .



2. Se pesó yoduro de potasio.



3. Se agregó agua destilada.



4. Se agregó ácido acético glacial.



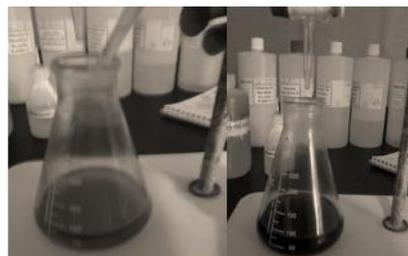
5. Se agregó NaClO. Hay cambio de color.



6. Luego se tituló con tiosulfato hasta que cambió de color



7. Se agregó almidón.



8. Se prosiguió titulando hasta que se tornó incolora.



Fuente: fotos tomadas en laboratorio de planta química.

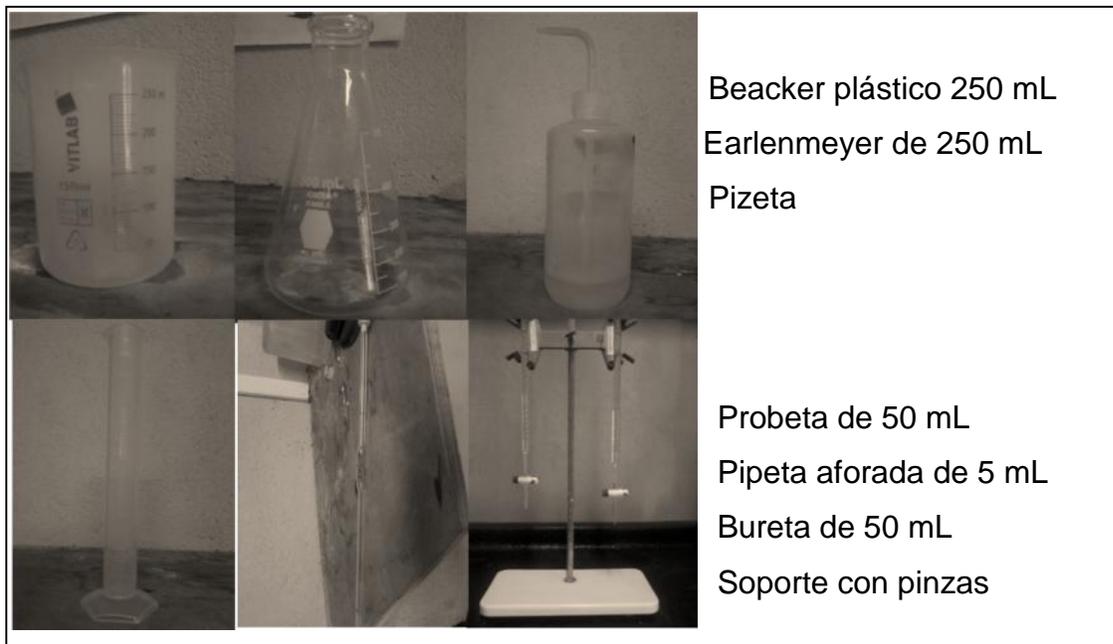
## ILUSTRACIÓN PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE ALCALINIDAD

### Reactivos utilizados:



Fuente: Ilustración propia en laboratorio de planta química.

### Cristalería:



Fuente: Ilustración propia en laboratorio de planta química.

**Procedimiento:**

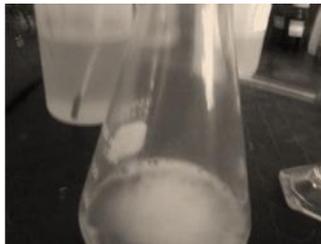
1. Se tomó una alícuota.



2. Se agregó en el earlenmeyer.



3. Se agregó H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 3%



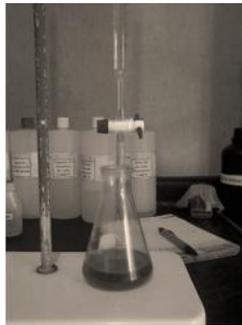
4. Se agregó H<sub>2</sub>O destilada



5. Se agregó fenolftaleína



6. Se tituló con ácido sulfúrico



7. Se agregó nuevamente fenolftaleína



**Fuente: fotos tomadas en laboratorio de planta química.**

**ASSESSMENT OF PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES SODIUM HYPOCHLORITE  
FOR THE PROCESS AND THE FINISHED PRODUCT IN A RANGE OF AMBIENT  
TEMPERATURE OF 18 ° C TO 41 ° C AND PRESSURE 640 MMHG TO 642 MMHG  
IN THE DEPARTMENT OF ESCUINTLA**

Maria Isabel Amoretti Rivera  
[Isamoretti7@hotmail.com](mailto:Isamoretti7@hotmail.com)  
Chemical Engineer

Advised by:  
Ing. Danilo Fernando Pérez López

## SUMMARY

A study of the behavior of the physicochemical properties of sodium hypochlorite to certain conditions of temperature and pressure, both in production and storage was performed. It began with the production of sodium hypochlorite through reaction of a dilute solution of sodium hydroxide with chlorine gas at low temperatures. Since it is necessary to occur at certain working conditions to optimize performance and control the reaction, it is appropriate to have charts and tables showing the behavior if one of those ideal conditions are changed.

Sodium hypochlorite is very unstable, which is why the reaction kinetics was determined to show the speed at which reacted sodium hypochlorite, during production, taking into account that varies widely depending on the nature of the reagents and looks influenced by the temperature of the reaction system, the concentration of the reactants and the ease with which they contact. The reaction rate was determined from the concentration of sodium hydroxide as the speed with which it decreases is the same with the concentration of sodium hypochlorite on the production process. Finally you have the statistical model ANOVA for comparison of means,

which means in short that the storage conditions do affect the life of the product, giving validates the hypothesis, which involves the reaction yield production of hypochlorite sodium from the gasification of liquid chlorine in caustic soda is affected by the environmental conditions of the area where it is manufactured and stored.

### **Keywords:**

*Chlorine, sodium hypochlorite, properties, behavior, properties, reaction.*

### **DEVELOPMENT OF THE TOPIC**

In the company where the study was conducted we want to optimize both the production of sodium hypochlorite as the life of the finished product to reach the consumer as a high quality product. That is why we want to implement a document that shows the behavior of the physicochemical properties of sodium hypochlorite in certain working conditions both during production and storage and ensure a better product to the customer.

Data obtained from the analysis performed in the laboratory two samples at different conditions of storage and graphics were performed to expose the behavior of these properties were tabulated, whose main function is to save time to see the behavior according to the condition in which the sodium hypochlorite solution

is found, and how is affected by the type of storage to be given. And so, determine what conditions are necessary to optimize both the production and shelf life.

The results show the behavior of the physicochemical properties, to observe the change that has already as product packaging and as affected by storage conditions, but do not really have a significant change to be a controlled system, and the temperature It remains constant because a cooling system is used.

To evaluate the tendency of the density versus temperature at constant concentration, for two samples held in different circumstances the following was obtained:

First, it is a marked difference in the behavior of the density of each sample with respect to temperature because ionic bonds are tightly bound by the high concentration of both, and storage time is different. Similarly, having a linear trend with decreasing the concentration, samples at different speeds result of storage conditions, showing that degrade under controlled circumstances is slower degradation product.

It was also noted that regardless of the concentration which is the solution of sodium hypochlorite, the density tends to always decrease with increasing temperature, becoming linear at low concentrations in both samples, indicating that by having fewer of cations and anions present in the solution, easily give way to the temperature change, because not form bonds with other molecules in solution.

The concentration of sodium hypochlorite is the result of the reaction of sodium hydroxide with chlorine gas in a controlled universe, that is why, during the process, the concentration increases linearly up to a point where it tends to be constant and therefore implies that decrease the amount of caustic soda until it disappears almost completely leading to sodium hypochlorite and free chlorine. The observed, it follows that the concentration is inversely proportional

to the alkalinity. In storage, the sample "A" decreases linearly at constant step, while Sample B, exhibits a quicker before hundred hours degradation and then tends to be linear, this change in degradation is due to storage conditions as strong changes in temperature causes a sharp degradation of the product in less time than if stored under controlled conditions, volatility of chlorine.

In linear production it tends to be decreased with increasing sodium hydroxide concentration of sodium hypochlorite, the latter implying dependence regarding alkalinity. By contrast, in the packaged product it is determined that are independent, because it is not a reversible reaction, as shown by the graph 31, where degradation of sodium hypochlorite concentration is more remarkable that the decrease of alkalinity.

It can be determined that the behavior is similar to free chlorine concentration of sodium hypochlorite, both in production and in the finished product. Therefore it occurs, the content of free chlorine is affected by environmental conditions during storage, easily decomposed at high temperatures due to its volatility, in which case the reaction rate will be faster.

As above, the behavior of free chlorine alkalinity regarding behavior is similar to the concentration of sodium hypochlorite to said alkalinity. Free chlorine and sodium hydroxide, are independent in their degradation.

The content of free chlorine is directly proportional to the concentration of sodium hypochlorite. of each sample and storage conditions.

Finally, the behavior of alkalinity during production tends to decrease linearly, whereas in the finished product tends to be constant after about 50 hours of stored at different storage conditions. As seen in the graphs above involving alkalinity and in the latter, it is perceived that the alkalinity does not affect the degradation of sodium hypochlorite or the content of free chlorine in the

finished product, so it remains in the same range for time passes.

As is well known, the reaction rate increases with increasing concentration of sodium hypochlorite, or what is the same, to reduce the concentration of sodium hydroxide during the production process and therefore increases collision frequency.

That is why the reaction kinetics of sodium hypochlorite is the same as that obtained for the concentration of alkalinity to be inversely proportional. As the reaction order to control the concentration that speed has to chemical kinetics to which sodium hypochlorite is formed is from  $0.6099 \text{ mol / L} \cdot \text{s}$ , which is the same rate at which the concentration decreases alkalinity.

ANOVA analysis regarding the alternative hypothesis refers to storage conditions not contribute to the degradation of sodium hypochlorite, while the null hypothesis refers to that it favors degradation of the final product, regardless of the initial concentration storage. Therefore according to the table with the results, you have the probability value of F is much less than 5% considered that the value of F is much higher than the critical value of F, so it is significant the null hypothesis "Ho "with what is accepted that" There are significant differences in the production yield correlating the reaction temperature storage and influencing the reaction kinetics and degradation of sodium hypochlorite. "

Suitable for the storage of the finished product so that it does not quickly degrade conditions should take into account the time that will remain without being distributed, the environmental conditions of day, type of container in which to save, temperature, and area where you should be. It is therefore advisable to wear dark and tightly closed containers, preferably polyethylene retail store at  $25^\circ \text{C}$  in a ventilated and light does not hit the area directly, and finally, the product is not more than 6 days weather. Thus the life of the sodium

hypochlorite is not affected in the finished product.

### Conclusions:

1. The physicochemical properties of sodium hypochlorite for the process does not have a significant change.
2. During the process the temperature is kept constant by its cooling system.
3. According to the results, the density tends to decrease versus temperature at a constant concentration.
4. The product stored at ambient conditions degrades faster than stored at controlled parameters.
5. As noted in the results, regardless of the concentration at which the solution is sodium hypochlorite, always density tends to decrease with increasing temperature.
6. The concentration of sodium hypochlorite is the result of the reaction of sodium hydroxide with chlorine gas in a controlled universe.
7. Storage conditions affecting the useful life of the sodium hypochlorite.
8. According to the results, the concentration of sodium hypochlorite and the level of free chlorine are inversely proportional to the alkalinity during production.
9. As noted, the concentration of sodium hypochlorite and free chlorine percentage are independent of alkalinity in the finished product.
10. The more concentration sodium hypochlorite solution is not influenced by the effect of temperature.
11. The content of free chlorine increases with the time lag in production in a controlled system.
12. Storage conditions affect the level of free chlorine.
13. From the results, it is concluded that the content of free chlorine

is directly proportional to the concentration of sodium hypochlorite in both production and storage.

14. Alkalinity tends to be constant throughout the packaged product.
15. The reaction kinetics of sodium hypochlorite is the same as that obtained for the concentration of alkalinity.
16. According to the obtained reaction kinetics, sodium hypochlorite has longer life during storage at controlled conditions.
17. According to ANOVA analysis, storage conditions of the packaged product if it affects the life of sodium hypochlorite.
18. The finished product must be stored in a controlled system.
19. Based on the results, it is concluded that the storage time should not exceed one week.
20. The physicochemical properties of sodium hypochlorite in the

finished product vary the conditions to be stored.

**Recommended:**

Dispatch in the shortest possible time the product if you do not have a controlled atmosphere for storage.

Do not keep the product stored over a week.

Perform regular maintenance on ion exchangers for its proper functioning.

Close the containers well the finished product so that there is no leakage.

When transporting the containers to avoid overloading placed one above the other so as not to bend and produce some kind of incident.

## STUDENT DATA

Maria Isabel Rivera Amoretti  
Chemical Engineer  
University of san carlos of Guatemala  
isamoretti7@hotmail.com

### Work Experience

#### tutorials

Separate classes of mathematics,  
physics or chemistry

#### **NSCI , S. A.**

Regulatory assistant  
Assistant Quality Control  
Documentation  
Assistant Quality Assurance area .

#### **Technology and Paintings of Central America , S. A.**

Analyst Laboratory ( University  
Practices )

#### **Miscellaneous Eva**

Sales Assistant and Assistant  
Accounting .



## ADVISER DATA

Danilo Fernando Perez Lopez  
Chemical Engineer

### Work Experience

#### **Trisan , S.A.**

Technical supervisor northern triangle  
Central America.

#### **Guatemala electrochemical S.A.**

Plant manager

#### **Industry The People S.A.**

Soap Plant Manager  
Planning Manager  
Assistant raw material purchases

#### **Globalpak S.A. Villa Nueva, Guatemala**

Production manager  
Quality control assurance  
Development Research

#### **University of San Carlos of Guatemala**

Assistant Professor of Fluid Flow (   
Chemical Engineering II )

#### **Liceo Mixto John the Apostle . Guatemala**

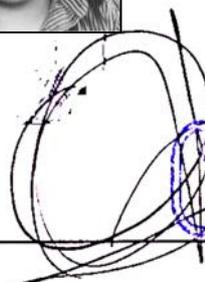
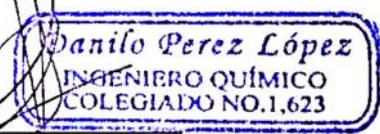
Professor of the Mathematics subjects ,  
Fundamental Physics and Chemistry

#### **School Our Lady of Fatima San Miguel Petapa , Guatemala**

Professor of computer science and English



Vo. Bo.:

# EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL HIPOCLORITO DE SODIO DURANTE EL PROCESO Y EN PRODUCTO TERMINADO EN UN INTERVALO DE TEMPERATURA AMBIENTE DE 18 A 41 °C Y PRESIÓN DE 640 A 642 mmHg EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA

María Isabel Amoretti Rivera  
Isamoretti7@hotmail.com  
Ingeniera Química

Asesorada por:  
Ing. Danilo Fernando Pérez López

## RESUMEN

Se realizó un estudio del comportamiento de las propiedades fisicoquímicas del hipoclorito de sodio a determinadas condiciones de temperatura y presión, tanto en producción como en almacenamiento.

Se inició con la producción de hipoclorito de sodio por medio de la reacción de una solución diluida de hidróxido de sodio con gas cloro a bajas temperaturas. Ya que es necesario que se produzca a ciertas condiciones de trabajo para optimizar su rendimiento y controlar la reacción, es apropiado contar con gráficas y tablas que muestren el comportamiento si una de esas condiciones ideales se cambia.

El hipoclorito de sodio es muy inestable, es por ello que se determinó la cinética de reacción para demostrar la velocidad a la que reaccionó el hipoclorito de sodio, durante la producción, tomando en cuenta que varía mucho según la naturaleza de los reactivos y se ve influenciada por la temperatura del sistema reaccionante, la concentración de los reactivos y la

facilidad con que entran en contacto. La velocidad de reacción se determinó a partir de la concentración de hidróxido de sodio, ya que la rapidez con la que se disminuye es la misma con la que aparece la concentración de hipoclorito de sodio en el proceso de producción.

Por último se tiene el modelo estadístico ANOVA para la comparación de medias, lo cual implica en resumen, que las condiciones de almacenamiento si afectan la vida útil del producto, dando válida la hipótesis planteada, que implica el rendimiento de la reacción de producción del hipoclorito de sodio a partir de la gasificación de cloro en soda cáustica líquida es afectado por las condiciones ambientales del área donde se fabrique y se almacene.

### Palabras clave:

*Cloro, hipoclorito de sodio, propiedades, comportamiento, propiedades, reacción.*

### DESARROLLO DEL TEMA

La empresa donde se realizó el estudio desea optimizar tanto la producción de hipoclorito de sodio como la vida útil del producto

terminado, para que llegue al consumidor como un producto de alta calidad. Es por ello que desea implementar un documento en el que muestre el comportamiento de las propiedades fisicoquímicas del hipoclorito de sodio en determinadas condiciones de trabajo tanto durante la producción como en el almacenamiento y garantizar un mejor producto al cliente.

Se tabularon los datos obtenidos de los análisis realizados en el laboratorio a dos muestras a diferentes condiciones de almacenamiento y se realizaron gráficas para exponer el comportamiento de dichas propiedades, cuya función principal es la de ahorrar tiempo para ver el comportamiento según la condición en la que se encuentre la solución de hipoclorito de sodio, y en qué forma se ve afectada según el tipo de almacenamiento que se le dé. Y así, determinar qué condiciones son necesarias para optimizar tanto la producción como la vida útil en almacenamiento.

Los resultados muestran el comportamiento de las propiedades fisicoquímicas, para poder observar el cambio que se tiene ya como producto envasado y como se ve afectado por las condiciones de almacenamiento, pero realmente no tienen un cambio significativo por ser un sistema controlado, y la temperatura se mantiene constante porque se utiliza un sistema de enfriamiento.

Al evaluar la tendencia de la densidad respecto a la temperatura a concentración constante, para dos muestras retenidas en diferentes circunstancias se obtuvo lo siguiente:

Primero, se ve una notable diferencia en el comportamiento de la densidad de cada muestra respecto a

la temperatura, debido a que los enlaces iónicos están fuertemente unidos por la alta concentración de ambas, y el tiempo de almacenaje que es diferente. De igual forma, teniendo una tendencia lineal a medida que decrece la concentración, las muestras se degradan a diferente velocidad, resultado de las condiciones de almacenamiento, mostrando que en circunstancias controladas es más lenta la degradación del producto.

También se observó, que sin importar la concentración a la que esté la solución de hipoclorito de sodio, la densidad siempre tiende a disminuir con el aumento de la temperatura, llegando a ser lineal a concentraciones bajas en ambas muestras, indicando que al tener menos cantidad de cationes y aniones presentes en la solución, ceden con facilidad ante el cambio de temperatura, porque no forman enlaces con otras moléculas en la solución. La concentración de hipoclorito de sodio es el resultado de la reacción del hidróxido de sodio con el cloro gas en un universo controlado, es por ello, que durante el proceso, la concentración aumenta de forma lineal hasta llegar a un punto donde tiende a ser constante, y por ende implica que disminuya la cantidad de soda caustica hasta que desaparece casi por completo dando lugar al hipoclorito de sodio y cloro libre.

De lo observado, se deduce que la concentración es inversamente proporcional a la alcalinidad. En almacenamiento, la muestra "A" disminuye de forma lineal y a paso constante, mientras que la muestra B, expone una degradación más rápida antes de las doscientas horas y luego tiende a ser lineal, esta variación de degradación es debido a las condiciones de almacenamiento, ya que a fuertes cambios de temperatura

provoca una brusca degradación del producto en menos tiempo que si se almacena a condiciones controladas, por la volatilidad de cloro.

En producción tiende a ser lineal la disminución de hidróxido de sodio conforme aumenta la concentración de hipoclorito de sodio, implicando dependencia de este último respecto a la alcalinidad. Por el contrario, en el producto envasado se determina que son independientes, porque no es una reacción reversible, tal como lo muestra la gráfica 31, donde la degradación de concentración de hipoclorito de sodio es más notable que la disminución de alcalinidad.

Se puede determinar que el comportamiento de cloro libre es similar a la concentración de hipoclorito de sodio, tanto en producción como en producto terminado. Por tanto se manifiesta, que el porcentaje de cloro libre se ve afectado por las condiciones ambientales durante el almacenamiento, descomponiéndose fácilmente a altas temperaturas debido a su volatilidad, en cuyo caso la velocidad de reacción será más rápida.

Al igual que lo anterior, el comportamiento del cloro libre respecto a la alcalinidad es similar al comportamiento de la concentración de hipoclorito de sodio respecto a dicha alcalinidad. El cloro libre y el hidróxido de sodio, son independientes en su degradación.

El porcentaje de cloro libre es directamente proporcional a la concentración de hipoclorito de sodio de cada muestra y de las condiciones de almacenamiento.

Por último, el comportamiento de la alcalinidad durante la producción tiende a disminuir linealmente, mientras que en producto terminado

tiende a ser constante después de aproximadamente 50 horas de guardadas a diferentes condiciones de almacenamiento. Por lo visto en las anteriores gráficas que implican alcalinidad y en esta última, se percibe que la alcalinidad no afecta la degradación del hipoclorito de sodio ni la del porcentaje de cloro libre en el producto terminado, por lo que se mantiene en el mismo rango durante pasa el tiempo.

Como bien se sabe, la velocidad de reacción aumenta al incrementarse la concentración de hipoclorito de sodio, o lo que es lo mismo, al disminuir la concentración de hidróxido de sodio, durante el proceso de producción, y por ende aumenta la frecuencia de colisión. Es por ello que la cinética de reacción del hipoclorito de sodio es la misma que se obtiene para la concentración de alcalinidad por ser inversamente proporcional. Y como el orden de reacción controla la concentración a dicha velocidad, se tiene que la cinética química a la que se forma el hipoclorito de sodio es de  $0,6099 \text{ mol/L}\cdot\text{s}$ , que es la misma velocidad con la que disminuye la concentración de la alcalinidad.

Respecto al análisis ANOVA, la hipótesis alternativa se refiere a que las condiciones de almacenamiento no contribuyen a la degradación del hipoclorito de sodio, mientras que la hipótesis nula hace referencia a que si favorece a la degradación del producto final, independientemente de la concentración inicial de almacenamiento. Por lo tanto según la tabla con los resultados, se tiene que el valor de probabilidad de F es mucho menor al 5 % considerado y que el valor de F es mucho mayor al valor crítico de F, por lo que es significativa la hipótesis nula "Ho" con lo que se

acepta que “Existen diferencias significativas en el rendimiento de producción que correlaciona la temperatura de reacción y de almacenamiento influyendo en la cinética de reacción y degradación del hipoclorito de sodio”.

Las condiciones adecuadas para el almacenamiento del producto terminado para que no se degrade rápidamente deben tomar en cuenta el tiempo que permanecerá sin ser distribuido, las condiciones ambientales del día, el tipo de envase en el que debe guardarse, la temperatura y área donde deberá estar. Por ello es recomendable usar recipientes oscuros y bien cerrados, preferiblemente de polietileno, almacenar a temperatura menor a 25 °C, en un área ventilada y que no le pegue la luz directamente, y por último, el producto no esté más 6 días a la intemperie. De esta manera no se ve afectada la vida útil del hipoclorito de sodio en el producto terminado.

### **Conclusiones:**

1. Las propiedades fisicoquímicas del hipoclorito de sodio durante el proceso no tienen un cambio significativo.
2. Durante el proceso, la temperatura se mantiene constante por su sistema de enfriamiento.
3. Según los resultados, la densidad tiende a disminuir respecto a la temperatura a una concentración constante.
4. El producto almacenado a condiciones ambientales se degrada más rápido que la almacenada a parámetros controlados.
5. Según lo observado en los resultados, sin importar la concentración a la que esté la

solución de hipoclorito de sodio, la densidad siempre tiende a disminuir con el aumento de la temperatura.

6. La concentración de hipoclorito de sodio es el resultado de la reacción del hidróxido de sodio con cloro gas en un universo controlado.
7. Las condiciones de almacenamiento afectan la vida útil del hipoclorito de sodio.
8. Según los resultados, la concentración de hipoclorito de sodio y el porcentaje de cloro libre son inversamente proporcionales a la alcalinidad durante la producción.
9. Por lo observado, la concentración de hipoclorito de sodio y porcentaje de cloro libre son independientes de la alcalinidad en el producto terminado.
10. Entre más concentración de hipoclorito de sodio, la solución no es influenciada por el efecto de la temperatura.
11. El porcentaje de cloro libre aumenta con el tiempo que transcurre en producción en un sistema controlado.
12. Las condiciones de almacenamiento afectan el porcentaje de cloro libre.
13. Por los resultados obtenidos, se concluye que el porcentaje de cloro libre es directamente proporcional a la concentración de hipoclorito de sodio, tanto producción como en almacenamiento.
14. La alcalinidad tiende a ser constante durante el producto envasado.
15. La cinética de reacción del hipoclorito de sodio es la

- misma que se obtiene para la concentración de alcalinidad.
16. Según la cinética de reacción obtenida, el hipoclorito de sodio tiene mayor vida útil durante el almacenamiento a condiciones controladas.
  17. Según el análisis ANOVA, las condiciones de almacenamiento del producto envasado si afecta la vida útil del hipoclorito de sodio.
  18. El producto terminado debe almacenarse en un sistema controlado.
  19. En base a los resultados, se concluye que el tiempo de almacenaje no debe ser mayor a una semana.
  20. Las propiedades fisicoquímicas del hipoclorito de sodio en producto terminado varían

según las condiciones a las que se almacenen.

### **Recomendaciones**

Despachar en el menor tiempo posible el producto si no se cuenta con un ambiente controlado para su almacenamiento.

No mantener almacenado el producto más de una semana.

Realizar mantenimiento periódicamente a los intercambiadores iónicos para su buen funcionamiento.

Cerrar bien los recipientes que contienen el producto terminado para que no exista ningún tipo de fuga.

Al transportar no sobrecargar los recipientes al colocar uno encima de otro para que no se doblen y produzcan algún tipo de incidente.

Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015.

## DATOS DE ESTUDIANTE

María Isabel Amoretti Rivera  
Ingeniera Química  
Universidad de San Carlos de  
Guatemala  
[isamoretti7@hotmail.com](mailto:isamoretti7@hotmail.com)

### Experiencia Laboral

#### **Tutoriales**

Clases independientes de matemática,  
física o química

#### **NSCI, S. A.**

Asistente de regulatorio  
Asistente de Control de Calidad  
Documentación  
Auxiliar del área de Aseguramiento de  
Calidad.

#### **Tecnología y Pinturas de Centro América, S. A.**

Analista de Laboratorio (Prácticas  
Universitarias)

#### **Miscelánea Eva**

Asistente de Ventas y Auxiliar de  
Contabilidad.



## DATOS DE ASESOR

Danilo Fernando Pérez López  
Ingeniero Químico

### Experiencia Laboral

#### **Trisan, S.A.**

Supervisor técnico triángulo norte Centro  
América.

#### **Electroquímica de Guatemala S.A.**

Gerente de Planta

#### **Industria La Popular S.A.**

Gerente de Planta Jabones  
Gerente de Planificación  
Asistente compras de materia prima

#### **Globalpak S.A. Villa Nueva, Guatemala**

Jefe de producción  
Aseguramiento de control de calidad  
Desarrollo de Investigación

#### **Universidad de San Carlos de Guatemala**

Auxiliar de la cátedra Flujo de Fluidos  
(Ingeniería Química II)

#### **Liceo Mixto Juan Apóstol. Guatemala**

Catedrático de las asignaturas Matemática,  
Física Fundamental y Química

#### **Colegio Nuestra Señora de Fátima San Miguel Petapa, Guatemala**

Catedrático de computación e inglés



Vo. Bo.:

