



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE PLANIFICACIÓN DE LA
DEMANDA DE PRODUCTOS QUÍMICOS PARA UNA EMPRESA DE
SERVICIOS PETROLEROS

AUTOR

Nicolás Eduardo Rodas Vásquez

AÑO

2018



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE PLANIFICACIÓN DE LA DEMANDA
DE PRODUCTOS QUÍMICOS PARA UNA EMPRESA DE SERVICIOS
PETROLEROS

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniero en Producción Industrial

Profesor Guía

MSc. Roque Alejandro Morán Gortaire

Autor

Nicolás Eduardo Rodas Vásquez

Año

2018

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, Implementación de un modelo de planificación de la demanda de productos químicos para una empresa de servicios petroleros, a través de reuniones periódicas con el estudiante Nicolás Eduardo Rodas Vásquez, en el semestre No. 2018-1, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación"

Roque Alejandro Morán Gortaire

Master Of Science

C.I. 170490331-7

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, Implementación de un modelo de planificación de la demanda de productos químicos para una empresa de servicios petroleros, del estudiante Nicolás Eduardo Rodas Vásquez, en el semestre No. 2018-1, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación"

Cristina Belén Viteri Sánchez

Master en Ingeniería Avanzada de la Producción, Logística y Cadena de
Suministro

C.I. 171563837-3

DECLARACIÓN DE AUDITORÍA DEL ESTUDIANTE

"Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes"

Nicolás Eduardo Rodas Vásquez

C.I. 171548422-4

RESUMEN

El siguiente trabajo de titulación es una propuesta de mejora para reducir las multas generadas por entregas atrasadas de productos químicos, de la empresa "QUIMICOS S.A.", mediante la evaluación y selección de un modelo de pronósticos que se adapte a la demanda propia del negocio.

Para empezar, se recopilaron todos los datos relacionados a las entregas atrasadas por cada campo petrolero; cantidad de retrasos, días de retraso, volúmenes de productos químicos y multas generadas.

Se determinó que la causa raíz del problema era que el pronóstico de ventas no se había realizado correctamente. Se llegó a esta conclusión después de hacer una lluvia de ideas de posibles causas, una agrupación mediante afinidad de éstas y un árbol de 5 porqués.

Se propuso realizar un análisis de la demanda por 2 grupos de productos químicos y se evaluaron varios modelos de pronósticos para cada uno, para finalmente determinar el Pronóstico Móvil Simple y el método de Holt como los más adecuados.

Finalmente, se simularon las entregas con los modelos de pronósticos seleccionados y se compararon los resultados con la situación actual. El resultado fue un ahorro del 74% en un período de 9 meses, lo cual representó \$115,070.23 economizados a la empresa.

ABSTRACT

The following degree work is an improvement proposal to reduce the fines generated by delayed deliveries of chemical products, for the company "QUIMICOS S.A.", by evaluating and selecting the forecast model that adapts the best to the business's demand.

To begin with, all data related to delayed deliveries for each oil field was collected. That includes: number of delays, days of delay, volumes of chemical products and fines generated.

It was determined that the root cause of the problem was that the sales forecast had not been made correctly. This conclusion was reached after making a brainstorm of possible causes, a grouping by affinity of these and a tree of 5 whys.

It was proposed to carry out an analysis of the demand of 2 groups of chemical products and several forecast models were evaluated for each one, to finally determine the Simple Mobile Forecast and the Holt method as the most appropriate.

Finally, the deliveries were simulated with the selected forecast models and the results were compared with the current situation. The result was a saving of 74% in a period of 9 months, which represented \$ 115,070.23 saved to the company.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Descripción de la Empresa	1
1.2.1 Productos químicos.....	2
1.2.2 Bloques petroleros	5
1.2.3 Procesos	9
1.3 Justificación del Problema	13
1.4 Objetivos	14
1.4.1 Objetivo General	14
1.4.2 Objetivos Específicos	14
1.5 Alcance	15
1.5.1 Alcance de clientes	15
1.5.2 Alcance general.....	16
2. MARCO TEÓRICO	16
2.1 Pronóstico de demanda.....	16
2.2 Modelos de pronóstico de demanda	17
2.2.1 Promedio Móvil Simple.....	18
2.2.2 Suavización Exponencial Simple	19
2.2.3 Método de Holt	20
2.2.4 Errores de pronóstico e indicadores.....	21
2.3 Indicador de pronósticos: BIAS	23
2.4 Indicador de pronósticos: Forecast Accuracy	23
2.5 Los 5 porqués	24
2.6 Matriz de Ponderación.....	25
2.7 Diagrama de Pareto	26
3. SITUACIÓN ACTUAL.....	26
3.1 Entregas de productos químicos.....	26

3.1.1 Campo Payamino - Tratamiento de Agua	27
3.1.2 Campo Libertador - Tratamiento de Agua	30
3.1.3 Campo Libertador - Tratamiento de Crudo.....	32
3.1.4 Campo Sacha - Tratamiento de Agua.....	34
3.1.5 Campo Sacha - Tratamiento de Crudo.....	36
3.1.6 Campo Yuralpa - Tratamiento de Agua.....	39
3.1.7 Campo Yuralpa - Tratamiento de Crudo	41
3.2 Multas por entregas retrasadas.....	43
3.3 Análisis de Causa Raíz.....	46
3.3.1 Lluvia de ideas	46
3.3.2 Clasificación por afinidad	48
3.3.3 Análisis Pareto	50
3.3.4 Árbol de los 5 porqués	52
3.3.5 Indicadores logísticos.....	54
4. PROPUESTA DE MEJORA.....	56
4.1 Análisis de la demanda.....	56
4.1.1 Demanda de Productos Químicos para tratamiento de crudo.....	57
4.1.2 Demanda de Productos Químicos para tratamiento de agua.....	60
4.2 Modelos de Pronósticos	65
4.2.1 Pronóstico de productos químicos para tratamiento de crudo	65
4.2.2 Pronóstico de productos químicos para tratamiento de agua	73
5. SIMULACIÓN DE LA PROPUESTA	81
5.1 Simulación de productos químicos de tratamiento de crudo ..	82
5.2 Simulación de productos químicos de tratamiento de agua...	82
5.3 Análisis monetario.....	84
5.4 Situación actual versus propuesta de mejora	85
5.5 Resultados de indicadores logísticos	86
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	89
6.1 Conclusiones.....	89
6.2 Recomendaciones	90

REFERENCIAS	92
ANEXOS	93

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

1.2 Descripción de la Empresa

La empresa sobre la cual se realizó el presente proyecto, es una empresa de servicios petroleros, que por temas de confidencialidad se le dio el nombre de “QUÍMICOS S.A.”, para el desarrollo de este proyecto de titulación.

La empresa “QUÍMICOS S.A.” es parte de una corporación multinacional con sedes en varios países, entre ellos, Ecuador, Colombia, Perú y Costa Rica. Fue fundada en el año de 1985 en Perú y con el paso de los años ha ido creciendo y expandiéndose en varios países. En esencia, esta empresa se dedica a la formulación, comercialización y distribución de productos químicos para varios sectores y tipos de negocios.

En nuestro país, “QUÍMICOS S.A.” es una empresa grande que tiene alrededor de 400 empleados y facturó en 2016, aproximadamente, \$85'000'000.00 (Ochenta y cinco millones de dólares). Cuenta con su fábrica matriz en la ciudad de Guayaquil y con oficinas administrativas ubicadas en Quito y en Guayaquil.

Debido a la diversidad de empresas a las que “QUÍMICOS S.A.” vende sus productos químicos, ésta se encuentra dividida en Divisiones y subdivisiones, de acuerdo al negocio en el que se encuentre. Aquí en Ecuador, “QUÍMICOS S.A.” tiene 4 divisiones principales y algunas subdivisiones. Estas son:

- División de químicos para el sector agrícola
- División de químicos para Sanidad Animal
- División de Químicos Industriales
- División de Tratamiento de Aguas y Petróleo
 - Subdivisión de Tratamiento de Aguas
 - Subdivisión de Tratamiento de Petróleo (conocida también como OFC, que significa Químicos para Campos Petroleros; en inglés *Oil Field Chemicals*)

El presente proyecto de titulación se enfocó exclusivamente en la información, los procesos, los productos, los clientes y demás datos de la subdivisión OFC.

1.2.1 Productos químicos

Todos los productos químicos, que OFC suministra, son de composición líquida y se comercializan en galones, mediante dos presentaciones: la primera, en tambores plásticos de 55 galones cada uno y la segunda, en cisternas plásticas IBC (también llamados *Bulk Tanks*) de 220 galones cada una. (Ver figura 1 y figura 2)



Figura 1. Tambor plástico de 55 galones



Figura 2. Cisterna plástica de 220 galones

La clasificación de los productos químicos se realiza de acuerdo al tratamiento químico para el que son utilizados. Existen dos categorías de clasificación que son: Productos Químicos para Tratamiento Crudo y Productos Químicos para Tratamiento de Agua.

Los productos químicos para tratamiento de crudo se utilizan principalmente para separar el petróleo del agua, y, adicionalmente, para que en el proceso no se generen subproductos no deseados.

Los productos químicos para tratamiento de agua sirven para tratar y acondicionar el agua que fue separada del petróleo, proteger los ductos, tuberías, equipos, facilidades de superficie y tanques a través de los cuales el agua fluye e inhibir la acción corrosiva o incrustante del agua.

A continuación se muestra la Tabla 1, donde se describen los principales productos de cada uno de los tratamientos y sus respectivas funciones:

Tabla 1.
Tipos de Productos OFC

Tipo	Producto	Funciones
Productos Químicos para Tratamiento de Crudo	Demulsificante	Destruye la interface entre el petróleo del agua y facilita su separación.
	Antiespumante	Evita la formación de espumas (subproducto no deseado) durante la extracción del fluido
	Antiparafinas	Evita la formación de unos cadenas grandes de hidrocarburos, llamadas parafinas, que comprometerían la calidad del petróleo y taponarían tuberías y ductos
	Antiasfaltenos	Evita la formación de unos de cadenas grandes de hidrocarburos, llamadas asfaltenos, que comprometerían la calidad del petróleo y taponarían tuberías y ductos.
Productos Químicos para Tratamiento de Agua	Clarificador	Elimina impurezas del agua.
	Anticorrosivo	Protege las tuberías y ductos de la corrosión, mediante la formación de una película en las paredes de las mismas.
	Antiescala	Evita la formación de escala (incrustaciones) en las tuberías y ductos.
	Biocida en base Glutaraldehido	Elimina bacterias presentes en el agua.
	Biocida en base THPS	Evita la formación de Sulfuro de Hierro (subproducto no deseado) en el agua.
	Surfactante No Iónico	Funciona como un agente de limpieza en el agua, similar a un detergente.
	Coagulante	Agrupar los desechos sólidos del agua en pequeños coágulos.
	Floculante	Agrupar los coágulos del agua en grupos grandes, conocidos como "Flocs".
	Secuestrante de Oxígeno	Actúa directamente en el agua y aísla las moléculas de oxígeno, para evitar la corrosión.

1.2.2 Bloques petroleros

Los principales clientes de la subdivisión OFC son en las empresas petroleras que operan en el Oriente ecuatoriano y que realizan contrataciones para el servicio integral de Tratamiento Químico, que incluye provisión de productos químicos y de asistencia técnica especializada.

El Oriente petrolero se divide en bloques, es decir, áreas geográficas o territorios. Cada bloque es administrado por la empresa petrolera asignada y cuenta con su propia estructura organizacional, sus propios procesos y su propio sistema de gestión. Cabe recalcar que una misma empresa petrolera puede ser dueña de uno o más bloques petroleros. Las empresas petroleras propietarias de cada bloque son, por lo tanto, los clientes de la subdivisión OFC.

Las empresas petroleras se dividen principalmente en dos grupos: petroleras del sector público, y petroleras del sector privado. Dentro del sector público solo existe una empresa petrolera pública, la misma que es dueña de 23 bloques petroleros. Respecto al sector privado, existen 16 empresas privadas y la mayoría de ellas es dueña de un solo bloque.

En total, la subdivisión OFC tiene 4 clientes – 1 del sector público y 3 del sector privado - y utiliza sus productos químicos en 6 bloques, siendo el cliente público el más grande de todos.

1.2.2.1 Empresas públicas

La única empresa que representa al sector público en los bloques petroleros del Oriente ecuatoriano es Petroamazonas EP. Esta empresa tiene asignados y administra actualmente 23 bloques, como podemos apreciar en la Tabla 2:

Tabla 2.

Bloques petroleros pertenecientes a Petroamazonas EP

No. Bloque	Nombre del Bloque
1	PACOA
5	RODEO
6	AMISTAD
7	PAYAMINO-COCA
11	LUMBAQUI
12	EDEN-YUTURI
15	INDILLANA-LIMONCOCHA
18	PALO AZUL
21	YURALPA
31	APAIKA-NENKE
43	ITT
44	PUCUNA
48	PUNINO
50	CHARAPA
51	CHANANGUE
55	ARMADILLO
56	LAGO AGRIO
57	LIBERTADOR
58	CUYABENO-TIPISHCA
59	VINITA
60	SACHA
74	BLOQUE 74
75	BLOQUE 75

Respecto al Tratamiento Químico, Petroamazonas EP contrata 2 empresas proveedoras de productos químicos y de asistencia técnica especializada por cada bloque: una para Tratamiento Químico de Crudo y una para Tratamiento

Químico de Agua. Sin embargo, cada contratación se trata de manera independiente, por lo que una misma empresa proveedora del servicio integral de Tratamiento Químico puede ser contratada por Petroamazonas para ambos tratamientos (Crudo y Agua) en un mismo bloque, así como ser contratada, por ejemplo, solo para el tratamiento de crudo en otro bloque.

OFC es proveedora del servicio integral de Tratamiento Químico en varios bloques de Petroamazonas EP. Para el presente proyecto de titulación se seleccionaron los bloques en los que OFC tuvo participación en el período analizado (Enero – Octubre 2017). Estos se detallan en la Tabla 3:

Tabla 3.

Bloques petroleros públicos representativos para OFC

No. Bloque	Nombre del Bloque	Tratamiento Químico
7	PAYAMINO	Tratamiento de Agua
21	YURALPA	Tratamiento de Crudo
		Tratamiento de Agua
57-L	LIBERTADOR	Tratamiento de Crudo
		Tratamiento de Agua
60	SACHA	Tratamiento de Crudo
		Tratamiento de Agua

1.2.2.2 Empresas privadas

En el presente, 16 empresas privadas operan en el Oriente Ecuatoriano. La mayoría de ellas tienen asignado 1 solo bloque, a excepción de 3 empresas que tienen asignados 2 bloques, y 1 empresa que tiene asignados 3 bloques. El detalle se puede ver en la Tabla 4:

Tabla 4.

Bloques petroleros pertenecientes a empresas privadas

No. Bloque	Nombre del Bloque	Empresa Petrolera Privada
10	VILLANO	AGIP OIL ECUADOR
62	TARAPOA	ANDES PETROLEOUM
79	BLOQUE 79	ANDES PETROLEOUM
83	BLOQUE 83	ANDES PETROLEOUM
28	MIRADOR	CONSORCIO BLOQUE 28
64	PALANCA-YUCA SUR	CONSORCIO PALANDA-YUCA SUR
45	PUMA	CONSORCIO PEGASO
65	PINDO	CONSORCIO PETROSUD-PETRORIVA
46	MDC	ENAP SIPETROL
47	PBHI	ENAP SIPETROL
53	SINGUE	GENTE OIL
52	OCANO - PENA BLANCA	ORION ENERGY
54	ENO-RON	ORION OIL
2	GUSTAVO GALINDO	PACIFPETROL
66	TIGUINO	PETROBELL
14	NANTU	PETROORIENTAL
17	HORMIGUERO	PETROORIENTAL
16	IRO	REPSOL
67	TIVACUNO	REPSOL
61	AUCA	SCHLUMBERGER
49	BERMEJO	TECPECUADOR

Respecto al Tratamiento Químico, al tener cada empresa privada su propio sistema interno y al ser autónomas en sus decisiones internas, se tienen procesos de contratación independientes. Lo más común es la modalidad de contratos de 2-3 años, sea de tratamiento total (tratamiento de crudo y agua por parte de una sola empresa proveedora) o por un lado tratamiento de agua y por otro tratamiento de crudo.

Actualmente, la subdivisión OFC, de "QUIMICOS S.A.", es proveedora del servicio integral de Tratamiento Químico para varias empresas privadas. Para

el presente proyecto de titulación se seleccionaron los bloques más representativos para OFC, que se detallan en la Tabla 5:

Tabla 5.

Bloques petroleros privados representativos para OFC

Compañía Petrolera	No. Bloque	Nombre del Bloque	Tratamiento Químico
SCHLUMBERGER	61	AUCA	Tratamiento de Agua
ENAP SIPEC SA	46	MDC	Tratamiento de Crudo
	47	PBHI	Tratamiento de Crudo
PETROBELL	66	TIGÜINO	Tratamiento de Agua
			Tratamiento de Crudo

1.2.3 Procesos

1.2.3.1 Proceso externo

El proceso externo se refiere al Tratamiento Químico en los bloques petroleros, es decir, a como se utilizan los productos químicos en las instalaciones de los clientes. No se trata simplemente de trasvasar los productos químicos a un tanque. Para poder entender el rol que tienen los productos químicos que “QUÍMICOS S.A.” vende a las petroleras, es necesario entender primero cómo funciona el proceso de extracción de petróleo de los campos petroleros.

Dentro de todas las empresas petroleras, sean éstas públicas o privadas, el proceso de extracción y procesamiento del petróleo es similar al que se describe a continuación:

1. Se extrae el fluido desde debajo de la superficie en los pozos petroleros.
2. Este fluido es una mezcla de petróleo (también llamado crudo), agua y gas, por lo que es necesario seguir un proceso adicional para separar estos componentes. Para realizar esta separación se realiza un tratamiento químico (Tratamiento de Crudo), en el cual se utilizan productos químicos.
3. El petróleo separado y sin agua ingresa a los oleoductos y el agua extraída tiene que pasar por otro tratamiento químico de acondicionamiento (Tratamiento de Agua), puesto que es re-inyectada en otros procesos.
4. Tanto el petróleo como el agua tienen que ser sometidos a análisis constantes, antes y después de la aplicación de los productos químicos, para verificar si cumplen con los estándares de calidad requeridos por el cliente.

Por lo tanto, podemos decir que el Tratamiento Químico en los bloques petroleros se divide en 2: Tratamiento de Crudo y Tratamiento de Agua.

El Tratamiento de Crudo consiste en la utilización de productos químicos para separar el crudo, del agua y del gas, y para evitar la formación de subproductos hidrocarburíferos no deseados como son espumas, parafinas y asfaltenos.

El Tratamiento de Agua consiste en la utilización de productos químicos para acondicionar el agua para que sea re-inyectada en otros procesos petroleros. Este acondicionamiento consiste en eliminación de impurezas y bacterias, protección contra tendencias de corrosión e incrustación propias del agua, y purificación del agua.

Paralelamente a la utilización de químicos en cada uno los tratamientos, se deben realizar constantemente análisis químicos. Estos consisten en tomas de muestras, tanto de agua como de crudo, y posterior análisis de las mismas en laboratorio. Aquí se realizan distintos tipos de mediciones como por ejemplo:

nivel de pH, nivel de conductividad, nivel de fosfonatos, etc. Todos estos análisis son necesarios para monitorear el rendimiento de cada uno de los productos químicos.

1.2.3.2 Proceso interno

Se entiende como proceso interno, todos los procesos internos que lleva a cabo la empresa “QUÍMICOS S.A.” para garantizar la fabricación y distribución de cada uno de los productos químicos.

Las áreas y procesos involucrados en la elaboración y distribución de los productos químicos son: Planificación de la Producción, Compras, Producción, Control de Calidad, Ventas y Despacho (ver Gráfico 3)



Figura 3. Proceso interno de OFC

Las funciones de cada uno de estas áreas son:

- **Planificación de la Producción:**

Mediante un Pronóstico de Ventas proporcionado por cada área comercial, el área de Planificación realiza el Plan Maestro de Producción para saber cuánto y cuando se deben producir los productos químicos y el Planeamiento de Requerimientos de Materiales, para saber cuánto y cuando comprar la Materia Prima, de acuerdo al tiempo de entrega de cada proveedor. De igual forma, esta área realiza la programación de

planta, es decir, los planes de producción semanales, tomando en cuenta siempre la capacidad de producción.

- **Compras:**

El área de Compras recibe la información sobre la cantidad de Materias Primas que debe comprar y cuando hacerlo, y realiza la gestión completa de compras directamente con los proveedores. Existen proveedores locales con tiempos de entrega bajos así como proveedores extranjeros con tiempos de entrega de importación, que pueden variar entre 30 y 90 días.

- **Producción:**

El área de Producción recibe la programación semanal, en forma de órdenes de producción, y gestionan directamente la fabricación en planta. Se encargan de gestionar el inventario de Materia Prima desde la bodega de Materia Prima, de realizar la fabricación (que consiste básicamente en un subproceso de Mezclado y otro de Envasado) y de llevar los respectivos productos terminados a la bodega de Producto Terminado.

- **Control de Calidad:**

El área de Control de Calidad realiza un muestro de producto terminado de cada lote producido y lo lleva al laboratorio de control de calidad. Aquí se realizan algunas pruebas y la principal de ellas consiste en un análisis infrarrojo, que determina si la composición química del lote producido es igual al patrón básico, es decir, a la fórmula original. Si todos los análisis resultan exitosos, se libera el lote y se encuentra listo para despacho.

- **Ventas:**

El área comercial, también llamada Ventas, es encargada, en primer lugar de pasar el Pronóstico de Ventas a Planificación, ya que gestiona

directamente con los clientes la adquisición de productos químicos y conoce las cantidades que los clientes requieren, sea en forma de órdenes de compra mensuales o mediante contratos a largo plazo. En segundo lugar, Ventas crea y gestiona los pedidos internos, es decir, las órdenes de venta.

- **Despacho:**

El área de despacho recibe las órdenes de venta y planifica en conjunto con Ventas las fechas de despacho. Por otro lado, Despacho realiza toda la gestión de movimiento de mercaderías de la bodega de producto terminado, carga y descarga de vehículos y planificación de rutas de entrega.

1.3 Justificación del Problema

El uso de productos químicos en los campos petroleros es constante a lo largo del tiempo. Todos los días del año, los sistemas requieren inyección de químico para un correcto funcionamiento. La ausencia de químicos en los sistemas puede ocasionar graves problemas en la maquinaria, equipos y/o tuberías de crudo y de agua. Por esta razón, los clientes tienen estrictas fechas de entrega y para garantizar su cumplimiento, existen políticas de multas por entregas tardías.

OFC maneja actualmente varios clientes y realiza entregas en muchos campos petroleros. En los últimos años ha tenido un fuerte incremento en su cartera de clientes y el volumen de trabajo ha aumentado drásticamente. A partir del 2017, se han empezado a tener muchas entregas retrasadas y esto ha generado multas por parte de los clientes hacia OFC. El valor de esas multas en un período de 3 meses (Febrero-Abril de 2017) ha sido aproximadamente de \$50'000.00 (cincuenta mil dólares).

Como parte de la estrategia corporativa, la empresa "QUIMICOS S.A." se ha puesto objetivos y metas de incremento de utilidad y reducción de gastos. La aparición reciente de estas multas por entregas tardías afecta gravemente estos objetivos, pues realizando una proyección a un año, serían \$200'000.00 (doscientos mil dólares) desperdiciados.

Por lo tanto, se plantea un proyecto de titulación que estudie estas multas, analice las posibles causas raíz del problema y realice una propuesta de mejora que reduzca estas pérdidas económicas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Reducir las multas generadas por entregas atrasadas de productos químicos a clientes, mediante el desarrollo de un modelo de planificación de la demanda, que se ajuste al tipo de demanda en la empresa.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Levantar información sobre las entregas retrasadas y multas generadas.
- Investigar la causa raíz del problema
- Desarrollar modelos de pronóstico de la demanda
- Realizar la simulación del modelo propuesto.

1.5 Alcance

1.5.1 Alcance de clientes

Se ha hecho una recopilación de todas las facturas emitidas a los clientes (públicos y privados) de OFC en el período Enero-Septiembre del 2017 y con esta información se ha construido el siguiente Diagrama de Pareto:

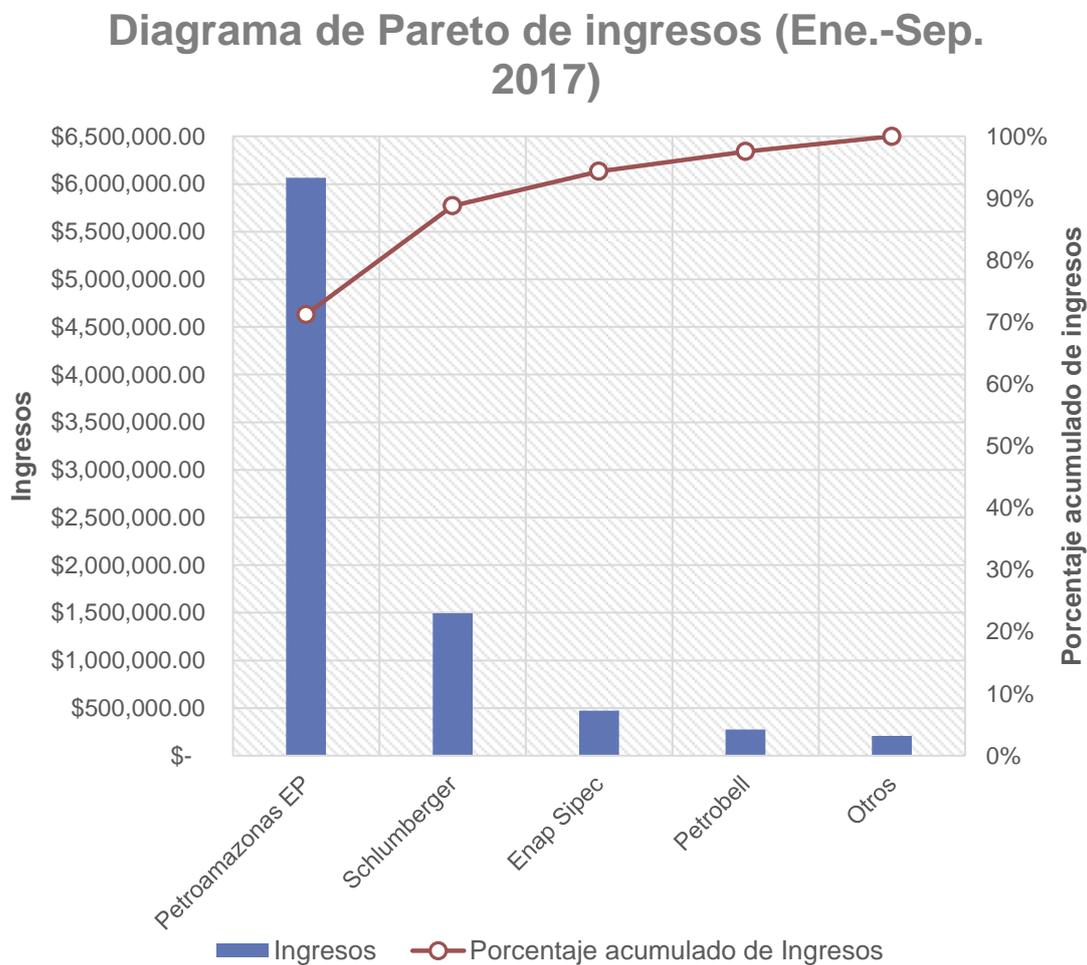


Figura 4. Diagrama de Pareto de ingresos de clientes

Se puede concluir, que aproximadamente el 80% de los ingresos de OFC provienen del cliente Petroamazonas EP, que representa el 20% de la cartera de clientes y, por lo tanto, el desarrollo del presente Proyecto de Titulación se va a enfocar únicamente en este cliente y en los procesos, productos químicos y demás información relacionada a este cliente.

1.5.2 Alcance general

Este trabajo de titulación se enfoca en la subdivisión OFC, de la empresa “QUIMICOS S.A.”, encargada del tratamiento químico de crudo y de agua en los bloques petroleros pertenecientes a sus clientes: las empresas petroleras. Después de un análisis de los ingresos de todos los clientes desde enero hasta septiembre de 2017, se tomó la decisión de utilizar sólo la información del cliente Petroamazonas EP para el desarrollo de este trabajo. Esta información incluye: tipos de productos químicos, órdenes de compra, datos de demanda, multas por entregas tardías, etc.

Por otro lado, el presente proyecto de titulación incluye un análisis de la situación actual de OFC, una propuesta de mejora y una simulación de dicha propuesta. No se incluye la fase de implementación no real.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Pronóstico de demanda

Un pronóstico es la proyección de algo en el futuro. El pronóstico de la demanda es una proyección de las ventas que se van a tener en los futuros meses o, incluso años. Este pronóstico se puede realizar de un solo producto o de familias de productos. Es una herramienta muy útil para las empresas, pues

les permite tener una noción de cómo van a ser las ventas – y los ingresos – en el futuro, y en base a esto pueden planear sus operaciones: producción, abastecimiento, gastos, contrataciones, etc.

Para realizar un pronóstico de ventas se tienen que tener en cuenta factores internos y externos de la organización, por ejemplo, la situación actual del mercado, la situación económica del país, el crecimiento financiero de la empresa, etc. También se debe definir el marco de tiempo en base al cual se va a realizar el pronóstico. El marco de tiempo puede ser hecho a mediano plazo (de 3 meses a 12 meses), a largo plazo (de 6 meses a 3 años) o adaptado a las necesidades de la empresa.

2.2 Modelos de pronóstico de demanda

Los modelos de pronóstico de demanda son herramientas que utilizan las empresas para determinar sus pronósticos de la demanda y que éstos tengan un margen de error pequeño, es decir, que sean precisos y exactos. Estos métodos se dividen en dos categorías: métodos cualitativos y métodos cuantitativos.

Los métodos cualitativos se desarrollan en base a la intuición, experiencia y conocimiento de una o más personas que forman un el equipo de pronósticos. Si la empresa y sus productos se encuentran en un mercado estable resultaría muy útil, por ejemplo, la experiencia y criterio de un vendedor antiguo. Sin embargo, estos métodos no se apoyan en datos ni en históricos de ventas por lo que no resultan convenientes si la situación es imprecisa y/o el mercado, inestable. (Pyndick & Rubinfeld, 2001).

Por el otro lado, los métodos cuantitativos se desarrollan en base a datos; específicamente, en base a los históricos de ventas. Existen varios modelos de pronósticos y la aplicabilidad de cada uno de estos depende del comportamiento de la demanda. Tomando en cuenta varios factores, como la estacionalidad, variabilidad y/o la tendencia de las ventas, se eligen varios métodos y se mide la precisión y exactitud de cada uno para determinar cuál es la mejor opción para la empresa. Algunos de los modelos más utilizados son: Promedio Móvil Simple, Suavización Exponencial Simple y el Método de Holt. (Hiller, Hillier, & Lieberman, 2002).

2.2.1 Promedio Móvil Simple

El modelo de pronóstico del Promedio Móvil Simple consiste en calcular el promedio aritmético de cierto número de datos históricos. El resultado de este cálculo es el pronóstico del período inmediatamente posterior. Es importante establecer el número de datos históricos, en base a los cuales se calculará el promedio. Es muy común utilizar períodos de 3 meses o 6 meses, donde se tendrían 3 y 6 datos históricos, respectivamente. Sin embargo, quien realice el pronóstico es libre de establecer el período que considere necesario de acuerdo a sus criterios, los cuales pueden ser: variabilidad de la demanda, facilidad de acceso a datos, picos en la demanda, entre otros.

La fórmula para el cálculo del Promedio Móvil Simple es muy sencilla y se muestra a continuación:

$$P_t = \frac{\sum_{t=1}^n X_{t-1}}{n} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dicha fórmula nos indica que para obtener el pronóstico en el periodo t (P_t), se realiza una sumatoria (\sum) de las ventas reales en los periodos anteriores a t (X_{t-1}) y se la divide entre el número de datos (n).

Este modelo resulta muy útil cuando se quiere dar mayor importancia a un conjunto de datos más recientes a la fecha en la que se realiza el pronóstico. Además, este modelo reduce el impacto de elementos irregulares en los históricos de ventas (por ejemplo, los picos en las ventas, sean máximos o mínimos) y es recomendado para datos de ventas históricos aleatorios o nivelados. (Salazar, PROMEDIO MÓVIL, 2016).

2.2.2 Suavización Exponencial Simple

El modelo de pronóstico de la Suavización Exponencial Simple consiste, en primer lugar, en asignar un coeficiente de suavización alfa (α). Este valor puede oscilar entre 0 y 1 y representa la importancia que se le da al pronóstico del período inmediatamente anterior frente a la venta real del período inmediatamente anterior. Así, un alfa más cercano a 0 indica que se le da mayor importancia al pronóstico anterior que a la venta real anterior, mientras que un alfa más cercano a 1 indica que se le da mayor importancia a la venta real anterior que al pronóstico anterior.

En segundo lugar, una vez asignado este coeficiente alfa, se calcula el pronóstico con la siguiente fórmula:

$$P_t = \alpha * X_{t-1} + (1 - \alpha) * P_{t-1} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Dicha fórmula nos indica que para obtener el pronóstico en el periodo t (P_t), se multiplica el coeficiente de suavización (α) por la venta real del período anterior (X_{t-1}), y se suma a la multiplicación del pronóstico anterior (P_{t-1}) por 1 menos el coeficiente de suavización ($1 - \alpha$)

Este modelo resulta muy útil cuando se quiere suavizar los datos, es decir, eliminar variaciones en los históricos, y/o cuando no se tienen suficientes datos históricos, pues toma en cuenta solo el período de ventas inmediatamente anterior. (Salazar, SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL SIMPLE, 2016).

2.2.3 Método de Holt

El modelo de pronóstico de Holt, conocido como el Método de Holt o como Suavización Exponencial Doble, fue desarrollado por Charles Holt en 1957. Este consiste, en primer lugar, en asignar un coeficiente de suavización alfa (α), igual que en la Suavización Exponencial Simple. Luego, se asigna un coeficiente de suavización de tendencia beta (β). Igual que el coeficiente alfa, este valor oscila entre 0 y 1, y representa la importancia que se le da a la tendencia de los datos históricos. Un beta cercano a 1 significa que se toma muy en cuenta la tendencia de los datos para calcular el pronóstico, mientras que un beta de 0 significa que no se toma en cuenta la tendencia. Después de asignar los coeficientes alfa y beta se procede a calcular el pronóstico con 3 fórmulas. (Winston & Goldberg, 2005).

Fórmula 1:

$$P'_t = \alpha * X_{t-1} + (1 - \alpha) * (P'_{t-1} + T_{t-1}) \quad (\text{Ecuación 3})$$

Dicha fórmula nos indica que para obtener el pre-pronóstico en el periodo t (P'_t), se multiplica el coeficiente de suavización (α) por la venta real del período anterior (X_{t-1}), y se suma a la multiplicación de 1 menos el coeficiente de suavización ($1 - \alpha$) por la suma entre el pre-pronóstico del periodo anterior (P'_{t-1}), y la tendencia del período anterior (T_{t-1}).

Fórmula 2:

$$T_t = \beta * (P'_t + P'_{t-1}) + (1 - \beta) * T_{t-1} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Dicha fórmula nos indica que para obtener la tendencia del período t (Tt), se multiplica el coeficiente de suavización de tendencia (β) por la diferencia entre el pre-pronóstico del período t (P't) y el pre-pronóstico del período anterior (P't-1), y se suma a la multiplicación de la tendencia del período anterior (Tt-1) por 1 menos el coeficiente de suavización de tendencia (1- β)

Fórmula 3:

$$P_t = P'_t + T_t \quad (\text{Ecuación 5})$$

Dicha fórmula nos indica que para obtener el pronóstico en el periodo t (Pt), se suma el pre-pronóstico del período t (P't), calculado con la fórmula 1, y la tendencia del período t (Tt), calculada con la fórmula 2.

Este modelo resulta muy útil cuando se tienen datos históricos con tendencia lineal, es decir, con un comportamiento creciente o decreciente. El modelo busca suavizar los datos, es decir, eliminar variaciones y/o picos en los históricos, y además, suavizar la tendencia, es decir, nivelar los datos que se salgan de la tendencia lineal establecida.

2.2.4 Errores de pronóstico e indicadores

Un error de pronóstico es la diferencia entre el dato de demanda real y el pronóstico calculado para ese período. El error puede ser de signo positivo, cuando el pronóstico calculado fue menor a la demanda real, o de signo

negativo, cuando el pronóstico calculado fue mayor a la demanda real. A partir del dato del error, se pueden calcular ciertos indicadores, que determinan la exactitud y precisión del pronóstico.

Un indicador que mide la precisión de un pronóstico es el MAD, que significa Error absoluto medio (por sus siglas en inglés, *Mean Absolute Deviation*). Para calcular este indicador se debe primero determinar el valor absoluto de todos los errores calculados para cada período, es decir, convertir todos los errores a signo positivo. Después, se obtiene el promedio aritmético de todos los errores absolutos. El resultado es el *MAD*. Mientras más cercano a 0 sea el valor este indicador, más preciso es el pronóstico. (Perez, Mosquera, & Bravo, 2012)

Un indicador que mide la exactitud de un pronóstico es el MAPE, que significa Error porcentual absoluto medio (por sus siglas en inglés, *Mean Absolute Percentage Error*). Para calcular este indicador se debe primero determinar el valor absoluto de todos los errores calculados para cada período, es decir, convertir todos los errores a signo positivo. Luego, se divide cada error absoluto con la demanda real del mismo período. El resultado de esta fracción es el porcentaje de error. Finalmente, se obtiene el promedio aritmético de todos los porcentajes de error. El resultado es el *MAPE*. Mientras más cercano a 0% sea el valor este indicador, más exacto es el pronóstico. Un *MAPE* entre 0 y 5 significa un pronóstico muy exacto. Un *MAPE* entre 5 y 7 significa un pronóstico medianamente exacto. Un *MAPE* entre 7 y 10 significa un pronóstico poco exacto. Un *MAPE* mayor a 10 significa un pronóstico nada exacto. (Perez, Mosquera, & Bravo, 2012)

2.3 Indicador de pronósticos: BIAS

BIAS significa sesgo en español y hace referencia a la dispersión de los datos. Este indicador mide, por lo tanto, la precisión de un pronóstico y lo hace de forma porcentual, con signo positivo o negativo. Un *BIAS* del 0% quiere decir que los datos pronosticados son completamente idénticos a las ventas reales. Un *BIAS* del 10% indica que los valores pronosticados son menores a la venta real, mientras que un *BIAS* del -10% indica que los valores del pronóstico son mayores a la venta real. Mientras más cercano a 0% sea un *BIAS*, más preciso es el pronóstico. (Carranza)

El cálculo es sencillo y se muestra en la fórmula a continuación:

$$BIAS = \frac{Venta\ Real - Pronóstico}{Pronóstico} * 100\% \quad (\text{Ecuación 6})$$

2.4 Indicador de pronósticos: Forecast Accuracy

Forecast Accuracy (FA) significa Exactitud de Pronóstico en español y mide, lógicamente, la exactitud de un pronóstico, es decir, que tan cerca se encuentra el valor pronosticado del valor real de venta. Este indicador es porcentual y da resultados únicamente positivos. Un *Forecast Accuracy* del 100% quiere decir que los datos pronosticados son completamente idénticos a las ventas reales. Mientras más cercano a 100% sea un *Forecast Accuracy*, más exacto es el pronóstico. (Celik, 2013)

Para el cálculo de este indicador se utiliza la siguiente fórmula:

$$FA = \left(1 - \frac{|Venta\ Real - Pronóstico|}{Pronóstico}\right) * 100\% \quad (\text{Ecuación 7})$$

Si al realizar el cálculo, se obtiene un valor negativo, el indicador *Forecast Accuracy* sería simplemente 0%.

2.5 Los 5 porqués

Los 5 porqués es un método que se utiliza en el análisis de causas raíz de un problema. El objetivo de este método es llegar a la causa raíz de cualquier tipo de problema, a través de preguntar y responder la pregunta “¿Por qué?” cinco veces. (Ries, 2012).

Un ejemplo sería tener una motocicleta que no enciende. Siguiendo la técnica de los 5 porqués, la resolución sería:

1. ¿Por qué? Se agotó la batería
2. ¿Por qué? El alternador no se encuentra en correcto funcionamiento
3. ¿Por qué? El alternador tiene un componente roto
4. ¿Por qué? No se hizo mantenimiento de este componente
5. ¿Por qué? No se están realizando los mantenimientos periódicos recomendados.

De esta manera, se obtuvo el resultado de que la causa raíz al problema de que no encendía la motocicleta, es que no se están realizando los mantenimientos periódicos recomendados.

Esta técnica puede ser desarrollada como un listado o como un gráfico. Se acostumbra realizar un “árbol de los 5 porqués”, que consiste en un gráfico tipo jerarquía, que muestra la secuencia desde el problema inicial hasta la causa raíz.

2.6 Matriz de Ponderación

Una matriz de ponderación es una herramienta utilizada para determinar que opción es mejor en base a ciertos factores asignados. Cada uno de estos factores tiene una ponderación, expresada generalmente como un porcentaje. La asignación de las ponderaciones a cada uno de los factores, varía dependiendo de la importancia que se le quiera dar. Cada opción obtendrá una calificación (dentro de un rango de calificaciones previamente establecido) para cada uno de los factores asignados. Finalmente, se hace una multiplicación entre cada calificación y cada ponderación, y se suma el resultado de cada factor. De esta manera, se obtiene la opción ganadora.

Por ejemplo, se tienen 3 ingenieros prospectos para un cargo de líder de proyecto, y se quiere elegir a la mejor opción a través de una matriz de ponderación. Se define que los factores de elección serán 3: experiencia, competencias, personalidad. Se asigna una ponderación de 40%, 35% y 25%, respectivamente. A continuación, se procede con la elaboración de la matriz de ponderación y la calificación, en base al perfil de cada ingeniero (dicha calificación se realiza en una escala del 1 al 5, siendo 1 lo más bajo y 5 lo más alto):

Tabla 6.

Ejemplo de Matriz de Ponderación

Prospectos	Experiencia (40%)	Competencias (35%)	Personalidad (25%)	Calificación Total
Ingeniero 1	5	3	4	4.05
Ingeniero 2	4	4	4	4.00
Ingeniero 3	4	5	4	4.35

De acuerdo a la matriz, el prospecto elegido para el cargo sería el ingeniero #3, por obtener la calificación más alta de 4.35.

2.7 Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es una herramienta gráfica que se desarrolla a partir del principio de Pareto: el cual nos indica que el 80% de los resultados se originan del 20% de las causas. Dicho principio fue desarrollado por Vilfredo Pareto, quien estudió la distribución de las riquezas y llegó a la conclusión de que el 20% de la población poseía el 80% de la riqueza del mundo. El diagrama de Pareto resulta muy útil, puesto que nos muestra las pocas causas vitales al lado izquierdo del gráfico y la mayoría de causas triviales al lado derecho del gráfico. De esta manera, se puede identificar directamente cual es el 20% de las causas que son dignas de ser analizadas, puesto que si se les da una solución, se resolvería el 80% del problema. (Sales, 2013)

3. SITUACIÓN ACTUAL

3.1 Entregas de productos químicos

Las entregas de productos químicos en los bloques petroleros, se realizan de acuerdo a fechas de entregas establecidas directamente por el cliente. Estas fechas de entrega vienen definidas en forma de cronogramas de entregas, y se las presenta en la Orden de Compra emitida por la empresa petrolera. Dichas Órdenes de Compra tienen, actualmente, una duración aproximada de 3 meses.

Cada bloque petrolero realiza la compra de varios tipos de productos químicos de acuerdo a sus necesidades en campo, es decir, en función de sus proyecciones de consumos de dichos productos químicos en el período establecido de 3 meses. Por lo tanto, se realiza un levantamiento de información por cada bloque petrolero y respectivo tratamiento, de acuerdo a sus propias Órdenes de Compra de productos químicos y a sus propios cronogramas de entregas. El período a analizar es el de Febrero-Abril del 2017.

3.1.1 Campo Payamino - Tratamiento de Agua

Para el tratamiento de Agua en el campo Payamino, se requirieron y compraron 6 tipos de productos químicos, los cuales son: Antiescala, Anticorrosivo, Biocida en base Glutaraldehido, Biocida en base THPS, Secuestrante de Oxígeno y Surfactante No Iónico.

Las cantidades compradas (en galones) de cada producto químico y el cronograma de entregas se pueden apreciar en la Tabla 7:

Tabla 7.

Cronograma de entregas requerido de químicos para tratamiento de agua - Campo Payamino (valores en galones)

PRODUCTO QUÍMICO	Primera Entrega 28/02/2017	Segunda Entrega 31/03/2017	Tercera Entrega 30/04/2017	TOTAL
Antiescala	1540	1320	1100	3960
Anticorrosivo	2200	1540	1460	5200
Biocida Glutaraldehido	1540	1100	1100	3740
Biocida THPS	1540	1100	1100	3740
Secuestrante Oxigeno	165	-	-	165
Surfactante	1760	1320	1320	4400
			TOTAL	21205

En total, se compraron 21205 galones. De este volumen, se entregó con retraso 5365 galones, es decir, el 25.3% del total de volumen comprado (Para más información ver *Anexo 1*).

Dicho volumen retrasado se generó mediante 12 entregas atrasadas, con un rango de días de retraso entre 1 día y 40 días. El detalle de entregas atrasadas por cada producto químico se puede visualizar en la *Tabla 8*:

Tabla 8.

Entregas retrasadas en el campo Payamino (Tratamiento de Agua)

Producto químico	Primera entrega 28-feb	Segunda entrega 31-mar	Tercera entrega 30-abr	Total general
Anticorrosivo	1	3	3	7
Antiescala	-	1	-	1
Biocida Glutaraldehido	-	1	-	1
Secuestrante Oxigeno	1	-	-	1
Surfactante	1	1		2
Total general	3	6	3	12

De acuerdo al volumen de producto químico entregado atrasado y al número de días de retraso, se calcula una multa. En total, para este campo se generó una multa de \$1,172.39 El detalle de multas generadas por cada producto químico se puede visualizar en la Tabla 9:

Tabla 9.

Multas generadas en el campo Payamino (Tratamiento de Agua)

Producto químico	Primera entrega 28-feb	Segunda entrega 31-mar	Tercera entrega 30-abr	Total general
Anticorrosivo	\$ 263.47	\$ 213.29	\$ 241.09	\$ 717.85
Antiescala	\$ -	\$ 90.36	\$ -	\$ 90.36
Biocida Glutaraldehid o	\$ -	\$ 37.95	\$ -	\$ 37.95
Biocida THPS	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Secuestrante Oxigeno	\$ 79.20	\$ -	\$ -	\$ 79.20
Surfactante	\$ 82.97	\$ 164.06	\$ -	\$ 247.03
Total general	\$ 425.64	\$ 505.66	\$ 241.09	\$1,172.39

En resumen, para el campo Payamino (Tratamiento de Agua) se tuvieron 12 entregas atrasadas en el período Febrero-Abril de 2017, lo cual generó un total de \$1,172.39 en multas (Para más información ver el *Anexo 1*)

3.1.2 Campo Libertador - Tratamiento de Agua

Para el tratamiento de Agua en el campo Libertador, se requirieron y compraron 7 tipos de productos químicos, los cuales son: Antiescala, Anticorrosivo, Biocida en base Glutaraldehido, Biocida en base THPS, Coagulante, Floculante y Surfactante No Iónico.

Las cantidades compradas (en galones) de cada producto químico y el cronograma de entregas se pueden apreciar en la Tabla 10:

Tabla 10.

Cronograma de entregas requerido para químicos de tratamiento de agua – Campo Libertador (valores en galones)

PRODUCTO QUÍMICO	Primera Entrega	Segunda Entrega	Tercera Entrega	TOTAL
	01/03/2017	10/03/2017	30/03/2017	
Coagulante	770	1320	990	3080
Floculante	1100	-	880	1980
Antiescala	3135	2365	2365	7865
Anticorrosivo	2915	2200	2200	7315
Biocida Glutaraldehido	3795	2860	2860	9515
Biocida THPS	1320	4840	9955	16115
Surfactante	2640	3520	2640	8800
			TOTAL	54670

En total, se compraron 54670 galones. De este volumen, se entregó con retraso 31130 galones, es decir, el 56.9% del total de volumen comprado (Para más información ver *Anexo 2*).

Dicho volumen retrasado, se generó mediante 43 entregas atrasadas, con un rango de días de retraso entre 1 día y 45 días. El detalle de entregas atrasadas por cada producto químico se puede visualizar en la Tabla 11:

Tabla 11.

Entregas retrasadas en el campo Libertador (Tratamiento de Agua)

Producto químico	Primera entrega 01-mar	Segunda entrega 16-mar	Tercera entrega 30-mar	Total general
Anticorrosivo	1	2	3	6
Antiescala	1	3	2	6
Biocida Glutaraldehido	2	2	3	7
Biocida THPS	-	3	11	14
Coagulante	1	2	2	5
Floculante	2	-	1	3
Surfactante	-	-	2	2
Total general	7	12	24	43

De acuerdo al volumen de producto químico entregado atrasado y al número de días de retraso, se calcula una multa. En total, para este campo se generó una multa de \$12,243.51 El detalle de multas generadas por cada producto químico se puede visualizar en la Tabla 12:

Tabla 12.

Multas generadas en el campo Libertador (Tratamiento de Agua)

Producto químico	Primera entrega 01-mar	Segunda entrega 16-mar	Tercera entrega 30-marr	Total general
Anticorrosivo	\$ 33.00	\$ 424.29	\$ 295.43	\$ 752.71
Antiescala	\$ 70.71	\$ 554.40	\$ 1,083.34	\$ 1,708.46
Biocida Glutaraldehido	\$ 158.13	\$ 361.43	\$ 707.14	\$ 1,226.70
Biocida THPS	\$ -	\$ 396.00	\$ 4,983.00	\$ 5,379.00
Coagulante	\$ 102.30	\$ 906.09	\$ 803.79	\$ 1,812.17
Floculante	\$ 738.26	\$ -	\$ 473.94	\$ 1,212.20
Surfactante	\$ -	\$ -	\$ 152.27	\$ 152.27
Total general	\$ 1,102.40	\$ 2,642.20	\$ 8,498.91	\$ 12,243.51

En resumen, para el campo Libertador (Tratamiento de Agua) se tuvieron 43 entregas atrasadas en el período Febrero-Abril de 2017, lo cual generó un total de \$12,243.51 en multas (Para más información ver el *Anexo 2*).

3.1.3 Campo Libertador - Tratamiento de Crudo

Para el tratamiento de Crudo en el campo Libertador, se requirieron y compraron 3 tipos de productos químicos, los cuales son: Demulsificante de Acción Continua, Antiespumante y Antiparafinas.

Las cantidades compradas (en galones) de cada producto químico y el cronograma de entregas se pueden apreciar en la Tabla 13:

Tabla 13.

Cronograma de entregas requerido de químicos para tratamiento de crudo - Campo Libertador (valores en galones)

PRODUCTO QUIMICO	Primera Entrega 01-mar	Segunda Entrega 10-mar	Tercera Entrega 16-mar	Cuarta Entrega 31-mar	Quinta Entrega 14-abr	TOTAL
Demulsificante	7700	-	-	13200	5500	26400
Antiespumante	770	1155	825	-	-	2750
Antiparafinas	1760	-	770	-	-	2530
					TOTAL	31680

En total, se compraron 31680 galones. De este volumen, se entregó con retraso 20093 galones, es decir, el 63.4% del total de volumen comprado (Para más información ver *Anexo 3*).

Dicho volumen retrasado se generó mediante 25 entregas atrasadas, con un rango de días de retraso entre 1 día y 59 días. El detalle de entregas atrasadas por cada producto químico se puede visualizar en la Tabla 14:

Tabla 14.

Entregas retrasadas en el campo Libertador (Tratamiento de crudo)

Producto químico	Primera entrega 01-mar	Segunda entrega 16-mar	Tercera entrega 30-mar	Cuarta entrega 30-mar	Quinta entrega 30-mar	Total general
Antiespumante	-	4	1	-	-	5
Antiparafinas	4	-	1	-	-	5
Demulsificante	3	-	-	8	4	15
Total general	7	4	2	8	4	25

De acuerdo al volumen de producto químico entregado atrasado y al número de días de retraso, se calcula una multa. En total, para este campo se generó una multa de \$14,251.37 El detalle de multas generadas por cada producto químico se puede visualizar en la Tabla 15:

Tabla 15.

Multas generadas en el campo Libertador (Tratamiento de crudo)

Producto químico	Primera entrega 01-mar	Segunda entrega 16-mar	Tercera entrega 30-mar	Cuarta entrega 30-mar	Quinta entrega 30-mar	Total general
Anti-espumante	\$ -	\$ 348.23	\$386.57	\$ -	\$ -	\$ 734.80
Antiparafinas	\$418.75	\$ -	\$411.40	\$ -	\$ -	\$ 830.15
Demulsificante	\$122.38	\$ -	\$ -	\$5,605.06	\$6,958.98	\$12,686.42
Total general	\$541.13	\$ 348.23	\$797.97	\$5,605.06	\$6,958.98	\$14,251.37

En resumen, para el campo Libertador (Tratamiento de Crudo) se tuvieron 25 entregas atrasadas en el período Febrero-Abril de 2017, lo cual generó un total de \$14,251.37 en multas (Para más información ver el Anexo 3)

3.1.4 Campo Sacha - Tratamiento de Agua

Para el tratamiento de Agua en el campo Sacha, se requirieron y compraron 7 tipos de productos químicos, los cuales son: Antiescala, Anticorrosivo, Biocida en base Glutaraldehido, Biocida en base THPS, Coagulante, Floculante y Surfactante No Iónico.

Las cantidades compradas (en galones) de cada producto químico y el cronograma de entregas se pueden apreciar en la Tabla 16:

Tabla 16.

Cronograma de entregas requerido de químicos para tratamiento de agua - Campo Sacha (valores en galones)

PRODUCTO QUÍMICO	Primera Entrega 28/02/2017	Segunda Entrega 15/03/2017	Tercera Entrega 15/04/2017	TOTAL
Antiescala	3585	4070	5445	13100
Anticorrosivo	1925	2090	2805	6820
Biocida THPS	935	1045	1430	3410
Biocida Glutaraldehido	935	1045	1430	3410
Surfactante	440	495	660	1595
Coagulante	1100	1210	1650	3960
Floculante	100	100	125	325
			TOTAL	32720

En total, se compraron 32720 galones. De este volumen, se entregó con retraso 3520 galones, es decir, el 10.7% del total de volumen comprado (Para más información ver *Anexo 4*).

Dicho volumen retrasado se generó mediante 5 entregas atrasadas, con un rango de días de retraso entre 4 días y 17 días. El detalle de entregas atrasadas por cada producto químico se puede visualizar en la Tabla 17:

Tabla 17.

Entregas retrasadas en el campo Sacha (Tratamiento de agua)

Producto químico	Primera entrega 28-feb	Segunda entrega 15-mar	Tercera entrega 15-abr	Total general
Biocida Glutaraldehido	-	1	2	3
Biocida THPS	-	-	1	1
Coagulante	-	-	1	1
Total general	0	1	4	5

De acuerdo al volumen de producto químico entregado atrasado y al número de días de retraso, se calcula una multa. En total, para este campo se generó una multa de \$645.81 El detalle de multas generadas por cada producto químico se puede visualizar en la Tabla 18:

Tabla 18.

Multas generadas en el campo Sacha (Tratamiento de agua)

Producto químico	Primera entrega 28-feb	Segunda entrega 15-mar	Tercera entrega 15-abr	Total general
Anticorrosivo	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Antiescala	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Biocida Glutaraldehido	\$ -	\$ 274.62	\$ 109.04	\$ 383.66
Biocida THPS	\$ -	\$ -	\$ 30.36	\$ 30.36
Coagulante	\$ -	\$ -	\$ 231.79	\$ 231.79
Floculante	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Surfactante	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Total general	\$ -	\$ 274.62	\$ 371.19	\$ 645.81

En resumen, para el campo Sacha (Tratamiento de Agua) se tuvieron 5 entregas atrasadas en el período Febrero-Abril de 2017, lo cual generó un total de \$645.81 en multas (Para más información ver el *Anexo 4*)

3.1.5 Campo Sacha - Tratamiento de Crudo

Para el tratamiento de Crudo en el campo Sacha, se requirieron y compraron 4 tipos de productos químicos, los cuales son: Demulsificante de Acción Continua, Antiespumante, Antiparafinas y Clarificador.

Las cantidades compradas (en galones) de cada producto químico y el cronograma de entregas se pueden apreciar en la Tabla 19:

Tabla 19.

Cronograma de entregas requerido de químicos para tratamiento de crudo - Campo Sacha (valores en galones)

PRODUCTO QUÍMICO	Primera	Segunda	Tercera	TOTAL
	Entrega 28/02/2017	Entrega 15/03/2017	Entrega 15/04/2017	
Demulsificante	11440	11495	18040	40975
Antiparafinas	1925	2145	1705	5775
Clarificador	550	110	-	660
Antiespumante	550	660	880	2090
			TOTAL	49500

En total, se compraron 49500 galones. De este volumen, se entregó con retraso 28105 galones, es decir, el 56.8% del total de volumen comprado (Para más información ver Anexo 5).

Dicho volumen retrasado se generó mediante 24 entregas atrasadas, con un rango de días de retraso entre 1 día y 53 días. El detalle de entregas atrasadas por cada producto químico se puede visualizar en la Tabla 20:

Tabla 20.

Entregas retrasadas en el campo Sacha (Tratamiento de crudo)

Producto químico	Primera entrega 28-feb	Segunda entrega 15-mar	Tercera entrega 15-abr	Total general
Antiespumante	1	-	1	2
Antiparafinas	-	4	3	7
Clarificador	-	1	-	1
Demulsificante	-	6	8	14
Total general	1	11	12	24

De acuerdo al volumen de producto químico entregado atrasado y al número de días de retraso, se calcula una multa. En total, para este campo se generó una multa de \$17,796.95 El detalle de multas generadas por cada producto químico se puede visualizar en la Tabla 21:

Tabla 21.

Multas generadas en el campo Sacha (Tratamiento de crudo)

Producto químico	Primera entrega 28-feb	Segunda entrega 15-mar	Tercera entrega 15-abr	Total general
Antiespumante	\$ 15.44	\$ -	\$ 17.65	\$ 33.09
Antiparafinas	\$ -	\$ 471.15	\$ 312.23	\$ 783.38
Clarificador	\$ -	\$ 2.97	\$ -	\$ 2.97
Demulsificante	\$ -	\$ 2,848.34	\$14,129.17	\$ 16,977.51
Total general	\$ 15.44	\$ 3,322.46	\$14,459.05	\$ 17,796.95

En resumen, para el campo Sacha (Tratamiento de Crudo) se tuvieron 24 entregas atrasadas en el período Febrero-Abril de 2017, lo cual generó un total de \$17,796.95 en multas (Para más información ver el Anexo 5)

3.1.6 Campo Yuralpa - Tratamiento de Agua

Para el tratamiento de Agua en el campo Yuralpa, se requirieron y compraron 6 tipos de productos químicos, los cuales son: Antiescala, Anticorrosivo, Biocida en base Glutaraldehido, Biocida en base THPS, Clarificador y Surfactante No Iónico.

Las cantidades compradas (en galones) de cada producto químico y el cronograma de entregas se pueden apreciar en la Tabla 22:

Tabla 22.

Cronograma de entregas requerido de químicos para tratamiento de agua - Campo Yuralpa (valores en galones)

PRODUCTO QUÍMICO	Primera Entrega	Segunda Entrega	TOTAL
	01/03/2017	20/03/2017	
Antiescala	935	385	1320
Anticorrosivo	550	220	770
Biocida THPS	165	55	220
Biocida Glutaraldehido	165	55	220
Surfactante	165	55	220
Clarificador	2090	935	3025
	TOTAL		5775

En total, se compraron 5775 galones. De este volumen, se entregó con retraso 2255 galones, es decir, el 39.1% del total de volumen comprado (Para más información ver Anexo 6).

Dicho volumen retrasado se generó mediante 8 entregas atrasadas, con un rango de días de retraso entre 8 días y 51 días. El detalle de entregas atrasadas por cada producto químico se puede visualizar en la Tabla 23:

Tabla 23.

Entregas retrasadas en el campo Yuralpa (Tratamiento de agua)

Producto químico	Primera entrega 01-mar	Segunda entrega 15-mar	Total general
Antiescala	2	1	3
Biocida Glutaraldehido	1	-	1
Biocida THPS	1	-	1
Clarificador	2	1	3
Total general	6	2	8

De acuerdo al volumen de producto químico entregado atrasado y al número de días de retraso, se calcula una multa. En total, para este campo se generó una multa de \$830.74 El detalle de multas generadas por cada producto químico se puede visualizar en la Tabla 24:

Tabla 24.

Multas generadas en el campo Yuralpa (Tratamiento de agua)

Producto químico	Primera entrega 01-mar	Segunda entrega 15-mar	Total general
Anticorrosivo	\$ -	\$ -	\$ -
Antiescala	\$ 301.78	\$ 81.51	\$ 383.29
Biocida Glutaraldehido	\$ 30.17	\$ -	\$ 30.17
Biocida THPS	\$ 30.17	\$ -	\$ 30.17
Clarificador	\$ 212.39	\$ 174.71	\$ 387.11
Surfactante	\$ -	\$ -	\$ -
Total general	\$ 574.52	\$ 256.22	\$ 830.74

En resumen, para el campo Yuralpa (Tratamiento de Agua) se tuvieron 8 entregas atrasadas en el período Febrero-Abril de 2017, lo cual generó un total de \$830.74 en multas (Para más información ver el *Anexo 6*)

3.1.7 Campo Yuralpa - Tratamiento de Crudo

Para el tratamiento de Crudo en el campo Sacha, se requirieron y compraron 4 tipos de productos químicos, los cuales son: Demulsificante de Acción Continua, Antiespumante, Antiparafinas y Antiasfaltenos.

Las cantidades compradas (en galones) de cada producto químico y el cronograma de entregas se pueden apreciar en la Tabla 25:

Tabla 25.

Cronograma de entregas requerido de químicos para tratamiento de crudo - Campo Yuralpa (valores en galones)

PRODUCTO QUÍMICO	Primera Entrega 01/03/2017	Segunda Entrega 20/03/2017	TOTAL
Demulsificante	2750	1375	4125
Antiespumante	1870	715	2585
Antiparafinas	660	220	880
Antiasfaltenos	880	330	1210
		TOTAL	8800

En total, se compraron 8800 galones. De este volumen, se entregó con retraso 3795 galones, es decir, el 43.1% del total de volumen comprado (Para más información ver Anexo 7).

Dicho volumen retrasado se generó mediante 11 entregas atrasadas, con un rango de días de retraso entre 10 días y 52 días. El detalle de entregas atrasadas por cada producto químico se puede visualizar en la Tabla 26:

Tabla 26.

Entregas retrasadas en el campo Yuralpa (Tratamiento de crudo)

Producto químico	Primera entrega 01-mar	Segunda entrega 20-mar	Total general
Antiasfaltenos	2	1	3
Antiespumante	-	1	1
Antiparafinas	2	1	3
Demulsificante	2	2	4
Total general	6	5	11

De acuerdo al volumen de producto químico entregado atrasado y al número de días de retraso, se calcula una multa. En total, para este campo se generó una multa de \$1,936.49 El detalle de multas generadas por cada producto químico se puede visualizar en la Tabla 27:

Tabla 27.

Multas generadas en el campo Yuralpa (Tratamiento de crudo)

Producto químico	Primera entrega 01-mar	Segunda entrega 20-mar	Total general
Antiasfaltenos	\$ 290.21	\$ 177.35	\$ 467.56
Antiespumante	\$ -	\$ 184.87	\$ 184.87
Antiparafinas	\$ 47.54	\$ 34.57	\$ 82.11
Demulsificante	\$ 477.36	\$ 724.59	\$ 1,201.95
Total general	\$ 815.11	\$ 1,121.38	\$ 1,936.49

En resumen, para el campo Yuralpa (Tratamiento de Crudo) se tuvieron 12 entregas atrasadas en el período Febrero-Abril de 2017, lo cual generó un total de \$1,172.39 en multas (Para más información ver el Anexo 7)

3.2 Multas por entregas retrasadas

El volumen total comprado, de los 9 bloques petroleros y sus respectivos tratamientos químicos, fue de 204350 galones. De este valor, 94263 galones fueron entregados con retraso. Este volumen representa el 46.1% del volumen total comprado.

En la Figura 5 se puede apreciar el detalle y porcentaje de los volúmenes de entrega por cada campo y su respectivo tratamiento químico.

Volúmenes de Entregas atrasadas

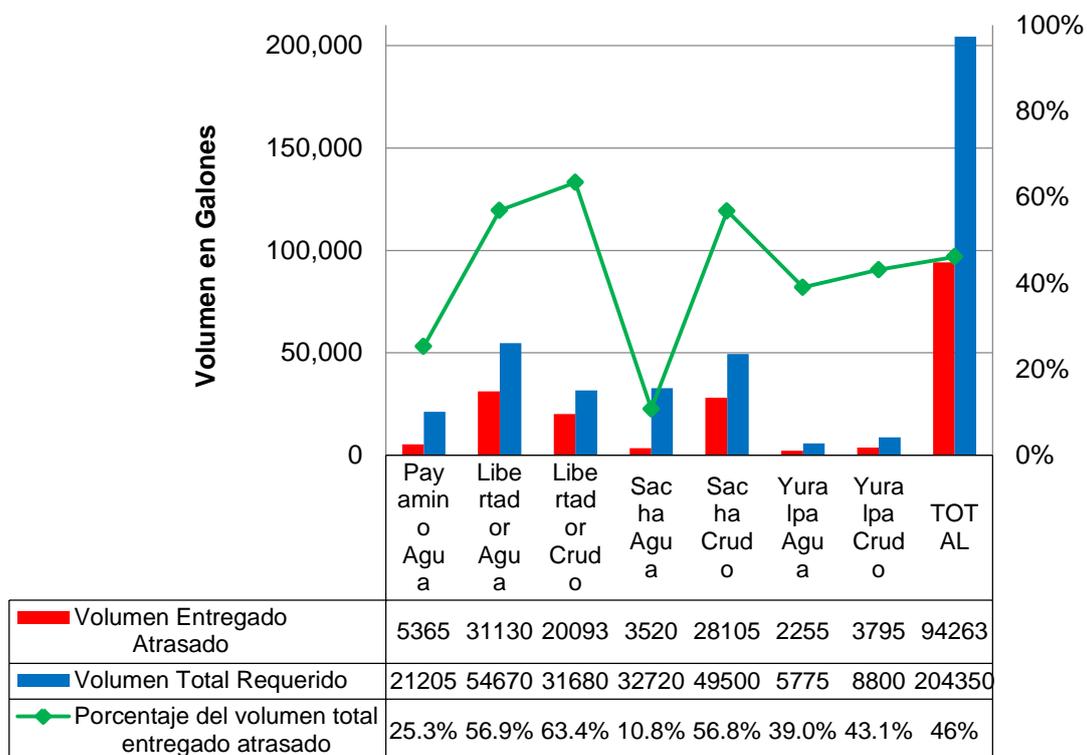


Figura 5. Volúmenes de entregas atrasadas

Por un lado, se tuvo un total de 128 entregas atrasadas en todos los campos y sus respectivos tratamientos químicos. El rango de días de retraso fluctúa entre 1 y 59 días. Por otro lado, el valor total de multas generadas por entregas atrasadas, en cada campo y respectivo tratamiento químico, asciende a \$48,877.26.

El resumen de número de entregas atrasadas y de multas por cada bloque y tratamiento petrolero se puede apreciar en la Tabla 28:

Tabla 28.
Resumen de entregas atrasadas y de multas

Campo	Tratamiento	Número de entregas atrasadas	Valor total de multa
Payamino	Tratamiento de Agua	12	\$ 1,172.39
Libertador	Tratamiento de Agua	43	\$ 12,243.51
Libertador	Tratamiento de Crudo	25	\$ 14,251.37
Sacha	Tratamiento de Agua	5	\$ 645.81
Sacha	Tratamiento de Crudo	24	\$ 17,796.95
Yuralpa	Tratamiento de Agua	8	\$ 830.74
Yuralpa	Tratamiento de Crudo	11	\$ 1,936.49
TOTAL		128	\$ 48,877.26

El valor total de la venta, de los 9 campos petroleros y respectivos tratamientos químicos, en el período Febrero – Abril de 2017, fue de \$2'712'274.65. Por otro lado, el valor total de multas por entregas tardías fue de \$48,877.26, que representa el 2% de la venta total (ver Figura 6)



Figura 6. Ventas y multas en el período febrero-abril 2017

A pesar de que el porcentaje de multas generadas respecto a la venta total es de apenas el 2%, el valor monetario bruto es bastante elevado: Casi cincuenta mil dólares en multas en un período de 3 meses, que proyectando a un año, podrían ser doscientos mil dólares en multas anuales.

En resumen, en el período de Febrero-Abril de 2017, OFC entregó con retraso el 46% del volumen de productos químicos comprados, con un total de 128 entregas atrasadas, lo cual generó multas por un valor de \$48,877.26. Dicho valor representa el 2% de los ingresos totales en ese período.

Por este motivo, este problema es digno de ser analizado y solucionado definitivamente, pues, proyectando los datos a un año, representaría una reducción en la utilidad bruta anual de doscientos mil dólares (\$200.000).

3.3 Análisis de Causa Raíz

3.3.1 Lluvia de ideas

De acuerdo con el proceso interno definido previamente, hay 6 áreas involucradas en la fabricación y distribución de cada uno de los productos químicos. De estas 6 áreas, son 3 las que tienen influencia directa en las entregas de productos químicos a los clientes. Estas son: Planificación de la Producción, Ventas y Despacho.

Se realizaron varias reuniones con algunos colaboradores de "QUIMICOS S.A.", que representan a cada una de estas 3 áreas, con el fin de realizar una Lluvia de Ideas de posibles causas del problema; tener una visión objetiva y holística del problema; y, establecer un punto de partida para el Análisis de

Causas Raíz. En dichas reuniones, se compartió el problema definido y todos los datos del caso, con el fin de que cada persona de cada área lo entienda de mejor manera. Después, se prosiguió con la Lluvia de Ideas.

La primera reunión, se realizó con el Coordinador de Planeación, que representa al área de Planificación de la Producción. Los resultados de la Lluvia de Ideas de posibles causas raíces fueron:

- La capacidad de producción de la planta no es suficiente en algunos casos.
- La capacidad de producción se comparte con productos de otras divisiones de la compañía.
- No se establecen correctamente los planes de producción semanal.
- Existen retrasos en la llegada de materias primas que retrasan la producción.
- Existen paros imprevistos en planta.

La segunda reunión se realizó con el Planificador de Despachos, que representa al área de Despacho. Los resultados de la Lluvia de Ideas de posibles causas raíces fueron:

- La capacidad de los camiones donde se cargan los productos químicos no es suficiente.
- No hay suficientes vehículos.
- Las rutas en Oriente son establecidas y no siempre se pueden hacer entregas de un mismo camión a distintos campos petroleros.
- Los productos ya han sido fabricados pero no constan en el sistema y no se puede despachar sin este requisito.
- Se planificó un despacho de cierto producto, pero éste no estuvo listo en el día planificado.

La tercera y última reunión se realizó con el Coordinador Comercial OFC, que representa al área de Ventas, específicamente, a las ventas de OFC. Los resultados de la Lluvia de Ideas de posibles causas raíces fueron:

- No se tiene el material en stock disponible para despacho
- Hay paros por parte de la comunidad indígena en Oriente y no se puede hacer entrega de los productos químicos
- No se ha cumplido el plan semanal de producción.

3.3.2 Clasificación por afinidad

De todas las posibles causas, que se establecieron en conjunto con las 3 áreas influyentes en las entregas a clientes, se realizó un diagrama de afinidad, con el fin de organizar y filtrar de mejor manera posibles causas raíces similares entre sí. Dicha clasificación comprendió 2 temas principales que son: Retrasos en la producción y Retrasos en el Despacho (Ver Figura 7)



Figura 7. Diagrama de afinidad de causas

Se realizó, en conjunto con el Coordinador Comercial OFC, el Coordinador de Planeación y el Planificador de Despachos, un análisis para establecer el motivo del retraso de cada una de las 128 entregas atrasadas, mencionadas en previamente (Para más información ver el Anexo 8).

Luego, se realizó una clasificación por causas comunes y se establece el porcentaje de incidencia de cada causa. Los resultados se muestran en la Tabla 29:

Tabla 29.
Causas e incidencia

Causa de entrega atrasada	Porcentaje de incidencia
Capacidad Insuficiente	31.3%
Capacidad compartida	10.2%
Llegadas atrasadas de Materias Primas	38.3%
Paros Imprevistos	3.9%
Incumplimiento de fechas de producción	3.1%
Incumplimiento de cantidades a producir	1.6%
Falta de vehículos	2.3%
Poca capacidad de carga por vehículo	3.1%
No se puede entregar a campos distantes a la vez	1.6%
Paros de las comunidades indígenas	2.3%
No se tiene stock disponible para despacho	2.3%
TOTAL	100%

3.3.3 Análisis Pareto

Después, se realiza un análisis 80/20, a través de un Diagrama de Pareto (ver Figura 8), para analizar la frecuencia de aparición de las causas establecidas en la lluvia de ideas, y, así, poder establecer las causas principales.

Diagrama de Pareto de posibles causas del problema

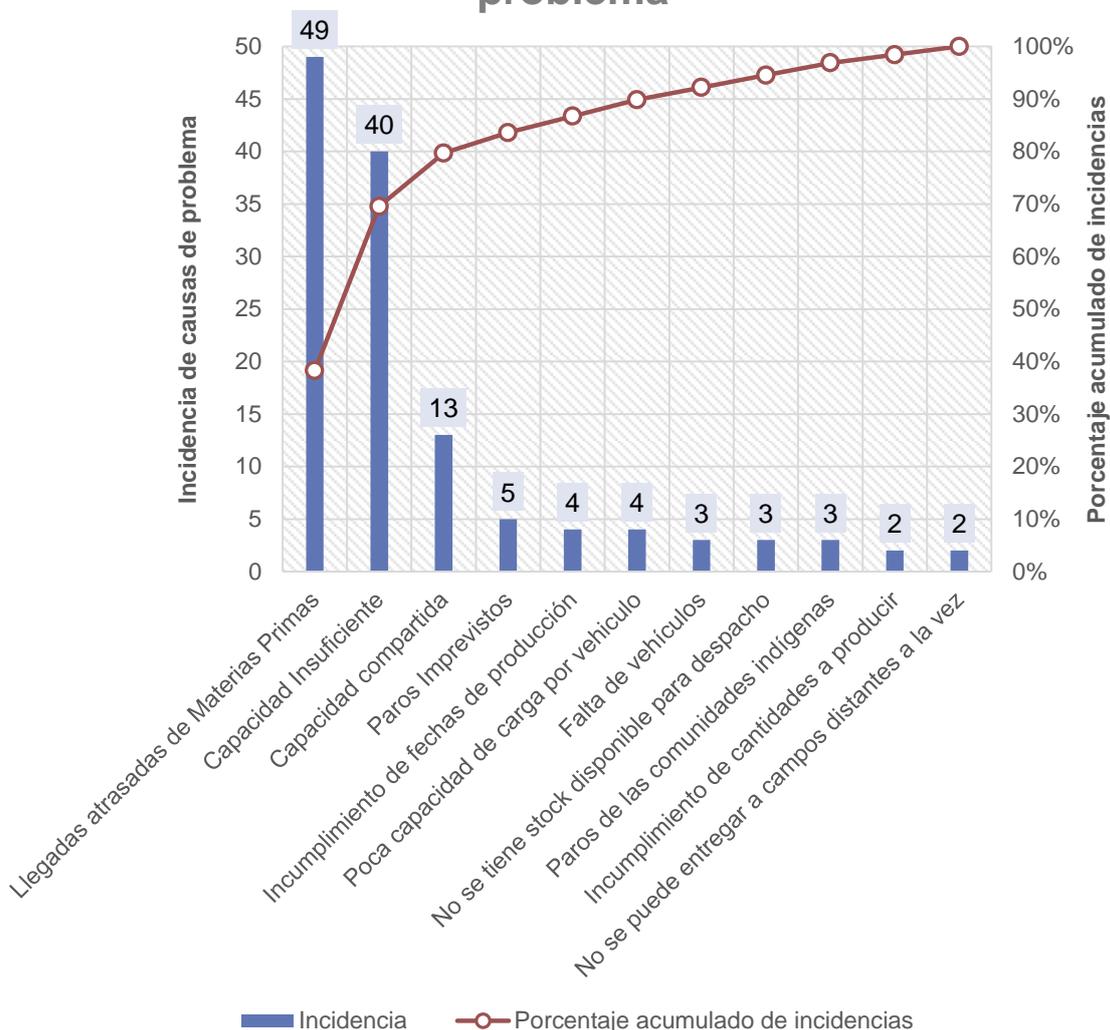


Figura 8. Diagrama de Pareto de posibles causas del problema

Se puede concluir, que el 80% de las entregas atrasadas se han generado debido a 3 causas: Llegadas atrasadas de Materias Primas, Capacidad insuficiente y Capacidad compartida con otras áreas. Estas 3 causas se consideran como Retrasos de Producción (de acuerdo a la clasificación realizada en el gráfico 13.1). Por lo tanto, se va a realizar un análisis de causas raíz a través de la metodología de los 5 porqués y utilizando como punto de partida las 3 causas principales definidas.

sistema de producción y distribución, y, simplemente, establece una fecha estimada de entrega, que siempre se encuentra sujeta a cambios. Incluso dichos cambios pueden darse debido a factores sobre los que no se tiene control como, por ejemplo, catástrofes naturales o políticas de exportación e importación. Por tal motivo, esta causa raíz no puede ser solucionada por “QUÍMICOS S.A.” y, más bien, se recomienda establecer un mejor canal de comunicación con los proveedores para tener tiempos de entrega más acertados y, de ser posible, un rango de seguridad de días de entrega, es decir, una fecha estimada de llegada anticipada.

- **Las políticas de la compañía establecen que se deben aprovechar recursos.**

Esta causa raíz, a pesar de ser interna de la compañía, no es una sobre la cual se puedan realizar cambios de forma sencilla. Las políticas de la empresa son los pilares de la misma y una política de aprovechamiento de recursos es algo muy lógico para alcanzar objetivos económicos de reducción de costos y maximización de ganancias. Por lo tanto, se recomienda que exista un canal de comunicación abierto entre las divisiones comerciales que comparten recursos de tal manera que se puedan priorizar los productos críticos de fabricación y se establezcan cronogramas semanales de producción que se ajusten a las necesidades de cada división comercial.

- **El Pronóstico de Ventas no se realizó de forma correcta.**

Esta causa raíz debe ser analizada, pues es parte de los procesos internos de la compañía. El Pronóstico de Ventas es la entrada del Proceso de Planificación. Actualmente, dicha la responsabilidad de elaborar dicho pronóstico recae sobre el área comercial – también conocida como Ventas – pues es el área que tiene involucramiento

directo con el cliente y con su necesidad mensual y anual de productos químicos. Lamentablemente, en la actualidad no existe un método formal para realizar el Pronóstico de Ventas y, al ser la entrada de un proceso, genera problemas en las actividades que se desarrollan a partir del mismo. Para corroborar si efectivamente existe una desviación entre el Pronóstico de Ventas y la venta real mensual, que compruebe que el Pronóstico de Ventas no se realiza correctamente, se desarrolla un análisis de 2 indicadores logísticos: *BIAS* y *Forecast Accuracy*.

3.3.5 Indicadores logísticos

El departamento de Planeación de la Producción de “QUIÍMICOS S.A.” monitorea mensualmente el pronóstico de todas las divisiones de la empresa, entre ellas, OFC. Los indicadores que se calculan mensualmente son el *Forecast Accuracy* y el *BIAS*. A continuación se muestra la evolución de dichos indicadores desde octubre de 2016 hasta octubre de 2017:

Forecast Accuracy - BIAS Situación actual

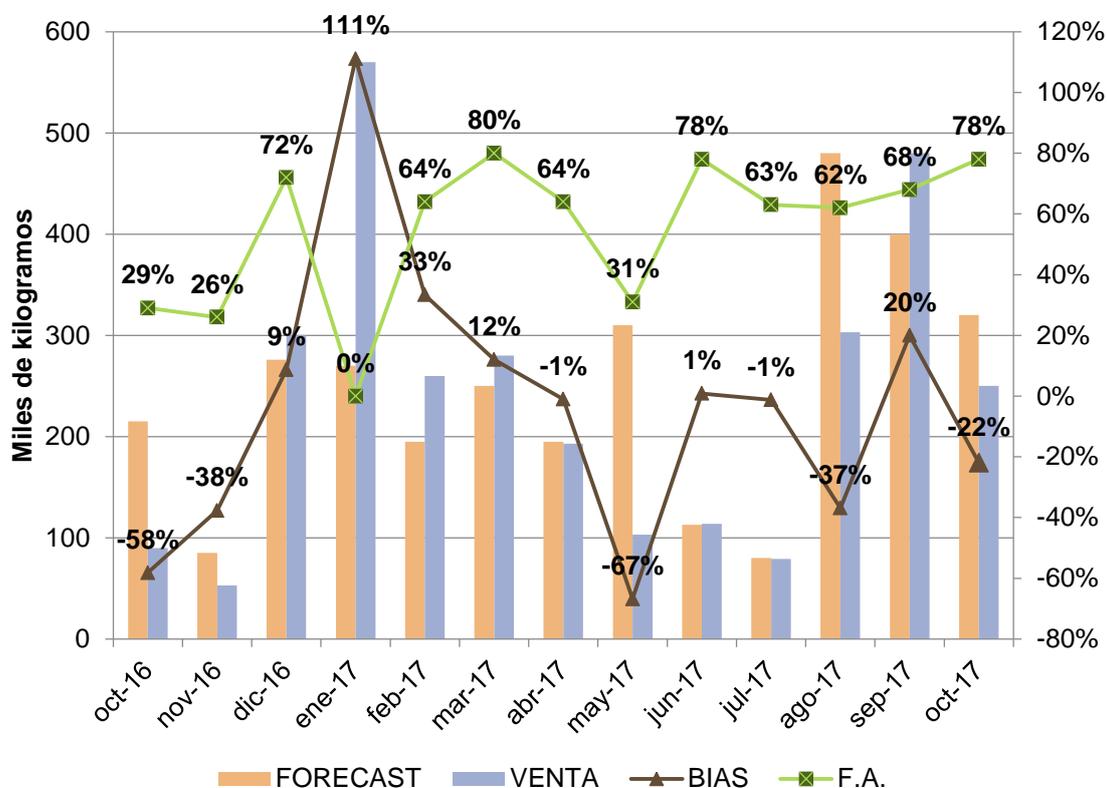


Figura 10. Forecast Accuracy y BIAS en la actualidad

Respecto al indicador *Forecast Accuracy*, que mide la exactitud del pronóstico, la empresa determina que el nivel mínimo que se debe mantener mes a mes para evitar problemas de falta de stock y/o problemas de sobre-producción, es del 80%. Sin embargo, se puede apreciar ningún valor alcanza el 80%, a excepción del mes de marzo de 2017. Por lo tanto, se puede concluir, que los pronósticos que maneja actualmente OFC no son exactos.

Respecto al indicador *BIAS*, que mide la precisión del pronóstico, la empresa determina que el rango porcentual que se debe mantener mensualmente para evitar tener re-procesos en la planificación de la producción, es de entre el 5% y el -5%. Sin embargo, se puede apreciar únicamente se tienen valores dentro

del rango en los meses de abril, junio y julio de 2017. Durante los otros períodos, los valores fluctúan demasiado, incluso llegando a alcanzar valores de 111% y de -67%. Por lo tanto, se puede concluir, que los pronósticos que maneja actualmente OFC no son precisos.

En base a la evidencia reflejada en los indicadores logísticos, se corrobora que la causa raíz – el pronóstico de ventas no se realizó de forma correcta – es verídica y se procede a desarrollar un modelo de pronósticos que se adapte a la demanda de OFC.

4. PROPUESTA DE MEJORA

4.1 Análisis de la demanda

El desarrollo de un modelo de pronósticos parte del análisis de la demanda, que consiste en levantar información del histórico de la demanda de productos químicos de OFC. Para que dicho análisis de demanda resulte óptimo, es conveniente tener la mayor cantidad de datos posible. En este caso, se levantó la demanda mensual del período que abarca desde Febrero 2017 hasta Octubre 2017.

Debido a las diferencias que existen entre los productos químicos utilizados para Tratamiento de Agua, y los productos químicos utilizados para Tratamiento de Crudo por el otro, se procedió a realizar un análisis de demanda independiente, por cada tratamiento.

4.1.1 Demanda de Productos Químicos para tratamiento de crudo

Se realizó el levantamiento de los históricos de demanda de productos químicos (en galones) para Tratamiento de Crudo, de los campos Libertador, Sacha y Yuralpa, puesto que estos fueron los analizados en la cuantificación de multas por entregas tardías.

La demanda (en galones) de los 3 productos químicos utilizados para Tratamiento de Crudo en el campo Libertador se puede apreciar en la Tabla 30:

Tabla 30.

Demanda en Libertador (Tratamiento de Crudo), valorada en galones.

AÑO	MES	Producto Químico		
		Demulsificante	Antiespumante	Antiparafinas
2017	FEBRERO	7700	770	1760
	MARZO	13200	1980	770
	ABRIL	5500		
	MAYO	7920	825	770
	JUNIO	7920	1650	1540
	JULIO	7920		
	AGOSTO	7920	1650	1540
	SEPTIEMBRE	7920	825	770
	OCTUBRE	7920		

La demanda (en galones) de los 3 productos químicos utilizados para Tratamiento de Crudo en el campo Sacha se puede apreciar en la Tabla 31:

Tabla 31.

Demanda en Sacha (Tratamiento de Crudo), valorada en galones.

AÑO	MES	Producto Químico		
		Demulsificante	Antiespumante	Antiparafinas
2017	FEBRERO	11440	550	1925
	MARZO	11495	660	2145
	ABRIL	18040	880	1705
	MAYO	13200	1100	1925
	JUNIO	12100	770	1925
	JULIO	11935	-	1980
	AGOSTO	12705	660	2145
	SEPTIEMBRE	12705	660	2145
	OCTUBRE	12265	605	2090

La demanda (en galones) de los 4 productos químicos utilizados para Tratamiento de Crudo en el campo Yuralpa se puede apreciar en la Tabla 32:

Tabla 32.

Demanda en Yuralpa (Tratamiento de Crudo), valorada en galones.

AÑO	MES	Producto Químico			
		Demulsificante	Anti-espumante	Anti-parafinas	Anti-asfaltenos
2017	FEB.	2750	1870	660	880
	MAR.	1375	715	220	330
	ABR.	-	-	-	-
	MAY.	1375	715	220	330
	JUN.	1375	715	220	330
	JUL.	1100	715	220	330
	AGO-	-	-	-	-
	SEPT.	-	-	-	-
	OCT.	825	715	-	330

Tomando en cuenta que el Tratamiento de Crudo en cada uno de estos 3 campos petroleros es muy similar, y que los productos químicos utilizados tienen los mismos fines y funcionalidades, se procedió a totalizar los galones demandados mensualmente de los 3 campos y de los 4 tipos de productos químicos (Demulsificante, Antiespumante, Antiparafinas y Antiasfaltenos). Los valores totales mensualizados se pueden apreciar en la Figura 11:

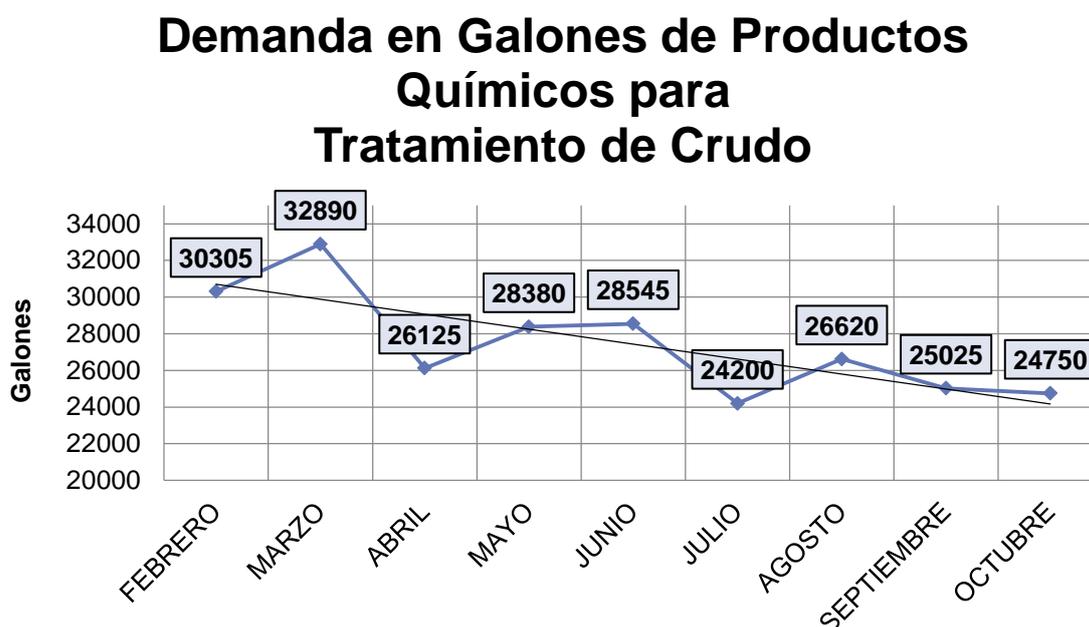


Figura 11. Demanda de productos químicos para tratamiento de crudo

Al analizar el gráfico de la demanda y los valores mensuales, se llegó a las siguientes conclusiones:

- El patrón de la demanda es nivelado, es decir, existen picos máximos y mínimos pero estos no son excesivos ni son muchos. De hecho la desviación estándar de este rango de datos es de apenas del 10.5%.
- Existe una tendencia de decrecimiento lineal estable. Esto puede deberse a un ajuste en los consumos de los productos químicos en campo. Sin embargo, es importante tomar en cuenta que la demanda va

a llegar a un punto donde no puede seguir decreciendo, ya que se tiene un consumo mínimo obligatorio en campo, para que los sistemas involucrados funcionen correctamente.

- En algunos períodos, por ejemplo, en los períodos de febrero y marzo, o abril y mayo, se puede apreciar cierta ciclicidad. En estos, casos se demanda más en el primer mes, que en el segundo.
- La demanda máxima se tuvo en el mes de marzo y fue de 32890 galones.
- La demanda mínima se tuvo en el mes de julio y fue de 24200 galones.

En base a las conclusiones planteadas se eligieron 3 modelos de pronósticos de demanda, que se ajusten a la demanda de los productos químicos de Tratamiento de Crudo. Estos 3 modelos son:

- Método del Promedio Móvil Simple
- Método de la Suavización Exponencial Simple
- Método de Holt (también conocido, como Suavización Exponencial Doble)

4.1.2 Demanda de Productos Químicos para tratamiento de agua

Se realizó el levantamiento de los históricos de demanda de productos químicos (en galones) para Tratamiento de Agua, de los campos Payamino, Libertador, Sacha y Yuralpa, puesto que estos fueron los analizados en la cuantificación de multas por entregas tardías.

La demanda (en galones) de los 6 productos químicos utilizados para Tratamiento de Agua en el campo Payamino se puede apreciar en la Tabla 33:

Tabla 33.

Demanda en Payamino (Tratamiento de agua), valorada en galones.

Año	Mes	Producto Químico					
		Anti-escala	Anti-corrosivo	Biocida Glutaraldehido	Biocida THPS	Secuestrante Oxigeno	Surfactante
2017	FEB.	1540	2200	1540	1540	165	1760
	MAR.	1320	1540	1100	1100	-	1320
	ABR.	1100	1460	1100	1100	-	1320
	MAY.	1320	1500	1100	1100	55	1320
	JUN.	1100	1500	1100	1100	55	1320
	JUL.	1320	1500	1100	1100	55	1320
	AGO.	2200	-	2200	2200	-	-
	SEP.	1320	-	1100	1100	-	-
	OCT.	2420	3000	1100	1100	-	-

La demanda (en galones) de los 7 productos químicos utilizados para Tratamiento de Agua en el campo Libertador se puede apreciar en la Tabla 34:

Tabla 34.

Demanda en Libertador (Tratamiento de agua), valorada en galones.

Año	Mes	Producto Químico						
		Coagulante	Floculante	Anti-escala	Anti-corrosivo	Biocida Glutaraldehido	Biocida THPS	Surfactante
2017	FEB.	770	1100	3135	2915	3795	1320	2640
	MAR.	1320	-	2365	2200	2860	4840	3520
	ABR.	990	880	2365	2200	2860	9955	2640
	MAY.	1870	1210	8140	7535	2860	4840	2640
	JUN.	935	605	8140	7370	2860	4840	2640
	JUL.	-	-	8140	7370	2860	4840	2640
	AGO.	1870	1210	8140	7535	2860	4840	2640
	SEP.	935	605	8140	7370	2860	4840	2640
	OCT.	-	-	8140	7370	2860	4840	2640

La demanda (en galones) de los productos 8 químicos utilizados para Tratamiento de Agua en el campo Sacha se puede apreciar en la Tabla 35:

Tabla 35.

Demanda en Sacha (Tratamiento de agua), valorada en galones.

Año	Mes	Producto Químico							
		Anti-escala	Anti-corrosivo	Biocida THPS	Biocida Glutaraldehido	Surfactante	Coagulante	Floculante	Clarificador
2017	FEB.	3585	1925	935	935	440	1100	100	550
	MAR.	4070	2090	1045	1045	495	1210	100	110
	ABR.	5445	2805	1430	1430	660	1650	125	-
	MAY.	4235	2090	1210	1210	550	1375	100	165
	JUN.	4235	2090	1210	1210	550	1375	100	220
	JUL.	3520	1980	715	715	385	770	100	165
	AGO.	4070	2090	1045	1045	495	1210	100	220
	SEP.	4070	2090	1045	1045	495	1210	100	220
OCT.	3960	2035	1045	1045	495	1155	100	165	

La demanda (en galones) de los 6 productos químicos utilizados para Tratamiento de Agua en el campo Yuralpa se puede apreciar en la Tabla 36:

Tabla 36.

Demanda en Yuralpa (Tratamiento de agua) , valorada en galones.

Año	Mes	Producto Químico					
		Anti-escala	Anti-corrosivo	Biocida THPS	Biocida Glutaraldehido	Surfactante	Clarificador
2017	FEB.	935	550	165	165	165	2090
	MAR.	385	220	55	55	55	935
	ABR.	-	-	-	-	-	-
	MAY.	385	220	55	55	55	880
	JUN.	385	220	55	55	55	935
	JUL.	440	220	55	55	55	880
	AGO.	-	-	-	-	-	-
	SEP.	-	-	-	-	-	-
	OCT.	330	165	-	55	-	880

Tomando en cuenta que el Tratamiento de Agua en cada uno de estos 4 campos petroleros es muy similar y que los productos químicos tienen los mismos fines y funcionalidades, se procedió a agregar los galones demandados mensualmente de los 4 campos y de los 8 tipos de productos químicos (Antiescala, Anticorrosivo, Biocida THPS, Biocida Glutaraldehido, Surfactante, Coagulante, Floculante y Clarificador).

En mayo de 2017, el cliente tomó la decisión de abastecerse en estos 4 campos, con un stock de seguridad adicional de varios productos. Por lo tanto, realizó su compra habitual, pero agregó 5000 galones de productos químicos en total. Al tratarse de un valor que no estaba contemplado en el estudio de la demanda, se tomó la decisión de no tenerlo en cuenta para el análisis de la demanda. Se realizó un ajuste, en el que se restaron 5000 galones al valor de demanda de mayo de 2017.

Los valores totales mensualizados y ajustados se pueden apreciar en la Figura 12:

Demanda en Galones de Productos Químicos para Tratamiento de Agua

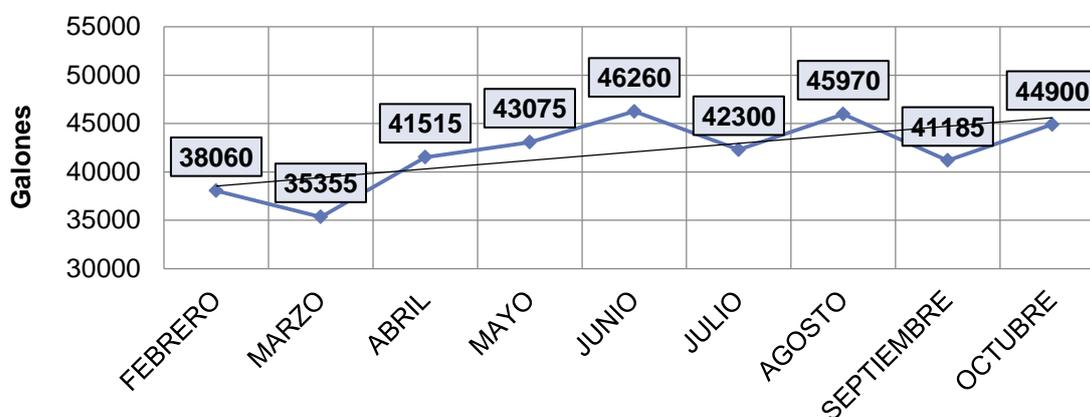


Figura 12. Demanda de productos químicos para tratamiento de agua

Al analizar el gráfico de la demanda y los valores mensuales se llegó a las siguientes conclusiones:

- El patrón de la demanda es nivelado, es decir, existen picos máximos y mínimos pero estos no son excesivos ni son muchos. De hecho la desviación estándar de este rango de datos es de apenas del 8.6%.
- Existe una tendencia de crecimiento lineal estable, principalmente, en los meses de marzo, abril y mayo. Esto puede deberse a un ajuste en los consumos de los productos químicos en campo. Sin embargo, es importante tomar en cuenta que la demanda se estabiliza a partir de mayo y mantiene un comportamiento lineal.
- En algunos períodos, por ejemplo, en los periodos de julio y agosto, o septiembre y octubre, se puede apreciar cierta ciclicidad. En estos, casos se demanda menos en el primer mes que en el segundo.

- La demanda máxima se tuvo en el mes de junio y fue de 46260 galones.
- La demanda mínima se tuvo en el mes de marzo y fue de 35355 galones.

En base a las conclusiones planteadas se eligieron 3 modelos de pronósticos de demanda, que se ajusten a la demanda de los productos químicos de Tratamiento de Crudo. Estos 3 modelos son:

- Método del Promedio Móvil Simple
- Método de la Suavización Exponencial Simple
- Método de Holt (también conocido, como Suavización Exponencial Doble)

4.2 Modelos de Pronósticos

4.2.1 Pronóstico de productos químicos para tratamiento de crudo

4.2.1.1 Promedio Móvil Simple

Para la realización del pronóstico mediante Promedio Móvil Simple, se tomó en cuenta un período de 3 meses para la toma de datos y cálculo del pronóstico del mes siguiente. Esta decisión resultó la más lógica, ya que 3 meses es justamente el período de compra del cliente.

Con los datos de la demanda mensual de productos químicos para tratamiento de crudo, desde febrero a octubre, se procedió a calcular el pronóstico

mensual. El pronóstico de mayo se calculó como el promedio de los meses febrero, marzo y abril. El pronóstico de junio se calculó como el promedio de los meses marzo, abril y mayo, y así sucesivamente.

Luego, se calculó el error, que resulta la diferencia entre la demanda real y el pronóstico calculado. Después se procedió con el cálculo de los indicadores de error (MAD y MAPE) por mes. Finalmente, se calculó el MAD y MAPE totales, que no son más que el promedio de los valores respectivos obtenidos mensualmente. Los resultados de este modelo de pronóstico se pueden apreciar en la Tabla 37:

Tabla 37.
Promedio Móvil Simple (Tratamiento de crudo)

Mes	Demanda	Pronóstico Calculado	Error	MAD	MAPE
FEBRERO	30305				
MARZO	32890				
ABRIL	26125				
MAYO	28380	29773	-1393	1393	4.9%
JUNIO	28545	29132	-587	587	2.1%
JULIO	24200	27683	-3483	3483	14.4%
AGOSTO	26620	27042	-422	422	1.6%
SEPTIEMBRE	25025	26455	-1430	1430	5.7%
OCTUBRE	24750	25282	-532	532	2.1%

MAD	1308
MAPE	5.13%

Como se puede apreciar, los indicadores de errores (MAD, MAPE) dieron resultados bajos:

- El resultado de MAD fue de 1308 y si se lo compara con los datos de la demanda, que son valores entre 24200-32890, se puede concluir que este modelo ha dado un pronóstico preciso.
- El resultado de MAPE fue de 5.13%. Este valor es bastante bajo e indica que el modelo ha dado un pronóstico exacto.

4.2.1.2 Suavización Exponencial Simple

Para la realización del pronóstico mediante Suavización Exponencial Simple, se tomó en cuenta alfa del 53%. Esta decisión resultó la más conveniente, ya que, mediante prueba y error, este valor fue el que arrojó mejores resultados (ver *Anexo 9*). Además un alfa de 53% indica que se da importancia equitativa al pronóstico y a la demanda del período anterior. Resulta además lógico asignar este valor para alfa, pues, debido a la ciclicidad de la demanda, se tiene que dar importancia equitativa a la demanda real del período anterior. Caso contrario, el pronóstico no respetaría los ciclos.

Con los datos de la demanda mensual de productos químicos para tratamiento de crudo, desde febrero a octubre, se procedió a calcular el pronóstico mensual. Para efecto de cálculo, el pronóstico de febrero es igual a la demanda de febrero. A partir de marzo, el pronóstico se calcula con la demanda y el pronóstico del período inmediatamente anterior.

Luego, se calculó el error, que resulta la diferencia entre la demanda real y el pronóstico calculado. Después se procedió con el cálculo de los indicadores de error (MAD y MAPE) por mes. Finalmente, se calculó el MAD y MAPE totales, que no son más que el promedio de los valores respectivos obtenidos mensualmente.

Los resultados de este modelo de pronóstico se pueden apreciar en la Tabla 38:

Tabla 38.

Suavización Exponencial Simple (Tratamiento de crudo)

Mes	Demanda	Pronóstico	Error	MAD	MAPE
FEBRERO	30305	30305.00			
MARZO	32890	30305.00	2585	2585	7.9%
ABRIL	26125	31675.05	-5550	5550	21.2%
MAYO	28380	28733.52	-354	354	1.2%
JUNIO	28545	28546.16	-1	1	0.0%
JULIO	24200	28545.54	-4346	4346	18.0%
AGOSTO	26620	26242.41	378	378	1.4%
SEPTIEMBRE	25025	26442.53	-1418	1418	5.7%
OCTUBRE	24750	25691.24	-941	941	3.8%

MAD	1946
MAPE	7.40%

Como se puede apreciar, los indicadores de errores (MAD, MAPE) dieron resultados medios:

- El resultado de MAD fue de 1946 y si se lo compara con los datos de la demanda, que son valores entre 24200-32890, se puede concluir que este modelo ha dado un pronóstico medianamente preciso.
- El resultado de MAPE fue de 7.40%. Este valor es medio-bajo e indica que el modelo ha dado un pronóstico medianamente exacto.

4.2.1.3 Método de Holt

Para la realización del pronóstico mediante Método de Holt, se tomó en cuenta alfa del 39% y un beta de 75%. Esta decisión resultó la más conveniente, ya que, mediante prueba y error, estos valores fueron los que arrojaron mejores resultados (ver *Anexo 10*). Un alfa de 39% indica que se da mayor importancia al pronóstico que a la demanda del período anterior y un beta de 75% indica que se toma muy en cuenta la tendencia de los datos. Por el tipo de demanda, lineal decreciente, estos valores resultan apropiados.

Con los datos de la demanda mensual de productos químicos para tratamiento de crudo, desde febrero a octubre, se procedió a calcular el pronóstico mensual. Para efecto de cálculo, el pronóstico de febrero es igual a la demanda, es decir, de 30305 galones. Se elige una tendencia inicial de 0 debido a la incertidumbre del comportamiento de la demanda en el próximo periodo. A partir de marzo el pronóstico se calcula con la demanda, el pronóstico y la tendencia del período inmediatamente anterior.

Luego, se calculó el error, que resulta la diferencia entre la demanda real y el pronóstico calculado. Después se procedió con el cálculo de los indicadores de error (MAD y MAPE) por mes. Finalmente, se calculó el MAD y MAPE totales, que no son más que el promedio de los valores respectivos obtenidos mensualmente. Los resultados de este modelo de pronóstico se pueden apreciar en la Tabla 39:

Tabla 39.
Método de Holt (Tratamiento de crudo)

Mes	Demanda	Pronóstico	p prima	t	Error	MAD	MAPE
FEB	30305	30305	30305	0			
MAR	32890	28305	30305	-2000	4585	4585	13.9%
ABR	26125	29434	30093	-659	-3309	3309	12.7%
MAY	28380	26517	28144	-1627	1863	1863	6.6%
JUN	28545	26162	27243	-1082	2383	2383	8.3%
JUL	24200	26706	27091	-385	-2506	2506	10.4%
AGO	26620	24611	25729	-1118	2009	2009	7.5%
SEP	25025	24864	25395	-530	161	161	0.6%
OCT	24750	24444	24927	-483	306	306	1.2%

MAD	2140
MAPE	7.66%

Como se puede apreciar, los indicadores de errores (MAD, MAPE) dieron resultados medios:

- El resultado de MAD fue de 2140 y si se lo compara con los datos de la demanda, que son valores entre 24200-32890, se puede concluir que este modelo ha dado un pronóstico medianamente preciso.
- El resultado de MAPE fue de 7.66%. Este valor es medio-bajo e indica que el modelo ha dado un pronóstico medianamente exacto.

4.2.1.4 Comparación de resultados

Con el fin de realizar una elección del mejor modelo de pronóstico para la demanda de productos químicos para tratamiento de crudo, se graficaron los 3 modelos frente a la demanda y se realizó una matriz de ponderación.

La Figura 13 muestra la demanda real por mes y las 3 curvas de cada modelo de pronóstico:

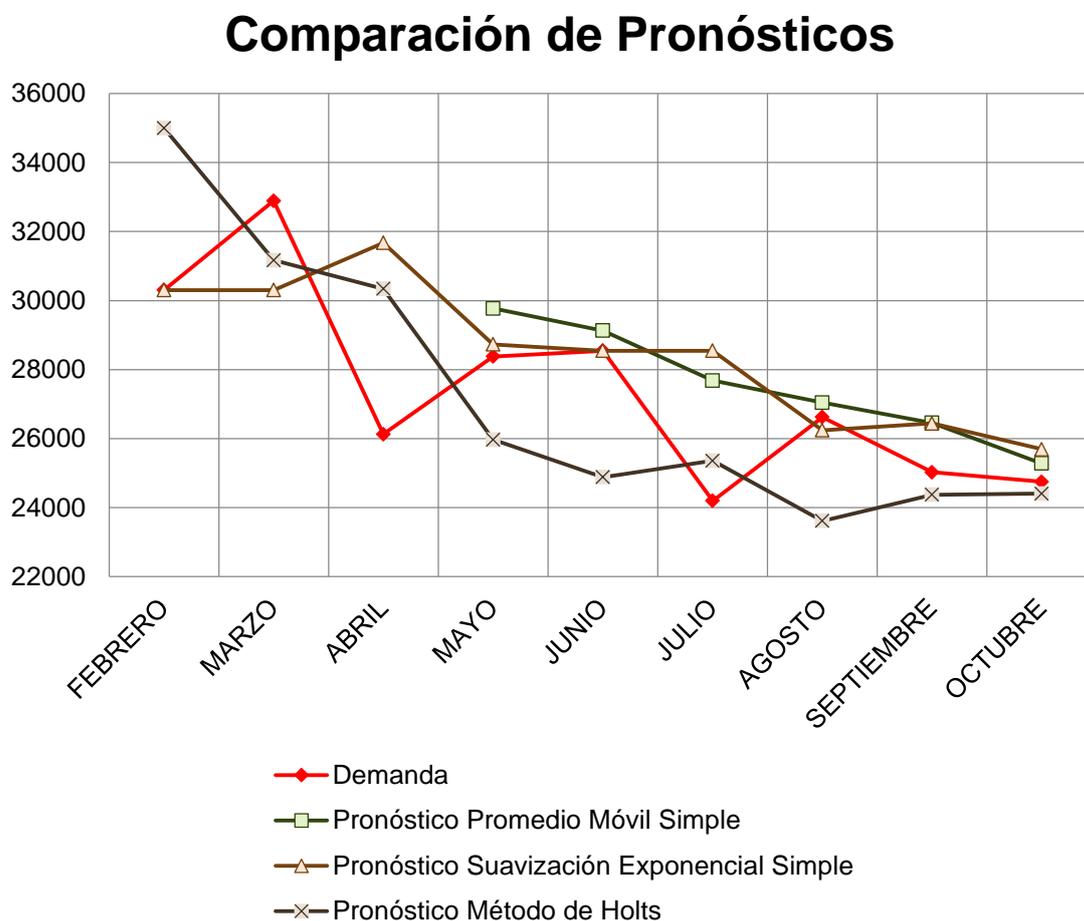


Figura 13. Comparación de pronósticos (Tratamiento de crudo)

Después de revisar los resultados de los indicadores de error (MAD y MAPE) de cada modelo, se generó una matriz de ponderación, tomando en cuenta los siguientes factores y respectivas ponderaciones:

- **Precisión (40%):** El indicador MAD da una apreciación sobre la precisión del modelo de pronóstico.
- **Exactitud (40%):** El indicador MAPE indica que tan exacto es el modelo de pronóstico.
- **Relación Modelo-Demanda (20%):** Este factor indica que tan apto es, en teoría, cierto modelo de pronóstico para el tipo de demanda que se está analizando.

Luego, se procedió con la matriz de ponderación, donde se asignó un valor entre 1 y 5 a cada modelo (siendo 1 lo más bajo y 5 lo más alto). Los resultados se aprecian en la Tabla 40:

Tabla 40.

Matriz de ponderación de pronósticos (Tratamiento de agua)

Factor	Precisión	Exactitud	Relación Modelo- Demanda	Total
Ponderación	40%	40%	20%	100%
Promedio Móvil Simple	4	4	3	3.8
Suavización Exponencial Simple	3	3	3	3.0
Método de Holt	3	2	4	2.8

El mejor resultado lo obtuvo el modelo de Promedio Móvil Simple y, por lo tanto, se procedió a elegir este modelo como el más apto para pronosticar los productos químicos para Tratamiento de Crudo.

4.2.2 Pronóstico de productos químicos para tratamiento de agua

4.2.2.1 Promedio Móvil Simple

Para la realización del pronóstico mediante Promedio Móvil Simple, se tomó en cuenta un período de 3 meses para la toma de datos y cálculo del pronóstico del mes siguiente. Esta decisión resultó la más lógica, ya que 3 meses es justamente el período de compra del cliente.

Con los datos de la demanda mensual de productos químicos para tratamiento de agua, desde febrero a octubre, se procedió a calcular el pronóstico mensual. El pronóstico de mayo se calculó como el promedio de los meses febrero, marzo y abril. El pronóstico de junio se calculó como el promedio de los meses marzo, abril y mayo, y así sucesivamente.

Luego, se calculó el error, que resulta la diferencia entre la demanda real y el pronóstico calculado. Después se procedió con el cálculo de los indicadores de error (MAD, MAPE) por mes. Finalmente, se calculó el MAD y MAPE totales, que no son más que el promedio de los valores respectivos obtenidos mensualmente.

Los resultados de este modelo de pronóstico se pueden apreciar en la Tabla 41:

Tabla 41.
Promedio Móvil Simple (Tratamiento de Agua)

Mes	Demanda	Pronóstico Calculado	Error	MAD	MAPE
FEBRERO	38060				
MARZO	35355				
ABRIL	41515				
MAYO	43075	38310	4765	4765	11.1%
JUNIO	46260	39982	6278	6278	13.6%
JULIO	42300	43617	-1317	1317	3.1%
AGOSTO	45970	43878	2092	2092	4.6%
SEPTIEMBRE	41185	44843	-3658	3658	8.9%
OCTUBRE	44900	43152	1748	1748	3.9%

MAD	3310
MAPE	7.51%

Como se puede apreciar, los indicadores de errores (MAD, MAPE) dieron resultados medios:

- El resultado de MAD fue de 3310 y si se lo compara con los datos de la demanda, que son valores entre 35355-43075, se puede concluir que este modelo ha dado un pronóstico medianamente preciso.
- El resultado de MAPE fue de 7.51%. Este valor es medio-bajo e indica que el modelo ha dado un pronóstico medianamente exacto.

4.2.2.2 Suavización Exponencial Simple

Para la realización del pronóstico mediante Suavización Exponencial Simple, se tomó en cuenta alfa del 31%. Esta decisión resultó la más conveniente, ya que, mediante prueba y error, este valor fue el que arrojó mejores resultados (ver *Anexo 11*). Además un alfa de 31% indica que se da mayor relevancia al pronóstico que a la demanda del período anterior, y esto resulta lógica por el incremento drástico que hubo en mayo y la posterior estabilización de la demanda.

Con los datos de la demanda mensual de productos químicos para tratamiento de agua, desde febrero a octubre, se procedió a calcular el pronóstico mensual. Para efecto de cálculo, el pronóstico de febrero es igual a la demanda de febrero. A partir de marzo el pronóstico se calcula con la demanda y el pronóstico del período inmediatamente anterior.

Luego, se calculó el error, que resulta la diferencia entre la demanda real y el pronóstico calculado. Después se procedió con el cálculo de los indicadores de error (MAD, MAPE) por mes. Finalmente, se calculó el MAD y MAPE totales, que no son más que el promedio de los valores respectivos obtenidos mensualmente.

Los resultados de este modelo de pronóstico se pueden apreciar en la Tabla 42:

Tabla 42.

Suavización Exponencial Simple (Tratamiento de agua)

Mes	Demanda	Pronóstico	Error	MAD	MAPE
FEBRERO	38060	38060			
MARZO	35355	38060	-2705	2705	7.7%
ABRIL	41515	37113	4402	4402	10.6%
MAYO	43075	38654	4421	4421	10.3%
JUNIO	46260	40201	6059	6059	13.1%
JULIO	42300	42322	-22	22	0.1%
AGOSTO	45970	42314	3656	3656	8.0%
SEPTIEMBRE	41185	43594	-2409	2409	5.8%
OCTUBRE	44900	42751	2149	2149	4.8%

MAD	3228
MAPE	7.53%

Como se puede apreciar, los indicadores de errores (MAD, MAPE) dieron resultados medios:

- El resultado de MAD fue de 3228 y si se lo compara con los datos de la demanda, que son valores entre 35355-43075, se puede concluir que este modelo ha dado un pronóstico medianamente preciso.
- El resultado de MAPE fue de 7.53%. Este valor es medio-bajo e indica que el modelo ha dado un pronóstico medianamente exacto.

4.2.2.3 Método de Holt

Para la realización del pronóstico mediante Método de Holt, se tomó en cuenta alfa del 62% y un beta de 37%. Esta decisión resultó la más conveniente, ya que, mediante prueba y error, estos valores fueron los que arrojaron mejores resultados (ver *Anexo 12*). Un alfa de 62% indica que se da mayor importancia

a la demanda que al pronóstico del período anterior y un beta de 37% indica que no se toma mucho cuenta la tendencia de los datos, sino más el pronóstico anterior. Por el tipo de demanda, lineal creciente, estos valores resultan apropiados.

Con los datos de la demanda mensual de productos químicos para tratamiento de crudo, desde febrero a octubre, se procedió a calcular el pronóstico mensual. Para efecto de cálculo, el pronóstico de febrero es de 38000 y tiene una tendencia a crecer de 3000. A partir de marzo el pronóstico se calcula con la demanda, el pronóstico y la tendencia del período inmediatamente anterior.

Luego, se calculó el error, que resulta la diferencia entre la demanda real y el pronóstico calculado. Después se procedió con el cálculo de los indicadores de error (MAD y MAPE) por mes. Finalmente, se calculó el MAD y MAPE totales, que no son más que el promedio de los valores respectivos obtenidos mensualmente.

Los resultados de este modelo de pronóstico se pueden apreciar en la Tabla 43:

Tabla 43.
Método de Holt (Tratamiento de agua)

Mes	Demanda	Pronóstico	p prima	t	Error	MAD	MAPE
FEB	38060	38000	35000	3000			
MAR	35355	41037	38026	3011	-5682	5682	16.1%
ABR	41515	40498	38537	1961	1017	1017	2.4%
MAY	43075	43094	40946	2149	-19	19	0.0%
JUN	46260	45231	43086	2145	1029	1029	2.2%
JUL	42300	48019	45684	2335	-5719	5719	13.5%
AGO	45970	46781	45503	1278	-811	811	1.8%
SEPT	41185	47553	46424	1129	-6368	6368	15.5%
OCT	44900	44703	44751	-48	197	197	0.4%

MAD	2605
MAPE	6.50%

Como se puede apreciar, los indicadores de errores (MAD, MAPE) dieron resultados altos:

- El resultado de MAD fue de 2605 y si se lo compara con los datos de la demanda, que son valores entre 35355-43075, se puede concluir que este modelo ha dado un pronóstico preciso.
- El resultado de MAPE fue de 6.50%. Este valor es medio e indica que el modelo ha dado un pronóstico casi exacto.

4.2.2.4 Comparación de resultados

Con el fin de realizar una elección del mejor modelo de pronóstico para la demanda de productos químicos para tratamiento de agua, se graficaron los 3 modelos frente a la demanda y se realizó una matriz de ponderación.

La Figura 14 muestra la demanda real por mes y las 3 curvas de cada modelo de pronóstico:

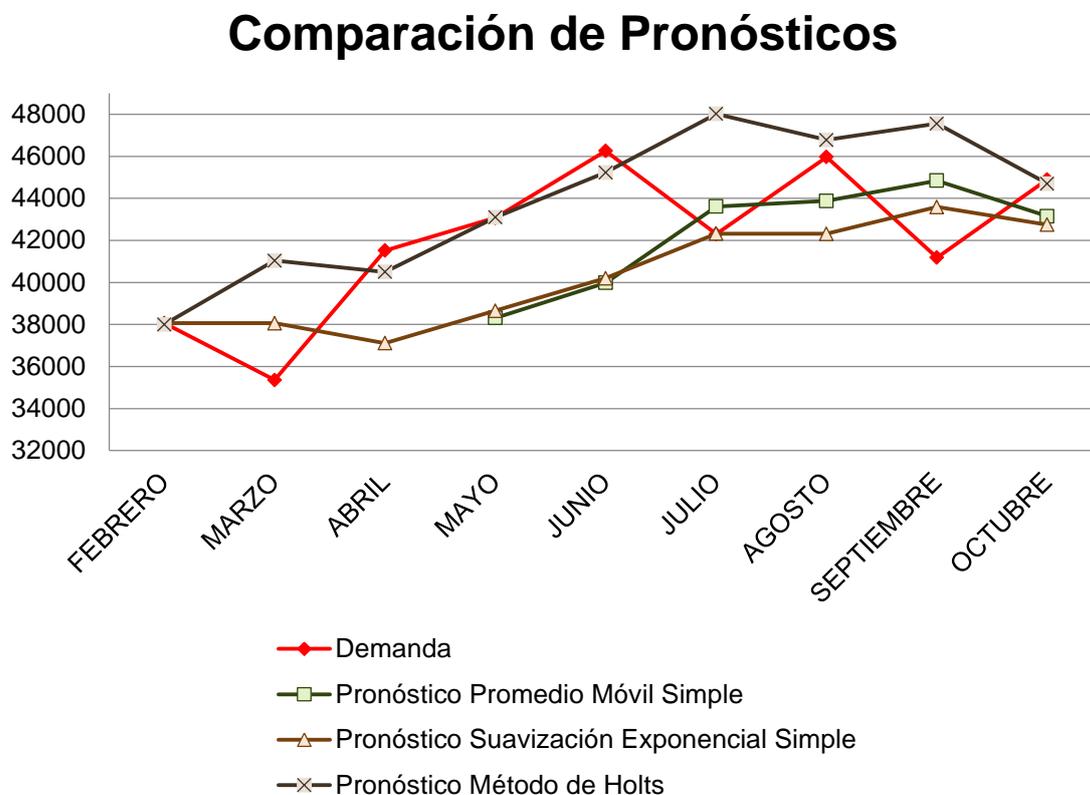


Figura 14. Comparación de pronósticos (Tratamiento de agua)

Después de revisar los resultados de los indicadores de error (MAD y MAPE) de cada modelo, se generó una matriz de ponderación, tomando en cuenta los siguientes factores y respectivas ponderaciones:

- **Precisión (40%):** El indicador MAD da una apreciación sobre la precisión del modelo de pronóstico.
- **Exactitud (40%):** El indicador MAPE indica que tan exacto es el modelo de pronóstico.

- **Relación Modelo-Demanda (20%):** Este factor indica que tan apto es en teoría cierto modelo de pronóstico para el tipo de demanda que se está analizando.

Luego, se procedió con la matriz de ponderación, donde se asignó un valor entre 1 y 5 a cada modelo (siendo 1 lo más bajo y 5 lo más alto). Los resultados se aprecian en la Tabla 44:

Tabla 44.

Matriz de ponderación de pronósticos (Tratamiento de agua)

Factor	Precisión	Exactitud	Relación Modelo- Demanda	Total
Ponderación	40%	40%	20%	100%
Pronóstico Promedio Móvil Simple	3	3	3	3.0
Pronóstico Suavización Exponencial Simple	3	3	3	3.0
Pronóstico Método de Holt	4	4	4	4.0

El mejor resultado lo obtuvo el modelo de Método de Holt y, por lo tanto, se procedió a elegir este modelo como el más apto para pronosticar los productos químicos para Tratamiento de Agua.

5. SIMULACIÓN DE LA PROPUESTA

El problema identificado en la Situación Actual de OFC fue el de multas generadas por entregas tardías a clientes. Luego, se definió que estas entregas atrasadas se generaban por no tener stock suficiente en bodega y esto, a su vez, se generaba por retrasos en la producción, causados por demoras en la llegada de materias primas. Finalmente, se analizó y definió que los retrasos en la llegada de materias primas fueron causados por un pronóstico mal realizado.

En ese orden de ideas, se procedió a simular los resultados de entregas de productos químicos utilizando los modelos de pronósticos óptimos, elegidos para cada tratamiento.

La simulación consistió en comparar el pronóstico calculado en cada modelo frente a la demanda real. Luego, se calculó el error, que no era más que la diferencia entre la demanda real frente al pronóstico. Si el error daba un resultado negativo, entonces el pronóstico era mayor a la demanda y no habría problemas de falta de stock y, por lo tanto, no habría entregas atrasadas a clientes por este motivo. Por otro lado, si el error daba un resultado positivo, entonces el pronóstico era menor a la demanda y habría falta de stock. En ese caso, habría entregas atrasadas por ese motivo. De ser así, se procedió a calcular un valor aproximado de multas generadas.

Finalmente, se compararon los valores simulados frente a las multas reales generadas en el año. Puesto que los modelos de pronóstico seleccionados para cada tipo de productos químicos (para tratamiento de agua y para tratamiento de crudo, respectivamente) son distintos, se procedió a realizar una simulación independiente y luego una consolidación de resultados.

5.1 Simulación de productos químicos de tratamiento de crudo

El modelo de pronóstico más adecuado para la demanda de productos químicos para tratamiento de crudo fue el de Pronóstico Móvil Simple. En la simulación de este modelo de pronóstico solo se obtuvieron errores negativos, es decir, que en todos los meses el pronóstico fue mayor a la demanda. Por lo tanto, no se tiene falta de stock ni entregas atrasadas a clientes por este motivo. Los resultados se pueden apreciar en la Tabla 45:

Tabla 45.

Simulación para productos químicos de tratamiento de crudo

Mes	Demanda	Pronóstico Calculado	Error	Stock faltante
FEBRERO	30305			
MARZO	32890			
ABRIL	26125			
MAYO	28380	29773	-1393	0
JUNIO	28545	29132	-587	0
JULIO	24200	27683	-3483	0
AGOSTO	26620	27042	-422	0
SEPTIEMBRE	25025	26455	-1430	0
OCTUBRE	24750	25282	-532	0

5.2 Simulación de productos químicos de tratamiento de agua

El modelo de pronóstico más adecuado para la demanda de productos químicos para tratamiento de agua fue el de Método de Holt. En la simulación de este modelo de pronóstico se obtuvieron errores negativos y positivos. Hay que enfocarse únicamente en los errores positivos, ya que estos indican que el

pronóstico es menor a la demanda y que habría falta de stock y entregas tardías a clientes. Los resultados se pueden apreciar en la Tabla 46:

Tabla 46.

Simulación para productos químicos de tratamiento de agua

Mes	Demanda	Pronóstico	Error	Stock faltante
FEBRERO	38060	38000		
MARZO	35355	41037	-5682	0
ABRIL	41515	40498	1017	1017
MAYO	43075	43094	-19	0
JUNIO	46260	45231	1029	1029
JULIO	42300	48019	-5719	0
AGOSTO	45970	46781	-811	0
SEPTIEMBRE	41185	47553	-6368	0
OCTUBRE	44900	44703	197	197

Una vez identificados los meses y los valores del stock faltante se procedió a simular las multas generadas, asumiendo que el volumen de stock faltante se entrega con 32 días de retraso (para más información ver *Anexo 13*).

Puesto que el análisis de pronóstico se realizó sobre la familia de productos químicos (productos químicos para tratamiento de agua), existen varios precios por cada producto químico. Por lo tanto, se procedió a utilizar el precio máximo para calcular un la multa máxima que se generaría. En la Tabla 47 se pueden ver los resultados:

Tabla 47.
Simulación de multas generadas

Mes	Stock faltante	Días de Retraso	Multas generadas
ABRIL	1017	32	\$ 1,013.36
JUNIO	1029	32	\$ 1,025.30
OCTUBRE	197	32	\$ 196.53

En resumen, vemos que se generan multas en abril, junio y octubre, que en total suman \$ 2'235.19.

5.3 Análisis monetario

El análisis monetario final resulta de comparar las multas, que se han generado en la realidad, contra las multas simuladas con los modelos de pronóstico propuestos.

En la definición del problema, se identificó un valor de \$48,877.26 de multas generadas por entregas tardías para un período de 3 meses (desde febrero hasta abril de 2017). Si dividimos este valor para 3, se determina el valor de multas por mes, que es de \$16,292.42. Partiendo de este valor mensual, determinamos cuánto corresponde a entregas atrasadas generadas por falta de inventario. Ya que el análisis de causas raíz fue realizado con un Diagrama de Pareto (también conocido como diagrama 80/20), se determina que el 80% de las multas tienen relación con la propuesta de mejora planteada, mientras que el 20% restante es generado por otras causas. Multiplicando este 80% por \$16,292.42 se obtiene el valor de \$13,033.94, lo cual correspondería a las multas reales generadas por falta de stock.

Luego, se comparó este valor mensualmente contra las multas simuladas con los modelos de pronóstico, y se calculó el porcentaje y valor de ahorro mensual para la empresa. Los resultados se pueden visualizar en la Tabla 48:

Tabla 48.
Análisis Monetario

Mes	Situación actual		Propuesta de mejora		Ahorro	
	Multa real asociada a todas las causas	Multa real por falta de stock	Multa simulada por falta de stock	Multa simulada asociada a todas las causas	Ahorro	Porcentaje de ahorro
FEB.	\$ 16,292.42	\$ 13,033.94	\$ -	\$ 3,258.48	\$ 13,033.94	80%
MAR.	\$ 16,292.42	\$ 13,033.94	\$ -	\$ 3,258.48	\$ 13,033.94	80%
ABR.	\$ 16,292.42	\$ 13,033.94	\$ 1,013.36	\$ 4,271.84	\$ 12,020.58	74%
MAY.	\$ 16,292.42	\$ 13,033.94	\$ -	\$ 3,258.48	\$ 13,033.94	80%
JUN.	\$ 16,292.42	\$ 13,033.94	\$ 1,025.30	\$ 4,283.78	\$ 12,008.64	74%
JUL.	\$ 16,292.42	\$ 13,033.94	\$ -	\$ 3,258.48	\$ 13,033.94	80%
AGO.	\$ 16,292.42	\$ 13,033.94	\$ -	\$ 3,258.48	\$ 13,033.94	80%
SEP.	\$ 16,292.42	\$ 13,033.94	\$ -	\$ 3,258.48	\$ 13,033.94	80%
OCT.	\$ 16,292.42	\$ 13,033.94	\$ 196.53	\$ 3,455.01	\$ 12,837.41	79%
AHORRO TOTAL					\$ 115,070.23	

Se puede apreciar que con la propuesta de mejora, la cual consiste en la utilización de modelos de pronóstico de la demanda (Método de Promedio Móvil Simple, para productos químicos de tratamiento de crudo y Método de Holt, para productos químicos de tratamiento de agua), se generaría un ahorro de \$115,070.23 en un período de 9 meses. El ahorro económico mensual oscilaría entre el 74% y el 80%, lo cual resulta muy conveniente para OFC y para la empresa “QUIMICOS S.A.”

5.4 Situación actual versus propuesta de mejora

En la Figura 15 se puede apreciar la evolución de las multas mensuales bajo el esquema de la situación actual en comparación con la propuesta de mejora:

Multas: Situación actual versus Propuesta de mejora

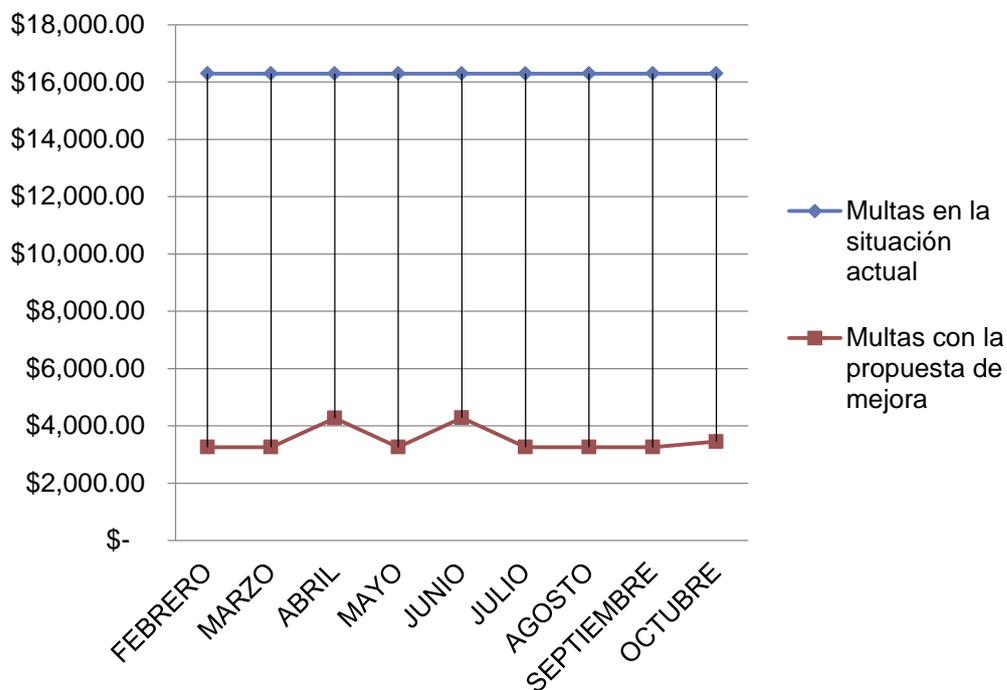


Figura 15. Multas - Situación actual versus Propuesta de mejora

Es bastante significativo el ahorro económico mensual y la empresa puede beneficiarse de esos recursos monetarios adicionales en cada mes.

5.5 Resultados de indicadores logísticos

Se realizó una simulación de los indicadores logísticos Forecast Accuracy y BIAS para cada grupo de productos químicos, puesto que cada uno se realizó con un modelo de pronóstico distinto. Los resultados se pueden apreciar en la Figura 16 y Figura 17, respectivamente:

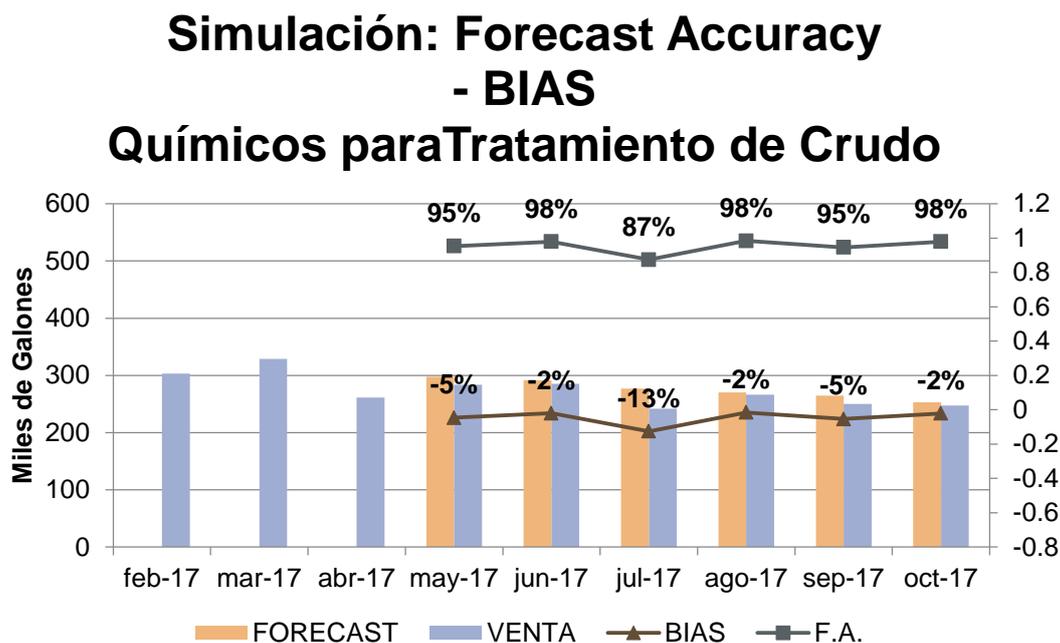


Figura 16. Forecast Accuracy y BIAS (Tratamiento de Crudo)

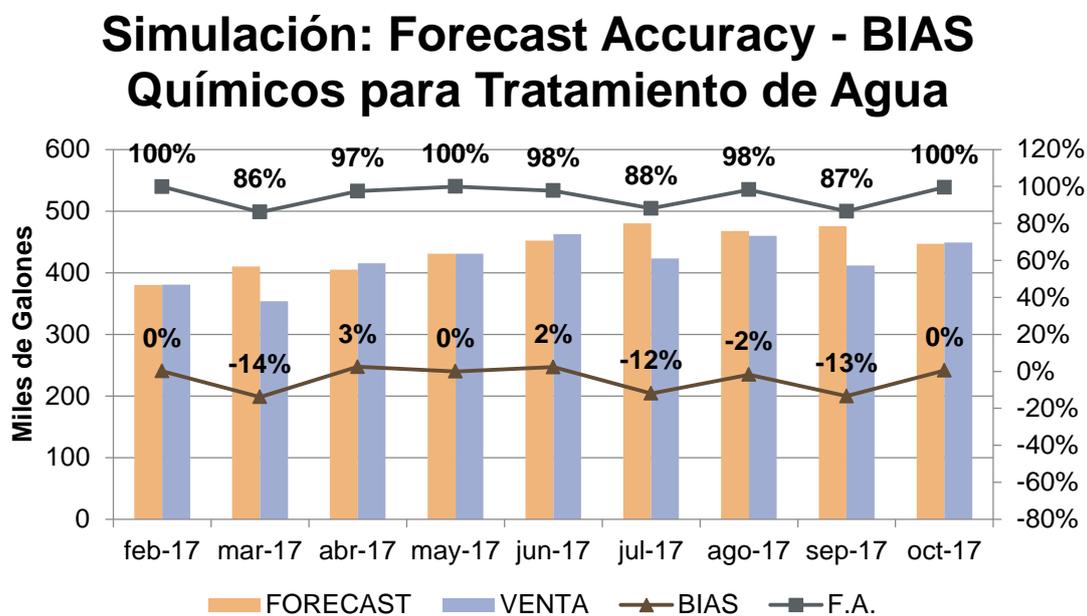


Figura 17. Forecast Accuracy y BIAS (Tratamiento de agua)

En base a los resultados simulados, se plantean las siguientes conclusiones:

- El pronóstico mediante Promedio móvil Simple, utilizado para la demanda de productos químicos para tratamiento de Crudo, resultó muy exacto dando valores de *Forecast Accuracy* entre 87% y 98%. Además, este método resultó muy preciso, puesto que los valores de *BIAS* oscilan entre -13% y -2%.
- El pronóstico mediante Método de Holt, utilizado para la demanda de productos químicos para tratamiento de Agua, resultó, de igual manera, muy exacto dando valores de *Forecast Accuracy* entre 86% y 100%. Este modelo de pronóstico resultó también muy preciso, puesto que los valores de *BIAS* oscilan entre -14% y -2%.
- En términos de exactitud (indicador *Forecast Accuracy*), ambos modelos cumplen los estándares de la empresa, superando el mínimo de 80%. En términos de precisión, ambos modelos lograron notables mejoras frente a la situación actual, a pesar de no alcanzar el estándar de la empresa (entre 5% y -5%).

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

La subdivisión OFC, de la empresa “QUÍMICOS S.A.” tuvo en el período febrero – abril de 2017, 128 entregas atrasadas, con días de retraso que varían entre 1 y 59. Estas 128 entregas retrasadas generaron multas por un valor total de \$48,877.26. La información sobre entregas retrasadas y multas generadas fue levantada en base a los 8 bloques petroleros, y sus respectivos tratamientos químicos, pertenecientes al cliente principal de OFC, que representa el 80% de sus ingresos.

El análisis de causa raíz del problema definido – las multas generadas por entregas tardías - partió con una lluvia de ideas sobre posibles causas. Después, se agruparon las posibles causas en grupos comunes. Luego, se asignó una causa a cada una de las 128 entregas retrasadas. Después, se realizó un Diagrama de Pareto y se definieron 3 posibles causas como las que generaban el 80% de los retrasos. Posterior a esto, se siguió la metodología de los 5 porqués para hallar la causa raíz y se encontraron, en definitiva 3 causas raíz: 1) El proveedor tuvo problemas con su producción y/o distribución, 2) Las políticas de la compañía establecen que se deben aprovechar recursos, y 3) El Forecast de Ventas no se realizó de forma correcta. Finalmente, se analizó cada una de estas y se determinó que la causa raíz real del problema definido era que el pronóstico de ventas no se realizaba mensualmente de forma correcta.

Para el análisis de la demanda, se realizó una clasificación y separación de productos químicos en base al tratamiento para el que son utilizados: por un lado, químicos para el tratamiento de crudo y, por el otro, químicos para el tratamiento de agua. Se hizo el levantamiento del histórico de demanda desde

febrero de 2017 hasta octubre de 2017, para cada uno de los 2 grupos. En base al tipo de demanda, se seleccionaron 3 modelos de pronóstico adecuados: modelo de promedio móvil simple, modelo de suavización exponencial simple y modelo del método de Holt. Luego, se calcularon los pronósticos con cada modelo y, también, se calcularon 2 indicadores de errores para cada modelo (MAD y MAPE), que miden la precisión y exactitud, respectivamente, de cada modelo. Finalmente, a través de una matriz de ponderación, que tomaba en cuenta 3 factores (precisión, exactitud y relación modelo-demanda) se seleccionó el modelo óptimo de pronósticos para cada uno de los 2 grupos de productos químicos. Para los químicos de tratamiento de crudo se determinó eligió el modelo de promedio móvil simple y para los químicos de tratamiento de agua se eligió el modelo del método de Holt.

Se hizo la simulación del modelo de pronóstico desde febrero de 2017 hasta octubre de 2017 y se calcularon las multas, que se generarían por entregas tardías. Se compararon las multas mensuales reales, versus las multas mensuales simuladas con el modelo de pronóstico y se determinó que existía un ahorro económico para la empresa de \$115,070.23, en un período de 9 meses. Esto representa un ahorro de entre el 74% y el 80% mensualmente, lo cual es un valor muy significativo para la empresa.

6.2 Recomendaciones

Llevar control mensual sobre las entregas a clientes y planificar las actividades relacionadas al abastecimiento, producción y distribución de los productos químicos, de tal manera que se puedan prevenir entregas retrasadas y actuar antes de que sucedan.

Realizar un análisis sobre las demás causas que ocasionan retrasos en las entregas. A pesar de que estas solo generan el 20% de entregas atrasadas, siguen generando un valor mensual de multas, por lo que se recomienda realizar un estudio de estas causas y así poder reducir multas mensuales a cero.

Implementar los dos modelos de pronóstico seleccionados inmediatamente. En primer lugar, se recomienda utilizar estos modelos por agrupación de productos químicos (químicos para tratamiento de agua y químicos para tratamiento de crudo) y, después, resultaría conveniente aplicar el modelo respectivo por cada tipo de producto químico, para así, tener un pronóstico más preciso y exacto aún.

Monitorear mensualmente las multas generadas por entregas tardías y desarrollar un plan de acción constante para seguir optimizando las entregas a los clientes.

REFERENCIAS

- Carranza, O. (s.f.). *Logística: las mejores prácticas en América Latina*. Recuperado el 15 de enero de 2018, de http://www.logistics.com.ar/fiuba/trabajos/2009/forecasting/MONOGRA_V26.pdf
- Celik, O. (2013). *Optimization of safety stock level in a manufacturing company*. Cantabria: UNIVERSITY OF CANTABRIA.
- Hiller, F. S., Hillier, M. S., & Lieberman, G. J. (2002). *Métodos cuantitativos para administración: un enfoque de modelos y casos de estudio, con hoja de cálculo*. Mexico: McGraw-Hill.
- Perez, R. A., Mosquera, S. A., & Bravo, J. J. (2012). *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*. Cauca: Universidad de Cauca
- Pyndick, R. S., & Rubinfeld, D. L. (2001). *Econometría: modelos y pronósticos* (pág.66). México: McGraw-Hill.
- Ries, E. (2012). *El Método Lean Startup*. Bilbao:DESUTO.
- Salazar, B. (2016). *PROMEDIO MÓVIL*. Recuperado el 15 de enero de 2018 de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/pron%C3%B3stico-de-ventas/promedio-m%C3%B3vil/>
- Salazar, B. (2016). *SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL SIMPLE*. Recuperado el 15 de enero de 2018 de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/pron%C3%B3stico-de-ventas/suavizaci%C3%B3n-exponencial-simple/>
- Sales, M. (2013). *Diagrama de Pareto*. Madrid: EALDE Business School.
- Winston, W. L., & Goldberg, J. B. (2005). *Investigación de operaciones: aplicaciones y algoritmos*. Boston: CENGAGE Learning.

ANEXOS

Anexo 1: Información de entregas y multas: Campo Payamino – Tratamiento de Agua

CAMPO	Producto Químico	Cantidad Entregada	Fecha real de entrega	Fecha pactada de entrega	Días de retraso	MULTA
PAYAMINO	Anticorrosivo	660	17/02/2017	28/02/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Anticorrosivo	880	24/02/2017	28/02/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Anticorrosivo	660	28/03/2017	28/02/2017	28	\$ 263.47
PAYAMINO	Anticorrosivo	275	28/03/2017	31/03/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Anticorrosivo	440	01/04/2017	31/03/2017	1	\$ 6.27
PAYAMINO	Anticorrosivo	660	12/04/2017	31/03/2017	12	\$ 112.92
PAYAMINO	Anticorrosivo	165	10/05/2017	31/03/2017	40	\$ 94.10
PAYAMINO	Anticorrosivo	935	10/05/2017	30/04/2017	10	\$ 133.30
PAYAMINO	Anticorrosivo	440	11/05/2017	30/04/2017	11	\$ 69.00
PAYAMINO	Anticorrosivo	85	01/06/2017	30/04/2017	32	\$ 38.78
PAYAMINO	Antiescala	1540	24/02/2017	28/02/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Antiescala	220	24/02/2017	31/03/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Antiescala	440	28/03/2017	31/03/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Antiescala	660	08/04/2017	31/03/2017	8	\$ 90.36
PAYAMINO	Antiescala	1100	08/04/2017	30/04/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Biocida Glutaraldehido	220	29/01/2017	28/02/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Biocida Glutaraldehido	1320	29/01/2017	28/02/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Biocida Glutaraldehido	55	29/01/2017	31/03/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Biocida Glutaraldehido	660	28/03/2017	31/03/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Biocida Glutaraldehido	385	05/04/2017	31/03/2017	5	\$ 37.95
PAYAMINO	Biocida Glutaraldehido	55	05/04/2017	30/04/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Biocida Glutaraldehido	55	05/04/2017	30/04/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Biocida Glutaraldehido	660	13/04/2017	30/04/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Biocida Glutaraldehido	110	13/04/2017	30/04/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Biocida Glutaraldehido	220	29/04/2017	30/04/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Biocida THPS	165	19/01/2017	28/02/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Biocida THPS	660	29/01/2017	28/02/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Biocida THPS	660	10/02/2017	28/02/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Biocida THPS	55	17/02/2017	28/02/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Biocida THPS	385	17/02/2017	31/03/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Biocida THPS	715	17/02/2017	31/03/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Biocida THPS	220	17/02/2017	30/04/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Biocida THPS	275	05/04/2017	30/04/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Biocida THPS	440	13/04/2017	30/04/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Biocida THPS	165	29/04/2017	30/04/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Secuestrante Oxigeno	165	28/03/2017	28/02/2017	28	\$ 79.20
PAYAMINO	Surfactante	1320	19/01/2017	28/02/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Surfactante	440	11/03/2017	28/02/2017	11	\$ 82.97
PAYAMINO	Surfactante	660	11/03/2017	31/03/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Surfactante	330	28/03/2017	31/03/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Surfactante	330	29/04/2017	31/03/2017	29	\$ 164.06
PAYAMINO	Surfactante	1210	29/04/2017	30/04/2017	0	\$ -
PAYAMINO	Surfactante	110	29/04/2017	30/04/2017	0	\$ -

Volumen entregado con retraso	5365
Volumen Total	21205
Porcentaje del volumen entregado tarde	25.30%
Promedio días de retraso	18
numero de entregas tardías	12

Anexo 2: Información de entregas y multas: Campo Libertador – Tratamiento de Agua

CAMPO	Producto Químico	Cantidad Entregada	Fecha real de entrega	Fecha pactada de entrega	Días de retraso	MULTA
LIBERTADOR	Anticorrosivo	1320	26/01/2017	01/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Anticorrosivo	550	16/02/2017	01/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Anticorrosivo	660	17/02/2017	01/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Anticorrosivo	220	22/02/2017	01/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Anticorrosivo	165	15/03/2017	01/03/2017	14	\$ 33.00
LIBERTADOR	Anticorrosivo	495	15/03/2017	16/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Anticorrosivo	1100	01/04/2017	16/03/2017	16	\$ 251.43
LIBERTADOR	Anticorrosivo	605	05/04/2017	16/03/2017	20	\$ 172.86
LIBERTADOR	Anticorrosivo	1485	05/04/2017	30/03/2017	6	\$ 127.29
LIBERTADOR	Anticorrosivo	605	13/04/2017	30/03/2017	14	\$ 121.00
LIBERTADOR	Anticorrosivo	110	29/04/2017	30/03/2017	30	\$ 47.14
LIBERTADOR	Antiescala	1100	26/01/2017	01/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Antiescala	660	17/02/2017	01/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Antiescala	1100	24/02/2017	01/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Antiescala	275	16/03/2017	01/03/2017	15	\$ 70.71
LIBERTADOR	Antiescala	825	16/03/2017	16/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Antiescala	440	05/04/2017	16/03/2017	20	\$ 150.86
LIBERTADOR	Antiescala	660	06/04/2017	16/03/2017	21	\$ 237.60
LIBERTADOR	Antiescala	440	07/04/2017	16/03/2017	22	\$ 165.94
LIBERTADOR	Antiescala	165	22/04/2017	30/03/2017	23	\$ 65.06
LIBERTADOR	Antiescala	2200	26/04/2017	30/03/2017	27	\$ 1,018.29
LIBERTADOR	Biocida Glutaralde	440	29/01/2017	01/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Biocida Glutaralde	880	29/01/2017	01/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Biocida Glutaralde	220	04/02/2017	01/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Biocida Glutaralde	440	04/02/2017	01/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Biocida Glutaralde	660	24/02/2017	01/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Biocida Glutaralde	220	03/03/2017	01/03/2017	2	\$ 7.86
LIBERTADOR	Biocida Glutaralde	935	10/03/2017	01/03/2017	9	\$ 150.27
LIBERTADOR	Biocida Glutaralde	165	10/03/2017	16/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Biocida Glutaralde	880	16/03/2017	16/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Biocida Glutaralde	1100	24/03/2017	16/03/2017	8	\$ 157.14
LIBERTADOR	Biocida Glutaralde	715	01/04/2017	16/03/2017	16	\$ 204.29
LIBERTADOR	Biocida Glutaralde	165	01/04/2017	30/03/2017	2	\$ 5.89
LIBERTADOR	Biocida Glutaralde	1540	08/04/2017	30/03/2017	9	\$ 247.50
LIBERTADOR	Biocida Glutaralde	1155	21/04/2017	30/03/2017	22	\$ 453.75
LIBERTADOR	Biocida THPS	880	17/01/2017	01/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Biocida THPS	110	25/01/2017	01/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Biocida THPS	110	16/02/2017	01/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Biocida THPS	220	16/02/2017	01/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Biocida THPS	1320	10/03/2017	16/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Biocida THPS	440	15/03/2017	16/03/2017	0	\$ -

LIBERTADOR	Biocida THPS	385	15/03/2017	16/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Biocida THPS	440	16/03/2017	16/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Biocida THPS	220	16/03/2017	16/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Biocida THPS	385	20/03/2017	16/03/2017	4	\$ 26.40
LIBERTADOR	Biocida THPS	1540	29/03/2017	16/03/2017	13	\$ 343.20
LIBERTADOR	Biocida THPS	110	30/03/2017	16/03/2017	14	\$ 26.40
LIBERTADOR	Biocida THPS	1100	31/03/2017	30/03/2017	1	\$ 18.86
LIBERTADOR	Biocida THPS	660	06/04/2017	30/03/2017	7	\$ 79.20
LIBERTADOR	Biocida THPS	1265	20/04/2017	30/03/2017	21	\$ 455.40
LIBERTADOR	Biocida THPS	880	24/04/2017	30/03/2017	25	\$ 377.14
LIBERTADOR	Biocida THPS	1760	04/05/2017	30/03/2017	35	\$ 1,056.00
LIBERTADOR	Biocida THPS	660	05/05/2017	30/03/2017	36	\$ 407.31
LIBERTADOR	Biocida THPS	165	06/05/2017	30/03/2017	37	\$ 104.66
LIBERTADOR	Biocida THPS	935	08/05/2017	30/03/2017	39	\$ 625.11
LIBERTADOR	Biocida THPS	880	09/05/2017	30/03/2017	40	\$ 603.43
LIBERTADOR	Biocida THPS	330	11/05/2017	30/03/2017	42	\$ 237.60
LIBERTADOR	Biocida THPS	1320	14/05/2017	30/03/2017	45	\$ 1,018.29
LIBERTADOR	Coagulante	440	24/02/2017	01/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Coagulante	330	15/03/2017	01/03/2017	14	\$ 102.30
LIBERTADOR	Coagulante	110	15/03/2017	16/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Coagulante	440	01/04/2017	16/03/2017	16	\$ 155.89
LIBERTADOR	Coagulante	770	29/04/2017	16/03/2017	44	\$ 750.20
LIBERTADOR	Coagulante	330	29/04/2017	30/03/2017	30	\$ 219.21
LIBERTADOR	Coagulante	660	09/05/2017	30/03/2017	40	\$ 584.57
LIBERTADOR	Floculante	660	31/03/2017	01/03/2017	30	\$ 410.14
LIBERTADOR	Floculante	440	06/04/2017	01/03/2017	36	\$ 328.11
LIBERTADOR	Floculante	880	25/04/2017	30/03/2017	26	\$ 473.94
LIBERTADOR	Surfactante	1540	17/01/2017	01/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Surfactante	440	26/01/2017	01/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Surfactante	660	04/02/2017	01/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Surfactante	2420	22/02/2017	16/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Surfactante	1100	09/03/2017	16/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Surfactante	330	16/03/2017	30/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Surfactante	660	19/03/2017	30/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Surfactante	1100	24/03/2017	30/03/2017	0	\$ -
LIBERTADOR	Surfactante	220	05/04/2017	30/03/2017	6	\$ 17.91
LIBERTADOR	Surfactante	330	29/04/2017	30/03/2017	30	\$ 134.36

Volumen entregado con retraso	31130
Volumen Total	54670
Porcentaje del volumen entregado tarde	56.94%
Promedio días de retraso	22
Número de entregas tardías	43

Anexo 3: Información de entregas y multas: Campo Libertador – Tratamiento de Crudo

CLIENTE	CAMPO	Producto Químico	Cantidad Entregada	Fecha real de entrega	Fecha pactada de entrega	Días de retraso	MULTA
PAM	LIBERTADOR	Antiespumante	660	16/02/2017	01/03/2017	0	\$ -
PAM	LIBERTADOR	Antiespumante	110	18/02/2017	01/03/2017	0	\$ -
PAM	LIBERTADOR	Antiespumante	385	16/03/2017	10/03/2017	6	\$ 26.40
PAM	LIBERTADOR	Antiespumante	440	08/04/2017	10/03/2017	29	\$ 145.83
PAM	LIBERTADOR	Antiespumante	110	25/04/2017	10/03/2017	46	\$ 57.83
PAM	LIBERTADOR	Antiespumante	220	26/04/2017	10/03/2017	47	\$ 118.17
PAM	LIBERTADOR	Antiespumante	825	26/04/2017	16/03/2017	41	\$ 386.57
PAM	LIBERTADOR	Antiparafinas	385	18/02/2017	01/03/2017	0	\$ -
PAM	LIBERTADOR	Antiparafinas	715	16/03/2017	01/03/2017	15	\$ 130.23
PAM	LIBERTADOR	Antiparafinas	275	30/03/2017	01/03/2017	29	\$ 96.84
PAM	LIBERTADOR	Antiparafinas	330	08/04/2017	01/03/2017	38	\$ 152.27
PAM	LIBERTADOR	Antiparafinas	55	29/04/2017	01/03/2017	59	\$ 39.40
PAM	LIBERTADOR	Antiparafinas	770	29/04/2017	16/03/2017	44	\$ 411.40
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	1320	14/01/2017	01/03/2017	0	\$ -
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	1100	17/01/2017	01/03/2017	0	\$ -
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	1100	31/01/2017	01/03/2017	0	\$ -
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	880	02/02/2017	01/03/2017	0	\$ -
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	1320	03/02/2017	01/03/2017	0	\$ -
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	220	16/02/2017	01/03/2017	0	\$ -
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	550	03/03/2017	01/03/2017	2	\$ 27.81
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	1100	04/03/2017	01/03/2017	3	\$ 83.44
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	110	05/03/2017	01/03/2017	4	\$ 11.13
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	110	05/03/2017	31/03/2017	0	\$ -
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	1100	10/03/2017	31/03/2017	0	\$ -
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	880	19/03/2017	31/03/2017	0	\$ -
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	550	25/03/2017	31/03/2017	0	\$ -
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	312	25/03/2017	31/03/2017	0	\$ -
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	1100	27/03/2017	31/03/2017	0	\$ -
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	440	30/03/2017	31/03/2017	0	\$ -
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	590	01/04/2017	31/03/2017	1	\$ 14.92
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	660	08/04/2017	31/03/2017	8	\$ 133.51
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	1210	13/04/2017	31/03/2017	13	\$ 397.74
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	1595	21/04/2017	31/03/2017	21	\$ 846.95
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	2035	22/04/2017	31/03/2017	22	\$ 1,132.04
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	104	26/04/2017	31/03/2017	26	\$ 68.37
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	1100	14/05/2017	31/03/2017	44	\$ 1,223.83
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	1414	20/05/2017	31/03/2017	50	\$ 1,787.70
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	786	20/05/2017	14/04/2017	36	\$ 715.48
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	220	30/05/2017	14/04/2017	46	\$ 255.89
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	2420	02/06/2017	14/04/2017	49	\$ 2,998.38
PAM	LIBERTADOR	Demulsificante	2074	10/06/2017	14/04/2017	57	\$ 2,989.23

Volumen entregado con retraso	20093
Volumen Total	31680
Porcentaje del volumen entregado tarde	63.42%
Promedio días de retraso	29
Número de entregas tardías	25

Anexo 4: Información de entregas y multas: Campo Sacha – Tratamiento de Agua

CAMPO	Producto Químico	Cantidad Entregada	Fecha real de entrega	Fecha pactada de entrega	Días de retraso	MULTA
SACHA AGUA	Anticorrosivo	825	19/01/2017	28/02/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Anticorrosivo	715	20/01/2017	28/02/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Anticorrosivo	385	17/02/2017	28/02/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Anticorrosivo	275	17/02/2017	15/03/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Anticorrosivo	660	17/02/2017	15/03/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Anticorrosivo	440	24/02/2017	15/03/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Anticorrosivo	715	25/02/2017	15/03/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Anticorrosivo	440	10/03/2017	15/04/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Anticorrosivo	220	01/04/2017	15/04/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Anticorrosivo	1540	04/04/2017	15/04/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Anticorrosivo	605	04/04/2017	15/04/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Antiescala	2640	15/01/2017	28/02/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Antiescala	550	20/01/2017	28/02/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Antiescala	495	10/02/2017	28/02/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Antiescala	990	10/02/2017	15/03/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Antiescala	550	17/02/2017	15/03/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Antiescala	165	18/02/2017	15/03/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Antiescala	1320	01/03/2017	15/03/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Antiescala	880	04/03/2017	15/03/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Antiescala	165	10/03/2017	15/03/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Antiescala	715	10/03/2017	15/04/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Antiescala	1100	14/03/2017	15/04/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Antiescala	440	01/04/2017	15/04/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Antiescala	660	01/04/2017	15/04/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Antiescala	2530	08/04/2017	15/04/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Biocida Glutaraldehido	935	28/01/2017	28/02/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Biocida Glutaraldehido	165	28/01/2017	15/03/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Biocida Glutaraldehido	880	01/04/2017	15/03/2017	17	\$ 274.62
SACHA AGUA	Biocida Glutaraldehido	220	01/04/2017	15/04/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Biocida Glutaraldehido	55	01/04/2017	15/04/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Biocida Glutaraldehido	935	19/04/2017	15/04/2017	4	\$ 68.66
SACHA AGUA	Biocida Glutaraldehido	220	25/04/2017	15/04/2017	10	\$ 40.39

SACHA AGUA	Biocida THPS	825	19/01/2017	28/02/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Biocida THPS	110	10/02/2017	28/02/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Biocida THPS	1045	10/02/2017	15/03/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Biocida THPS	440	10/02/2017	15/04/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Biocida THPS	55	17/02/2017	15/04/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Biocida THPS	55	10/03/2017	15/04/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Biocida THPS	165	01/04/2017	15/04/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Biocida THPS	330	04/04/2017	15/04/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Biocida THPS	385	19/04/2017	15/04/2017	4	\$ 30.36
SACHA AGUA	Coagulante	1100	24/01/2017	28/02/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Coagulante	110	18/02/2017	15/03/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Coagulante	1100	25/02/2017	15/03/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Coagulante	220	10/03/2017	15/04/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Coagulante	220	14/03/2017	15/04/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Coagulante	110	04/04/2017	15/04/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Coagulante	1100	25/04/2017	15/04/2017	10	\$ 231.79
SACHA AGUA	Floculante	100	20/01/2017	28/02/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Floculante	50	20/01/2017	15/03/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Floculante	50	10/02/2017	15/03/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Floculante	125	17/02/2017	15/04/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Surfactante	440	20/01/2017	28/02/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Surfactante	440	22/02/2017	15/03/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Surfactante	55	14/03/2017	15/03/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Surfactante	275	14/03/2017	15/04/2017	0	\$ -
SACHA AGUA	Surfactante	385	01/04/2017	15/04/2017	0	\$ -

Volumen entregado con retraso	3520
Volumen Total	32720
Porcentaje del volumen entregado tarde	10.76%
Promedio días de retraso	9
Número de entregas tardías	5

Anexo 5: Información de entregas y multas: Campo Sacha – Tratamiento de Crudo

Campo	Producto Químico	Cantidad Entregada	Fecha real de entrega	Fecha pactada de entrega	Días de retraso	MULTA
SACHA CRUDO	Antiespumante	220	22/02/2017	28/02/2017	0	\$ -
SACHA CRUDO	Antiespumante	220	25/02/2017	28/02/2017	0	\$ -
SACHA CRUDO	Antiespumante	110	14/03/2017	28/02/2017	14	\$ 15.44
SACHA CRUDO	Antiespumante	660	14/03/2017	15/03/2017	0	\$ -
SACHA CRUDO	Antiespumante	440	08/04/2017	15/04/2017	0	\$ -
SACHA CRUDO	Antiespumante	440	19/04/2017	15/04/2017	4	\$ 17.65
SACHA CRUDO	Antiparafinas	825	18/02/2017	28/02/2017	0	\$ -
SACHA CRUDO	Antiparafinas	1100	22/02/2017	28/02/2017	0	\$ -
SACHA CRUDO	Antiparafinas	220	22/02/2017	15/03/2017	0	\$ -
SACHA CRUDO	Antiparafinas	330	16/03/2017	15/03/2017	1	\$ 4.20
SACHA CRUDO	Antiparafinas	275	30/03/2017	15/03/2017	15	\$ 52.51
SACHA CRUDO	Antiparafinas	1100	08/04/2017	15/03/2017	24	\$ 336.03
SACHA CRUDO	Antiparafinas	220	12/04/2017	15/03/2017	28	\$ 78.41
SACHA CRUDO	Antiparafinas	440	12/04/2017	15/04/2017	0	\$ -
SACHA CRUDO	Antiparafinas	440	28/04/2017	15/04/2017	13	\$ 72.81
SACHA CRUDO	Antiparafinas	165	29/04/2017	15/04/2017	14	\$ 29.40
SACHA CRUDO	Antiparafinas	660	10/05/2017	15/04/2017	25	\$ 210.02
SACHA CRUDO	Clarificador	550	18/02/2017	28/02/2017	0	\$ -
SACHA CRUDO	Clarificador	110	16/03/2017	15/03/2017	1	\$ 2.97
SACHA CRUDO	Demulsificante	4400	14/01/2017	28/02/2017	0	\$ -
SACHA CRUDO	Demulsificante	825	15/01/2017	28/02/2017	0	\$ -
SACHA CRUDO	Demulsificante	2420	15/01/2017	28/02/2017	0	\$ -
SACHA CRUDO	Demulsificante	2090	17/01/2017	28/02/2017	0	\$ -
SACHA CRUDO	Demulsificante	550	19/01/2017	28/02/2017	0	\$ -
SACHA CRUDO	Demulsificante	220	19/01/2017	28/02/2017	0	\$ -
SACHA CRUDO	Demulsificante	935	04/02/2017	28/02/2017	0	\$ -
SACHA CRUDO	Demulsificante	165	17/02/2017	15/03/2017	0	\$ -
SACHA CRUDO	Demulsificante	330	17/02/2017	15/03/2017	0	\$ -
SACHA CRUDO	Demulsificante	1100	04/03/2017	15/03/2017	0	\$ -
SACHA CRUDO	Demulsificante	1980	05/03/2017	15/03/2017	0	\$ -
SACHA CRUDO	Demulsificante	1760	19/03/2017	15/03/2017	4	\$ 154.88
SACHA CRUDO	Demulsificante	1320	27/03/2017	15/03/2017	12	\$ 348.48
SACHA CRUDO	Demulsificante	1375	30/03/2017	15/03/2017	15	\$ 453.75
SACHA CRUDO	Demulsificante	1100	01/04/2017	15/03/2017	17	\$ 411.40
SACHA CRUDO	Demulsificante	1320	12/04/2017	15/03/2017	28	\$ 813.12
SACHA CRUDO	Demulsificante	1045	13/04/2017	15/03/2017	29	\$ 666.71
SACHA CRUDO	Demulsificante	1705	13/04/2017	15/04/2017	0	\$ -
SACHA CRUDO	Demulsificante	660	16/05/2017	15/04/2017	31	\$ 450.12
SACHA CRUDO	Demulsificante	4620	18/05/2017	15/04/2017	33	\$ 3,354.12
SACHA CRUDO	Demulsificante	1320	19/05/2017	15/04/2017	34	\$ 987.36
SACHA CRUDO	Demulsificante	2200	23/05/2017	15/04/2017	38	\$ 1,839.20
SACHA CRUDO	Demulsificante	2200	26/05/2017	15/04/2017	41	\$ 1,984.40
SACHA CRUDO	Demulsificante	2200	30/05/2017	15/04/2017	45	\$ 2,178.00
SACHA CRUDO	Demulsificante	2420	01/06/2017	15/04/2017	47	\$ 2,502.28
SACHA CRUDO	Demulsificante	715	07/06/2017	15/04/2017	53	\$ 833.69

Volumen entregado con retraso	28105
Volumen Total	49500
Porcentaje del volumen entregado tarde	56.78%
Promedio días de retraso	24
Número de entregas tardías	24

Anexo 6: Información de entregas y multas: Campo Yuralpa – Tratamiento de Agua

CAMPO	Producto Químico	Cantidad Entregada	Fecha real de entrega	Fecha pactada de entrega	Días de retraso	MULTA
YURALPA AGUA	Anticorrosivo	220	19/01/2017	01/03/2017	0	\$ -
YURALPA AGUA	Anticorrosivo	220	25/02/2017	01/03/2017	0	\$ -
YURALPA AGUA	Anticorrosivo	110	25/02/2017	01/03/2017	0	\$ -
YURALPA AGUA	Anticorrosivo	220	09/03/2017	20/03/2017	0	\$ -
YURALPA AGUA	Antiescala	220	19/01/2017	01/03/2017	0	\$ -
YURALPA AGUA	Antiescala	220	09/03/2017	01/03/2017	8	\$ 31.05
YURALPA AGUA	Antiescala	495	01/04/2017	01/03/2017	31	\$ 270.73
YURALPA AGUA	Antiescala	385	01/04/2017	20/03/2017	12	\$ 81.51
YURALPA AGUA	Biocida Glutaraldehido	165	09/03/2017	01/03/2017	8	\$ 30.17
YURALPA AGUA	Biocida Glutaraldehido	55	09/03/2017	20/03/2017	0	\$ -
YURALPA AGUA	Biocida THPS	165	09/03/2017	01/03/2017	8	\$ 30.17
YURALPA AGUA	Biocida THPS	55	09/03/2017	20/03/2017	0	\$ -
YURALPA AGUA	Clarificador	220	19/01/2017	01/03/2017	0	\$ -
YURALPA AGUA	Clarificador	110	19/01/2017	01/03/2017	0	\$ -
YURALPA AGUA	Clarificador	605	29/01/2017	01/03/2017	0	\$ -
YURALPA AGUA	Clarificador	440	18/02/2017	01/03/2017	0	\$ -
YURALPA AGUA	Clarificador	495	09/03/2017	01/03/2017	8	\$ 123.33
YURALPA AGUA	Clarificador	220	14/03/2017	01/03/2017	13	\$ 89.07
YURALPA AGUA	Clarificador	825	14/03/2017	20/03/2017	0	\$ -
YURALPA AGUA	Clarificador	110	10/05/2017	20/03/2017	51	\$ 174.71
YURALPA AGUA	Surfactante	165	18/02/2017	01/03/2017	0	\$ -
YURALPA AGUA	Surfactante	55	09/03/2017	20/03/2017	0	\$ -

Volumen entregado con retraso	2255
Volumen Total	5775
Porcentaje del volumen entregado tarde	39.05%
Promedio días de retraso	17
Número de entregas tardías	8

Anexo 7: Información de entregas y multas: Campo Yuralpa – Tratamiento de Crudo

CAMPO	Producto Químico	Cantidad Entregada	Fecha real de entrega	Fecha pactada de entrega	Días de retraso	MULTA
YURALPA CRUDO	Antiasfaltenos	440	04/02/2017	01-mar	0	\$ -
YURALPA CRUDO	Antiasfaltenos	220	30/03/2017	01-mar	29	\$ 103.90
YURALPA CRUDO	Antiasfaltenos	220	22/04/2017	01-mar	52	\$ 186.31
YURALPA CRUDO	Antiasfaltenos	330	22/04/2017	20-mar	33	\$ 177.35
YURALPA CRUDO	Antiespumante	935	15/01/2017	01-mar	0	\$ -
YURALPA CRUDO	Antiespumante	935	18/02/2017	01-mar	0	\$ -
YURALPA CRUDO	Antiespumante	55	18/02/2017	20-mar	0	\$ -
YURALPA CRUDO	Antiespumante	110	09/03/2017	20-mar	0	\$ -
YURALPA CRUDO	Antiespumante	550	22/04/2017	20-mar	33	\$ 184.87
YURALPA CRUDO	Antiparafinas	55	15/01/2017	01-mar	0	\$ -
YURALPA CRUDO	Antiparafinas	275	18/02/2017	01-mar	0	\$ -
YURALPA CRUDO	Antiparafinas	165	25/02/2017	01-mar	0	\$ -
YURALPA CRUDO	Antiparafinas	110	14/03/2017	01-mar	13	\$ 22.47
YURALPA CRUDO	Antiparafinas	55	30/03/2017	01-mar	29	\$ 25.06
YURALPA CRUDO	Antiparafinas	220	30/03/2017	20-mar	10	\$ 34.57
YURALPA CRUDO	Demulsificante	880	15/01/2017	01-mar	0	\$ -
YURALPA CRUDO	Demulsificante	220	19/01/2017	01-mar	0	\$ -
YURALPA CRUDO	Demulsificante	770	18/02/2017	01-mar	0	\$ -
YURALPA CRUDO	Demulsificante	165	25/02/2017	01-mar	0	\$ -
YURALPA CRUDO	Demulsificante	550	30/03/2017	01-mar	29	\$ 330.39
YURALPA CRUDO	Demulsificante	165	13/04/2017	01-mar	43	\$ 146.97
YURALPA CRUDO	Demulsificante	1155	13/04/2017	20-mar	24	\$ 574.20
YURALPA CRUDO	Demulsificante	220	22/04/2017	20-mar	33	\$ 150.39

Volumen entregado con retraso	3795
Volumen Total	8800
Porcentaje del volumen entregado tarde	43.13%
Promedio días de retraso	30
Número de entregas tardías	11

Anexo 8: Detalle de 128 entregas retrasadas y sus causas

No. Retraso	Días de retraso	Causa del retraso
1	28	Capacidad Insuficiente
2	1	Paros de las comunidades indígenas
3	12	Llegadas atrasadas de Materias Primas
4	40	Llegadas atrasadas de Materias Primas
5	10	Incumplimiento de cantidades a producir
6	11	Incumplimiento de cantidades a producir
7	32	Capacidad Insuficiente
8	8	Llegadas atrasadas de Materias Primas
9	5	Llegadas atrasadas de Materias Primas
10	28	Capacidad Insuficiente
11	11	Llegadas atrasadas de Materias Primas
12	29	Capacidad Insuficiente
13	14	Llegadas atrasadas de Materias Primas
14	16	Capacidad Insuficiente
15	20	Capacidad Insuficiente
16	6	Llegadas atrasadas de Materias Primas
17	14	Llegadas atrasadas de Materias Primas
18	30	Capacidad Insuficiente
19	15	Capacidad Insuficiente
20	20	Capacidad Insuficiente
21	21	Capacidad Insuficiente
22	22	Capacidad Insuficiente
23	23	Capacidad Insuficiente
24	27	Capacidad Insuficiente
25	2	Paros Imprevistos
26	9	Llegadas atrasadas de Materias Primas
27	8	Llegadas atrasadas de Materias Primas
28	16	Capacidad Insuficiente
29	2	Paros Imprevistos
30	9	Llegadas atrasadas de Materias Primas
31	22	Capacidad Insuficiente
32	4	No se puede entregar a campos distantes a la vez
33	13	Llegadas atrasadas de Materias Primas
34	14	Llegadas atrasadas de Materias Primas
35	1	Paros de las comunidades indígenas
36	7	Llegadas atrasadas de Materias Primas
37	21	Capacidad Insuficiente
38	25	Capacidad compartida
39	35	Capacidad Insuficiente
40	36	Llegadas atrasadas de Materias Primas
41	37	Llegadas atrasadas de Materias Primas
42	39	Llegadas atrasadas de Materias Primas
43	40	Llegadas atrasadas de Materias Primas
44	42	Llegadas atrasadas de Materias Primas
45	45	Llegadas atrasadas de Materias Primas
46	14	Llegadas atrasadas de Materias Primas
47	16	Capacidad Insuficiente
48	44	Llegadas atrasadas de Materias Primas
49	30	Capacidad Insuficiente
50	40	Llegadas atrasadas de Materias Primas
51	30	Capacidad Insuficiente
52	36	Llegadas atrasadas de Materias Primas
53	26	Capacidad compartida
54	6	Llegadas atrasadas de Materias Primas
55	30	Capacidad Insuficiente
56	6	Capacidad compartida
57	29	Capacidad Insuficiente
58	46	Llegadas atrasadas de Materias Primas
59	47	Llegadas atrasadas de Materias Primas
60	41	Llegadas atrasadas de Materias Primas
61	15	Capacidad Insuficiente
62	29	Capacidad Insuficiente
63	38	Llegadas atrasadas de Materias Primas
64	59	Llegadas atrasadas de Materias Primas
65	44	Llegadas atrasadas de Materias Primas
66	2	Paros Imprevistos
67	3	No se puede entregar a campos distantes a la vez
68	4	Capacidad compartida
69	1	Paros de las comunidades indígenas
70	8	Poca capacidad de carga por vehiculo
71	13	Llegadas atrasadas de Materias Primas
72	21	Capacidad compartida
73	22	Capacidad compartida
74	26	Capacidad compartida
75	44	Llegadas atrasadas de Materias Primas
76	50	Llegadas atrasadas de Materias Primas
77	36	Llegadas atrasadas de Materias Primas
78	46	Llegadas atrasadas de Materias Primas
79	49	Llegadas atrasadas de Materias Primas
80	57	Llegadas atrasadas de Materias Primas
81	17	Capacidad Insuficiente
82	4	Capacidad compartida
83	10	Llegadas atrasadas de Materias Primas
84	4	Falta de vehículos
85	10	Capacidad Insuficiente
86	14	Llegadas atrasadas de Materias Primas

87	4	Falta de vehículos
88	1	Paros Imprevistos
89	15	Capacidad Insuficiente
90	24	Capacidad compartida
91	28	Capacidad compartida
92	13	Llegadas atrasadas de Materias Primas
93	14	No se tiene stock disponible para despacho
94	25	Capacidad compartida
95	1	Paros Imprevistos
96	4	Falta de vehículos
97	12	Incumplimiento de fechas de producción
98	15	No se tiene stock disponible para despacho
99	17	No se tiene stock disponible para despacho
100	28	Capacidad compartida
101	29	Capacidad Insuficiente
102	31	Capacidad Insuficiente
103	33	Capacidad Insuficiente
104	34	Capacidad Insuficiente
105	38	Llegadas atrasadas de Materias Primas
106	41	Llegadas atrasadas de Materias Primas
107	45	Llegadas atrasadas de Materias Primas
108	47	Llegadas atrasadas de Materias Primas
109	53	Llegadas atrasadas de Materias Primas
110	8	Poca capacidad de carga por vehiculo
111	31	Capacidad Insuficiente
112	12	Incumplimiento de fechas de producción
113	8	Capacidad Insuficiente
114	8	Poca capacidad de carga por vehiculo
115	8	Poca capacidad de carga por vehiculo
116	13	Incumplimiento de fechas de producción
117	51	Llegadas atrasadas de Materias Primas
118	29	Capacidad Insuficiente
119	52	Llegadas atrasadas de Materias Primas
120	33	Capacidad Insuficiente
121	33	Capacidad Insuficiente
122	13	Incumplimiento de fechas de producción
123	29	Capacidad Insuficiente
124	10	Capacidad Insuficiente
125	29	Capacidad Insuficiente
126	43	Llegadas atrasadas de Materias Primas
127	24	Capacidad compartida
128	33	Capacidad Insuficiente

Anexo 9: Prueba y error para Suavización Exponencial (Químicos para tratamiento de crudo)

	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Alfa	53%	70%	40%
MAD	1946	2079	2130
MAPE	7.40%	7.87%	8.09%

Anexo 10: Prueba y error para Método de Holt (Químicos para tratamiento de crudo)

	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
Alfa	39%	39%	20%	20%
Beta	75%	50%	75%	50%
MAD	2147	2276	2544	2646
MAPE	7.85%	8.37%	9.57%	10.00%

Anexo 11: Prueba y error para Suavización Exponencial (Químicos para tratamiento de agua)

	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Alfa	35%	70%	23%
MAD	3228	3330	3526
MAPE	7.53%	7.84%	8.17%

Anexo 12: Prueba y error para Método de Holt (Químicos para tratamiento de agua)

	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
Alfa	44%	66%	44%	66%
Beta	42%	42%	75%	75%
MAD	2605	3074	2889	3545
MAPE	6.50%	7.57%	7.13%	8.64%

Anexo 13: Cálculo del promedio de días para simulación de químicos de tratamiento de agua

Campo	Días Promedio de retraso	Galones entregados con retraso	Porcentaje del Volumen total
Payamino	38	5365	13%
Libertador	32	31130	74%
Sacha	19	3520	8%
Yuralpa	21	2255	5%
Total		42270	100%
Promedio ponderado de días de retraso para productos de tratamiento de agua <i>(Días Promedio de retraso x Porcentaje del Volumen Total)</i>			32

