

**ESTUDIO DE SENSIBILIDAD DE LAS VARIABLES QUE AFECTAN LA PRO-
DUCCIÓN DE BICARBONATO DE SODIO A PARTIR DE AGUAS DE PRO-
DUCCIÓN USANDO EL PROCESO SOLVAY**

**ERIKA JOHANNA GUALDRÓN MENDOZA
MARÍA XIMENA HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2015

**ESTUDIO DE SENSIBILIDAD DE LAS VARIABLES QUE AFECTAN LA PRO-
DUCCIÓN DE BICARBONATO DE SODIO A PARTIR DE AGUAS DE PRO-
DUCCIÓN USANDO EL PROCESO SOLVAY**

**ERIKA JOHANNA GUALDRÓN MENDOZA
MARÍA XIMENA HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ**

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Químico

Director

**PhD. Gustavo Emilio Ramírez Caballero
Ingeniero Químico**

Codirector

**MSc. Carolina Ardila Suárez
Ingeniera Química**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2015

DEDICATORIA

A Dios, por darme la fuerza, la sabiduría y tener un propósito con mi vida. Su palabra me dio la motivación, la esperanza y la fe.

A mis padres Alicia y Ludwing por su sacrificio, amor, paciencia y confianza que han depositado en mí. Sus oraciones fueron escuchadas en el cielo. Me siento bendecida y orgullosa de ser su hija.

A mi hermanita Mónica Andrea que con su amor, apoyo incondicional, mi confidente, mi guía, mi gran ejemplo y mi guerrera. A mi cuñado Felipe gracias por sus palabras de apoyo y motivación.

A Erika Jorley por su disposición, ánimo y cariño.

A mis tíos Luz Stella y Guillermo por su compañía, por fortalecer mi fe con sus palabras, sus oraciones y su amor.

A toda mi familia por el apoyo brindado y oraciones.

A mi compañera Ximena Hernández por su paciencia, comprensión, compromiso, ánimo y apoyo.

A mis amigos Andrea B, Sandra, Andrea J, Cristina, Dianita, Paola M, Liliana, Carolina, Mónica, Paola D, Julián, Sebastián, Luis Eduardo, Edinson y Jhon por su colaboración, amistad, apoyo académico y momentos agradables compartidos en mi memoria. Mil gracias!

A todas aquellas personas que se cruzaron en mi camino y estuvieron en algún momento durante este recorrido.

A todos los quiero y les deseo lluvias de bendiciones en sus vidas!

Erika Gualdrón

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir, por guiarme en el camino que debo seguir y permitirme alcanzar una meta más a mi vida.

A mis padres, por darme la vida y apoyarme en todo lo que me he propuesto.

A mi madre, por ser el apoyo más importante durante mi vida, ya que sin ella no hubiera logrado mis metas y sueños. Por ser mí ejemplo a seguir, por enseñarme todos los días a seguir aprendiendo sin importar los obstáculos.

A mi familia, por ser el motor de mi vida y por apoyarme siempre a lograr este sueño.

A mi compañera de proyecto Erika Gualdrón, por todo su compromiso y apoyo para la realización de este proyecto.

A mis maestros que compartieron conmigo sus conocimientos, por su disposición, dedicación y entrega a la actividad docente.

Ximena

AGRADECIMIENTOS

Nuestros más profundos y sinceros agradecimientos a todas las personas que de buena voluntad cooperaron e hicieron su valioso aporte para llevar a cabo este trabajo investigativo.

A nuestro director, Dr. Gustavo Ramírez por su confianza, orientación y apoyo fundamental en el desarrollo de este proyecto.

A Camilo Díaz por brindarnos su tiempo, colaboración y orientación para la realización de este proyecto.

A los técnicos de laboratorio de procesos, Eduardo, Wilson y Guillermo por su disposición, apoyo, aportes y amables servicios.

A MSc. Mónica Gualdrón por su motivación, ayuda, dedicación, paciencia, tiempo y aportes.

A la profesora Yolanda Vargas y a la Sra. Amparo por su colaboración supliendo nuestras necesidades en este trabajo.

A Msc. Carolina Ardila Suárez por su disposición, paciencia, orientación y colaboración incondicional con este proyecto.

Al Dr. Gilles Gauthier por su aporte, disposición y orientación ofrecida.

A la profesora Martha Barajas por su tiempo y valiosa ayuda.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
1. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA.....	25
1.1 DESCRIPCIÓN GLOBAL.....	25
1.2 DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS	26
1.3 DESCRIPCIÓN EXPERIMENTAL	27
1.3.1 Muestreo.....	27
1.3.2 Toma de muestras.	27
1.3.3 Pre-tratamiento de las muestras	27
1.3.4 Caracterización materia prima.	27
1.3.5 Producción de bicarbonato de sodio.....	28
1.3.6 Caracterización fisicoquímica de las muestras obtenidas.....	29
1.4 DESCRIPCIÓN DE LOS MONTAJES	30
1.4.1 Filtración del agua de producción	30
1.4.2 Decantación del agua de producción filtrada	30
1.4.3 Medición de los flujos de NH ₃ y CO ₂	30
1.4.4 Montaje del equipo de producción de bicarbonato de sodio	30
2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	32
2.1. BICARBONATO DE SODIO A PARTIR DE SALMUERA SINTÉTICA.....	32
2.2. BICARBONATO DE SODIO A PARTIR DE AGUA DE PRODUCCIÓN	35
2.3. ESTUDIO ESTADÍSTICO PARA LA OBTENCIÓN DE BICARBONATO DE SODIO A PARTIR DE SALMUERA SINTÉTICA.....	37
2.4 ESTUDIO ESTADÍSTICO PARA LA OBTENCIÓN DE BICARBONATO DE SODIO A PARTIR DE AGUA DE PRODUCCIÓN	41

3. CONCLUSIONES	45
4. RECOMENDACIONES.....	46
BIBLIOGRÁFICAS	47
ANEXOS.....	51

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Variables y niveles del diseño factorial	27

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de flujo del proceso Solvay.....	21
Figura 2. Metodología para la obtención de bicarbonato de sodio a partir de agua de producción y salmuera sintética (* etapas realizadas únicamente para agua de producción	25
Figura 3. Diseño del equipo empleado para la producción de bicarbonato de sodio	29

LISTA DE GRAFICAS

Pág.

Grafica 1. Resultados de concentraciones de bicarbonato de sodio a partir de salmuera sintética	33
Grafica 2. Resultados de concentraciones de bicarbonato de sodio a partir de agua de producción	35
Grafica 3. Diagrama de pareto para la obtención de bicarbonato de sodio a partir de salmuera sintética	39
Grafica 4. Diagrama de pareto para la obtención de bicarbonato de sodio a partir de agua de producción	42

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Análisis Físicoquímico De La Materia Prima	51
Anexo B. Cálculo Estequiométrico Para Determinar La Cantidad De Cloruro De Sodio En La Materia De Prima (Agua De Producción)	52
Anexo C. Datos Experimentales De La Salmuera Sintética.....	53
Anexo D. Datos Experimentales Del Agua De Producción	61
Anexo E. Fotografía Del Montaje Del Equipo Real Para La Producción De Bicarbonato De Sodio	69
Anexo F. Informe De Resultados – Análisis Físicoquímico De La Salmuera Sintética	70
Anexo G. Informe De Resultados – Análisis Físicoquímico Del Agua De Producción.....	79
Anexo I. Diagramas De Las Composiciones Iónicas Finales Para La Salmuera Sintética	89
Anexo J. Diagramas De Las Composiciones Iónicas Finales Para El Agua De Producción.....	92

RESUMEN

TÍTULO: ESTUDIO DE SENSIBILIDAD DE LAS VARIABLES QUE AFECTAN LA PRODUCCIÓN DE BICARBONATO DE SODIO A PARTIR DE AGUAS DE PRODUCCIÓN USANDO EL PROCESO SOLVAY*

AUTORES: ERIKA JOHANNA GUALDRÓN MENDOZA
MARÍA XIMENA HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ**

PALABRAS CLAVES: Agua de producción, bicarbonato de sodio, proceso Solvay, flujo de amoníaco, flujo dióxido de carbono y enfriamiento.

DESCRIPCIÓN:

El alto contenido salino de las aguas de producción asociadas a la extracción de crudo, le atribuyen a este residuo industrial un alto potencial de aprovechamiento como materia prima para la obtención de bicarbonato de sodio, precursor del carbonato de sodio, producto de gran valor agregado y alto consumo a nivel mundial. Lo anterior da lugar a la mitigación de la contaminación ambiental y al cubrimiento de la demanda de carbonato de sodio requerido en Colombia, lo que haría innecesaria su importación. El presente trabajo analiza el impacto de tres variables: flujos de amoníaco, flujo de dióxido de carbono, y enfriamiento, en la obtención de bicarbonato de sodio a partir de aguas de producción provenientes de los pozos activos de la unidad académica y de operación de hidrocarburos Campo Escuela Colorado mediante el proceso Solvay. Los resultados de la experimentación demostraron que a partir del agua de producción los flujos de amoníaco y dióxido de carbono influyen en la obtención de bicarbonato de sodio; sin embargo, la combinación del flujo de amoníaco con enfriamiento favorece la precipitación del producto. Adicionalmente, se destacó la influencia de los flujos de amoníaco y dióxido de carbono en el pH sobre ambas fases del bicarbonato a partir de agua de producción como materia prima, donde una mayor alcalinidad podría disminuir el bicarbonato de sodio pero aumentar la cristalización del mismo.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química: Director: PhD. Gustavo Emilio Ramírez Caballero. Codirector: MSc. Carolina Ardila Suárez

ABSTRACT

TITLE: SENSITIVITY STUDY OF THE VARIABLES AFFECTING THE PRODUCTION OF SODIUM BICARBONATE FROM PRODUCED WATER USING THE SOLVAY PROCESS*

AUTHORS: ERIKA JOHANNA GUALDRÓN MENDOZA
MARÍA XIMENA HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ**

KEY WORDS: Produced water, sodium bicarbonate, Solvay process, ammonia flow, carbon dioxide flow, cooling.

DESCRIPTION:

The high salt content of the produced water (associated to the oil extraction), attributed to this industrial waste, a high potential for using it as a raw material for the production of sodium bicarbonate, which is a sodium carbonate precursor, a high value-added product and high consumption worldwide. This leads to the mitigation of environmental pollution and to the satisfaction of the demand of the sodium carbonate in Colombia, which would not be necessary to be imported. This paper analyzes the impact of three variables: ammonia flow, carbon dioxide flow and cooling, in obtaining sodium bicarbonate from produced water from active wells of the academic unit and operating of hydrocarbon Campo Escuela Colorado using the Solvay process. The results of the experimentation showed that from the produced water, the ammonia and carbon dioxide flows, influenced in the production of the sodium bicarbonate; however, the combination of the ammonia flow and cooling, favors the precipitation of the product. The influence of the ammonia flow and the carbon dioxide flow in the pH, was also evident on both phases of the bicarbonate from the produced water as a raw material, where a higher alkalinity may decrease the sodium bicarbonate, but increase its crystallization.

* Degree Project

** Physical-Chemical Faculty. Chemical Engineering School. Director: PhD. Gustavo Emilio Ramírez Caballero. MSc. Carolina Ardila Suárez.

INTRODUCCIÓN

La industria petrolera es uno de los negocios más estratégicos de desarrollo en el mundo. Sin embargo, este antecedente no lo libera de problemas relacionados con la extracción y transporte de hidrocarburos; tal es el caso del agua de producción obtenida junto con la extracción del crudo, la cual representa el mayor volumen líquido generado durante la producción de crudo y gas¹. De este modo, el tratamiento de dicha agua de producción genera costos adicionales y problemas ambientales, razón por la cual se hace necesario encontrar un sistema eficiente que permita manejar el agua de tal manera que los costos y los riesgos ambientales se minimicen².

Los yacimientos de petróleo tienen grandes cantidades de agua natural que se encuentran debajo de los hidrocarburos y han estado presentes en la capa freática asociada al petróleo durante cientos de millones de años, lo que ha permitido un amplio contacto con las varias formaciones rocosas, disolviendo principalmente sales minerales, combinaciones orgánicas, gases disueltos, entre otros^{3 4 5}. De esta manera, el agua de producción se convierte en el mayor residuo industrial en

¹ OGP. Environmental performance indicators – 2012 data. London: OGP Publications; 2013. 64 p. [en línea] [citado 15 de febrero de 2015] Disponible en: <http://www.ogp.org.uk/publications/environment-committee/environmental-performance-indicators/environment-performance-indicators-2012-data/>

² DÍAZ, Camilo y NAVARRO, Juan C. Aprovechamiento de aguas de producción como fuente de obtención de “Soda Ash” (carbonato de sodio). Tesis de grado. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Petróleos. 2014. 66 p

³ ARAMBURRO, D. y ALDANA, H. Trabajo investigativo “Aguas de formación”. Investigación orientada hacia el análisis y tratamiento de aguas de formación en los pozos petroleros. Bogotá D.C.: Universidad de América. Escuela de Ingeniería de Petróleos. 2011.

⁴ ARPEL. Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe. Disposición y tratamiento del agua producida. Montevideo: ALCONSULT International Ltd.; 2014. 120 p. [en línea] [citado 15 de abril de 2015] Disponible en: http://www.oilproduction.net/files/tratamiento_de_aguas_producidas.pdf

⁵ FAKHRU’L-RAZI, Ahmadun, et al. Review of technologies for oil and gas produced water treatment. En: Journal of Hazardous Materials. 2009. Vol. 170, issues 2-3, p. 530-551.

la producción de petróleo durante la vida de casi todos los pozos y yacimientos petroleros. Es así que después de la extracción, el agua producida es separada y tratada para eliminar las impurezas antes de ser vertida a cuerpos de agua (incluyendo ríos, lagos, mares, etc.), con el fin de cumplir con la normativa ambiental sobre la disposición de los recursos hídricos⁶.

Según el reporte de la Asociación Internacional de Productores de Gas y Petróleo – OGP en 2012 se registró a nivel mundial un volumen de agua de producción 1,5 veces mayor a la producción de hidrocarburos; siendo generadas 3.349,5 millones de toneladas (Mt) de agua y 2.233 Mt de hidrocarburos⁷. No obstante, Colombia ocupa el tercer lugar en la relación agua-aceite en el mundo con 8 barriles (bbl) de agua por uno de petróleo. Se estima que en lo corrido hasta mayo de 2014, la producción diaria promedio anual de crudo en el país alcanzó 982.000 bbl, lo que equivale a una producción diaria de 7'856.000 bbl de agua aproximadamente⁸.

Dentro de los principales componentes del agua de producción se encuentran los iones calcio (Ca^{+2}) y magnesio (Mg^{+2}) (indicadores de dureza), los cuales forman incrustaciones. Por otro lado el ion sodio (Na^{+}) junto con el ion cloro (Cl^{-}) son generalmente los iones más abundantes y considerados un problema cuando precipitan ya que pueden ocasionar problemas de corrosión. Asimismo, los iones hierro (Fe^{+3} y Fe^{+2}) aunque se encuentren en concentraciones menores también pueden generar problemas de corrosión. Por último, los iones carbonato (CO_3^{-2}) y bicarbonato (HCO_3^{-}) pueden formar costras insolubles, al igual que los iones sulfato (SO_4^{-2}), que son fuente alimenticia para bacterias productoras de ácido sulfhídrico

⁶ ARAMBURO, D. y ALDANA, H. Trabajo investigativo “Aguas de formación”. Investigación orientada hacia el análisis y tratamiento de aguas de formación en los pozos petroleros. Bogotá D.C.: Universidad de América. Escuela de Ingeniería de Petróleos. 2011.

⁷ OGP. Environmental performance indicators – 2012 data. London: OGP Publications; 2013. 64 p. [en línea] [citado 15 de febrero de 2015] Disponible en: <http://www.ogp.org.uk/publications/environment-committee/environmental-performance-indicators/environment-performance-indicators-2012-data/>

⁸ FAKHRU'L-RAZI. Regresar a la meta del millón de barriles, objetivo crudo. En: Portafolio. Bogotá D.C. 9, junio, 2014. Documento [en línea]. [Citado 16 de Febrero 2015]. Disponible en: <http://www.portafolio.co/economia/colombia-produccion-barriles-petroleo-dia-mayo>

(H₂S)⁹. En este contexto, se tiene que el agua residual generada en la producción de un campo petrolero debe ser tratada para evitar problemas ambientales y de costos en su adecuado manejo y disposición. De esta forma, con frecuencia el agua de producción es tratada mediante procesos físicos a fin de romper las emulsiones y separarla del aceite, aunque en ocasiones se requiere de la implementación de métodos químicos y biológicos¹⁰. Es importante implementar una metodología para disminuir tiempo, costos y evitar el sobredimensionamiento de equipos o el diseño de elementos innecesarios, así como una operación adecuada y mantenimiento constante para asegurar la eficiencia del sistema¹¹.

La práctica más común que se da al agua asociada a la producción, es el aprovechamiento para reinyección y, de esta manera, evitar el vertimiento en aguas superficiales, optimizar los volúmenes y mejorar la eficiencia en la extracción de los barriles producidos. Sin embargo, la proporción del agua que puede ser reinyectada depende del límite económico RAP (Relación agua/petróleo) donde el agua por encima de este límite se considera como exceso¹².

Por lo anterior, aunque se disponga de las mejores técnicas de manejo, al final la producción de agua puede representar incluso más del 90% del volumen de líquidos que se lleva a la superficie. Esto hace que los sistemas de superficie se sobrecarguen, afectando la eficiencia y productividad del proyecto. Por último, el cos-

⁹ DÍAZ, Camilo y NAVARRO, Juan C. Aprovechamiento de aguas de producción como fuente de obtención de "Soda Ash" (carbonato de sodio). Tesis de grado. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Petróleos. 2014. 66 p

¹⁰ ARAMBURO, D. y ALDANA, H. Trabajo investigativo "Aguas de formación". Investigación orientada hacia el análisis y tratamiento de aguas de formación en los pozos petroleros. Bogotá D.C.: Universidad de América. Escuela de Ingeniería de Petróleos. 2011.

¹¹ MANCILLA, Robinson y MESA, Henry. Metodología para el manejo de aguas de producción en un campo petrolero. Tesis de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. 2012. 202 p.

¹² BAILEY, Bill, et al. Control del agua. En: Oilfield Review. Verano 2000, vol 12, issue 1, p. 32-53. [en línea] [Consultado 25 de febrero 2015]. Disponible en: https://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish00/sum00/p32_53.pdf

to referente al tratamiento del agua puede limitar la rentabilidad de la operación del campo¹³.

Por lo tanto surge la necesidad de aprovechar estas aguas residuales cuyas impurezas pueden ser la materia prima para la implementación de nuevas tecnologías en la obtención de productos de alto valor agregado. Es así como el alto contenido salino en cloruro de sodio en el agua de producción proveniente de los campos petroleros hace posible su utilización como fuente para la producción de bicarbonato de sodio por medio del proceso Solvay¹⁴.

El proceso Solvay (*en honor a su inventor Ernest Solvay*), tiene como finalidad la producción de carbonato de sodio, aplicado principalmente en la industria del vidrio, textil, farmacéutica, producción de fertilizantes, detergentes y tratamiento de aguas¹⁵. El éxito de este modelo, que hizo desaparecer otros procesos de producción de carbonato de calcio, fue la reducción de la emisión de sustancias tóxicas gracias al sistema de recuperación implementado lo que lo convierte en un proceso económicamente sostenible¹⁶. El proceso se realiza a partir de materias primas básicas y económicas como: cloruro de sodio y piedra caliza. Esencialmente implica una primera etapa en la que se obtiene bicarbonato de sodio y luego por descomposición térmica de éste se produce el carbonato de sodio¹⁷. En la **¡Error!**

¹³ ARNOLD, Richard, et al. Manejo de la producción de agua: De residuo a recurso. En: Oilfield Review. Autumn 2004, vol. 16, issue 3, p. 30-45. [en línea] [citado 16 de abril de 2015] Disponible en: https://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish04/aut04/04_managing_water.pdf

¹⁴ CARVALINHO, Maurício, et al. Produced water reuse for production of chemicals. En: Society of Petroleum Engineers International (12-14, abril: Río de Janeiro, Brasil). 2010. P. 1-6.

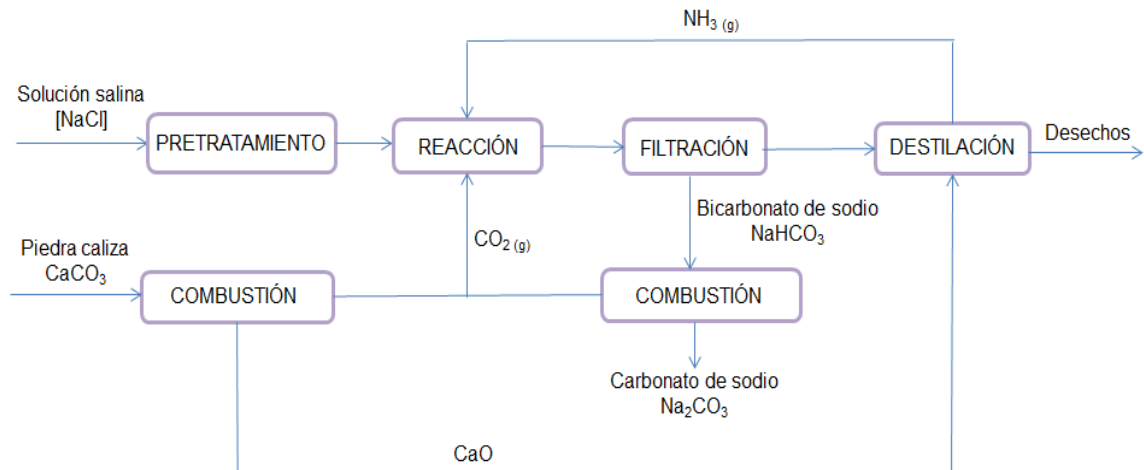
¹⁵ VÁSQUEZ, María. Más de 300 millones en químicos importa Colombia. Informe Sector Químico. Bogotá: Centro Virtual de Negocios – CVN, 2011.[en línea] [Citado 4 de Febrero de 2015]. Disponible en: www.centrovirtualdenegocios.com/ganaderos/item/download/2

¹⁶ STEPHANOPOULOS, George y REKLAITIS, Gintaras. Process systems engineering: from Solvay to modern bio- and nanotechnology. A history of development, successes and prospects for the future. En: Chemical Engineering Science. 2011. Vol. 66, issue 19, p. 4272-4306.

¹⁷ GAO, Canzhu, et al. Utilization of distiller waste and residual mother liquor to prepare precipitated calcium carbonate. En: Journal of Cleaner Production. 2007. Vol. 15, issue 15, p. 1419-1425.

No se encuentra el origen de la referencia. se observan las principales operaciones que integran el proceso.

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso Solvay



Fuente: KASIKOWSKI, T.; BUCZKOWSKI, R. y LEMANOWSKA E. Cleaner production in the amonia-soda industry: an ecological and economic study. En: Journal of Environmental Management. 2004. 73(4), p. 339-356.

Algunos estudios relacionados con el proceso Solvay incluyen modelos matemáticos que describen relaciones de equilibrio gas-líquido para rangos de presión y temperatura que ocurren en la etapa de carbonatación del proceso¹⁸, aprovechamiento de los residuos industriales como es el caso de los desechos provenientes del destilado del cual se puede obtener un producto de mayor valor agregado como el carbonato de calcio¹⁹ o para el caso de los residuos sólidos que pueden ser utilizados como adsorbentes de gases de combustión²⁰ [17] y de colorantes anió-

¹⁸ CZERNUSZEWICZ, Malgorzata; CYDZIK, Eugeniusz y JAWORSKI Zdzislaw. An algebraic description of the absorption equilibrium for the Solvay soda system. En: Journal of Chemical & Engineering Data. 2014, 59(9), p. 2901-2908.

¹⁹ TRYPUC, Mieczyslaw y BIALOWICZ, Katarzyna. CaCO_3 production using liquid waste from Solvay method. En: Journal of Cleaner Production. 2011. Vol. 19, issues 6-7, p. 751-756.

²⁰ KASIKOWSKI T., et al. Combined distiller waste utilization and combustion gases desulphurization method. The case study of soda-ash industry. En: Resources, Conservation and Recycling. 2007. 51(3), p. 665-690.

nicos²¹. Asimismo se ha estudiado la influencia del ion calcio en la cristalización de bicarbonato de sodio²².

A pesar de que son pocos los estudios reportados en la literatura relacionados con la producción de bicarbonato de sodio a partir de aguas de producción, en 2010 Carvalinho *et al*²³ realizaron un estudio en los campos petroleros de Brasil con el fin de evaluar la posibilidad de obtener carbonato de sodio a partir de estas aguas utilizando el modelo Solvay, conocido globalmente por ser el principal método de obtención de carbonato de sodio en el mundo gracias a su reducida emisión de desechos y significativa disminución de costos. Los resultados obtenidos fueron muy favorables concluyendo en la utilización de las aguas de producción como materia prima en la obtención de carbonato de sodio, dando así la posibilidad de generar beneficios económicos y ambientales a partir de la implementación del Proceso Solvay en las aguas de producción.

Más recientemente, en el año 2014 en la Universidad Industrial de Santander con la colaboración de la unidad académica y de operación de hidrocarburos Campo Escuela Colorado, Díaz y Navarro²⁴ llevaron a cabo un estudio que buscaba confirmar el aprovechamiento de las aguas residuales obtenidas en los campos petroleros colombianos como fuente de obtención de carbonato de sodio aplicando el proceso Solvay. Dicho estudio proporcionó resultados satisfactorios, ya que además de demostrar la posibilidad de obtener bicarbonato de sodio y posteriormente carbonato de sodio, permitió observar que la cantidad de producto depende de la

²¹ SENER, S. Use of solid wastes of the soda ash plant as an adsorbent for the removal of anionic dyes: Equilibrium and kinetic studies. En: Chemical Engineering Journal. 2008. Vol. 138, issues 1-3, p. 207-214.

²² ZHU, Yi, et al. Influence of calcium ions on the crystallization of sodium bicarbonate. En: Journal of Crystal Growth. 2005. Vol. 275, issues 1-2, p. 1333-1339.

²³ CARVALINHO, Maurício, et al. Produced water reuse for production of chemicals. En: Society of Petroleum Engineers International (12-14, abril: Río de Janeiro, Brasil). 2010. P. 1-6.

²⁴ DÍAZ, Camilo y NAVARRO, Juan C. Aprovechamiento de aguas de producción como fuente de obtención de "Soda Ash" (carbonato de sodio). Tesis de grado. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Petróleos. 2014. 66 p

concentración de cloruro de sodio (NaCl) en el agua de producción utilizada como materia prima, de la presión interna del equipo, de la temperatura del separador y de la columna de carbonatación y de la acumulación de producto en las paredes del equipo.

Como se mencionó anteriormente, el bicarbonato de sodio es precursor para la obtención de carbonato de sodio, el cual hace parte del conjunto de los diez productos de la industria química de mayor producción y consumo a nivel mundial, dada la gran cantidad de aplicaciones industriales que derivan de su carácter básico y la capacidad de proporcionar el ion Na^+ ²⁵]. A pesar de su importancia industrial, el carbonato de sodio producido en Colombia no satisface la demanda interna; prueba de ello es que el consumo nacional para 2012 fue aproximadamente de 147 mil toneladas donde el 21,6% fue producto de las importaciones²⁶ .

Dado lo anterior y con el propósito de continuar la línea de estudio sobre el aprovechamiento de las aguas de producción de los campos petroleros colombianos, el presente proyecto pretende realizar un estudio sobre la influencia de las variables involucradas en el Proceso Solvay para la obtención de bicarbonato de sodio, con el fin de resolver el problema del manejo y disposición del agua además de generar nuevos ingresos económicos a la industria petrolera. Para efecto de este estudio se omitieron la filtración y descomposición térmica del bicarbonato de sodio del proceso Solvay, ya que estas etapas no hacen parte del alcance de la investigación.

²⁵ ZHU, Yi, et al..Química inorgánica. Obtención de carbonato de sodio (P 5). En: Departamento Estrella Campos. Montevideo. 15, febrero, 2006. Documento [en línea] [Citado 3 de Marzo 2015]. Disponible en: http://dec.fq.edu.uy/catedra_inorganica/inorganica/practica5.pdf

²⁶ DANE. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Encuesta anual manufacturera. En: DANE. Bogotá D.C. 16, junio, 2014. Documento [en línea]. [Citado 4 de Marzo 2015]. Disponible en:<http://www.dane.gov.co/index.php/industria/encuesta-anual-manufacturera-eam/112-boletines/industria/2770-encuesta-anual-manufacturera-eam>

Con el propósito de llevar a cabo la experimentación de este trabajo, se utilizaron aguas de producción provenientes de los pozos activos de la unidad académica y de operación de hidrocarburos Campo Escuela Colorado, para lo cual se efectuó el muestreo en los tanques de almacenamiento de dicha instalación. A partir de la composición iónica de esta agua (Anexo A) se determinó que la concentración inicial de NaCl fue de $4,25 \cdot 10^{-3}$ g/ml (Anexo B). De acuerdo a estos resultados podría ser factible la utilización del agua de producción como materia prima para la obtención de bicarbonato de sodio. Teniendo en cuenta que en las plantas Solvay se utiliza salmuera sintética de concentración 0,2 g/ml de NaCl²⁷, se desea realizar un estudio comparativo sobre la obtención de bicarbonato de sodio a partir de agua de producción y salmuera sintética mediante el proceso Solvay, con el fin de conocer el potencial de aprovechamiento del agua de producción en la obtención de bicarbonato de sodio.

El estudio se realizó a escala laboratorio con un diseño factorial de experimentos de 3 variables (Flujo de gases: amoníaco (NH₃) y dióxido de carbono (CO₂), y enfriamiento) cada una de estas estudiadas a dos niveles. Cada experimento contó con dos réplicas y las muestras resultantes fueron analizadas fisicoquímicamente en laboratorio con el propósito de determinar la cantidad de sales obtenidas. A partir de estos resultados se realizó el estudio de sensibilidad con ayuda de la herramienta computacional *Design Expert 9* y de esta manera determinar el efecto que tuvo cada variable en la producción de bicarbonato de sodio.

²⁷ DÍAZ, Camilo y NAVARRO, Juan C. Aprovechamiento de aguas de producción como fuente de obtención de “Soda Ash” (carbonato de sodio). Tesis de grado. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Petróleos. 2014. 66 p

1. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

1.1 DESCRIPCIÓN GLOBAL

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta la metodología utilizada para llevar a cabo el presente trabajo de investigación.

Figura 2. Metodología para la obtención de bicarbonato de sodio a partir de agua de producción y salmuera sintética (* etapas realizadas únicamente para agua de producción)



1.2 DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Con el fin de realizar un análisis comparativo se realizó el experimento de producción de bicarbonato de sodio a partir de dos fuentes salinas: salmuera sintética y agua de producción pre-tratada.

Para evaluar la sensibilidad de las variables que influyen en la producción del bicarbonato de sodio a partir de la salmuera sintética (de concentración 0,2 g/ml de NaCl, previamente preparada a partir de agua destilada y cloruro de sodio) y de aguas de producción, se estableció como variables a modificar: los flujos de gases de amoníaco (NH_3) y dióxido de carbono (CO_2), y enfriamiento; ya que al ser la reacción para la obtención de bicarbonato de sodio una reacción en equilibrio, un aumento en la concentración de reactivos favorecería la obtención del producto²⁸, además una disminución de la temperatura, reduce la solubilidad del bicarbonato de sodio, favoreciendo su precipitación²⁹. La modificación de estas variables fue posible dado que el montaje experimental para la producción de bicarbonato de sodio así lo permitía.

El desarrollo experimental se realizó con un diseño factorial de 2^K , tomando un valor de 3 para K. Es así como se estudiaron 3 variables y dos niveles por factor correspondientes al flujo mínimo y máximo de NH_3 y CO_2 , así como a la incorporación o no del enfriamiento. Para cada experimento se realizaron dos réplicas. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se presentan las variables independientes que se modificaron.

²⁸ CARVALINHO, Maurício, et al. Produced water reuse for production of chemicals. En: Society of Petroleum Engineers International (12-14, abril: Río de Janeiro, Brasil). 2010. P. 1-6.

²⁹ DÍAZ, Camilo y NAVARRO, Juan C. Aprovechamiento de aguas de producción como fuente de obtención de "Soda Ash" (carbonato de sodio). Tesis de grado. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Petróleos. 2014. p 66

Tabla 1. Variables y niveles del diseño factorial

	NIVEL	FACTORES		
		Flujo NH ₃ [ml/s]	Flujo CO ₂ [ml/s]	Enfriamiento
SALMUERA SINTÉTICA	Bajo	3,49	3,53	No
	Alto	10,65	9,81	SÍ
AGUA DE PRODUCCIÓN	Bajo	4,32	4,13	No
	Alto	9,83	9,61	SÍ

1.3 DESCRIPCIÓN EXPERIMENTAL

1.3.1 Muestreo. Las muestras fueron recolectadas a partir de los tanques de almacenamiento de aguas de producción provenientes de los pozos activos, siguiendo para ello el protocolo de ingreso a Campo Escuela Colorado (HSEQ C.E.C)³⁰.

1.3.2 Toma de muestras. Se tomaron aproximadamente 6 litros de aguas de producción a partir de un recipiente de 20 litros provenientes de los tanques de almacenamiento de Campo Escuela Colorado, y se re-ensasaron en recipientes no retornables entre 1 y 2,5 litros de capacidad con el fin de facilitar su manipulación.

1.3.3 Pre-tratamiento de las muestras. Se realizó la filtración del agua por medio de una bomba de vacío (Marca: ABM, Modelo FXF 5 CX-4) y filtros de tipo cualitativo. La solución resultante se llevó a un proceso de decantación por medio de embudos de separación en donde se dejaron en reposo aproximadamente 5 días con el fin de eliminar el resto de impurezas. Finalmente el agua pre-tratada fue envasada en nuevos recipientes con el fin de evitar su contaminación.

³⁰ Ibid p 66

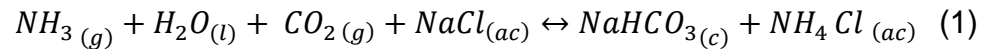
1.3.4 Caracterización materia prima. Mediante un análisis fisicoquímico realizado en el *Laboratorio Químico de Consultas Industriales* de la Universidad Industrial de Santander – UIS, se definió la composición del agua de producción inicial en términos de iones de bicarbonato disuelto (Método: Titrimétrico, Norma: SM 2320 B), cloruro (Método: Argentométrico, Norma: SM 4500-Cl⁻ B), hierro (Método: Absorción atómica, Norma: SM 3030 E Y SM 3111 B), sodio, calcio y magnesio (Método: Absorción Atómica, Norma: SM 3111 B); asimismo se determinó el pH (Método: Potenciométrico, Norma: SM 4500-H⁺B). Adicionalmente se registró el pH a la salmuera sintética mediante el uso de tiras reactivas. Los resultados obtenidos de dichos análisis se evidencian en el Anexo A.

1.3.5 Producción de bicarbonato de sodio. Antes de iniciar el equipo fue necesario determinar primero el flujo de NH₃ y CO₂ correspondiente al diseño experimental mediante un flujómetro, en el cual se midió la distancia recorrida por la burbuja generada entre el contacto del gas y el texapón diluido en agua. Por lo tanto, los volúmenes para NH₃ fueron de 10, 15 y 20 ml, mientras para CO₂ fueron de 5, 10 y 15 ml. Establecidos los volúmenes según el gas, se tomó el tiempo que requería la burbuja en recorrer dicho volumen mediante el uso de un cronómetro. Los resultados obtenidos se pueden observar en los Anexos C y D.

El equipo se inició adicionando con una probeta 300 ml de la solución salina a un embudo con regulador de flujo para mantener un goteo aproximado de 60 gotas/min, el flujo de salmuera o agua de producción pasa por una columna Vigreux en el cual ocurre la amoniación y la gota entra en contacto previamente con el flujo de NH₃ en contracorriente y llega al separador tipo campana siendo necesario que se forme un nivel para un goteo hacia la columna Vigreux en donde sucede la carbonatación, en el cual la gota pasa a posterior contacto con el flujo de CO₂ también en contracorriente. Así las gotas de bicarbonato de sodio se acumulan en un balón recolector de dos bocas. De acuerdo al experimento que se estuviera realizando se permitía o no el paso del agua de enfriamiento en la columna de carbo-

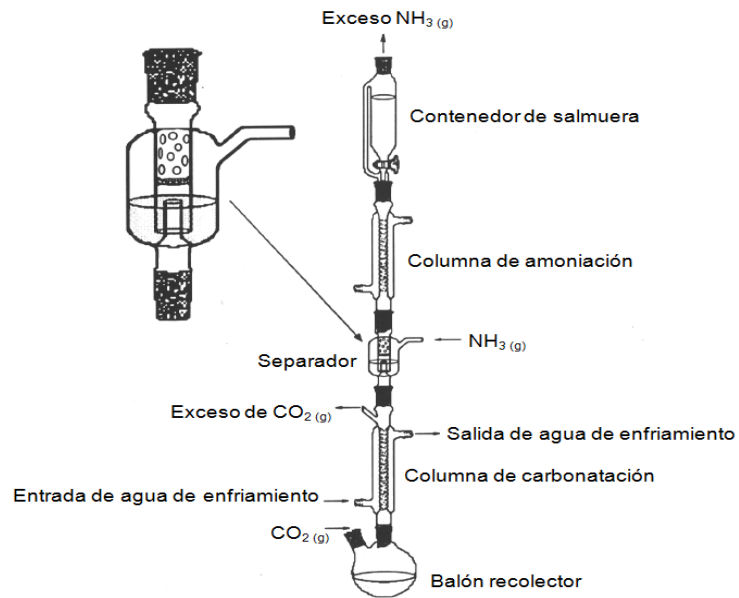
natación. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra en detalle las partes principales del equipo empleado y en el Anexo E obsérvese una fotografía real del mismo.

La reacción general involucrada en el proceso de obtención de bicarbonato de sodio es:



1.3.6 Caracterización fisicoquímica de las muestras obtenidas. Posteriormente fueron recogidos los 32 experimentos y se procedió a la toma del pH mediante el uso de tiras reactivas. Los registros del nivel de acidez o alcalinidad de cada muestra pueden ser consultados en los Anexos C y D. Finalmente, las muestras fueron enviadas a análisis al *Laboratorio Químico de Consultas Industriales* de la Universidad Industrial de Santander – UIS con el fin de determinar los iones de bicarbonato tanto disuelto como precipitado, carbonatos e hidróxidos (Método: Titrimétrico, Norma: SM 2320 B). Los resultados obtenidos se pueden observar en los Anexos F y G.

Figura 3. Diseño del equipo empleado para la producción de bicarbonato de sodio



Fuente: DÍAZ, Camilo y NAVARRO, Juan C. Aprovechamiento de aguas de producción como fuente de obtención de “Soda Ash” (carbonato de sodio). Tesis de grado. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Petróleos. 2014. p 66

1.4 DESCRIPCIÓN DE LOS MONTAJES

1.4.1 Filtración del agua de producción. Con el propósito de retirar las impurezas contenidas en el agua, se llevó a cabo la filtración al vacío mediante una bomba de vacío, para lo cual el agua se vertió a través de un papel filtro ubicado en un embudo Büchner, quedando retenidas las impurezas (sólidas) en el papel filtro, mientras el líquido era succionado a través del embudo a un matraz kitasato.

1.4.2 Decantación del agua de producción filtrada. Una vez filtrada el agua de producción se procedió a realizar la decantación como complemento del retiro de impurezas, para ello se empleó un soporte universal en el cual se instaló mediante la ayuda de una pinza de nuez un embudo de decantación. El proceso de decantación tomó alrededor de 5 días.

1.4.3 Medición de los flujos de NH₃ y CO₂. Para determinar los flujos de NH₃ y CO₂ se utilizó un flujómetro que cuenta con una boquilla lateral para conectar el gas (NH₃ o CO₂) y en el fondo se acopló un trozo de una pipeta plástica (previamente cortada), la cual contenía el texapón diluido en agua. Dicho flujómetro fue ubicado en un soporte universal mediante una pinza de nuez.

1.4.4 Montaje del equipo de producción de bicarbonato de sodio. El equipo consta de un embudo con regulador de flujo unido por encima a una manguera con adaptador para la salida de NH₃ y en el fondo a una columna Vigreux de amoniación. La columna de amoniación se conecta a un separador tipo campana, siendo acoplada una manguera a la parte lateral del separador, la cual permite el flujo de gas de NH₃ hacia el interior del separador. El separador se acopla a la columna Vigreux de carbonatación, esta columna posee en la parte superior lateral derecho e izquierdo la salida del agua de enfriamiento y de CO₂ respectivamente, mientras que por el fondo en el lado izquierdo se une la manguera de entrada de agua de refrigeración. Posterior a la columna de carbonatación se une el balón recolector de 2 bocas el cual por el lateral izquierdo se conecta a una manguera con un adaptador macho en el que pasa el flujo de CO₂. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa el esquema del equipo completo. Es de precisar que el embudo con regulador de flujo, las columnas Vigreux, el separador tipo campana y el balón recolector se sujetaron con pinzas de nuez a un panel de rejilla metálica.

2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Durante el desarrollo experimental se observó que flujos altos de los gases (NH_3 y CO_2) afectaban la estabilidad de goteo de la solución salina (salmuera sintética o agua de producción) hacia la columna de carbonatación, impidiendo la correcta absorción de los gases en el líquido; esto ocurre porque al haber mayor presión en el sistema, impedía que el separador goteara, acumulando el líquido y causando un desnivel que hacía que éste se desbordara y no en forma de gotas como debía suceder.

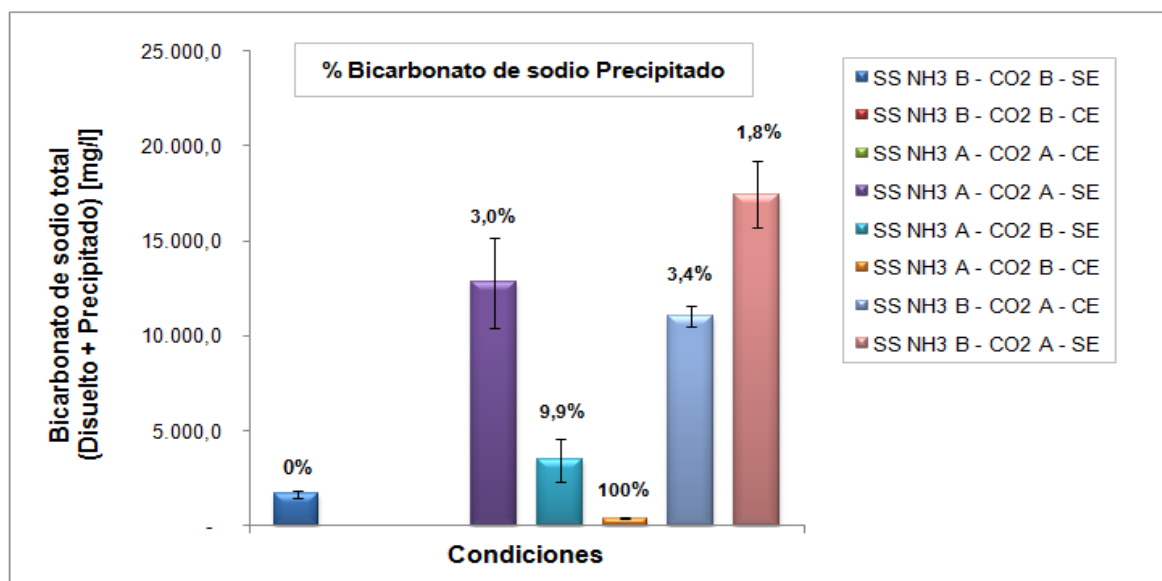
Las concentraciones de los iones bicarbonato, disuelto y precipitado, medido mediante análisis fisicoquímico provienen del bicarbonato de sodio, reportadas como ion bicarbonato dado el método utilizado para su medición, permitiendo determinar por estequiometría las concentraciones de bicarbonato de sodio, como se presenta en el Anexo H. A continuación, se presenta el análisis de los resultados obtenidos a partir de la experimentación realizada.

Nótese que la nomenclatura utilizada en los diferentes gráficos corresponde a: A – Flujo Alto; B – Flujo Bajo; CE – Con Enfriamiento y SE – Sin Enfriamiento. Asimismo de acuerdo a la materia prima se utilizó: SS: Salmuera Sintética y AP: Agua de Producción.

2.1. BICARBONATO DE SODIO A PARTIR DE SALMUERA SINTÉTICA

En la gráfica 1 se muestra la relación entre las condiciones de operación y las concentraciones de bicarbonato de sodio total (disuelto + precipitado) y bicarbonato de sodio precipitado obtenidas a partir de salmuera sintética.

Grafica 1. Resultados de concentraciones de bicarbonato de sodio a partir de salmuera sintética



Se observa que las muestras a flujos bajos de amoníaco (NH_3) y dióxido de carbono (CO_2) con enfriamiento (SS NH_3 B – CO_2 B – CE) y flujos altos de NH_3 y CO_2 con enfriamiento (SS NH_3 A – CO_2 A – CE) no presentan formación de bicarbonato de sodio total (disuelto + precipitado), esto sugiere que la disminución de la temperatura debida al enfriamiento solubiliza en mayor proporción el flujo de NH_3 ³¹ que junto con su capacidad de alcalinizar la solución^{32 33} conduce a un aumento en la concentración de hidróxidos (Anexo I) permitiendo la reacción de disociación de los iones bicarbonato a carbonato^{34 35}. Lo anterior, indica la posibilidad de obtener carbonato de sodio, sin embargo lo reportado por el análisis fisicoquímico no permite conocer si dichos iones pertenecen únicamente al carbonato de sodio, pues

³¹ EL-NAAS M. A combined approach for the management of desalination reject brine and capture of CO_2 . En: Desalination. 2010. Vol. 251, issues 1-5, p. 70-74.

³² CARVALINHO, Maurício, et al. Produced water reuse for production of chemicals. En: Society of Petroleum Engineers International (12-14, abril: Río de Janeiro, Brasil). 2010. P. 1-6.

³³ EL-NAAS M. A Op cit. p. 70-74.

³⁴ DE ARAÚJO, Adriano, et al. Simulação do processo Solvay no laboratório didático. En: Química Nova. 1998. Vol. 21, issue 1, p. 114-116. ISSN 0100-4042. . [en línea] [citado 01 de mayo de 2015] Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40421998000100018

³⁵ SKOOG, Douglas y WEST Donald. Introducción a la química analítica. España: Reverté, 2002, p. 339-343.

podrían ser también carbonato de amonio³⁶; de esta manera la información suministrada por los resultados fisicoquímicos no permiten hacer un análisis definitivo de la concentración real del carbonato de sodio.

Por otro lado se observa que la muestra de flujo alto de NH₃, flujo bajo de CO₂ con enfriamiento (SS NH₃ A – CO₂ B – CE) obtuvo bicarbonato de sodio completamente precipitado, lo que pudo ocurrir es que una vez saturada la solución salina con el bicarbonato de sodio disuelto dio paso a la precipitación de producto. Adicionalmente, el exceso de amoníaco favoreció la liberación de los iones OH³⁷⁻³⁸ lo que permitió la formación de carbonatos a partir de los iones bicarbonatos disueltos^{39 40}; sin embargo, esta reacción de disociación se dio únicamente con el bicarbonato soluble (disuelto) pues se observa que la presencia de hidróxidos (Anexo I) no afectó el bicarbonato precipitado. Las demás muestras presentan bicarbonato de sodio en sus dos fases excepto la muestra que opera a flujos bajos de NH₃ y CO₂ sin enfriamiento (SS NH₃ B – CO₂ B – SE), la cual no presentó formación de bicarbonato cristalizado (precipitado), sugiriendo que la falta de enfriamiento impidió la cristalización del producto⁴¹.

Se destaca de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.1**, que la mayor obtención de bicarbonato total (disuelto + precipitado) de sodio se presenta a condiciones de flujo bajo de NH₃, alto de CO₂ y sin enfriamiento (SS NH₃ B – CO₂ A – SE), probablemente el alto flujo de CO₂ generó la disminución del pH,

³⁶ RECERCAT. Base de datos de Recercat. Planta de producción de carbonato sódico [Documento en línea]. [Consultado 18 de Diciembre de 2014] Disponible en <http://www.recercat.cat/bitstream/handle/2072/3575/projecte%20c1c2.pdf?sequence=4>

³⁷ CARVALINHO, Maurício, et al. Produced water reuse for production of chemicals. En: Society of Petroleum Engineers International (12-14, abril: Río de Janeiro, Brasil). 2010. P. 1-6.

³⁸ EL-NAAS M. A combined approach for the management of desalination reject brine and capture of CO₂. En: Desalination. 2010. Vol. 251, issues 1-5, p. 70-74.

³⁹ DE ARAÚJO, Adriano, et al. Simulação do processo Solvay no laboratório didático. En: Química Nova. 1998. Vol. 21, issue 1, p. 114-116. ISSN 0100-4042. [en línea] [citado 01 de mayo de 2015] Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40421998000100018

⁴⁰ SKOOG, Douglas y WEST Donald. Introducción a la química analítica. España: Reverté, 2002, p. 339-343.

⁴¹ EL-NAAS M. A Op cit. p. 70-74.

permitiendo la liberación de mayor concentración de iones H^+ ⁴² en comparación con la concentración de iones OH^- originados por el bajo flujo NH_3 ^{43 44}, lo que evitó la disociación del ion bicarbonato disuelto^{45 46}; no obstante, no hubo suficiente precipitación del producto, sugiriendo que la falta de enfriamiento impidió un mayor porcentaje de cristalización⁴⁷.

2.2. BICARBONATO DE SODIO A PARTIR DE AGUA DE PRODUCCIÓN

En la Grafica 2 se muestra la relación entre las condiciones de operación y las concentraciones obtenidas de bicarbonato de sodio total (disuelto + precipitado) y bicarbonato de sodio precipitado utilizando agua de producción como materia prima.

Grafica 2. Resultados de concentraciones de bicarbonato de sodio a partir de agua de producción

⁴² DE ARAÚJO, Op cit. p. 114-116.

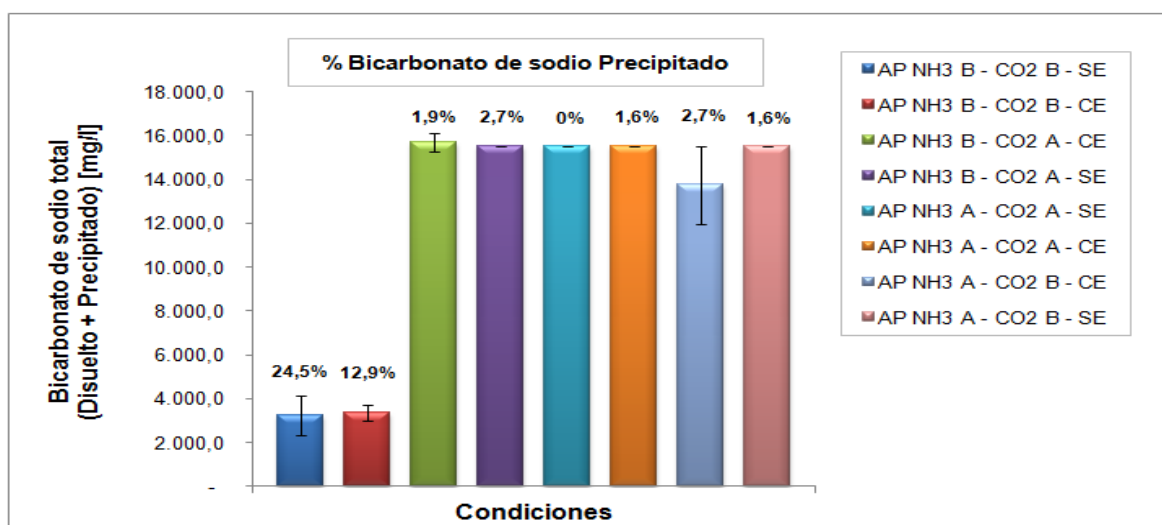
⁴³ CARVALINHO, Op cit. p. 1-6.

⁴⁴ EL-NAAS M. A Op cit. p. 70-74.

⁴⁵ DE ARAÚJO, Op cit.p. 114-116

⁴⁶SKOOG, Douglas y WEST Donald. Introducción a la química analítica. España: Reverté, 2002, p. 339-343.

⁴⁷ EL-NAAS M. A Op cit. p. 70-74.



Se observa el gran potencial del agua de producción como materia prima para la obtención de bicarbonato de sodio, ya que presenta mayores concentraciones de este producto en comparación a las concentraciones obtenidas a partir de salmuera sintética, este hecho fue inesperado pues de acuerdo a la literatura, un exceso de cloruro de sodio (NaCl) favorecería la obtención del producto deseado⁴⁸, es decir que era de esperarse mayor concentración de bicarbonato de sodio a partir de la salmuera. Además, se observó que se obtuvo mayor concentración de iones bicarbonato en el agua de producción en comparación con la salmuera, lo cual sugiere que a pesar de que la salmuera tenía mayor cantidad de iones sodio (debido a una mayor concentración de NaCl), lo que limitó la obtención del bicarbonato de sodio a partir de la salmuera fue la menor concentración de iones bicarbonato obtenida por la reacción en las muestras finales (Anexo J). Por otro lado, la mayor concentración de iones bicarbonato en el agua de producción se explica por el carácter básico (pH = 8) del agua de producción inicial (Anexo A) indicando la menor concentración de iones H⁺, lo que buscaría compensarse al disolver mayor cantidad de CO₂ en el agua, generando ácido carbónico (H₂CO₃) del cual se liberará los iones H⁺ resultando así el ion bicarbonato⁴⁹.

⁴⁸ CARVALINHO, Maurício, et al. Produced water reuse for production of chemicals. En: Society of Petroleum Engineers International (12-14, abril: Río de Janeiro, Brasil). 2010. P. 1-6.

⁴⁹ GUTIÉRREZ, Enrique. Química. Primera edición. España. Editorial Reverté, 1986, p. 363- 365

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, nótese que todas las muestras presentaron bicarbonato de sodio precipitado excepto la muestra operada a condiciones de flujos altos de NH_3 y CO_2 sin enfriamiento (AP NH_3 A – CO_2 A – SE), sugiriendo que a pesar de obtener bicarbonato de sodio, la falta de enfriamiento no permitió la cristalización, obteniéndose únicamente bicarbonato de sodio soluble (disuelto)⁵⁰.

Se observa que ninguna muestra obtuvo bicarbonato de sodio completamente precipitado, probablemente la presencia de iones calcio cuya concentración supera las 15 ppm (concentración de iones calcio en la materia prima 6.052 ppm, ver Anexo A) disminuyó la frecuencia de nucleación y velocidad de crecimiento del cristal⁵¹; sin embargo, nótese que la muestra de flujos bajos de gases de NH_3 y CO_2 sin enfriamiento (AP NH_3 B – CO_2 B – SE) reporta la mejor obtención de bicarbonato de sodio precipitado a pesar de no haber presencia de enfriamiento, posiblemente una mayor temperatura disminuyó la solubilidad del NH_3 en la solución⁵² evitando la formación de iones OH^- , por lo que no favoreció la reacción de disociación del bicarbonato^{53 54}, permitiendo la saturación de bicarbonato de sodio soluble (disuelto) y posteriormente la precipitación del mismo.

A partir del análisis fisicoquímico se observó la presencia de iones carbonatos en la mayoría de las muestras de agua de producción (Anexo J), esto sugiere la posibilidad de obtener carbonato de sodio igual que en la salmuera. Sin embargo, en este caso a diferencia de la salmuera, al utilizar agua de producción puede producirse además de carbonato de amonio, carbonato de calcio y carbonato de mag-

⁵⁰ EL-NAAS M. Op cit. p. 70-74.

⁵¹ ZHU, Yi, et al. Influence of calcium ions on the crystallization of sodium bicarbonate. En: Journal of Crystal Growth. 2005. Vol. 275, issues 1-2, p. 1333-1339.

⁵² DE ARAÚJO, Adriano, et al. Simulação do processo Solvay no laboratório didático. En: Química Nova. 1998. Vol. 21, issue 1, p. 114-116. ISSN 0100-4042. [en línea] [citado 01 de mayo de 2015] Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40421998000100018

⁵³ DE ARAÚJO. Op cit. p. 114-116.

⁵⁴ SKOOG, Douglas y WEST Donald. Introducción a la química analítica. España: Reverté, 2002, p. 339-343.

nesio⁵⁵ debido a la composición iónica de dicha agua (Anexo A); por lo tanto no se puede estimar la concentración de carbonato de sodio.

2.3. ESTUDIO ESTADÍSTICO PARA LA OBTENCIÓN DE BICARBONATO DE SODIO A PARTIR DE SALMUERA SINTÉTICA

Con el fin de realizar un estudio más detallado sobre la influencia de las 3 variables (flujos de NH₃, CO₂ y enfriamiento) sobre la obtención de bicarbonato de sodio a partir de salmuera sintética, con ayuda del programa *Design Expert 9* se realizó el análisis estadístico ANOVA, obteniéndose los siguientes modelos matemáticos:

Bicarbonato de sodio total (disuelto + precipitado)

Enfriamiento No

$$NaHCO_3^{Total} = -6.190,09738 + 416,43748 * NH_3 + 1.980,11289 * CO_2 - 46,51639 * NH_3 * CO_2$$

Enfriamiento Sí

$$NaHCO_3^{Total} = -13.186,17540 + 1.299,74255 * NH_3 + 3.677,46593 * CO_2 - 351,58168 * NH_3 * CO_2$$

Bicarbonato de sodio precipitado

Enfriamiento No

$$NaHCO_3^{Prec.} = -380,14564 + 58,86658 * NH_3 + 67,09382 * CO_2 - 5,04395 * NH_3 * CO_2$$

Enfriamiento Sí

⁵⁵ CARVALINHO, Maurício, et al. Produced water reuse for production of chemicals. En: Society of Petroleum Engineers International (12-14, abril: Río de Janeiro, Brasil). 2010. P. 1-6.

$$NaHCO_3^{Prec.} = -628,8123 + 120,64744 * NH_3 + 120,13931 * CO_2 - 17,56040 * NH_3 * CO_2$$

Donde

$NaHCO_3^{Total}$ [=] mg/l de bicarbonato de sodio total (disuelto + precipitado)

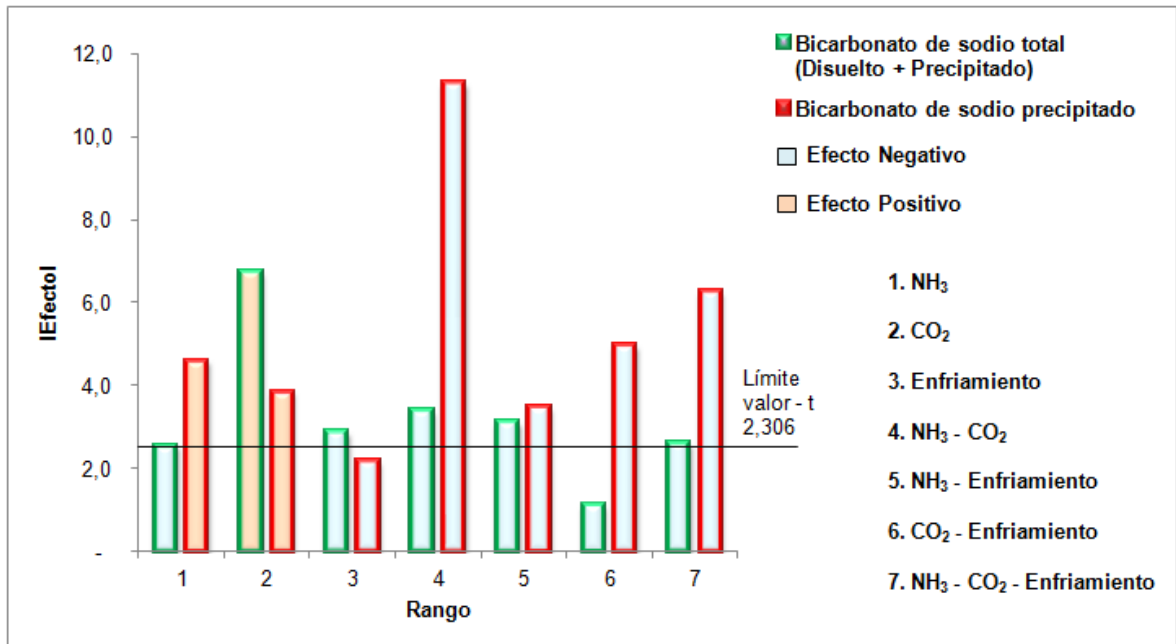
$NaHCO_3^{Prec.}$ [=] mg/l de bicarbonato de sodio precipitado

NH_3 [=] ml/s de flujo de amoníaco

CO_2 [=] ml/s de flujo de dióxido de carbono

En la Grafica 3 de bicarbonato de sodio a partir de salmuera sintética.

Grafica 3. Diagrama de pareto para la obtención de bicarbonato de sodio a partir de salmuera sintética



Para salmuera sintética, se determinó que los modelos obtenidos para el bicarbonato de sodio total (disuelto + precipitado) y bicarbonato de sodio precipitado son significativos donde las variables significantes son aquellas cuyo efecto es mayor

al límite de valor t ($t= 2,306$) como se muestra en la Gráfica 3. De esta manera, se observa que el flujo de CO_2 tiene un efecto positivo tanto en la obtención de bicarbonato de sodio total (disuelto + precipitado) como bicarbonato de sodio precipitado, esto es debido a que el aumento del flujo de CO_2 provoca la saturación del gas en la solución salina haciéndola menos alcalina y de esta forma disminuye la probabilidad de disociación del ion bicarbonato a carbonato⁵⁶, permitiendo saturar la solución con el bicarbonato disuelto para posteriormente precipitarse.

Por otro lado, se visualiza que el flujo de NH_3 tiene un efecto negativo únicamente en el bicarbonato de sodio total (disuelto + precipitado), debido a que el exceso de NH_3 incrementa el pH de la solución, lo que favorece la formación de iones carbonato a partir de iones bicarbonato disuelto⁵⁷. Ahora, si bien es cierto que el NH_3 provoca la disociación del bicarbonato soluble (disuelto), no pasa lo mismo con el bicarbonato insoluble (precipitado), cuyo efecto positivo y de mayor significancia, indica que la presencia de dicho gas, amortigua la solución aumentando el pH favoreciendo la precipitación del producto deseado⁵⁸.

También obsérvese que la combinación NH_3 -enfriamiento, es un parámetro significativo con efecto negativo en el bicarbonato de sodio total (disuelto + precipitado) y bicarbonato de sodio precipitado. Probablemente, la ausencia del enfriamiento disminuyó la solubilidad del NH_3 ⁵⁹ lo que llevó a una disminución del pH y de esta manera, se evitó la disociación del ion bicarbonato^{60 61}, por lo que posteriormente

⁵⁶ KASIKOWSKI T., et al. Combined distiller waste utilization and combustion gases desulphurization method. The case study of soda-ash industry. En: Resources, Conservation and Recycling. 2007. 51(3), p. 665-690.

⁵⁷ STEPHANOPOULOS, George y REKLAITIS, Gintaras. Process systems engineering: from Solvay to modern bio- and nanotechnology. A history of development, successes and prospects for the future. En: Chemical Engineering Science. 2011. Vol. 66, issue 19, p. 4272-4306.

⁵⁸ ZHU, Yi, et al. Influence of calcium ions on the crystallization of sodium bicarbonate. En: Journal of Crystal Growth. 2005. Vol. 275, issues 1-2, p. 1333-1339.

⁵⁹ TRYPUC, Mieczyslaw y BIALOWICZ, Katarzyna. CaCO_3 production using liquid waste from Solvay method. En: Journal of Cleaner Production. 2011. Vol. 19, issues 6-7, p. 751-756.

⁶⁰ DE ARAÚJO, Adriano, et al. Simulação do processo Solvay no laboratório didático. En: Química Nova. 1998. Vol. 21, issue 1, p. 114-116. ISSN 0100-4042. [en línea] [citado 01 de mayo de 2015] Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40421998000100018

favoreció la saturación de la solución con bicarbonato de sodio disuelto, permitiendo la obtención del producto precipitado.

Por otra parte, se observa un efecto negativo de la combinación NH_3-CO_2 tanto en el bicarbonato de sodio total (disuelto + precipitado) como en el bicarbonato de sodio precipitado, esto probablemente se debe a un problema operacional, pues el aumento de los flujos generaba la inestabilidad del goteo de la salmuera e impedía la correcta absorción de los gases, minimizando la formación de bicarbonato de sodio disuelto y principalmente del precipitado.

2.4 ESTUDIO ESTADÍSTICO PARA LA OBTENCIÓN DE BICARBONATO DE SODIO A PARTIR DE AGUA DE PRODUCCIÓN

Del mismo modo, se realizó el análisis estadístico de las variables en la obtención de bicarbonato de sodio, utilizando agua de producción como materia prima, obteniéndose los siguientes modelos matemáticos:

Bicarbonato de sodio total (disuelto + precipitado)

Enfriamiento No

$$NaHCO_3^{Total} = -22.905,88259 + 3.909,90667 * NH_3 + 3.999,41546 * CO_2 \\ - 406,85813 * NH_3 * CO_2$$

Enfriamiento Sí

$$NaHCO_3^{Total} = -20.324,70028 + 3.331,56949 * NH_3 + 3.758,16730 * CO_2 \\ - 349,45918 * NH_3 * CO_2$$

Bicarbonato de sodio precipitado

Enfriamiento No

$$NaHCO_3^{Prec.} = +1.454,01110 - 102,95945 * NH_3 - 73,33183 * CO_2 - 349,45918 \\ * NH_3 * CO_2$$

⁶¹ SKOOG, Douglas y WEST Donald. Introducción a la química analítica. España: Reverté, 2002, p. 339-343.

Enfriamiento Sí

$$NaHCO_3^{Prec.} = +547,88907 - 7,62250 * NH_3 - 22,99270 * CO_2 - 1,8651e^{-14} * NH_3 * CO_2$$

Donde

$NaHCO_3^{Total}$ [=] mg/l de bicarbonato de sodio total (disuelto + precipitado)

$NaHCO_3^{Prec.}$ [=] mg/l de bicarbonato de sodio precipitado

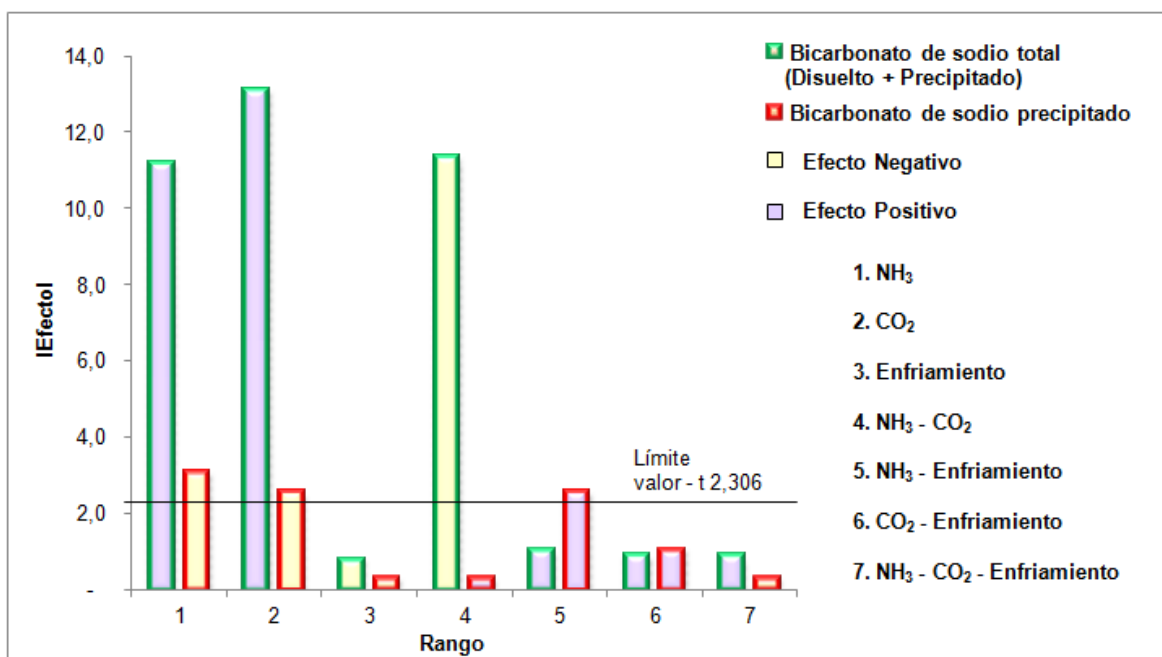
NH_3 [=] ml/s de flujo de amoníaco

CO_2 [=] ml/s de flujo de dióxido de carbono

A partir del análisis estadístico, en la Grafica 4 se muestra el diagrama de Pareto correspondiente a los efectos de las variables en la obtención de bicarbonato de sodio a partir de agua de producción.

Pese a que los modelos planteados para el bicarbonato de sodio total (disuelto + precipitado) y bicarbonato de sodio precipitado a partir de agua de producción son significativos, en la Grafica 4 se evidencia que el modelo para el bicarbonato de sodio total (disuelto + precipitado) es más significativo que para el bicarbonato de sodio precipitado. En comparación con los resultados obtenidos en la salmuera sintética, se observa que en el agua de producción existen menor cantidad de factores significativos pero de mayor significancia para la producción de bicarbonato de sodio total (disuelto + precipitado); por otro lado, en la salmuera se obtiene mayor cantidad de factores significativos y de mayor significancia para la producción de bicarbonato de sodio precipitado.

Grafica 4. Diagrama de pareto para la obtención de bicarbonato de sodio a partir de agua de producción



Obsérvese que el factor NH₃ tiene un efecto negativo en la producción de bicarbonato de sodio precipitado (contrario a lo esperado) que posiblemente se debe a que un exceso del flujo de NH₃ causa un aumento de la presión en el separador, desestabilizando el goteo y evitando la correcta absorción del NH₃; esto impidió la alcalinización de la solución, desfavoreciendo la precipitación del bicarbonato de sodio⁶². También se observa el efecto positivo del factor NH₃ en la producción de bicarbonato de sodio total (disuelto + precipitado), esto sugiere que la absorción de este gas no fue la indicada lo que condujo a una disminución del pH y de esta manera, se evitó la disociación del ion bicarbonato soluble (disuelto)^{63 64}.

Por otro lado, se observa que la combinación NH₃-enfriamiento tiene un efecto positivo en la obtención de bicarbonato de sodio precipitado a partir de agua de

⁶² ZHU, Yi, et al. Influence of calcium ions on the crystallization of sodium bicarbonate. En: Journal of Crystal Growth. 2005. Vol. 275, issues 1-2, p. 1333-1339.

⁶³ DE ARAÚJO, Adriano, et al. Simulação do processo Solvay no laboratório didático. En: Química Nova. 1998. Vol. 21, issue 1, p. 114-116. ISSN 0100-4042. . [en línea] [citado 01 de mayo de 2015] Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40421998000100018

⁶⁴ SKOOG, Douglas y WEST Donald. Introducción a la química analítica. España: Reverté, 2002, p. 339-343.

producción, esto sugiere que la disminución de la temperatura favoreció la solubilidad de este gas⁶⁵ en el agua de producción y de esta manera disminuyó la presurización, garantizando la correcta absorción y alcalinización de la solución, lo que favoreció la cristalización del bicarbonato. Adicionalmente, la disminución de la temperatura favorece aún más la conversión del NaCl a bicarbonato insoluble (precipitado).

Otro factor que influye en la alcalinidad de la solución y por ende en la producción de una mayor precipitación del bicarbonato de sodio es la disminución del CO₂; su efecto negativo se evidencia en la obtención de bicarbonato de sodio precipitado lo que indica que ante la disminución de dicho gas, el pH de la solución aumenta, por lo cual se favorece la precipitación del bicarbonato de sodio^{66 67}. De manera similar a lo obtenido con salmuera sintética, la influencia del CO₂ es representativa y tiene un efecto positivo en el bicarbonato de sodio total (disuelto + precipitado), pues un aumento de este factor CO₂ genera la saturación del gas en el agua de producción, disminuyendo su pH y de esta forma disminuye la presencia de hidróxidos, lo que evita la disociación del bicarbonato de sodio⁶⁸.

De la misma forma a lo ocurrido en la salmuera, se observa que la combinación NH₃-CO₂ tiene un efecto negativo en la obtención del bicarbonato de sodio total (disuelto + precipitado), donde posiblemente el aumento de ambos flujos de gases, generaba la inestabilidad del goteo del agua de producción e impedía la correcta absorción de los gases, desfavoreciendo la reacción para la producción del bicarbonato de sodio.

⁶⁵ DE ARAÚJO. Op cit. p. 114-116.

⁶⁶ EL-NAAS M. A combined approach for the management of desalination reject brine and capture of CO₂. En: Desalination. 2010. Vol. 251, issues 1-5, p. 70-74.

⁶⁷ DE ARAÚJO. Op cit. p. 114-116.

⁶⁸ KASIKOWSKI T., et al. Combined distiller waste utilization and combustion gases desulphurization method. The case study of soda-ash industry. En: Resources, Conservation and Recycling. 2007. 51(3), p. 665-690.

3. CONCLUSIONES

- Al utilizar agua de producción como materia prima, los efectos positivos de las variables de NH_3 y CO_2 en el bicarbonato de sodio total (disuelto + precipitado) obtenido son significativos; asimismo se destaca el efecto negativo de la combinación $\text{NH}_3\text{-CO}_2$. Sin embargo en el bicarbonato de sodio precipitado, los efectos negativos se presentan en las variables NH_3 y CO_2 , como también el efecto positivo en la combinación $\text{NH}_3\text{-Enfriamiento}$.
- Se destacó la influencia de los flujos de NH_3 y CO_2 sobre el pH y éste sobre la obtención de ambas fases del bicarbonato de sodio, donde una mayor alcalinidad favorece la disminución del bicarbonato de sodio soluble (disuelto) pero aumenta la cristalización del bicarbonato (precipitado).
- Debido al carácter básico del agua de producción, se obtuvo mayores concentraciones de bicarbonato de sodio a partir de agua de producción en comparación a las obtenidas a partir de salmuera sintética

4. RECOMENDACIONES

- Simular un sistema de control para pH y flujos de gases (NH_3 y CO_2) para el montaje experimental de producción de bicarbonato de sodio, pues se demostró la influencia de estas variables sobre la concentración final de bicarbonato. Asimismo examinar un método más preciso para la medición de pH.
- Determinar las concentraciones de carbonato de sodio obtenidas durante la producción de bicarbonato de sodio a partir de aguas de producción, con el fin de establecer si es posible obtener el producto de mayor valor agregado.
- Estudiar la influencia de los iones calcio presentes en el agua de producción para la obtención del bicarbonato de sodio precipitado a través de pruebas de ablandamiento.

BIBLIOGRÁFICAS

ARAMBURO, D. y ALDANA, H. Trabajo investigativo “Aguas de formación”. Investigación orientada hacia el análisis y tratamiento de aguas de formación en los pozos petroleros. Bogotá D.C.: Universidad de América. Escuela de Ingeniería de Petróleos. 2011.

ARNOLD, Richard, et al. Manejo de la producción de agua: De residuo a recurso. En: Oilfield Review. Autumn 2004, vol. 16, issue 3, p. 30-45. Disponible en: https://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish04/aut04/04_managing_water.pdf

ARPEL. Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe. Disposición y tratamiento del agua producida. Montevideo: ALCONSULT International Ltd.; 2014. 120 p. Disponible en: http://www.oilproduction.net/files/tratamiento_de_aguas_producidas.pdf

BAILEY, Bill, et al. Control del agua. En: Oilfield Review. Verano 2000, vol 12, issue 1, p. 32-53. [Consultado 25 de febrero 2015]. Disponible en: https://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish00/sum00/p32_53.pdf

CARVALINHO, Maurício, et al. Produced water reuse for production of chemicals. En: Society of Petroleum Engineers International (12-14, abril: Río de Janeiro, Brasil). 2010. P. 1-6.

CZERNUSZEWICZ, Malgorzata; CYDZIK, Eugeniusz y JAWORSKI Zdzislaw. An algebraic description of the absorption equilibrium for the Solvay soda system. En: Journal of Chemical & Engineering Data. 2014, 59(9), p. 2901-2908.

DANE. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Encuesta anual manufacturera. En: DANE. Bogotá D.C. 16, junio, 2014. Documento en línea. [Consultado 4 de Marzo 2015]. Disponible en: <http://www.dane.gov.co/index.php/industria/encuesta-anual-manufacturera-eam/112-boletines/industria/2770-encuesta-anual-manufacturera-eam>

DE ARAÚJO, Adriano, *et al.* Simulação do processo Solvay no laboratório didático. En: Química Nova. 1998. Vol. 21, issue 1, p. 114-116. ISSN 0100-4042. [en línea] [citado 01 de mayo de 2015] Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40421998000100018

DÍAZ, Camilo y NAVARRO, Juan C. Aprovechamiento de aguas de producción como fuente de obtención de “Soda Ash” (carbonato de sodio). Tesis de grado. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-químicas. Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Petróleos. 2014. 66 p

EL-NAAS M. A combined approach for the management of desalination reject brine and capture of CO₂. En: Desalination. 2010. Vol. 251, issues 1-5, p. 70-74.

FAKHRU’L-RAZI, Ahmadun, *et al.* Review of technologies for oil and gas produced water treatment. En: Journal of Hazardous Materials. 2009. Vol. 170, issues 2-3, p. 530-551.

FAKHRU’L-RAZI. Regresar a la meta del millón de barriles, objetivo crudo. En: Portafolio. Bogotá D.C. 9, junio, 2014. Documento [en línea]. [Consultado 16 de Febrero 2015]. Disponible en: <http://www.portafolio.co/economia/colombia-produccion-barriles-petroleo-dia-mayo>

GAO, Canzhu, *et al.* Utilization of distiller waste and residual mother liquor to prepare precipitated calcium carbonate. En: Journal of Cleaner Production. 2007. Vol. 15, issue 15, p. 1419-1425.

GUTIÉRREZ, Enrique. Química. Primera edición. España. Editorial Reverté, 1986, p. 363- 365.

KASIKOWSKI T., *et al.* Combined distiller waste utilization and combustion gases desulphurization method. The case study of soda-ash industry. En: Resources, Conservation and Recycling. 2007. 51(3), p. 665-690.

KASIKOWSKI, T.; BUCZKOWSKI, R. y LEMANOWSKA E. Cleaner production in the amonia-soda industry: an ecological and economic study. En: Journal of Environmental Management. 2004. 73(4), p. 339-356.

MANCILLA, Robinson y MESA, Henry. Metodología para el manejo de aguas de producción en un campo petrolero. Tesis de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. 2012. 202 p.

OGP. Environmental performance indicators – 2012 data. London: OGP Publications; 2013. 64 p. [en línea] [citado 04 de marzo de 2015] Disponible en: <http://www.ogp.org.uk/publications/environment-committee/environmental-performance-indicators/environment-performance-indicators-2012-data/>

RECERCAT. Base de datos de Recercat. Planta de producción de carbonato sódico [Documento en línea]. [Consultado 18 de Diciembre de 2014] Disponible en

SENER, S. Use of solid wastes of the soda ash plant as an adsorbent for the removal of anionic dyes: Equilibrium and kinetic studies. En: Chemical Engineering Journal. 2008. Vol. 138, issues 1-3, p. 207-214.

SKOOG, Douglas y WEST Donald. Introducción a la química analítica. España: Reverté, 2002, p. 339-343.

STEPHANOPOULOS, George y REKLAITIS, Gintaras. Process systems engineering: from Solvay to modern bio- and nanotechnology. A history of development, successes and prospects for the future. En: Chemical Engineering Science. 2011. Vol. 66, issue 19, p. 4272-4306.

TRYPUC, Mieczyslaw y BIALOWICZ, Katarzyna. CaCO₃ production using liquid waste from Solvay method. En: Journal of Cleaner Production. 2011. Vol. 19, issues 6-7, p. 751-756.



VÁSQUEZ, María. Más de 300 millones en químicos importa Colombia. Informe Sector Químico. Bogotá: Centro Virtual de Negocios – CVN, 2011.[en línea] [Consultado 4 de Febrero de 2015]. Disponible en: www.centrovirtualdenegocios.com/ganaderos/item/download/2

ZHU, Yi, *et al.* Influence of calcium ions on the crystallization of sodium bicarbonate. En: Journal of Crystal Growth. 2005. Vol. 275, issues 1-2, p. 1333-1339.

ZHU, Yi, *et al.* Química inorgánica. Obtención de carbonato de sodio (P 5). En: Departamento Estrella Campos. Montevideo. 15, febrero, 2006. Documento [en línea]. [Consultado 3 de Marzo 2015]. Disponible en: http://dec.fq.edu.uy/catedra_inorganica/inorganica/practica5.pdf

ANEXOS

Anexo A. Análisis Físicoquímico De La Materia Prima

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16	
		Página 1 de 2	



"Acreditación por el IDEAM según la Resolución No. 1639 de 2012, en los parámetros pH, DBO₅, DQO, SST, Sólidos, SAAM, grasas y aceites en aguas, metales totales y disueltos en aguas, metales totales en suelos y toma de muestras puntuales y compuestas"



"Autorización del Ministerio de la Protección Social, mediante la resolución 5534 de 2010, para la realización de análisis físicos, químicos y microbiológicos al agua para consumo humano"

Informe de resultados No.	I-14-626-A	Fecha de emisión:	Diciembre 30 de 2014
Cliente:	MARIA XIMENA HERNANDEZ HERNANDEZ		
Dirección del cliente:	Escuela de Ingeniería Química		
Solicitud de servicio No.	14-577	No. de muestras:	01
Fecha de recepción de las muestras:	Diciembre 05 de 2014		
Muestras recibidas por:	Amparo López		
Fecha de análisis:	Diciembre 05 de 2014 – Diciembre 30 de 2014		

1. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	14-577-01	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	Agua de Producción – Inicial		
Matriz de la muestra:	Agua de Producción		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo		
Fecha del muestreo:	Noviembre 28 de 2014		

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ /L)	180	Titrimétrico / SM 2320 B
Cloruros (mg Cl/L)	2580	Argentométrico / SM 4500-Cl ⁻ B
Sodio (mg Na/L)	52800	Absorción Atómica / SM 31 11B
Calcio (mg Ca/L)	6052	Absorción Atómica / SM 31 11B
Magnesio (mg Mg/L)	820	Absorción Atómica / SM 31 11B
Hierro (mg Fe/L)	0,720	Absorción Atómica/SM 3030 E y SM 3111B
pH (Unidades de pH)	7,59	Potenciométrico/SM 4500-H ⁺ B

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222
 Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2463 ó 2465. Telefax: (7) 6349009
 Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: labquimco@gmail.com; labquimco@uis.edu.co
 Bucaramanga - Colombia

Determinación de pH de la materia prima

MATERIA PRIMA	pH
Salmuera sintética	6
Agua de producción	8

Anexo B. Cálculo Estequiométrico Para Determinar La Cantidad De Cloruro De Sodio En La Materia De Prima (Agua De Producción)



Según la ecuación estequiométrica para formar un mol de cloruro de sodio se requiere un mol de ión sodio y un mol de ión cloro. Los datos obtenidos del análisis fisicoquímico de materia prima inicial reportan las siguientes concentraciones:

$$\text{Concentración } Na^+ = 52,8 \frac{g}{l}$$

$$\text{Concentración } Cl^- = 2,58 \frac{g}{l}$$

Para calcular la cantidad de moles necesaria con el fin de llevar a cabo la reacción de disociación, se utilizan los pesos moleculares para cada ión así:

$$52,8 \frac{g}{l} Na^+ * \left(\frac{1 \text{ mol } Na^+}{22,99 \text{ g } Na^+} \right) = 2,30 \frac{\text{mol}}{l} Na^+$$

$$2,58 \frac{g}{l} Cl^- * \left(\frac{1 \text{ mol } Cl^-}{35,45 \text{ g } Cl^-} \right) = 0,0728 \frac{\text{mol}}{l} Cl^-$$

Con lo anterior se deduce que el reactivo límite es el ión cloro y asumiendo una eficiencia de la reacción de 100%, la cantidad de NaCl es igual a la cantidad del ión cloro. Entonces la cantidad de masa de NaCl:

$$0,0728 \frac{\text{mol}}{l} NaCl * \left(\frac{58,44 \text{ g } NaCl}{1 \text{ mol } NaCl} \right) = 4,25 \frac{g}{l} NaCl = 4,25 * 10^{-3} \frac{g}{ml} NaCl$$

Anexo C. Datos Experimentales De La Salmuera Sintética

Salmuera sintética a condiciones de: flujo NH₃ bajo, flujo CO₂ bajo y sin agua de enfriamiento (SS NH₃ B – CO₂ B – SE)

Réplica 1

Muestra No. 1

Desfogues: 2

Replica No. 1

pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [mL]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	2,76	4,68	7,56	1,41	2,91	4,68
2		2,88	4,96	7,15	1,43	2,95	4,44
3		3,02	4,92	7,28	1,50	3,03	4,52
4		2,84	5,03	7,37	1,45	2,96	4,59
5		3,15	4,93	7,63	1,57	3,02	4,56
	t _{prom} [s]	2,93	4,90	7,40	1,47	2,97	4,56
	Q [ml/s]	3,41	3,06	2,70	3,40	3,36	3,29
	Q _{prom} [ml/s]	3,06			3,35		

Réplica 2

Muestra No. 1

Desfogues: 0

Replica No. 2

pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [mL]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	2,66	4,59	5,41	1,27	2,44	3,77
2		2,75	4,49	5,46	1,24	2,51	3,84
3		2,84	4,81	5,37	1,20	2,47	3,73
4		2,72	4,22	5,36	1,21	2,47	3,74
5		2,92	4,50	5,28	1,18	2,55	3,80
	t _{prom} [s]	2,78	4,52	5,38	1,22	2,49	3,78
	Q [ml/s]	3,60	3,32	3,72	4,10	4,02	3,97
	Q _{prom} [ml/s]	3,55			4,03		

Salmuera sintética a condiciones de: flujo NH₃ bajo, flujo CO₂ bajo y con agua de enfriamiento (SS NH₃ B – CO₂ B – CE)

Réplica 1

Muestra No. 2
Replica No. 1

Desfogues: 2
pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	2,77	4,45	6,84	1,66	3,04	4,61
2		2,69	4,86	6,72	1,65	3,22	4,43
3		2,70	4,58	7,13	1,66	3,16	4,63
4		2,74	4,66	6,63	1,61	3,07	4,42
5		2,84	4,88	7,13	1,77	3,17	4,40
	t _{prom}	2,75	4,69	6,89	1,67	3,13	4,50
	Q [ml/s]	3,64	3,20	2,90	2,99	3,19	3,33
	Q _{prom} [ml/s]	3,25			3,17		

Réplica 2

Muestra No. 2
Replica No. 2

Desfogues: 2
pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	2,66	3,62	5,05	1,24	2,33	3,43
2		2,57	3,79	5,16	1,21	2,37	3,41
3		2,51	3,79	5,12	1,31	2,44	3,61
4		2,47	3,85	5,28	1,23	2,41	3,53
5		2,45	3,91	5,34	1,24	2,52	3,59
	t _{prom}	2,53	3,79	5,19	1,25	2,41	3,51
	Q [ml/s]	3,95	3,96	3,85	4,01	4,14	4,27
	Q _{prom} [ml/s]	3,92			4,14		

Salmuera sintética a condiciones de: flujo NH₃ alto, flujo CO₂ alto y con agua de enfriamiento (SS NH₃ A – CO₂ A – CE)

Réplica 1

Muestra No. 3
Replica No. 1

Desfogues: 3
pH final: 12

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	0,95	1,45	1,97	0,53	1,12	1,54
2		0,99	1,56	2,06	0,49	0,97	1,64
3		0,92	1,51	2,00	0,50	0,97	1,63
4		1,03	1,46	1,98	0,45	1,04	1,68
5		0,90	1,49	1,87	0,56	1,09	1,61
	t _{prom}	0,96	1,49	2,05	0,51	1,04	1,62
	Q [ml/s]	10,44	10,04	9,76	9,88	9,63	9,26
	Q _{prom} [ml/s]	10,08			9,59		

Réplica 2

Muestra No. 3
Replica No. 2

Desfogues: 3
pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	0,99	1,26	1,78	0,54	0,97	1,54
2		1,06	1,27	1,98	0,41	1,02	1,42
3		0,93	1,40	1,80	0,51	0,99	1,50
4		1,03	1,38	1,77	0,47	0,95	1,49
5		0,90	1,43	1,87	0,41	1,01	1,45
	t _{prom}	0,98	1,35	1,84	0,47	0,99	1,50
	Q [ml/s]	10,18	11,13	10,87	10,68	10,12	10,00
	Q _{prom} [ml/s]	10,73			10,27		

Salmuera sintética a condiciones de: flujo NH₃ alto, flujo CO₂ alto y sin agua de enfriamiento (SS NH₃ A – CO₂ A – SE)

Réplica 1

Muestra No. 4

Desfogues: 3

Replica No. 1

pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [mL]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	1,01	1,40	1,85	0,61	0,92	1,14
2		0,92	1,29	1,79	0,56	1,01	1,20
3		0,94	1,38	1,86	0,65	0,96	1,12
4		0,98	1,43	1,81	0,66	1,05	1,19
5		0,93	1,35	1,74	0,70	0,98	1,17
	t _{prom} [s]	0,96	1,37	1,83	0,64	0,98	1,16
	Q [ml/s]	10,46	10,95	10,93	7,86	10,16	12,89
	Q _{prom} [ml/s]	10,78			10,30		

Réplica 2

Muestra No. 4

Desfogues: 3

Replica No. 2

pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [mL]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	0,96	1,53	1,78	0,55	0,93	1,31
2		0,94	1,42	1,87	0,58	0,98	1,34
3		1,05	1,48	1,70	0,62	1,02	1,29
4		0,99	1,41	1,74	0,54	0,82	1,28
5		1,01	1,39	1,82	0,46	0,99	1,30
	t _{prom} [s]	0,99	1,45	1,79	0,55	1,00	1,30
	Q [ml/s]	10,10	10,37	11,17	9,09	10,00	11,50
	Q _{prom} [ml/s]	10,55			10,20		

Salmuera sintética a condiciones de: flujo NH₃ alto, flujo CO₂ bajo y sin agua de enfriamiento (SS NH₃ A – CO₂ B – SE)

Réplica 1

Muestra No. 5
Replica No. 1

Desfogues: 2
pH final: 12

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	0,84	1,57	1,93	1,38	2,91	4,34
2		0,95	1,48	1,99	1,41	2,90	4,34
3		0,96	1,55	1,92	1,41	2,89	4,28
4		0,88	1,53	1,95	1,35	2,86	4,37
5		0,94	1,53	1,84	1,45	2,88	4,31
	t _{prom}	0,91	1,53	1,93	1,40	2,89	4,33
	Q [ml/s]	10,94	9,79	10,38	3,57	3,46	3,47
	Q _{prom} [ml/s]	10,37			3,50		

Réplica 2

Muestra No. 5
Replica No. 2

Desfogues: 3
pH final: 12

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	1,00	1,49	1,66	1,42	2,93	4,50
2		0,91	1,52	1,79	1,44	2,81	4,61
3		0,87	1,43	1,75	1,46	2,89	4,57
4		0,95	1,48	1,77	1,37	2,86	4,64
5		0,89	1,57	1,69	1,46	2,99	4,51
	t _{prom}	0,92	1,50	1,73	1,43	2,90	4,57
	Q [ml/s]	10,82	10,01	11,55	3,50	3,45	3,29
	Q _{prom} [ml/s]	10,79			3,41		

Salmuera sintética a condiciones de: flujo NH₃ alto, flujo CO₂ bajo y con agua de enfriamiento (SS NH₃ A – CO₂ B – CE)

Réplica 1

Muestra No. 6
Replica No. 1

Desfogues: 2
pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	0,95	1,52	1,74	1,47	2,99	4,39
2		0,91	1,49	1,85	1,55	2,99	4,63
3		0,90	1,41	1,74	1,43	2,94	4,56
4		0,89	1,33	1,74	1,55	3,00	4,67
5		0,89	1,34	1,74	1,46	2,97	4,58
	t _{prom}	0,91	1,42	1,76	1,49	2,98	4,57
	Q [ml/s]	11,01	10,58	11,35	3,35	3,36	3,29
	Q _{prom} [ml/s]	10,98			3,33		

Réplica 2

Muestra No. 6
Replica No. 2

Desfogues: 2
pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	0,97	1,34	1,84	1,39	3,01	4,74
2		1,01	1,37	1,77	1,48	2,84	4,84
3		0,88	1,37	1,75	1,46	2,99	4,71
4		0,90	1,44	1,81	1,41	2,91	4,66
5		0,97	1,38	1,65	1,52	2,96	4,62
	t _{prom}	0,95	1,38	1,76	1,45	2,94	4,71
	Q [ml/s]	10,57	10,87	11,34	3,44	3,40	3,18
	Q _{prom} [ml/s]	10,93			3,34		

Salmuera sintética a condiciones de: flujo NH₃ bajo, flujo CO₂ alto y con agua de enfriamiento (SS NH₃ B – CO₂ A – CE)

Réplica 1

Muestra No. 7
Replica No. 1

Desfogues: 3
pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	2,61	4,09	5,35	0,52	0,87	1,56
2		2,56	3,83	5,63	0,52	0,94	1,56
3		2,75	3,95	5,32	0,59	0,93	1,54
4		2,62	4,18	5,51	0,56	0,99	1,63
5		2,80	4,23	5,34	0,52	0,99	1,54
	t _{prom}	2,67	4,06	5,43	0,54	0,94	1,57
	Q [ml/s]	3,75	3,70	3,68	9,23	10,59	9,58
	Q _{prom} [ml/s]	3,71			9,80		

Réplica 2

Muestra No. 7
Replica No. 2

Desfogues: 1
pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	2,66	4,43	5,58	0,52	0,99	1,66
2		2,86	4,39	5,62	0,51	1,07	1,72
3		2,82	4,43	5,65	0,48	1,02	1,69
4		2,81	4,49	5,70	0,56	1,05	1,64
5		2,83	4,50	5,44	0,55	0,93	1,58
	t _{prom}	2,80	4,45	5,60	0,52	1,01	1,66
	Q [ml/s]	3,58	3,37	3,57	9,54	9,88	9,05
	Q _{prom} [ml/s]	3,51			9,49		

Salmuera sintética a condiciones de: flujo NH₃ bajo, flujo CO₂ alto y sin agua de enfriamiento (SS NH₃ B – CO₂ A – SE)

Réplica 1

Muestra No. 8
Replica No. 1

Desfogues: 1
pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	2,68	4,55	5,86	0,55	0,91	1,82
2		2,66	4,66	5,90	0,52	0,93	1,84
3		2,50	4,42	5,73	0,45	0,89	1,93
4		2,77	4,62	5,68	0,53	0,96	1,95
5		2,70	4,59	5,65	0,47	0,97	1,95
	t _{prom}	2,66	4,57	5,76	0,50	0,93	1,90
	Q [ml/s]	3,76	3,28	3,47	9,92	10,73	7,90
	Q _{prom} [ml/s]	3,50			9,52		

Réplica 2

Muestra No. 8
Replica No. 2

Desfogues: 0
pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	2,74	4,79	5,75	0,60	0,99	1,77
2		2,80	4,45	5,91	0,64	0,89	1,66
3		2,84	4,75	5,89	0,51	0,98	1,73
4		2,77	4,44	5,88	0,57	0,88	1,74
5		2,75	4,50	5,92	0,60	0,88	1,84
	t _{prom}	2,78	4,59	5,87	0,58	0,92	1,75
	Q [ml/s]	3,60	3,27	3,41	8,56	10,82	8,58
	Q _{prom} [ml/s]	3,43			9,32		

Anexo D. Datos Experimentales Del Agua De Producción

Agua de producción a condiciones de: flujo NH₃ bajo, flujo CO₂ bajo y sin agua de enfriamiento (AP NH₃ B – CO₂ B – SE)

Réplica 1

Muestra No. 1
Replica No. 1

Desfogues: 3
pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	2,34	3,28	4,73	1,16	2,35	3,38
2		2,64	3,14	4,71	1,21	2,34	3,43
3		2,50	3,37	4,70	1,12	2,39	3,35
4		2,20	3,65	4,81	1,20	2,22	3,41
5		2,20	3,63	4,70	1,22	2,24	3,40
	t _{prom}	2,38	3,41	4,73	1,18	2,31	3,39
	Q [ml/s]	4,21	4,39	4,23	4,23	4,33	4,42
	Q _{prom} [ml/s]	4,28			4,33		

Réplica 2

Muestra No. 1
Replica No. 2

Desfogues: 3
pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	2,23	3,41	4,50	1,24	2,48	3,55
2		2,24	3,44	4,77	1,29	2,43	3,54
3		2,20	3,55	4,60	1,28	2,39	3,55
4		2,36	3,31	4,77	1,25	2,38	3,38
5		2,45	3,34	4,59	1,21	2,55	3,59
	t _{prom}	2,30	3,41	4,65	1,25	2,45	3,52
	Q [ml/s]	4,36	4,40	4,30	3,99	4,09	4,26
	Q _{prom} [ml/s]	4,35			4,11		

Agua de producción a condiciones de: flujo NH₃ bajo, flujo CO₂ bajo y con agua de enfriamiento (AP NH₃ B – CO₂ B – CE)

Réplica 1

Muestra No. 2
Replica No. 1

Desfogues: 3
pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	2,23	3,30	4,60	1,24	2,56	3,51
2		2,34	3,41	4,56	1,38	2,61	3,53
3		2,20	3,34	4,46	1,17	2,56	3,40
4		2,32	3,28	4,52	1,31	2,63	3,38
5		2,32	3,34	4,58	1,30	2,41	3,34
	t _{prom}	2,28	3,33	4,54	1,28	2,55	3,43
	Q [ml/s]	4,38	4,50	4,40	3,91	3,92	4,37
	Q _{prom} [ml/s]	4,43			4,06		

Réplica 2

Muestra No. 2
Replica No. 2

Desfogues: 2
pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	2,30	3,40	4,52	1,20	2,41	3,43
2		2,21	3,34	4,56	1,26	2,41	3,48
3		2,38	3,38	4,58	1,27	2,50	3,51
4		2,38	3,40	4,41	1,22	2,57	3,65
5		2,21	3,57	4,45	1,29	2,38	3,47
	t _{prom}	2,30	3,42	4,50	1,25	2,45	3,51
	Q [ml/s]	4,36	4,39	4,44	4,01	4,07	4,28
	Q _{prom} [ml/s]	4,39			4,12		

Agua de producción a condiciones de: flujo NH₃ bajo, flujo CO₂ alto y con agua de enfriamiento (AP NH₃ B – CO₂ A – CE)

Réplica 1

Muestra No. 3
Replica No. 1

Desfogues: 1
pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	2,29	3,40	4,75	0,56	0,99	1,81
2		2,40	3,48	4,59	0,59	1,00	1,70
3		2,27	3,56	4,77	0,52	0,99	1,74
4		2,26	3,56	4,69	0,53	0,98	1,83
5		2,29	3,45	4,68	0,50	1,02	1,74
	t _{prom}	2,30	3,49	4,70	0,54	1,00	1,76
	Q [ml/s]	4,34	4,30	4,26	9,26	10,04	8,50
	Q _{prom} [ml/s]	4,30			9,27		

Réplica 2

Muestra No. 3
Replica No. 2

Desfogues: 2
pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	2,27	3,52	4,63	0,53	1,03	1,64
2		2,29	3,56	4,60	0,56	0,94	1,85
3		2,36	3,55	4,74	0,47	0,87	1,72
4		2,31	3,40	4,63	0,47	1,02	1,75
5		2,34	3,60	4,66	0,52	0,96	1,73
	t _{prom}	2,31	3,53	4,65	0,51	0,96	1,74
	Q [ml/s]	4,32	4,25	4,30	9,80	10,37	8,63
	Q _{prom} [ml/s]	4,29			9,60		

Agua de producción a condiciones de: flujo NH₃ bajo, flujo CO₂ alto y sin agua de enfriamiento (AP NH₃ B – CO₂ A – SE)

Réplica 1

Muestra No. 4
Replica No. 1

Desfogues: 1
pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	2,21	3,53	4,68	0,58	0,99	1,78
2		2,23	3,60	4,69	0,58	1,02	1,80
3		2,47	3,50	4,61	0,58	1,01	1,70
4		2,51	3,48	4,74	0,56	0,99	1,71
5		2,56	3,68	4,67	0,59	0,95	1,70
	t _{prom}	2,40	3,56	4,68	0,58	0,99	1,74
	Q [ml/s]	4,17	4,22	4,28	8,65	10,08	8,63
	Q _{prom} [ml/s]	4,22			9,12		

Réplica 2

Muestra No. 4
Replica No. 2

Desfogues: 2
pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	2,31	3,47	4,70	0,49	0,92	1,56
2		2,28	3,61	4,57	0,51	1,04	1,55
3		2,43	3,49	4,62	0,52	0,92	1,70
4		2,23	3,54	4,71	0,51	0,94	1,64
5		2,23	3,50	4,61	0,50	0,97	1,58
	t _{prom}	2,30	3,52	4,64	0,51	0,96	1,61
	Q [ml/s]	4,36	4,26	4,31	9,88	10,44	9,34
	Q _{prom} [ml/s]	4,31			9,89		

Agua de producción a condiciones de: flujo NH₃ alto, flujo CO₂ alto y sin agua de enfriamiento (AP NH₃ A – CO₂ A – SE)

Réplica 1

Muestra No. 5
Replica No. 1

Desfogues: 3
pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	1,03	1,52	2,07	0,51	0,96	1,56
2		1,03	1,56	2,09	0,49	1,01	1,74
3		1,00	1,50	1,98	0,53	1,02	1,58
4		1,00	1,57	2,01	0,49	1,03	1,63
5		1,00	1,42	2,05	0,49	1,00	1,56
	t _{prom}	1,01	1,51	2,04	0,50	1,00	1,61
	Q [ml/s]	9,88	9,91	9,80	9,96	9,96	9,29
	Q _{prom} [ml/s]	9,86			9,74		

Réplica 2

Muestra No. 5
Replica No. 2

Desfogues: 3
pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	0,99	1,65	2,04	0,49	1,02	1,56
2		0,98	1,56	2,05	0,50	0,99	1,56
3		1,00	1,45	2,08	0,54	1,02	1,63
4		1,02	1,52	1,98	0,52	0,95	1,42
5		1,05	1,49	2,11	0,52	1,08	1,65
	t _{prom}	1,01	1,53	2,05	0,51	1,01	1,56
	Q [ml/s]	9,92	9,78	9,75	9,73	9,88	9,59
	Q _{prom} [ml/s]	9,82			9,73		

Agua de producción a condiciones de: flujo NH₃ alto, flujo CO₂ alto y con agua de enfriamiento (AP NH₃ A – CO₂ A – CE)

Réplica 1

Muestra No. 6
Replica No. 1

Desfogues: 3
pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	0,99	1,49	2,04	0,55	0,97	1,56
2		0,95	1,56	2,02	0,52	0,97	1,53
3		1,08	1,53	2,06	0,49	1,02	1,57
4		1,02	1,58	2,08	0,52	1,08	1,60
5		0,99	1,48	2,02	0,52	1,03	1,49
	t _{prom}	1,01	1,53	2,04	0,52	1,01	1,55
	Q [ml/s]	9,94	9,82	9,78	9,62	9,86	9,68
	Q _{prom} [ml/s]	9,85			9,72		

Réplica 2

Muestra No. 6
Replica No. 2

Desfogues: 2
pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	1,06	1,49	2,02	0,48	1,05	1,52
2		1,01	1,60	2,01	0,49	1,02	1,56
3		0,98	1,52	2,03	0,56	1,00	1,55
4		0,99	1,49	2,06	0,54	1,00	1,51
5		0,99	1,54	2,06	0,49	0,98	1,56
	t _{prom}	1,01	1,53	2,04	0,51	1,01	1,54
	Q [ml/s]	9,94	9,82	9,82	9,77	9,90	9,74
	Q _{prom} [ml/s]	9,86			9,80		

Agua de producción a condiciones de: flujo NH₃ alto, flujo CO₂ bajo y con agua de enfriamiento (AP NH₃ A – CO₂ B – CE)

Réplica 1

Muestra No. 7
Replica No. 1

Desfogues: 1
pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	0,99	1,52	1,98	1,22	2,39	3,45
2		0,99	1,59	2,02	1,29	2,45	3,52
3		1,08	1,47	2,11	1,20	2,49	3,47
4		0,99	1,66	2,08	1,32	2,43	3,57
5		1,02	1,44	2,00	1,20	2,47	3,57
	t _{prom}	1,01	1,54	2,04	1,25	2,45	3,52
	Q [ml/s]	9,86	9,77	9,81	4,01	4,09	4,27
	Q _{prom} [ml/s]	9,81			4,12		

Réplica 2

Muestra No. 7
Replica No. 2

Desfogues: 3
pH final: 12

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	1,01	1,56	2,03	1,27	2,48	3,48
2		1,09	1,56	2,00	1,24	2,41	3,59
3		1,04	1,57	2,01	1,28	2,41	3,52
4		0,99	1,48	2,09	1,21	2,45	3,55
5		0,99	1,53	2,06	1,27	2,50	3,53
	t _{prom}	1,02	1,54	2,04	1,25	2,45	3,53
	Q [ml/s]	9,77	9,74	9,81	3,99	4,08	4,24
	Q _{prom} [ml/s]	9,77			4,10		

Agua de producción a condiciones de: flujo NH₃ alto, flujo CO₂ bajo y sin agua de enfriamiento (AP NH₃ A – CO₂ B – SE)

Réplica 1

Muestra No. 8
Replica No. 1

Desfogues: 1
pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	0,99	1,53	2,04	1,27	2,40	3,48
2		1,00	1,52	1,99	1,27	2,41	3,49
3		1,01	1,52	2,11	1,22	2,49	3,48
4		1,06	1,55	2,02	1,27	2,50	3,56
5		0,97	1,56	2,04	1,22	2,45	3,59
	t _{prom}	1,01	1,54	2,04	1,25	2,45	3,52
	Q [ml/s]	9,94	9,77	9,80	4,00	4,08	4,26
	Q _{prom} [ml/s]	9,84			4,11		

Réplica 2

Muestra No. 8
Replica No. 2

Desfogues: 2
pH final: 11

Prueba	Tipo de Gas	NH ₃			CO ₂		
	Volumen [ml]	10	15	20	5	10	15
1	Tiempo [s]	0,93	1,50	1,99	1,20	2,43	3,58
2		1,04	1,58	2,02	1,31	2,50	3,52
3		1,02	1,59	2,08	1,20	2,49	3,56
4		1,07	1,52	1,99	1,28	2,42	3,60
5		0,98	1,49	2,05	1,29	2,42	3,56
	t _{prom}	1,01	1,54	2,03	1,26	2,45	3,56
	Q [ml/s]	9,92	9,77	9,87	3,98	4,08	4,21
	Q _{prom} [ml/s]	9,85			4,09		

Anexo E. Fotografía Del Montaje Del Equipo Real Para La Producción De Bicarbonato De Sodio



Anexo F. Informe De Resultados – Análisis Fisicoquímico De La Salmuera Sintética

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALÍTICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 1 de 9	



"Acreditación por el IDEAM según la Resolución No. 1659 de 2011, en los parámetros pH, DBO₅, DQO, SST, fenoles, SAAM, grasas y aceites en aguas, metales totales y disueltos en aguas, metales totales en suelos y toma de muestras puntuales y compuestas"



"Autorización del Ministerio de la Protección Social, mediante la resolución 5534 de 2010, para la realización de análisis físicos, químicos y microbiológicos al agua para consumo humano"

Informe de resultados No.	I-14-622	Fecha de emisión:	Diciembre 30 de 2014
Cliente:	MARIA XIMENA HERNANDEZ HERNANDEZ-ERIKA JOHANNA GUALDRON MENDOZA		
Dirección del cliente:	Escuela de Ingeniería Química		
Solicitud de servicio No.	14-574	No. de muestras:	16
Fecha de recepción de las muestras:	Diciembre 03 de 2014		
Muestras recibidas por:	Amparo López		
Fecha de análisis:	Diciembre 03 de 2014 – Diciembre 30 de 2014		

1. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	14-574-01	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	Salmuera – Muestra 1 / Replica 1		
Matriz de la muestra:	Salmuera		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo		
Fecha del muestreo:	Noviembre 16 de 2014		

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO / NORMA
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	1342	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	10800	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222
 Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2463 ó 2465. Telefax: (7) 6349009
 Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: labquimco@gmail.com; labquimco@uis.edu.co
 Bucaramanga - Colombia

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 2 de 9	

Informe de resultados No. I-14-622 Solicitud de servicio No. 14-574

2. ANALISIS FISICOQUIMICO



Codificación de la Muestra: 14-574-02	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Salmuera – Muestra 1 / Replica 2	
Matriz de la muestra: Salmuera	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Noviembre 18 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO_3^-/L)	1098	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO_3^-/L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg $\text{CO}_3^{2-}/\text{L}$)	25800	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH^-/L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B

3. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 14-574-03	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Salmuera – Muestra 2 / Replica 1	
Matriz de la muestra: Salmuera	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Noviembre 18 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO_3^-/L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO_3^-/L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg $\text{CO}_3^{2-}/\text{L}$)	5280	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH^-/L)	68	Titrimétrico / SM 2320 B

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 3 de 9	

Informe de resultados No. I-14-622 Solicitud de servicio No. 14-574

4. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 14-574-04	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Salmuera – Muestra 2 / Réplica 2	
Matriz de la muestra: Salmuera	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Noviembre 18 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	11520	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	748	Titrimétrico / SM 2320 B

5. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 14-574-05	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Salmuera – Muestra 3 / Replica 1	
Matriz de la muestra: Salmuera	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Noviembre 18 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	86400	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	3570	Titrimétrico / SM 2320 B

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 4 de 9	

Informe de resultados No. I-14-622 Solicitud de servicio No. 14-574

6. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 14-574-06	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Salmuera – Muestra 3 / Replica 2	
Matriz de la muestra: Salmuera	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Noviembre 18 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	67440	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	442	Titrimétrico / SM 2320 B

7. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 14-574-07	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Salmuera – Muestra 4 / Replica 1	
Matriz de la muestra: Salmuera	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Noviembre 18 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	10736	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	305	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	71040	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 5 de 9	

Informe de resultados No. I-14-622 Solicitud de servicio No. 14-574

8. ANALISIS FISICOQUIMICO



Codificación de la Muestra: 14-574-08	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Salmuera – Muestra 4 / Replica 2	
Matriz de la muestra: Salmuera	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Noviembre 19 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO_3^-/L)	7320	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO_3^-/L)	244	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg $\text{CO}_3^{2-}/\text{L}$)	58800	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH^-/L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B

9. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 14-574-09	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Salmuera – Muestra 5 / Replica 1	
Matriz de la muestra: Salmuera	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Noviembre 19 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO_3^-/L)	3172	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO_3^-/L)	183	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg $\text{CO}_3^{2-}/\text{L}$)	48000	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH^-/L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 6 de 9	

Informe de resultados No. I-14-622 Solicitud de servicio No. 14-574

10. ANALISIS FISICOQUIMICO



Codificación de la Muestra: 14-574-10	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Salmuera – Muestra 5 / Replica 2	
Matriz de la muestra: Salmuera	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Noviembre 19 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	1464	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	244	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	56880	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B

11. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 14-574-11	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Salmuera – Muestra 6 / Replica 1	
Matriz de la muestra: Salmuera	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Noviembre 19 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	305	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	60600	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	2210	Titrimétrico / SM 2320 B

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 7 de 9	

Informe de resultados No. I-14-622 Solicitud de servicio No. 14-574

12. ANALISIS FISICOQUIMICO



Codificación de la Muestra: 14-574-12	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Salmuera – Muestra 6 / Replica 2	
Matriz de la muestra: Salmuera	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Noviembre 19 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	305	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	38640	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	1972	Titrimétrico / SM 2320 B

13. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 14-574-13	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Salmuera – Muestra 7 / Replica 1	
Matriz de la muestra: Salmuera	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Noviembre 19 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	8174	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	244	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	14040	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 8 de 9	

Informe de resultados No. I-14-622 Solicitud de servicio No. 14-574

14. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 14-574-14	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Salmuera – Muestra 7 / Replica 2	
Matriz de la muestra: Salmuera	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Noviembre 19 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	7320	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	292,8	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	12000	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B

15. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 14-574-15	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Salmuera – Muestra 8 / Replica 1	
Matriz de la muestra: Salmuera	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Noviembre 20 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	11224	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	183	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	8640	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 9 de 9	

Informe de resultados No. I-14-622 Solicitud de servicio No. 14-574

16. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 14-574-16	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Salmuera – Muestra 8 / Replica 2	
Matriz de la muestra: Salmuera	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Noviembre 18 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	13664	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	268,4	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	11520	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B

Observaciones: Ninguna

Nota 1: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y reportadas por el laboratorio.

Nota 2: En caso de ser copia del resultado original se realizará la siguiente aclaración: Copia del resultado original.

Estimado cliente: Para nosotros es muy importante conocer sus inquietudes, sugerencias, felicitaciones, quejas y/o reclamos en los servicios prestados por el laboratorio, con el propósito de mejorar nuestros servicios. Le agradecemos que se comuniqué con el laboratorio, donde un miembro del personal amablemente recibirá su solicitud y pronto estaremos en comunicación con usted para aclarar y/o resolver su requerimiento.

Revisó y aprobó:




Luz Yolanda Vargas Fiallo
Directora del Laboratorio
Química. M.Sc Química UIS
MP PQ 1144

Elaboró: Amparo López Guerrero

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222
Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2463 ó 2465. Telefax: (7) 6349009
Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: labquimco@gmail.com;
labquimco@uis.edu.co
Bucaramanga - Colombia

Anexo G. Informe De Resultados – Análisis Físicoquímico Del Agua De Producción

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 1 de 9	



"Acreditación por el IDEAM según la Resolución No. 1659 de 2011, en los parámetros pH, DBO₅, DQO, SST, fenoles, SAAM, grasas y aceites en aguas, metales totales y disueltos en aguas, metales totales en suelos y toma de muestras puntuales y compuestas"



"Autorización del Ministerio de la Protección Social, mediante la resolución 5534 de 2010, para la realización de análisis físicos, químicos y microbiológicos al agua para consumo humano"

Informe de resultados No.	I-14-626	Fecha de emisión:	Diciembre 30 de 2014
Cliente:	MARIA XIMENA HERNANDEZ HERNANDEZ-ERIKA JOHANNA GUALDRON MENDOZA		
Dirección del cliente:	Escuela de Ingeniería Química		
Solicitud de servicio No.	14-577	No. de muestras:	16
Fecha de recepción de las muestras:	Diciembre 05 de 2014		
Muestras recibidas por:	Amparo López		
Fecha de análisis:	Diciembre 05 de 2014 – Diciembre 30 de 2014		

1. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	14-577-01	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	Agua de Producción – Muestra 1 / Replica 1		
Matriz de la muestra:	Agua de Producción		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo		
Fecha del muestreo:	Noviembre 28 de 2014		

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	2395,2	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	610	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222
 Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2463 ó 2465. Telefax: (7) 6349009
 Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: labquimco@gmail.com; labquimco@uis.edu.co
 Bucaramanga - Colombia

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 2 de 9	

Informe de resultados No. I-14-626 Solicitud de servicio No. 14-577

2. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 14-577-02	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Agua de Producción – Muestra 1 / Replica 2	
Matriz de la muestra: Agua de Producción	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Noviembre 28 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	1217,6	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	488	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	598,8	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B

3. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 14-577-03	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Agua de Producción – Muestra 2 / Replica 1	
Matriz de la muestra: Agua de Producción	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Noviembre 28 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	1826,3	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	366	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222
 Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2463 ó 2465. Telefax: (7) 6349009
 Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: labquimco@gmail.com;
labquimco@uis.edu.co
 Bucaramanga - Colombia

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 3 de 9	

Informe de resultados No. I-14-626 Solicitud de servicio No. 14-577

4. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 14-577-04	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Agua de Producción – Muestra 2 / Replica 2	
Matriz de la muestra: Agua de Producción	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Noviembre 28 de 2014	



PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	2435	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	244	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B

5. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 14-577-05	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Agua de Producción – Muestra 3 / Replica 1	
Matriz de la muestra: Agua de Producción	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Noviembre 18 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	38962	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	183	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	37126	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222
 Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2463 ó 2465. Telefax: (7) 6349009
 Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: labquimco@gmail.com;
labquimco@uis.edu.co
 Bucaramanga - Colombia

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 4 de 9	

Informe de resultados No. I-14-626 Solicitud de servicio No. 14-577

6. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 14-577-06	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Agua de Producción – Muestra 3 / Replica 2	
Matriz de la muestra: Agua de Producción	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Diciembre 01 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	244	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	23952	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	2036	Titrimétrico / SM 2320 B

7. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 14-577-07	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Agua de Producción – Muestra 4 / Replica 1	
Matriz de la muestra: Agua de Producción	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Diciembre 01 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	21916	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	244	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	32335	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 5 de 9	

Informe de resultados No. I-14-626 Solicitud de servicio No. 14-577

8. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 14-577-08	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Agua de Producción – Muestra 4 / Replica 2	
Matriz de la muestra: Agua de Producción	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Diciembre 01 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	70618,5	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	366	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	45508,8	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B

9. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 14-577-09	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Agua de Producción – Muestra 5 / Replica 1	
Matriz de la muestra: Agua de Producción	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Diciembre 01 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	49920	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	59880	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 6 de 9	

Informe de resultados No. I-14-626 Solicitud de servicio No. 14-577

10. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 14-577-10	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Agua de Producción – Muestra 5 / Replica 2	
Matriz de la muestra: Agua de Producción	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Noviembre 19 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	80359	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	64670,4	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B

11. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 14-577-11	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Agua de Producción – Muestra 6 / Replica 1	
Matriz de la muestra: Agua de Producción	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Diciembre 02 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	159500	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	366	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	113772	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 7 de 9	

Informe de resultados No. I-14-626 Solicitud de servicio No. 14-577

12. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 14-577-12	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Agua de Producción – Muestra 6 / Replica 2	
Matriz de la muestra: Agua de Producción	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Noviembre 19 de 2014	



PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	94969,7	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	82634	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B

13. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 14-577-13	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Agua de Producción – Muestra 7 / Replica 1	
Matriz de la muestra: Agua de Producción	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Noviembre 19 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	8523	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	183	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	76646	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222
 Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2463 ó 2465. Telefax: (7) 6349009
 Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: labquimco@gmail.com;
labquimco@uis.edu.co
 Bucaramanga - Colombia

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 8 de 9	

Informe de resultados No. I-14-626 Solicitud de servicio No. 14-577

14. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 14-577-14	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Agua de Producción – Muestra 7 / Replica 2	
Matriz de la muestra: Agua de Producción	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Diciembre 02 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	77924	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	366	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	122155	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B

15. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 14-577-15	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Agua de Producción – Muestra 8 / Replica 1	
Matriz de la muestra: Agua de Producción	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Diciembre 03 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	31657	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	244	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	68263	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 9 de 9	

Informe de resultados No. I-14-626 Solicitud de servicio No. 14-577

16. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 14-577-16	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: Agua de Producción – Muestra 8 / Replica 2	
Matriz de la muestra: Agua de Producción	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Laboratorio de Procesos Ingeniería Química / Equipo	
Fecha del muestreo: Diciembre 03 de 2014	

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Bicarbonato Disuelto (mg HCO ₃ ⁻ /L)	25569	Titrimétrico / SM 2320 B
Bicarbonato Precipitado (mg HCO ₃ ⁻ /L)	122	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg CO ₃ ⁻² /L)	76646	Titrimétrico / SM 2320 B
Hidróxidos (mg OH ⁻ /L)	0	Titrimétrico / SM 2320 B

Observaciones: Ninguna

Nota 1: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y reportadas por el laboratorio.

Nota 2: En caso de ser copia del resultado original se realizará la siguiente aclaración: Copia del resultado original.

Estimado cliente: Para nosotros es muy importante conocer sus inquietudes, sugerencias, felicitaciones, quejas y/o reclamos en los servicios prestados por el laboratorio, con el propósito de mejorar nuestros servicios. Le agradecemos que se comunique con el laboratorio, donde un miembro del personal amablemente recibirá su solicitud y pronto estaremos en comunicación con usted para aclarar y/o resolver su requerimiento.

Revisó y aprobó:

Luz Yolanda Vargas Fiallo
Directora del Laboratorio
Química. M.Sc Química UIS
MP PQ 1144

Elaboró: Amparo López Guerrero

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222
Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2463 ó 2465. Telefax: (7) 6349009
Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: labquimco@gmail.com;
labquimco@uis.edu.co
Bucaramanga - Colombia

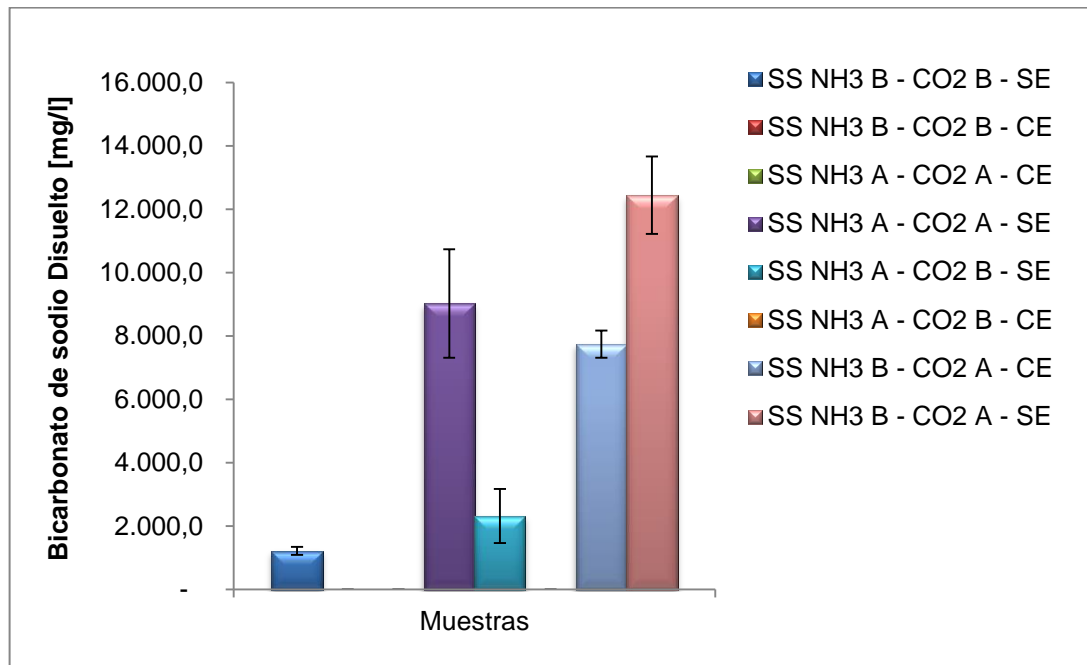
ANEXO H. DETERMINACIÓN DE BICARBONATO DE SODIO OBTENIDO A PARTIR DE SALMUERA SINTÉTICA Y AGUA DE PRODUCCIÓN

Para determinar la concentración de bicarbonato de sodio, se siguió el mismo procedimiento utilizado para determinar la concentración de cloruro de sodio presente en el agua de producción en el Anexo B. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** resume los resultados obtenidos sobre la concentración final de bicarbonato de sodio en sus dos fases.

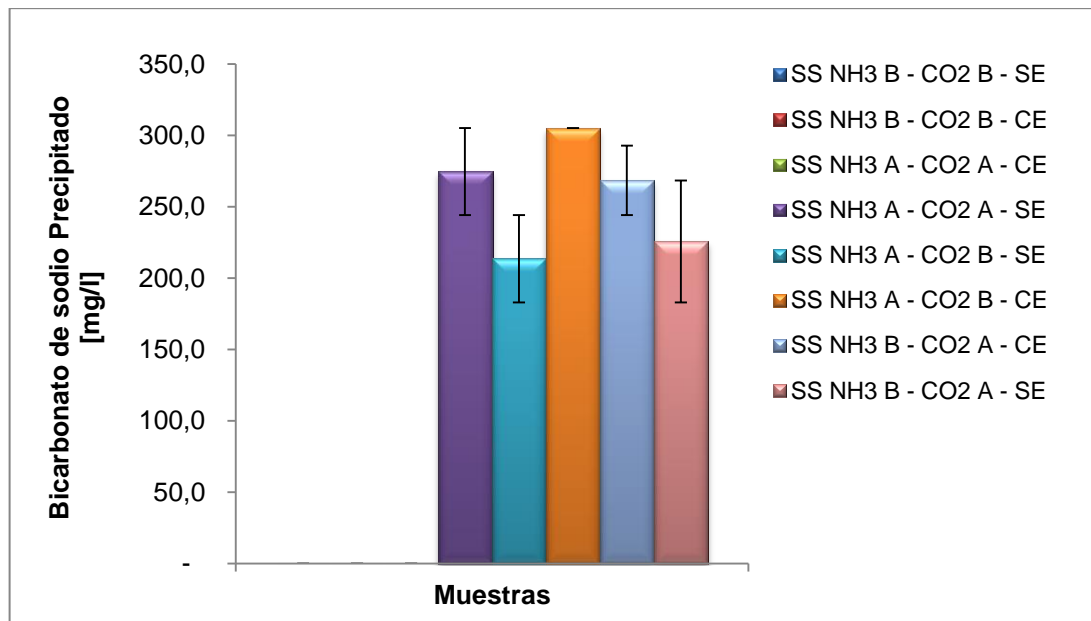
Concentración final de bicarbonato de sodio disuelto y precipitado obtenidos a partir de salmuera sintética y agua de producción

	NOMENCLATURA	BICARBONATO DISUELTO [mg/l]			BICARBONATO PRECIPITADO [mg/l]		
		REPLICA	PROM	DESV	REPLICA	PROM	DESV
SALMUERA SINTÉTICA	SS NH ₃ B - CO ₂ B - SE	1.848,0	1.680,0	237,6	-	-	-
		1.512,0			-		
	SS NH ₃ B - CO ₂ B - CE	-	-	-	-	-	-
		-			-		
	SS NH ₃ A - CO ₂ A - CE	-	-	-	-	-	-
		-			-		
	SS NH ₃ A - CO ₂ A - SE	14.784,0	12.432,0	3.326,2	420,0	378,0	59,4
		10.080,0			336,0		
	SS NH ₃ A - CO ₂ B - SE	4.368,0	3.192,0	1.663,1	252,0	294,0	59,4
		2.016,0			336,0		
SS NH ₃ A - CO ₂ B - CE	-	-	-	420,0	420,0	-	
	-			420,0			
SS NH ₃ B - CO ₂ A - CE	11.256,0	10.668,0	831,6	336,0	369,6	47,5	
	10.080,0			403,2			
SS NH ₃ B - CO ₂ A - SE	15.456,0	17.136,0	2.375,9	252,0	310,8	83,2	
	18.816,0			369,6			
AGUA DE PRODUCCIÓN	AP NH ₃ B - CO ₂ B - SE	3.298,3	2.487,5	810,8	840,0	756,0	118,8
		1.676,7			672,0		
	AP NH ₃ B - CO ₂ B - CE	2.514,9	2.934,0	419,1	504,0	420,0	118,8
		3.353,1			336,0		
	AP NH ₃ B - CO ₂ A - CE	15.276,5	7.638,2	7.638,2	252,0	294,0	59,4
		15.487,1			336,0		
	AP NH ₃ B - CO ₂ A - SE	15.192,5	15.108,5	84,0	336,0	420,0	118,8
		15.024,5			504,0		
	AP NH ₃ A - CO ₂ B - SE	15.528,5	15.528,5	-	-	-	-
		15.528,5			-		
	AP NH ₃ A - CO ₂ B - CE	15.024,5	15.276,5	356,4	504,0	252,0	356,4
		15.528,5			-		
	AP NH ₃ A - CO ₂ A - CE	11.736,6	13.380,5	1.644,0	252,0	378,0	178,2
		15.024,5			504,0		
AP NH ₃ A - CO ₂ A - SE	15.192,5	15.276,5	84,0	336,0	252,0	118,8	
	15.360,5			168,0			

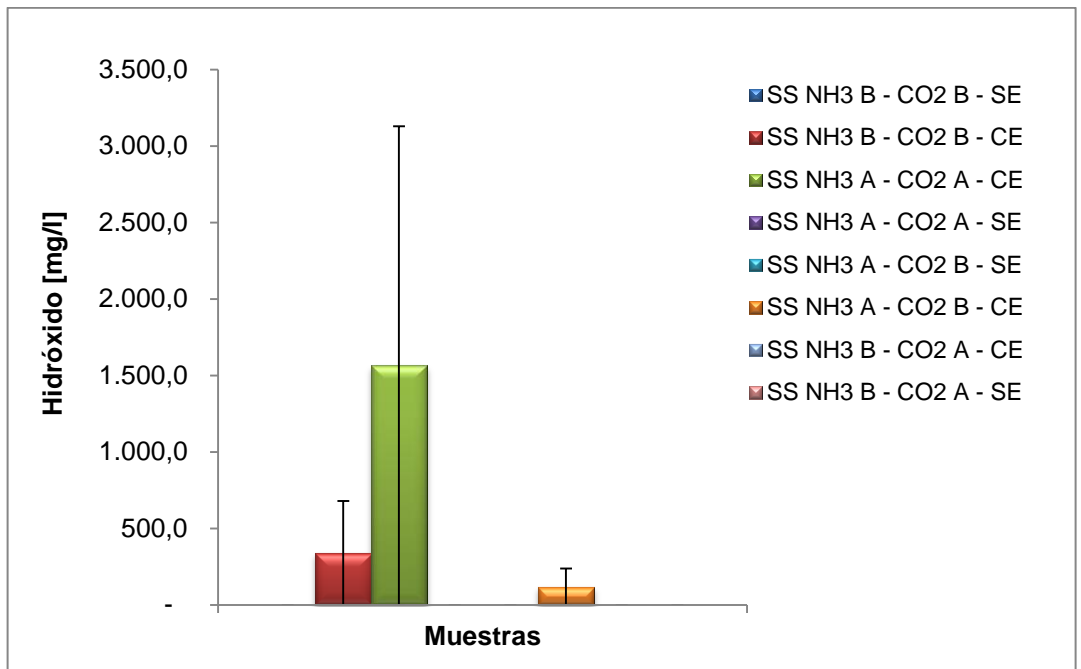
Anexo I. Diagramas De Las Composiciones Iónicas Finales Para La Salmuera Sintética



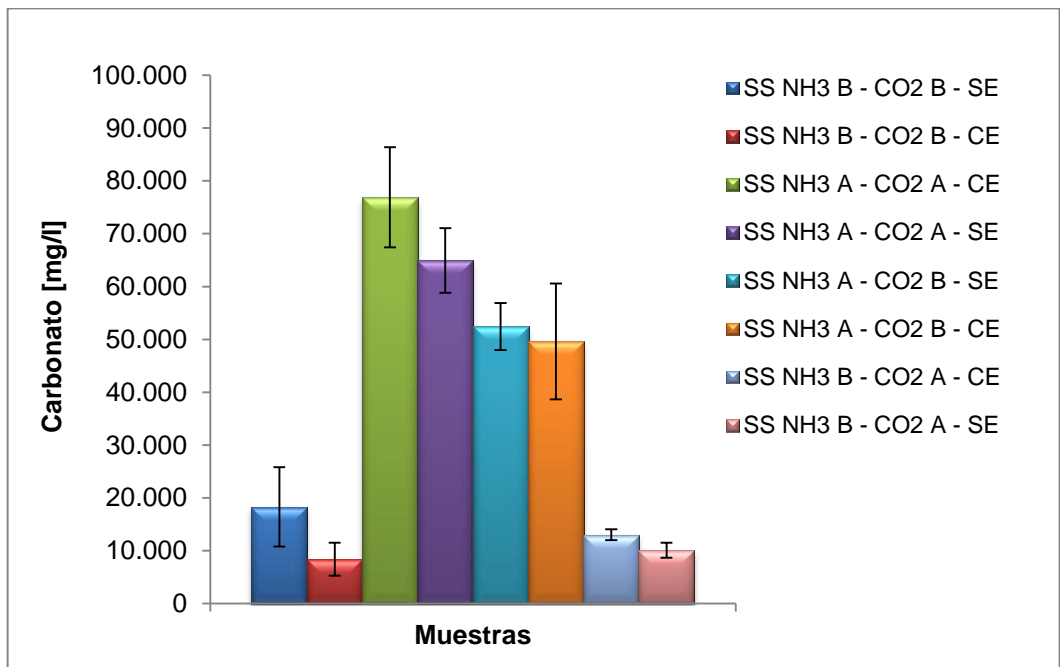
(a) Bicarbonato Disuelto



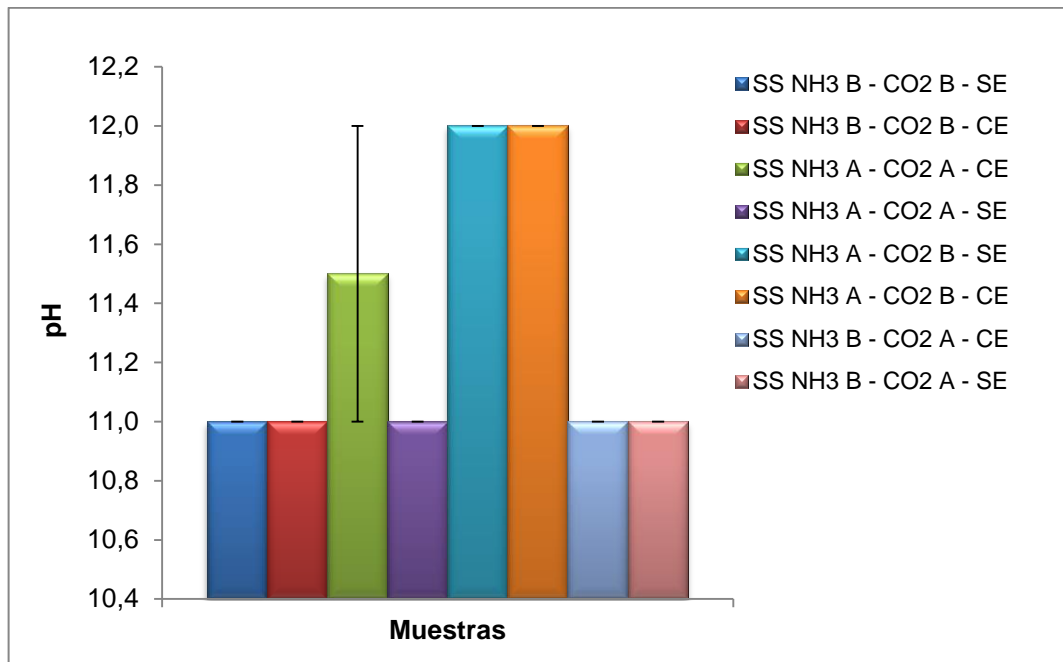
(b) Bicarbonato Precipitado



(c) Hidróxido



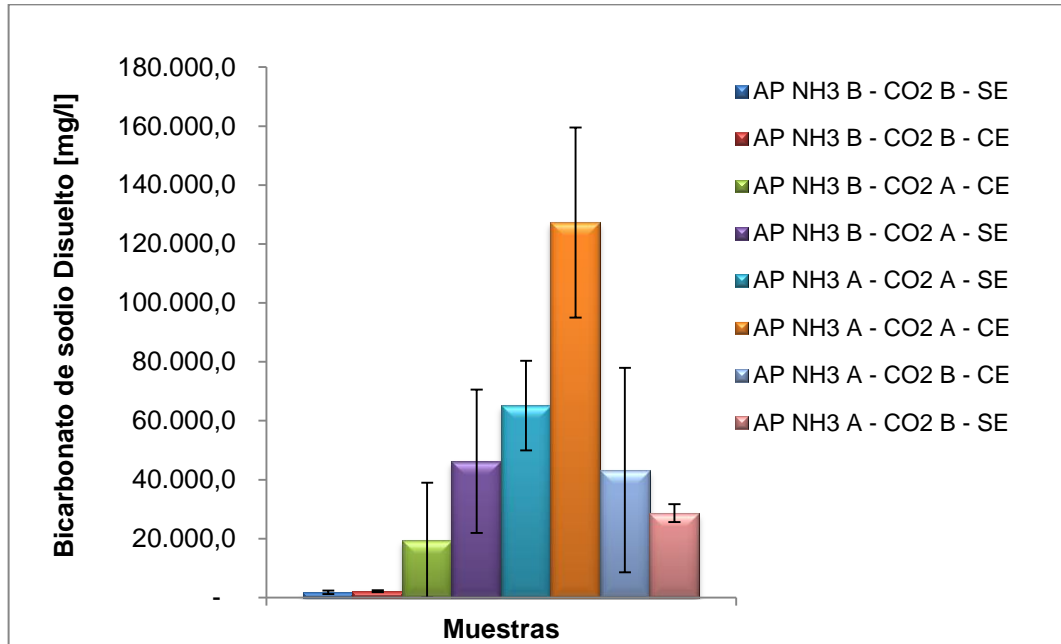
(d) Carbonato



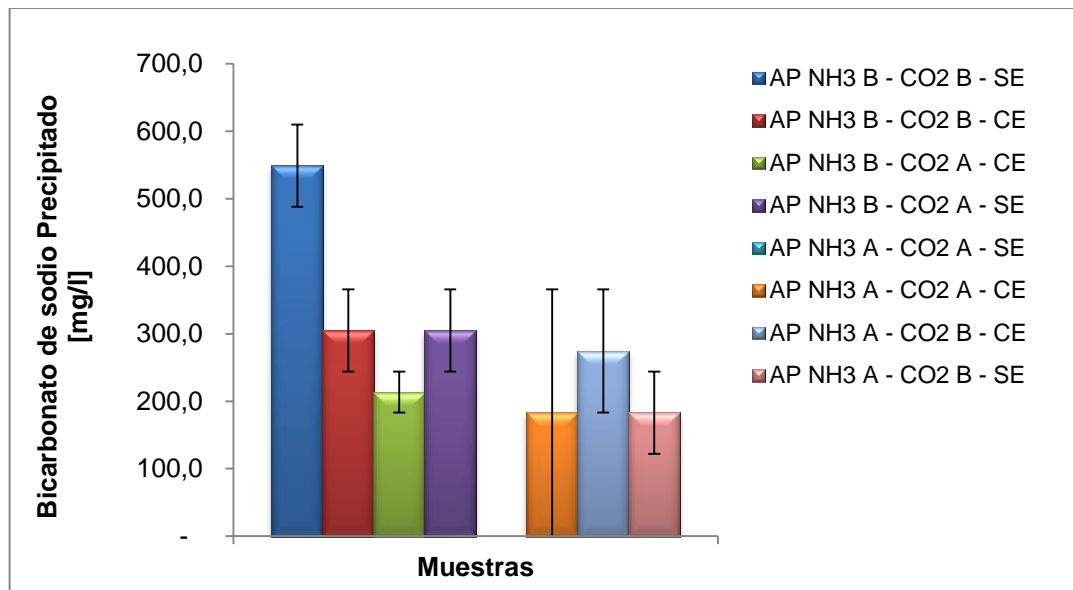
(e) pH

Concentración de iones bicarbonato disuelto, bicarbonato precipitado, hidróxido, carbonato y pH de la salmuera sintética [Autores]

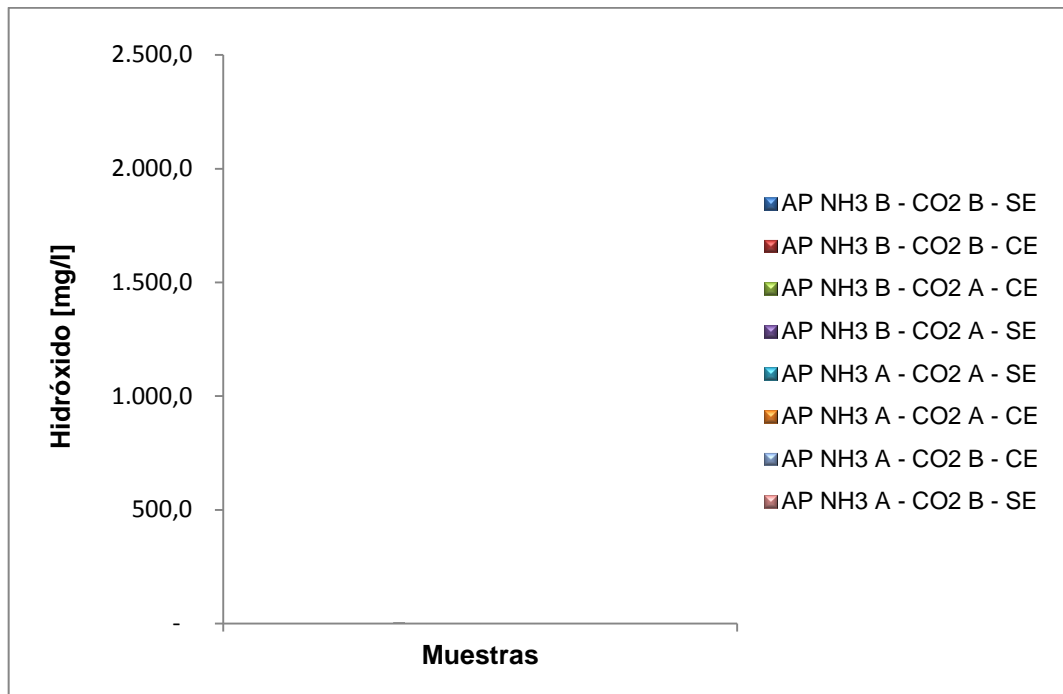
Anexo J. Diagramas De Las Composiciones Iónicas Finales Para El Agua De Producción



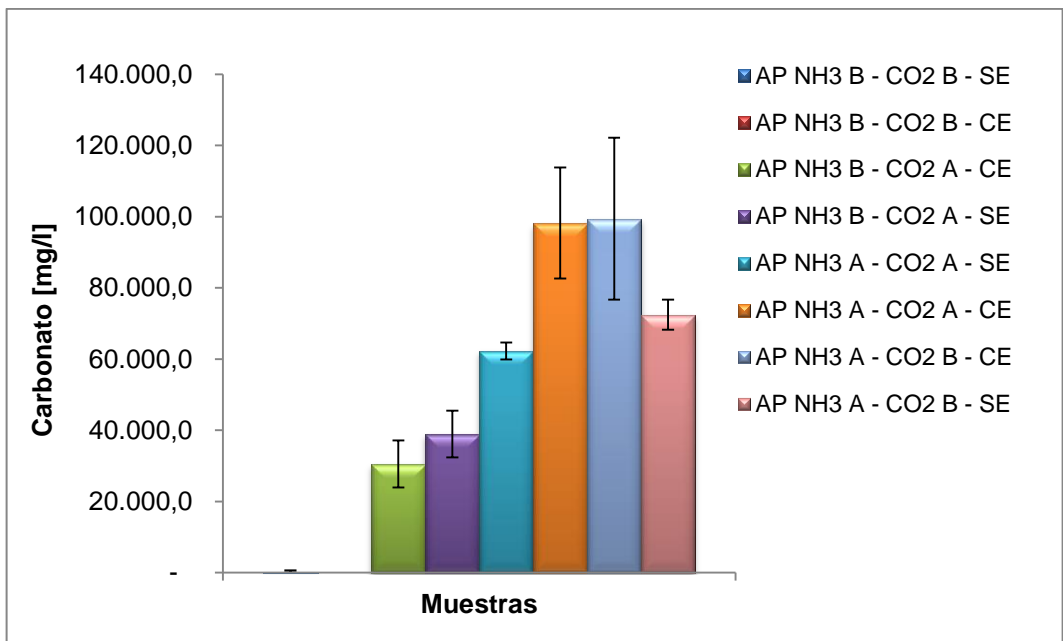
(a) Bicarbonato Disuelto



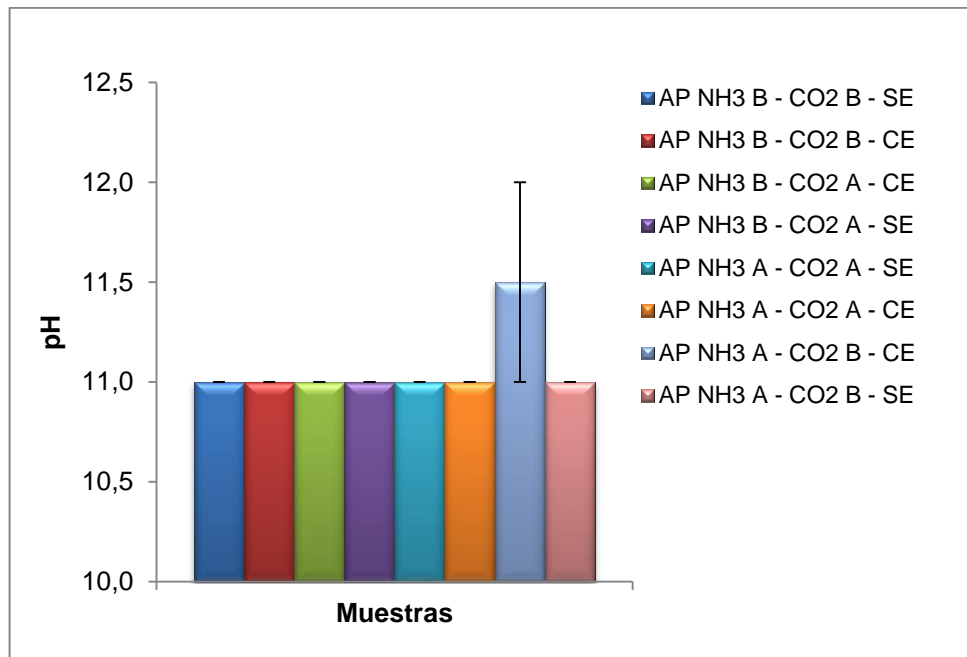
(b) Bicarbonato Precipitado



(c) Hidróxido



(d) Carbonato



(e) pH

Concentración de iones bicarbonato disuelto, bicarbonato precipitado, hidróxido, carbonato y pH del agua de producción [Autores]