

Universidad del Valle de Guatemala

Facultad de Ingeniería



Análisis y propuesta de mejora para la reducción de costos del manejo de inventario de áreas de fabricación del Ingenio Pantaleon

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto presentado por:

Alejandro Cordón Godoy

Luis Rolando Estrada Méndez

José Manuel Letona Menéndez

José Rodrigo Muralles Pagliara

Andrea Alejandra Paz Valdez

para optar al grado académico de licenciados en Ingeniería Química y por

José Carlos Zibara Lara

para optar por el grado académico de licenciado en Ingeniería Industrial

Guatemala

2017

Análisis y propuesta de mejora para la reducción de costos del manejo de inventario de áreas de fabricación del Ingenio Pantaleon

Universidad del Valle de Guatemala

Facultad de Ingeniería



Análisis y propuesta de mejora para la reducción de costos del manejo de inventario de áreas de fabricación del Ingenio Pantaleon

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto presentado por:

Alejandro Cordón Godoy

Luis Rolando Estrada Méndez

José Manuel Letona Menéndez

José Rodrigo Muralles Pagliara

Andrea Alejandra Paz Valdez

para optar al grado académico de licenciados en Ingeniería Química y por


José Carlos Zibara Lara

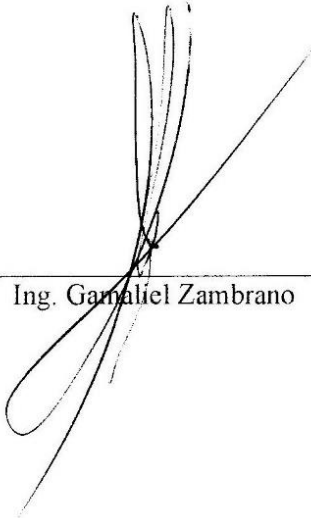
para optar por el grado académico de licenciado en Ingeniería Industrial

Guatemala

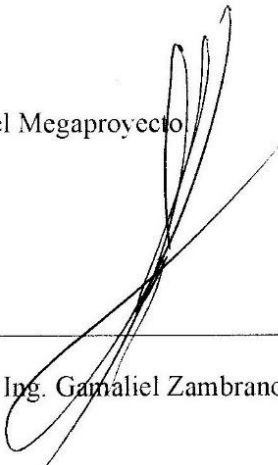
2017

Vo. Bo. :

(f) 
Ing. Frances Recari

(f) 
Ing. Gamaliel Zambrano

Directores de los estudiantes que trabajaron el Megaproyecto

(f) 
Ing. Gamaliel Zambrano

(f) 
Ing. Estuardo Sierra

Fecha de Aprobación: Guatemala, 31 de noviembre de 2017

PREFACIO

La Universidad del Valle de Guatemala brinda la oportunidad a cualquier persona a desarrollarse académicamente y contribuir al futuro del país. Es por esto, que se quiere con este trabajo de graduación aprovechar y aprender sobre la industria en que se trabajó.

Además de nuestro agradecimiento a la Universidad del Valle de Guatemala, queremos darle las gracias al Ingeniero Gamaliel Zambrano por habernos brindado la oportunidad de trabajar en este megaproyecto, a la Ing. Ingrid de León por las lecciones y herramientas otorgadas, y especialmente agradecer a la ingeniera Frances Recari, quién nos apoyó durante el trayecto de todo este estudio de graduación como coordinadora.

A Ingenio Pantaleon por permitirnos trabajar con la base de datos de sus instalaciones y especialmente al ingeniero Diego Ayau por todo el apoyo que nos brindó durante el desarrollo del trabajo.

ÍNDICE

PREFACIO	vi
LISTA DE CUADROS	xi
LISTA DE GRÁFICAS.....	xiii
LISTA DE ILUSTRACIONES	xviii
RESUMEN.....	xix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	2
A. General	2
B. Específico.....	2
III. JUSTIFICACIÓN	3
IV. MARCO TEÓRICO.....	4
A. INGENIO AZUCARERO	4
B. INGENIO PANTALEON	4
C. PROCESOS DE FABRICACIÓN DEL INGENIO PANTALEON	5
1. Extracción.....	5
2. Producción de vapor	5
3. Tratamiento de jugo.....	6
4. Recuperación de azúcar.....	8
D. ANÁLISIS DE PROCESOS Y COSTOS	9
1. Adquisiciones	9
2. Metodologías de compra.....	10
3. Planificación de una empresa ERP	10
4. Sistemas, aplicaciones y productos en procesamiento de datos (SAP)	11
5. Análisis de procesos.....	11
E. MANEJO DE INVENTARIO.....	12
F. METODOLOGÍA DE LAS 5'S	12
G. PRONÓSTICO.....	13
H. PRÓNOSTICOS DE DEMANDA.....	13
I. ERROR DE PRONÓSTICO	21

J.	MONITOREO Y CONTROL DE PRONÓSTICO	23
V.	ANTECEDENTES	24
VI.	METODOLOGÍA	27
VII.	RESULTADOS.....	31
A.	ANÁLISIS DE INSUMOS REQUERIDOS POR EL ÁREA DE EXTRACCIÓN DE JUGO.....	31
1.	Priorización utilizando Metodología 5s	31
2.	Comparación de los métodos de pronóstico de demanda	32
3.	Reducción en la compra de insumos.....	32
B.	ANÁLISIS DE INSUMOS REQUERIDOS POR EL ÁREA DE TRATAMIENTO DE JUGO.....	33
1.	Priorización utilizando metodología 5°S.....	33
2.	Comparación de modelos de pronóstico de demanda con análisis de error	34
C.	ANÁLISIS DE INSUMOS REQUERIDOS POR EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA	36
1.	Priorización utilizando metodología 5°S.....	36
2.	Comparación de modelos de pronóstico de demanda con análisis de error	37
3.	Análisis de porcentaje de costos	38
D.	ANÁLISIS DE INSUMOS REQUERIDOS POR EL ÁREA DE RECUPERACIÓN AZÚCAR...38	
1.	Priorización utilizando metodología 5°S.....	38
2.	Comparación de modelos de pronóstico de demanda con análisis de error	39
E.	ANÁLISIS DE INSUMOS REQUERIDOS POR EL ÁREA DE MANTENIMIENTO	41
F.	SISTEMA DE FLUJO DE INFORMACIÓN	45
1.	Procedimiento estándar para solicitud de insumos	45
2.	Propuesta de mejora en el procedimiento de solicitud de insumos	46
3.	Clasificación de los insumos.....	46
4.	Propuesta de aplicación de metodologías de compras	47
5.	Propuestas de mejora en los procesos de recepción y despacho de insumos	47
6.	Indicadores de desempeño de las propuestas en los procesos analizados	48
7.	Propuesta de un sistema colaborativo de flujo de información	49
VIII.	DISCUSIÓN	50
A.	ANÁLISIS DE INSUMOS REQUERIDOS POR EL ÁREA DE EXTRACCIÓN DE JUGO.....	50
1.	Conclusiones parciales.....	54
2.	Recomendaciones parciales	55

B.	ANÁLISIS DE INSUMOS REQUERIDOS POR EL ÁREA DE TRATAMIENTO DE JUGO.....	55
1.	Conclusiones parciales.....	61
2.	Recomendaciones parciales	62
C.	ANÁLISIS DE INSUMOS REQUERIDOS POR EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA	62
1.	Conclusiones parciales.....	68
2.	Recomendaciones parciales	69
D.	ANÁLISIS DE INSUMOS REQUERIDOS POR EL ÁREA DE RECUPERACIÓN AZÚCAR...	70
1.	Conclusiones parciales.....	72
2.	Recomendaciones Parciales	73
E.	ANÁLISIS DE INSUMOS REQUERIDOS POR EL ÁREA DE MANTENIMIENTO	73
1.	Conclusiones parciales.....	77
2.	Recomendaciones parciales	78
F.	SISTEMA COLABORATIVO DE FLUJO DE INFORMACIÓN	79
1.	Conclusiones parciales.....	83
2.	Recomendaciones parciales	84
IX.	CONCLUSIONES	85
X.	RECOMENDACIONES	86
XI.	BIBLIOGRAFÍA.....	87
XII.	ANEXOS	90
A.	Datos originales.....	90
a.	Extracción y producción de vapor	90
b.	Tratamiento de jugo	93
c.	Recuperación de sacarosa	98
d.	Producción de energía.....	103
e.	Mantenimiento	106
B.	Cálculos de muestra	108
1.	Modelo de distribución de frecuencias	108
2.	Modelo de media móvil	112
3.	Modelo de ajuste de curvas cuadrático	114
4.	Modelo de series cronológicas.....	114
5.	Modelo de correlación y regresión lineal.....	116

C.	Análisis de modelo de pronóstico de demanda	118
a.	Extracción de jugo y producción de vapor.....	118
b.	Tratamiento de jugo	144
c.	Recuperación de sacarosa	157
d.	Producción de energía.....	191
e.	Mantenimiento.....	199
D.	Análisis de error	208
E.	Sistema colaborativo de flujo de información.....	210
F.	Glosario.....	225
G.	Cronograma.....	226

LISTA DE CUADROS

Cuadro No.1 Matriz de priorización de insumos por lead time.	25
Cuadro No.2 Matriz de priorización de insumos por impacto en el proceso de producción.	26
Cuadro No.3 Priorización en el área de Extracción de jugo y Producción de vapor en existencias	31
Cuadro No.4 Distribución de materiales según impacto bajo, medio y alto.	31
Cuadro No.5 Análisis de error para insumos priorizados en área de extr. de jugo y producción de vapor. .	32
Cuadro No.6 Porcentaje de reducción de compra de los insumos priorizados.	32
Cuadro No.7 Demanda real total y demanda pronosticada total con el modelo de series cronológicas.	32
Cuadro No. 8 Matriz de priorización de SKU's según lead time en el proceso del área de trat. de jugo.	33
Cuadro No.9 Clasificación de los SKU's analizados del área de trat. de jugo	33
Cuadro No. 10 Pronósticos de demanda y MAD de los insumos priorizados con el modelo de med. mov.	34
Cuadro No. 11 Porcentaje de reducción de compra de los insumos priorizados.	35
Cuadro No. 12 Demanda real total y pronosticada total con el modelo de desc. de series cronológicas.	35
Cuadro No.13 Priorización por impacto en proceso y <i>lead time</i> de artículos en prod. energía	36
Cuadro No. 14 Distribución de materiales según impacto bajo, medio y alto en prod. energía	36
Cuadro No. 15 Análisis de error para modelos de pronósticos para insumos priorizados.....	37
Cuadro No. 16 Porcentajes de reducción y cumplimiento de demanda para insumos priorizados.....	38
Cuadro No.17 Priorización por impacto en proceso y <i>lead time</i> en el área de recuperación de azúcar.....	38
Cuadro No. 18 Distribución de materiales según su criticidad bajo, medio y alto.	39
Cuadro No. 19 Análisis de error para modelos de pronósticos en insumos químicos en prod. sacarosa.....	39
Cuadro No. 20 Análisis de error para modelos de pronóstico para materiales de empaque.....	40
Cuadro No. 21 Resultado de priorización por lead time e impacto en el área de mantenimiento.	41
Cuadro No. 22 Priorización por impacto en proceso y lead time de artículos en el área de mantenimiento	42
Cuadro No. 23 Distribución de materiales según impacto bajo, medio y alto.	42
Cuadro No. 24 Análisis de error para modelos de pronósticos en área de mantenimiento.....	43
Cuadro No. 25 Resultados para la reducción en la demanda con el modelo de suavizamiento exponencial.	44
Cuadro No. 26 Porcentajes de reducción y cumplimiento de demanda para insumos priorizados.....	44
Cuadro No. 27 Resumen de las propuestas de mejora en el procedimiento de solicitud de insumos	46
Cuadro No. 28 Clasificación de insumos por impacto en el proceso	46
Cuadro No. 29 Propuesta de metodologías de compra para cada tipo de insumo	47
Cuadro No. 30 Propuestas de mejora en los procesos de recepción y despacho de insumos	47
Cuadro No. 31 Medición del impacto teórico de la propuesta de mejora en los procesos de despacho.....	47
Cuadro No. 32 Propuesta de indicadores de desempeño de los procesos.....	48
Cuadro No. 33 Cuartiles de los Lead times de los insumos analizados.....	109
Cuadro No. 34 Clasificación de insumos en impacto alto, medio y bajo.	109
Cuadro No. 35 Ordenamiento de datos de solicitudes de mayor a menor frecuencia.	110
Cuadro No. 36 Resultados pronóstico distribución de frecuencia para insumos A, B, C, D, E y F	191
Cuadro No. 37 Resultados pronóstico ajuste de curvas para insumos A, B, C, D, E y F, siguiendo la	198
Cuadro No. 38 Resultados pronóstico correlación y regresión por año	199
Cuadro No. 39 Resultados pronóstico correlación y regresión por mes.....	199
Cuadro No. 40 Pronósticos determinados para el área de mantenimiento utilizando dist. frecuencias	199
Cuadro No. 41 Resultados de coeficiente de correlación y regresión por año	205

Cuadro No. 42 Resultados de coeficiente de correlación y regresión por mes obtenido para los artículos priorizados en el modelo de correlación y regresión, utilizando datos de molienda.	205
Cuadro No. 43 Resultados de coeficiente de correl. y regresión obtenido para mantenimiento por mes....	205
Cuadro No. 44 Resultados de coeficiente de correlación y regresión obtenido para mantenimiento.	205
Cuadro No. 45 Cantidad de solicitudes realizadas por área de fabricación	210
Cuadro No. 46 Porcentaje de las solicitudes analizadas con los datos requeridos	211
Cuadro No.47 Información requerida para el sistema colaborativo de flujo de información	212

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfico No. 1. Demanda del ítem A y la cantidad de caña molida bimensualmente.....	90
Gráfico No. 2. Demanda del ítem B y la cantidad de caña molida bimensualmente.....	91
Gráfico No. 3. Demanda del ítem C y la cantidad de caña molida bimensualmente.....	91
Gráfico No. 4. Demanda del ítem D y la cantidad de caña molida bimensualmente.....	92
Gráfico No. 5. Demanda del ítem E y la cantidad de caña molida bimensualmente.....	92
Gráfico No. 6 Demanda general del material A.....	93
Gráfico No. 7 Demanda del material A en época de zafra.....	93
Gráfico No. 8 Demanda general del material B.....	94
Gráfico No. 9 Demanda del material en época de zafra.....	94
Gráfico No. 10 Demanda general del material C.....	95
Gráfico No. 11 Demanda de material C en época de zafra.....	95
Gráfico No. 12 Demanda general de material D.....	96
Gráfico No. 13 Demanda de material D en época de zafra.....	96
Gráfico No. 14 Demanda general del material E.....	97
Gráfico No. 15 Demanda del material E en época de zafra.....	97
Gráfico No.16 Demanda real para insumo priorizado A para mayo 2014 a diciembre 2016.....	98
Gráfico No.17 Demanda real para insumo priorizado B para mayo 2014 a diciembre 2016.....	98
Gráfico No.18 Demanda real para insumo priorizado C para mayo 2014 a diciembre 2016.....	99
Gráfico No.19 Demanda real para insumo priorizado E para mayo 2014 a diciembre 2016.....	99
Gráfico No.20 Demanda real para insumo priorizado D para mayo 2014 a diciembre 2016.....	100
Gráfico No.21 Demanda real para insumo priorizado F para mayo 2014 a diciembre 2016.....	100
Gráfico No.22 Demanda real para insumo priorizado G para mayo 2014 a diciembre 2016.....	101
Gráfico No.23 Demanda real para insumo priorizado H para mayo 2014 a diciembre 2016.....	101
Gráfico No.24 Demanda real para insumo priorizado I para mayo 2014 a diciembre 2016.....	102
Gráfico No.25 Demanda real para insumo priorizado J para mayo 2014 a diciembre 2016.....	102
Gráfico No. 26 Demanda real para insumo priorizado A para mayo 2014 a diciembre 2016.....	103
Gráfico No. 27 Demanda real para insumo priorizado B para mayo 2014 a diciembre 2016.....	103
Gráfico No. 28 Demanda real para insumo priorizado C para mayo 2014 a diciembre 2016.....	104
Gráfico No. 29 Demanda real para insumo priorizado D para mayo 2014 a diciembre 2016.....	104
Gráfico No. 30 Demanda real para insumo priorizado E para mayo 2014 a diciembre 2016.....	105
Gráfico No. 31 Demanda real para insumo priorizado F para mayo 2014 a diciembre 2016.....	105
Gráfico No. 32 Demanda real para insumo priorizado A para mayo 2014 a diciembre 2016.....	106
Gráfico No. 33 Demanda real para insumo priorizado B para mayo 2014 a diciembre 2016.....	106
Gráfico No. 34 Demanda real para insumo priorizado C para mayo 2014 a diciembre 2016.....	107
Gráfico No. 35 Demanda real para insumo priorizado D para mayo 2014 a diciembre 2016.....	107
Gráfico No. 36 Demanda real para insumo priorizado E para mayo 2014 a diciembre 2016.....	108
Gráfico No. 37 Distribución de las frecuencias del insumo prioritario 1, en época de zafra.....	118
Gráfico No. 38 Resultado de pronóstico para el insumo prioritario 1, en época de zafra.....	118
Gráfico No. 39 Resultado de pronóstico para el insumo prioritario 1, en época de mantenimiento.....	119
Gráfico No. 40. Distribución de las frecuencias del insumo A.....	119
Gráfico No. 41. Resultado del pronóstico para el insumo A, en época de zafra.....	120

Gráfico No. 42 Resultado de pronóstico para el insumo A, en época de mantenimiento.....	120
Gráfico No. 43 Distribución de las frecuencias del insumo B en época de zafra.....	121
Gráfico No. 44. Pronóstico insumo B en época de zafra.....	121
Gráfico No. 45 Pronóstico insumo B en época de mantenimiento.....	122
Gráfico No.46 Distribución de las frecuencias del insumo C.....	122
Gráfico No. 47 Pronóstico insumo C en época de zafra.....	123
Gráfico No. 48 Pronóstico insumo C en época de mantenimiento.....	123
Gráfico No. 49 Distribución de las frecuencias del insumo D.....	124
Gráfico No. 50 Pronóstico insumo D en época de zafra.....	124
Gráfico No. 51 Pronóstico insumo D en época de mantenimiento.....	125
Gráfico No. 52 Distribución de las frecuencias del insumo E.....	125
Gráfico No. 53 Pronóstico insumo E en época de zafra.....	126
Gráfico No. 54 Pronóstico insumo E en época de mantenimiento.....	126
Gráfico No. 55 Pronóstico insumo prioritario 1 utilizando modelo de media móvil.....	127
Gráfico No. 56 Pronóstico insumo A utilizando modelo de media móvil.....	127
Gráfico No. 57 Pronóstico insumo B utilizando modelo de media móvil.....	128
Gráfico No. 58 Pronóstico insumo C utilizando modelo de media móvil.....	128
Gráfico No. 59 Pronóstico insumo D utilizando modelo de media móvil.....	129
Gráfico No. 60 Pronóstico insumo E utilizando modelo de media móvil.....	129
Gráfico No. 61. Pronóstico para el insumo prioritario 1 utilizando el modelo ajuste de curvas, en zafra..	130
Gráfico No. 62. Pronóstico para el insumo A utilizando el modelo ajuste de curvas, en época de zafra...	130
Gráfico No. 63 Pronóstico para el insumo A utilizando el modelo ajuste de curvas, en mantenimiento ...	131
Gráfico No. 64 Pronóstico para el insumo B utilizando el modelo ajuste de curvas, en época de zafra	131
Gráfico No. 65 Pronóstico para el insumo B utilizando el modelo ajuste de curvas, en mantenimiento ...	132
Gráfico No.66 Pronóstico para el insumo C utilizando el modelo ajuste de curvas, en época de zafra	132
Gráfico No. 67 Pronóstico para el insumo C utilizando el modelo ajuste de curvas, en mantenimiento ...	133
Gráfico No. 68 Pronóstico para el insumo D utilizando el modelo ajuste de curvas, en época de zafra	133
Gráfico No. 69 Pronóstico para el insumo D utilizando el modelo ajuste de curvas, en mantenimiento	134
Gráfico No. 70 Pronóstico para el insumo E utilizando el modelo ajuste de curvas, en época de zafra	134
Gráfico No. 71 Pronóstico para el insumo E utilizando el modelo ajuste de curvas, en mantenimiento....	135
Gráfico No. 72 Pronóstico para el insumo prioritario 1 utilizando el modelo de series de tiempo cronológicas.....	135
Gráfico No. 63 Pronóstico para el insumo A utilizando el modelo de series de tiempo cronológicas.	136
Gráfico No. 74 Pronóstico para el insumo B utilizando el modelo de series de tiempo cronológicas.	136
Gráfico No. 75 Pronóstico para el insumo C utilizando el modelo de series de tiempo cronológicas.	137
Gráfico No. 76 Pronóstico para el insumo D utilizando el modelo de series de tiempo cronológicas.	137
Gráfico No. 77 Pronóstico para el insumo E utilizando el modelo de series de tiempo cronológicas.....	138
Gráfico No. 78 Pronóstico para el insumo prioritario 1 utilizando el modelo de correlación y regresión. .	138
Gráfico No. 79 Pronóstico para el insumo prioritario A utilizando el modelo de correl. Y regresión	139
Gráfico No. 80 Pronóstico para el insumo A utilizando el modelo de correlación y regresión.....	139
Gráfico No. 81 Pronóstico para el insumo B utilizando el modelo de correlación y regresión, en zafra. ...	140
Gráfico No. 82 Pronóstico para el insumo B utilizando el modelo de correlación y regresión.....	140
Gráfico No. 83 Pronóstico para el insumo C utilizando el modelo de correlación y regresión, en zafra. ...	141

Gráfico No. 84 Pronóstico para el insumo C utilizando el modelo de correlación y regresión.....	141
Gráfico No. 85 Pronóstico para el insumo D utilizando el modelo de correlación y regresión.....	142
Gráfico No. 86 Pronóstico para el insumo D utilizando el modelo de correlación y regresión,.....	142
Gráfico No. 87 Pronóstico para el insumo E utilizando el modelo de correlación y regresión, en zafra. ...	143
Gráfico No. 88 Pronóstico para el insumo E utilizando el modelo de correlación y regresión.	143
Gráfico No. 89 Modelo de distribución de frecuencias del material A.	144
Gráfico No. 90 Modelo de distribución de frecuencias del material B.	144
Gráfico No. 91 Modelo de distribución de frecuencias del material C.	145
Gráfico No. 92 Modelo de distribución de frecuencias del material D.	145
Gráfico No. 93 Modelo de distribución de frecuencias aplicado al material E.	146
Gráfico No.94 Modelo de media móvil con una frecuencia de 3 m. de la época de zafra del material A...	146
Gráfico No.95 Modelo de media móvil con una frecuencia de 3 m. de la época de zafra del material B. ...	147
Gráfico No.96 Modelo de media móvil con una frecuencia de 3 m. de la época de zafra del material C. ...	147
Gráfico No.97 Modelo de media móvil con una frecuencia de 3 m. de la época de zafra del material D...	148
Gráfico No.98 Modelo de media móvil con una frecuencia de 3 m. de la época de zafra del material	148
Gráfico No. 99 Modelo de ajuste de curvas lineal del material A.	149
Gráfico No. 100 Modelo de ajuste de curvas lineal del material B.	149
Gráfico No. 101 Modelo de ajuste de curvas lineal del material C.	150
Gráfico No. 102 Modelo de ajuste de curvas lineal del material D.	150
Gráfico No. 103 Modelo de ajuste de curvas lineal del material E.	151
Gráfico No. 104 Modelo de descomposición de series cronológicas del material A.	151
Gráfico No. 105 Modelo de descomposición de series cronológicas del material B.....	152
Gráfico No.106 Modelo de descomposición de series cronológicas del material C.....	152
Gráfico No. 107 Modelo de descomposición de series cronológicas del material D.	153
Gráfico No. 108 Modelo de descomposición de series cronológicas del material E.	153
Gráfico No. 109 Modelo de correlación y regresión lineal del material A.....	154
Gráfico No. 110 Modelo de correlación y regresión lineal del material B.	154
Gráfico No. 111 Modelo de correlación y regresión lineal aplicado al material C	155
Gráfico No. 112 Modelo de correlación y regresión lineal del material D.....	155
Gráfico No. 113 Modelo de correlación y regresión lineal aplicado del E.....	156
Gráfica No. 114 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia trimestral para material A.....	157
Gráfica 115 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia bimensual para material A	157
Gráfica No. 116 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia trimestral para material B	158
Gráfica No. 117 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia bimensual para material B	158
Gráfica No.118 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia trimestral para material C	159
Gráfica No. 119 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia bimensual para material C	159
Gráfica No. 120 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia trimestral para material E	160
Gráfica No.121 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia bimensual para material E	160
Gráfica No.122 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia trimestral para material F	161
Gráfica No. 123 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia bimensual para material F	161
Gráfica No. 124 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia trimestral para material D.....	162
Gráfica No. 125 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia bimensual para material D.....	162
Gráfica No. 126 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia trimestral para material G.....	163

Gráfica No. 127 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia bimensual para material G.....	163
Gráfica No. 128 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia trimestral para material H.....	164
Gráfica No. 129 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia bimensual para material H.....	164
Gráfica No. 130 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia trimestral para material I	165
Gráfica No. 131 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia bimensual para material I	165
Gráfica No.132 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia trimestral para material J	166
Gráfica No. 133 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia bimensual para J	166
Gráfico No. 134 Resultado del pronóstico del alcohol isopropílico	167
Gráfico No.135 resultado del pronóstico de media móvil para el material B.....	167
Gráfica No. 136 Resultado del pronóstico de media móvil para material C	168
Gráfico No.137 resultado del pronóstico de media móvil para material E.....	168
Gráfico No.138 Resultado del pronóstico de media móvil para material F.....	169
Gráfico No.139 resultado del pronóstico de media móvil para material D	169
Gráfico No.140 Resultado del pronóstico de media móvil para material G	170
Gráfico No.141 Resultado del pronóstico de media móvil para material H	170
Gráfica No.142 Resultado del pronóstico de media móvil para material I.....	171
Gráfica No.143 Resultado del pronóstico de media móvil para material J.....	171
Gráfica No. 144 Resultado del pronóstico de ajuste de curva (demanda-caña molida) para material A.....	172
Gráfica N0. 145 Resultado del pronóstico de ajuste de curva (demanda-caña molida) para material B	172
Gráfica No. 146 Resultado del pronóstico de ajuste de curva (demanda-caña molida) para material C	173
Gráfica No. 147 Resultado del pronóstico de ajuste de curva (demanda-caña molida) para material E	173
Gráfica No. 148 Resultado del pronóstico de ajuste de curva (demanda-caña molida) para material F	174
Gráfica No. 149 Resultado del pronóstico de ajuste de curva (demanda-caña molida) para material D.....	174
Gráfica No. 150 Resultado del pronóstico de ajuste de curva (demanda-caña molida) para material G.....	175
Gráfica No. 151 Resultado del pronóstico de ajuste de curva (demanda-caña molida) para material H.....	175
Gráfica No.152 Resultado del pronóstico de ajuste de curva (demanda-caña molida) para material I	176
Gráfica No.153 Resultado del pronóstico de ajuste de curva (demanda-caña molida) para material J	176
Gráfica No. 154 Resultado del pronóstico de series cronológicas para material A	177
Gráfica No. 155 Resultado del pronóstico de series cronológicas para material B	177
Gráfica No. 156 Resultado del pronóstico de series cronológicas para material C	178
Gráfica No. 157 Resultado del pronóstico de series cronológicas para material E	178
Gráfica No. 158 Resultado del pronóstico de series cronológicas para material F	179
Gráfica No. 159 Resultado del pronóstico de series cronológicas para material D	179
Gráfica No. 160 Resultado del pronóstico de series cronológicas para material G	180
Gráfica No. 161 Resultado del pronóstico de series cronológicas para material H.....	180
Gráfica No. 162 Resultado del pronóstico de series cronológicas para material I	181
Gráfica No. 163 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material A.....	181
Gráfica No 164 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material C	182
Gráfica No 165 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material E	182
Gráfica No. 166 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material F	183
Gráfica No. 167 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material D.....	183
Gráfica No. 168 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material G.....	184
Gráfica No. 169 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material H.....	184

Gráfica No.170 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material I	185
Gráfica No. 171 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material J.....	185
Gráfica No. 172 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material A.....	186
Gráfica No. 173 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material B	186
Gráfica No. 174 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material C	187
Gráfica No. 175 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material E	187
Gráfica No. 176 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material F	188
Gráfica No. 177 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material D.....	188
Gráfica no. 178 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material G	189
Gráfica No. 179 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material H.....	189
Gráfica No. 180 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material I	190
Gráfica No 181 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material J.....	190
Gráfico No. 182 Resultado pronóstico distribución de frecuencia para época de zafra para insumo F.....	191
Gráfico No. 183 Resultado pronóstico distribución de frecuencia para época de mantem. para insumo F.	192
Gráfico No. 184 Resultado pronóstico media móvil para insumo A	192
Gráfico No. 185 Resultado pronóstico media móvil para insumo B	193
Gráfico No. 186 Resultado pronóstico media móvil para insumo C	193
Gráfico No. 187 Resultado pronóstico media móvil para insumo D.....	194
Gráfico No. 188 Resultado pronóstico media móvil para insumo E	194
Gráfico No. 189 Resultado pronóstico media móvil para insumo F.....	195
Gráfico No. 190 Resultado pronóstico series cronológicas para insumo A.....	196
Gráfico No. 191 Resultado pronóstico series cronológicas para insumo B	196
Gráfico No. 192 Resultado pronóstico series cronológicas para insumo C	197
Gráfico No. 193 Resultado pronóstico series cronológicas para insumo D.....	197
Gráfico No. 194 Resultado pronóstico series cronológicas para insumo E	198
Gráfico No. 195 Resultado pronóstico series cronológicas para insumo F	198
Gráfico No. 196 Resultado pronóstico para insumo A.....	199
Gráfico No. 197 Resultado pronóstico para insumo B	200
Gráfico No. 198 Resultado pronóstico para insumo C	200
Gráfico No. 200 Resultado pronóstico para insumo E	202
Gráfico No.201 Ajuste de curva polinomial para los insumos críticos del área de mantenimiento	203
Gráfico No. 202 Ajuste de curva polinomial para los insumos críticos del área de mantenimiento	204
Gráfico No. 203 Resultado al aplicar modelo de serie de tiempo a insumo A del área de mantenimiento .	204
Gráfico No. 204 Resultado de pronóstico para insumo crítico A, utilizando suavización exponencial	206
Gráfico No. 205 Resultado de pronóstico para insumo crítico B, utilizando suavización exponencial	206
Gráfico No. 206 Resultado de pronóstico para insumo crítico C, utilizando suavización exponencial	207
Gráfico No. 207 Resultado de pronóstico para insumo crítico D, utilizando suavización exponencial	207
Gráfico No. 208 Resultado de pronóstico para insumo crítico E, utilizando suavización exponencial.....	208

LISTA DE ILUSTRACIONES

Figura No.1 Proceso Industrial del Ingenio Pantaleon.	4
Figura No.2 Fases del análisis de procesos.	11
Figura No.3 Proceso general para el proceso de un producto.	12
Figura No. 4 Análisis del valor para la correlación “r”	19
Figura No.5: Distribución del valor de inventario de las Áreas de Fabricación.	24
Figura No.6 Diagrama de procedimiento estándar presentado en las áreas de fabricación	45
Figura No.7 Diagrama de propuesta de un sistema colaborativo de flujo de información	49
Figura No. 8 Diagrama de pasos generales para la solicitud de insumos desde áreas de fabricación	213
Figura No. 9 Diagrama de solicitud de insumos realizado por el área de extracción de jugo	214
Figura No. 10 Diagrama de solicitud de insumos realizado por el área de tratamiento de jugo	215
Figura No. 11 Diagrama de solicitud de insumos realizado por las áreas de prod. Ener. y recp. de azúcar	216
Figura No. 12 Diagrama de solicitud de insumos realizado por el área de mantenimiento	217
Figura No.13 Diagrama de propuesta de mejora en el procedimiento de solicitud de insumos	218
Figura No.14 Diagrama del proceso de compras.....	219
Figura No.15 Diagrama de propuesta de mejora del proceso de compras.....	220
Figura No.16 Diagrama de proceso de recepción actual	221
Figura No.17 Diagrama de propuesta de mejora del proceso de recepción actual	222
Figura No. 18 Diagrama del proceso de despacho de insumos actual	223
Figura No.19 Diagrama de propuesta de mejora del proceso de despacho de insumos	224

RESUMEN

El objetivo general de este megaproyecto es el análisis y propuesta de mejora para la reducción de costos del manejo de inventario de áreas de fabricación del Ingenio Pantaleon. Con los datos históricos de las compras y consumos de los insumos comprendidos entre mayo 2014 y diciembre 2016, se procedió a realizar una clasificación siguiendo la metodología 5'S para priorizarlos según su tiempo de entrega, costo e impacto en el proceso. Los insumos más críticos de cada área fueron analizados utilizando diferentes modelos de pronóstico de demanda, para poder predecir la cantidad de material a comprar, según las demandas del pasado. Los distintos modelos se compararon para determinar cuál es el que mejor se aplica en cada área, de manera que se reduzca la compra del material, y por lo tanto genere un ahorro dentro del manejo de inventario, y se cumpla con la demanda del mismo. También se propuso un sistema autoalimentado, con procedimientos estandarizados, que proporcione la información necesaria para planificar el abastecimiento de los insumos requeridos.

El modelo de descomposición de series cronológicas es el que se ajusta mejor al comportamiento de los insumos priorizados en las distintas áreas de fabricación, debido a que presenta menor desviación media absoluta entre los modelos evaluados, parte se debe a que este modelo si contempla estacionalidad en la demanda de los materiales. Se logró obtener una disminución en el porcentaje de compra en los insumos priorizados.

I. INTRODUCCIÓN

En toda industria es de gran importancia el correcto manejo de los inventarios. Con ellos se puede tener un mejor control tanto de los materiales para mantener funcionando la operación, como del almacenaje del producto terminado.

Actualmente Ingenio Pantaleon S.A., cuenta con un software, SAP, para controlar su sistema de inventario y bodega. Cada área de fabricación analizada en este proyecto (extracción de jugo y producción de vapor, tratamiento de jugo, recuperación de sacarosa, mantenimiento y producción de energía) utiliza SAP de manera diferente para realizar pedidos a bodega y compras. La falta de comunicación y documentación ha restado eficiencia al proceso de solicitud de pedidos y compras, apareciendo así problemas con sobre pedidos, lead- time más largos y duplicados.

El software utilizado cuenta con el listado de todos los materiales que existen en bodega, sin embargo, hay tres listados que no se encuentran incluidos en SAP: materiales imputados, materiales de depósito y materiales de seguridad. Los encargados no revisan los listados, generando así órdenes de compra de productos que pudieran existir en bodega, creando un ahorro para el presupuesto del área.

El objetivo general del presente estudio es, proponer un sistema de control de inventario que tenga como finalidad reducir la cantidad de piezas solicitadas y mejorar los tiempos de gestión de compras de materia prima, repuestos e insumos a fin de generar recomendaciones concretas que coadyuven a optimizar la gestión de compras, tomando en consideración que los materiales adquiridos, son vitales para la operatividad del área de fabricación de Ingenio Pantaleón.

Por ello, se propone la aplicación del modelo de pronóstico de distribución de frecuencias, media móvil, suavizamiento exponencial, ajuste de curvas, correlación y regresión, series cronológicas, aplicado a insumos priorizados con base a lead time e impacto en el proceso, dentro de las diferentes áreas de fabricación del ingenio, para construir un sistema de control de inventarios a través del modelo de pronóstico de demanda. Esto permitirá un rediseño en los procesos de control y manejo de los mismos, que contribuya a sistematizar las operaciones diarias, establecer el punto de pedido y garantizar un buen manejo de los mismos.

Los diferentes modelos de pronósticos de demanda utilizados para cada una de las áreas son comparados utilizando la desviación media absoluta, de manera que se pueda determinar cuál de estos es el que más se ajusta para el área de fabricación de los distintos módulos contenidos en el presente trabajo.

Se aportaron, recomendaciones necesarias, para mejorar el sistema de inventarios y lograr efectuar las compras en el menor tiempo posible, brindando una respuesta rápida a sus proveedores y clientes.

II. OBJETIVOS

A. General

Analizar y proponer una mejora para la reducción de costos del manejo de inventario de áreas de fabricación del Ingenio Pantaleon

B. Específico

1. Clasificar los insumos usando la metodología 5'S para priorizarlos según su lead time, costo e impacto en los procesos de fabricación del Ingenio Pantaleon.
2. Determinar la demanda de insumos priorizados según el pronóstico de demanda seleccionado para cada área y compararlo con los otros modelos utilizando la desviación media absoluta.
3. Determinar si al utilizar el modelo de demanda propuesto para cada área, se hubiera logrado una reducción de compra y cumplimiento de la demanda de los insumos priorizados a partir de datos históricos de compra y consumo del ingenio.
4. Analizar los procesos involucrados en el manejo de inventario para proponer un sistema colaborativo de flujo de información, que brinde la información necesaria para planificar el abastecimiento de insumos.

III. JUSTIFICACIÓN

En toda industria, los insumos almacenados en bodega representan más del 50% del costo de capital. Un manejo inadecuado del inventario puede ocasionar gastos innecesarios y una disminución en la eficiencia de operación en general de la fabricación de productos.

Es por ello, que es indispensable contar con un método de control y manejo de inventario, que le ayude a las empresas a mantener un correcto manejo de las entradas y salidas de los mismos, y que les permita tener una producción diaria sin caer en contratiempos.

Un adecuado control en las existencias de inventario es lo que les permite a las compañías no generar gastos en productos que aún se encuentren útiles en las bodegas. Debido al deficiente control en los mismos, se realizan compras innecesarias de insumos, obteniendo de esta manera costos considerables. Para mantener un control y justificación de inventario se categorizaron los materiales por *lead time*, costo e impacto en el proceso, para conocer cómo afecta cada material económicamente al proceso.

El personal de producción y operaciones utiliza los pronósticos para tomar decisiones periódicas que comprenden la selección de procesos, la planeación de las capacidades de demanda y la distribución de las instalaciones, así como para tomar decisiones continuas acerca de la planeación de la producción, la programación y el inventario.

Empleando los métodos correctos para el pronóstico de demanda, se propone una mejora en el proceso de control y manejo de inventarios. Esto ayudará a los procesos actuales de gestión de inventarios de las áreas de fabricación, logrando dar respuestas rápidas a sus clientes, controlar los gastos y alcanzar una mejor organización para mantener un nivel de stock apropiado.

Para el siguiente trabajo se utilizaron seis métodos cuantitativos de pronóstico de demanda, que posteriormente se analizaron, para verificar cual se ajustaba más a la demanda real de los insumos priorizados para cada una de las áreas de fabricación utilizando la desviación media absoluta como factor de comparación.

IV. MARCO TEÓRICO

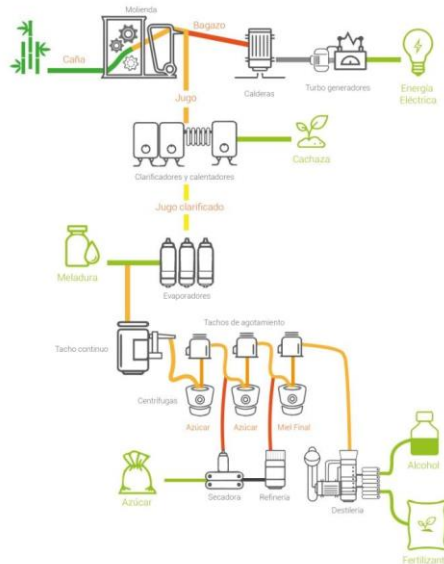
A. INGENIO AZUCARERO

Un ingenio azucarero es la agroindustria que se dedica al procesamiento de la caña de azúcar para su transformación en azúcar. Estos cuentan con dos épocas en el año: La reparación y la zafra. La época de reparación consiste en efectuar el mantenimiento de los equipos de fábrica, mientras que en el campo se siembra y se cultiva la planta de caña de azúcar. La época de zafra es cuando se recolecta la caña de azúcar y se procesa para obtener azúcar (Cengicaña, 2002).

B. INGENIO PANTALEON

El Ingenio Pantaleon es una organización agroindustrial dedicada al procesamiento de caña de azúcar para la producción de azúcar, mieles, alcoholes y energía eléctrica. Inició sus operaciones en la Costa Sur de Guatemala en 1849 en la finca Pantaleon y San Gregorio entre Siquinalá y Santa Lucía, Escuintla, Guatemala. Cuenta con una capacidad de molienda diaria de 29,000 toneladas de caña azúcar, una producción anual de 492,000 toneladas de azúcar, 74,000 metros cúbicos de alcohol, 190,000 toneladas de melaza y una generación 258,300 MWh (Pantaleon, 2016).

Figura No.1 Proceso Industrial del Ingenio Pantaleon.



Extraído de: (Pantaleon, 2016).

El siguiente proyecto se trabajó en el área de fábrica. Este ingenio divide sus procesos en 7 áreas.

- A. Extracción de jugo y producción de vapor
- B. Automatización
- C. Mantenimiento
- D. Tratamiento de jugo
- E. Producción de energía
- F. Recuperación de azúcar
- G. Destilería

C. PROCESOS DE FABRICACIÓN DEL INGENIO PANTALEON

1. **Extracción** La caña previamente lavada y preparada (desfibrada y cortada en pequeños trozos) es ingresada al tándem de molinos. En esta parte del proceso se da la extracción de jugo por dos métodos: por la acción mecánica de los molinos y por la acción fisicoquímica del proceso de imbibición compuesta (Melgar, 2012).

La sección de molinos de los ingenios está conformada por un arreglo de cuatro mazas:

- a. Maza bagacera
- b. Maza cañera
- c. Maza superior
- d. Maza cuarta

La cuarta maza sirve como un bypass si se da el caso en que cualquiera de las otras tres mazas necesita reparación y no se quiere detener el proceso. La caña es alimentada a los molinos de manera vertical, cae primero sobre la maza cañera donde se tritura la caña en conjunto con la maza superior, luego pasa por un virador que transporta la caña triturada a la maza bagacera donde también se vuelve a exprimir con la ayuda de la maza superior.

2. **Producción de vapor** En ingenios como Pantaleón que cogeneran energía eléctrica, los motores ya no son accionados por vapor sino que fueron sustituidos por motores eléctricos, debido a que se da un mejor aprovechamiento de la energía ya que la conversión de vapor de alta presión a energía eléctrica utilizando un turbogenerador es más eficiente que utilizar directamente el vapor en los equipos.

El proceso de imbibición compuesta se basa en aumentar la eficiencia de extracción de sacarosa utilizando el principio de la difusión. Para ello se aplica agua caliente de 70°C-75°C al bagazo que se alimenta en el último molino. El jugo extraído de este molino es ingresado al penúltimo molino y se continúa realizando una retroalimentación del jugo extraído al bagazo del molino anterior, este proceso se detiene hasta alcanzar el segundo molino.

El jugo extraído del primer molino no pasa por el proceso de imbibición, a este jugo se le llama jugo primario y va directamente al siguiente proceso de fabricación junto con el jugo secundario, que es el jugo extraído del segundo molino más el flujo de jugo que se ha venido retroalimentando de los molinos posteriores.

El bagazo obtenido del último molino debe de tener una concentración de sacarosa menor al 2% y una humedad menor al 50%. Este subproducto es enviado a las calderas para la producción de vapor (Melgar, 2012).

En los ingenios el principal producto es el azúcar, pero dentro del proceso para llegar a este producto final también se dan subproductos de gran utilidad, como lo es el bagazo.

El Bagazo se obtiene en la fase final de la extracción de jugo, contiene un 50% de agua y alrededor de un 45% de fibras de caña de azúcar y el resto es tierra, piedras y materiales extraños. Este material es la principal fuente de energía para operar un ingenio (Melgar, 2012).

La caldera es considerada el corazón de un ingenio, ya que es la que le suministra energía y vapor a todos los procesos de producción de azúcar y etanol. Existen dos tipos de calderas para la producción de vapor: las acutubulares y las piro tubulares. En las calderas acutubulares el agua pasa dentro de los tubos del domo de la caldera y el fuego va por fuera; en las calderas piro tubulares es al revés, el fuego va por dentro de los tubos y el agua está contenida en el domo de la caldera. Las calderas que se utilizan en los ingenios azucareros son las acutubulares, ya que en este tipo de calderas se alcanza una mayor presión de vapor, el vapor resultante es sobrecalentado por lo que tiene más energía.

Para producir el vapor es necesario grandes cantidades de calor, este debe de ser obtenido de alguna fuente de combustible, que en el caso de los ingenios es el bagazo obtenido de la extracción de jugo. La caldera funciona así en la época de zafra, donde se producen grandes cantidades de bagazo. En época de mantenimiento se utiliza bunker para seguir produciendo energía. Las calderas de los ingenios están diseñadas para funcionar con estos dos tipos de combustible (Melgar, 2012).

3. **Tratamiento de jugo.** El proceso de tratamiento de jugo abarca la clarificación del jugo, evaporación del jugo y la clarificación de la meladura (Cengicaña, 2002).

La clarificación consiste en la eliminación de tierra, arena, bagacillo y otras formas de basura propias de la de la caña de que contiene el jugo mezclado obtenido del tándem de molinos. Esta incluye las siguientes etapas

- a. Dosificación de ácido fosfórico: Si la calidad de azúcar a producir es blanco sulfitado, es recomendable dosificarle al jugo de mezclado ácido fosfórico. Los fosfatos solubles son componentes propios de la caña de azúcar e intervienen en el acondicionamiento de los lodos para la formación de precipitados al reaccionar con el calcio de la cal.
- b. Sulfitación: El jugo mezclado se bombea a la torre de sulfitación, la cual lo pone en contacto en contracorriente con anhídrido sulfuroso, gas generado por la combustión de azufre elemental. Los hornos y tuberías por las que se conduce el anhídrido sulfuroso, son enfriados por chaquetas en las cuales circula agua fría, para evitar formación de anhídrosulfúrico y subsecuente generación de ácido sulfúrico. La sulfitación del jugo es imprescindible para obtener menor color en el azúcar blanco. La sulfitación tiene como efectos positivos que el jugo se decante más rápido, disminuye la viscosidad de la meladura mieles y masas cocidas, lo que produce una cocción más rápida de las mismas.
- c. Alcalización: Se realiza a la salida de la torre de sulfitación. Se puede utilizar una lechada de cal. Este es el proceso medular de la clarificación del jugo, el cual consiste en la formación de un sólido sedimentable de composición compleja, cuya reacción química es entre el anión fosfato (contenido en la caña y adicionado en la dosificación de ácido fosfórico) y el catión de calcio (aportado por la dosificación de cal).
- d. Calentamiento: Colateralmente a la formación de especies fosfatadas insolubles de calcio, el jugo alcalizado debe calentarse a una temperatura levemente superior a la del punto de ebullición del agua. Al calentarse el jugo se verifican las reacciones involucradas y también se desnaturalizan las proteínas presentes y pasan a formar parte del sólido insoluble sedimentable. Para llevar a cabo el calentamiento se puede utilizar calentadores de concha y tubo o intercambiadores de calor de placas que son más eficientes y más pequeños.
- e. Decantación y desalojo de la cachaza: El jugo proveniente del tanque flash se alimenta por gravedad a los clarificadores. El equipo más utilizado en Guatemala es el clarificador tipo *Dorr Oliver*. Las sales formadas debido al alcalizado y calentado se precipitan en el clarificador formando lodos conocidos como cachaza, en la parte inferior del clarificador. Esta es succionada por medio de bombas de diafragma y es descargada a un tanque conocido como cachazón. El jugo claro decantado se descarga por gravedad y a través de un cabezal se conduce a un set de coladores rotativos para eliminar las partículas de bagacillo más finas y luego se almacena el jugo colado en el tanque de jugo claro.
- f. Agotamiento y disposición de la cachaza: La cachaza desalojada de los clarificadores aún posee una cantidad considerable de jugo, por lo cual este debe extraerse hasta que la cachaza contenga la menor cantidad posible de sacarosa. Los equipos que se utiliza para eliminar la sacarosa de la cachaza sin

agotar son los filtros rotativos continuos al vacío o los filtros de bandas. El jugo filtrado es retornado al tanque de jugo alcalizado y la cachaza agotada se utiliza como fertilizante en campos de cultivo.

g. En el proceso de evaporación del jugo claro se concentra de 15°-18° Brix hasta formar el material denominado meladura de 65°-67° brix. En Guatemala los equipos más utilizados para evaporar el agua contenida en el jugo son los evaporadores de calandria de tubos y de película ascendente tipo Roberts. Los evaporadores disponen de un arreglo para formar un sistema de evaporación de múltiple efecto, basado en el principio de Rillieux. Este principio establece que, el vapor generado por el evaporación del agua, proveniente del jugo calentado en un evaporador o juego de evaporadores, es capaz de calentar y evaporar agua, del jugo ya concentrado transferido a otro evaporador o juego de evaporadores; para la cual la presión interna del siguiente evaporador o juego de evaporadores debe ser menor a la presión interna del evaporador o juego de evaporadores precedente. Se conoce como melador el último evaporador del juego de evaporadores donde se obtiene la meladura no clarificada.

h. La clarificación de la meladura consiste primero en un tratamiento fisicoquímico que consiste en formar conglomerados de partículas sólidas dosificando ácido fosfórico floculante y cal. Para remover sustancias colorantes se dosifica agua sulfitada o decolorantes. Posteriormente se calienta la meladura hasta 60°C-65°C y se le inyecta aire para que asciendan los flóculos de impurezas y sean removidos. La meladura clarificada se decanta y es bombeada a los tanques del área de tachos.

4. **Recuperación de azúcar.** Una de las áreas esenciales es la de recuperación de sacarosa la cual se subdivide en cinco áreas detalladas a continuación:

a. **Cristalización:** En esta se lleva a cabo la cristalización, a través de semillamiento y abarca desde la entrada de la meladura en los tachos hasta el envasado del azúcar. Los cristales producidos aumentan su volumen al añadirles mieles. Los tachos son reactores que operan al vacío y son calentados por medio de vapor. Estos funcionan en un sistema de tres templeas llamado doble magma el cual elabora tres tipos de masa primera, segunda y tercera, diferenciadas por su grado de agotamiento. Para los productos de bajo POL se ejecuta un proceso extra el cual consiste en la cristalización por enfriamiento realizada en cristalizadores verticales u horizontales. (Rein, 2012.)

b. **Centrifugado:** En el departamento de centrifugas se separa el grano del licor madre. Existen centrifugas continuas y batch, utilizadas de acuerdo a la pureza del material. Las de mayor pureza proveen el azúcar comercial, mientras que las de menor las masas de segunda y tercera, con las cuales se elaboran las masas de primera y de segunda respectivamente (Chen, 1993).

c. **Secado y enfriado:** Los equipos más utilizados para la operación del secado y enfriado del azúcar son los secadores rotativos. En estos se introduce el aire atmosférico, debido al diferencial de presión

generado por un ventilador, el cual es calentado con vapor usando un intercambiador de calor. En la entrada del secador existe un filtro de aire que evita que el aire contamine el azúcar con polvo o microorganismos. El aire puede entrar en contracorriente, (en dirección opuesta al azúcar) o en paralelo (en la misma dirección al azúcar). Dentro de la secadora existe transferencia de masa y de calor entre aire y azúcar dando como resultado que el aire absorba la humedad del azúcar.

d. Refinería: La primera operación en una Refinería de azúcar consiste en la disolución del azúcar VHP (Azúcar con alto contenido de Pol) con condensados. Después se pasa a la clarificación en sistemas de fosflotación, donde se le aplican químicos y se cambia el pH, a valores neutros o alcalinos, y la temperatura. Seguidamente se adiciona carbón activado como adsorbente para eliminar color, sabor y olor. Para remover el carbón activado del licor, se pasa por un sistema de filtrado donde se utilizan filtros de mallas, con la ayuda de tierra de diatomeas (Rein, 2012). Con el licor purificado se realiza de nuevo el proceso de cristalización, centrifugación, secado y enfriado. Por último para obtener el azúcar refino se da un proceso de maduración, el cual consiste en estabilizar el grano de azúcar. Esto se logra al almacenarlo en un ambiente con condiciones de humedad y temperatura controladas. La azúcar refina que se obtiene posee una granulometría promedio de 500 micrómetros y un color de 30 ICUMSA (Rein, 2012).

e. Envasado: De los procesos descritos se obtiene azúcar cruda, refina, morena y estándar las cuales son empacadas de diferente manera y enviadas a diferentes mercados. Fuera del país se envía el azúcar crudo, a granel, y la refino y morena en sacos de de 1250kg, 50kg y 25kg. El azúcar estándar es la que se consume en Guatemala, la cual por ley debe de fortificarse con vitamina A, y se manda a los centros de empaque el Peñon y Kaleel en jumbos de 1250kg. Luego en estos centros se envasa en diferentes presentaciones usualmente de 1, 2 y 25 libras (Chen, 1993).

D. ANÁLISIS DE PROCESOS Y COSTOS

1. **Adquisiciones** Se conoce como adquisición estratégica al proceso de desarrollo y administración de relaciones con proveedores a nivel global, para adquirir bienes y servicios que satisfagan las necesidades del negocio. Anteriormente el término *adquisiciones* era utilizado como un sinónimo de compras. Aunque se consideraba importante para las finanzas de una empresa, no se tomaba en cuenta como un proceso estratégico de la empresa. (Jacobs y Chase, 2009)

Hoy en día, las adquisiciones estratégicas (también llamadas *Gestión de las Compras*) juegan un papel muy importante dentro de una organización. Buscan proporcionar un flujo de bienes y servicios necesarios para el funcionamiento de la organización, manteniendo los estándares de calidad al menor costo posible. (Jacobs y Chase, 2009)

Al momento de realizar una compra es importante tomar en cuenta elementos como precio, volumen, calidad, tipo de producto, almacenamiento, tiempos de entrega, garantías, políticas de créditos, entre otros. Todos estos elementos son una ayuda para la toma de decisiones. (Jacobs y Chase, 2009)

2. Metodologías de compra

a. Cotizaciones. Son documentos que informan y establecen el valor de algún producto o servicio, y las condiciones de una posible negociación. No genera un compromiso ni un registro contable. En la mayoría de las ocasiones se realizan cotizaciones con diferentes proveedores para elegir la mejor opción.

b. Licitaciones. Es un proceso reglado en el que la organización da a conocer públicamente (o a un segmento de proveedores seleccionados) su necesidad, y solicita ofertas que la satisfagan para luego seleccionar una de ellas. Normalmente se utiliza el volumen de compra como incentivo para reducir el precio.

c. Subastas inversas. Se da entre un comprador y muchos vendedores, partiendo de un precio de venta. El vendedor que ofrezca el precio más bajo gana la negociación. Son negociaciones muy eficientes con un grupo de proveedores simultáneamente, y se logra disminuir el precio significativamente.

d. Compras a futuro. Acuerdo que obliga a las partes involucradas (comprador y proveedor), a comprar y proveer un número determinado de bienes o servicios en una fecha futura determinada, a un precio establecido anteriormente.

e. Consignaciones. Acuerdo por el cual el consignatario (cliente) es suministrado de producto, y se compromete a pagarle al consignante (proveedor) luego de haber consumido, y únicamente la cantidad consumida.

Al momento de realizar la compra se emite una orden de compra. Es decir, un documento que el cliente le entrega al proveedor en donde se detalla la cantidad que se comprará, el tipo de producto, el precio y las condiciones de pago. La orden de compra genera un compromiso y un registro contable.

3. **Planificación de una empresa ERP.** La planificación de recursos de una empresa ERP (Enterprise Resource Planning) es un sistema de computadora que integra los programas de aplicación en contabilidad, manufactura y demás funciones de una empresa. Esta integración se logra mediante una base de datos compartida por todos los programas de aplicación. (Jacobs y Chase, 2009)

Un concepto importante relacionado con la ERP es la *Computación en red con servidores remotos*. Este término hace referencia a los servicios de ERP brindados desde una computadora central por medio de internet. Esto reduce considerablemente el costo de la ERP. (Jacobs y Chase, 2009).

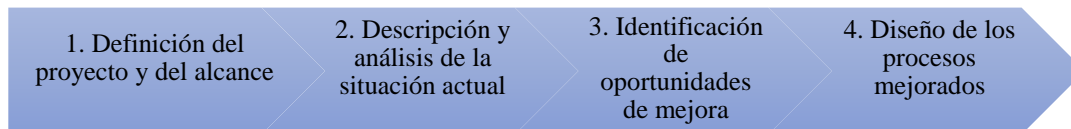
4. **Sistemas, aplicaciones y productos en procesamiento de datos (SAP):** SAP una empresa alemana líder a nivel mundial en brindar software ERP. Posee una gran variedad de productos de software para la administración empresarial, desarrollados para optimizar las operaciones de sus clientes. Estos productos permiten al usuario controlar funciones críticas en áreas de finanzas, distribución, compras, ventas, relaciones con el cliente, manufactura, entre otras. El software está compuesto por distintos módulos que se operan en computadoras separadas, pero colocadas en red con una misma base de datos. Todas las aplicaciones están integradas, por lo que los datos son compartidos entre ellas. (SAP, 2017)

Uno de los productos de software más utilizados es el SAP Business One. Este producto está dirigido a las PyMEs (Pequeñas y Medianas Empresas) y permite controlar las operaciones más importantes, brindando acceso a la información actualizada de toda la empresa. Entre sus ventajas se encuentra la integración con Office, la facilidad de uso y un bajo costo de mantenimiento. SAP Business One cuenta con los módulos de finanzas, ventas, servicios, compras, inventario y fabricación. (SAP, 2017)

5. **Análisis de procesos** El análisis de procesos es una metodología que tiene como objetivo entender los procesos, mejorar la eficacia y agilizar las operaciones de un negocio, una unidad de trabajo o un conjunto de operaciones secuenciales. A continuación, se listan algunas de las aplicaciones del análisis de procesos:

- a. Conocer el desempeño de los procesos y utilizarlo como punto de referencia para realizar comparaciones, identificando áreas potenciales de mejora.
- b. Documentación estructurada y definición de indicadores de desempeño que facilitan la toma de decisiones.
- c. Recopilación de información necesaria para la automatización de procedimientos manuales.
- d. Mejorar el desempeño de los procesos utilizando indicadores. Por ejemplo, reducir el tiempo que toma autorizar una compra.
- e. Documentación para capacitación de personal. Por ejemplo, manuales de procedimientos. (CEPE / ONU, 2012)

Figura No.2 Fases del análisis de procesos.

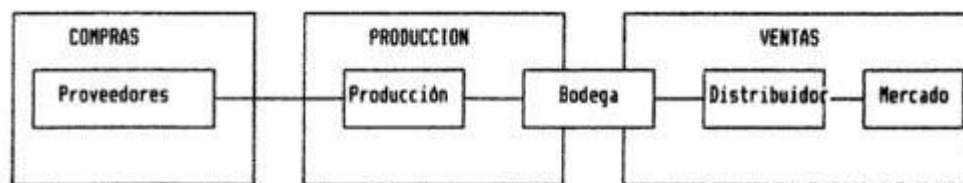


E. MANEJO DE INVENTARIO

El tema de este trabajo se basa en inventarios. Los inventarios en la industria son necesarios y un buen manejo puede facilitar las operaciones de la misma. En la producción de azúcar, cada proceso tiene maquinarias y siempre se requiere de un mantenimiento tanto preventivo (época de mantenimiento general) como correctivo (época de zafra) por lo tanto hay un constante movimiento de piezas y repuestos.

Un manejo de inventarios puede dividirse en estáticos y dinámicos. Los modelos estáticos son aquellos que su demanda no se ve afectada a lo largo del tiempo. En cambio un dinámico, la demanda de productos en el inventario cambia a lo largo del tiempo. En general, para los ingenios, el manejo de inventarios es dinámico ya que su sistema de trabajo se divide en 6 meses de zafra y mantenimiento. Según la época la demanda varía ya que la producción comienza en zafra y finaliza en mantenimiento. (Taha, 2004).

Figura No.3 Proceso general para el proceso de un producto.



Extraído: (Moya, 1990)

F. METODOLOGÍA DE LAS 5'S

La metodología de las 5S, denominada así por la primera letra del nombre que en japonés designa cada una de sus cinco etapas, es una técnica de gestión japonesa basada en cinco principios simples. Tiene como objetivo lograr un trabajo de la manera más organizada para conseguir una mayor productividad y mejor entorno laboral (Control y Manejo de Inventario y Almacén, 2014).

- a. Clasificación y Descarte (*Seiri*): Consiste en identificar los elementos necesarios para el trabajo, y separarlos de los innecesarios, los cuales se descartan para evitar que vuelvan a aparecer.
- b. Organización (*Seiton*): Consiste en establecer el modo en que deben ubicarse e identificarse los materiales necesarios para el trabajo, de manera que sea fácil y rápido encontrarlos.
- c. Limpieza (*Seisō*): Consiste en identificar y eliminar las fuentes de suciedad, y en realizar las acciones necesarias para que no vuelvan a aparecer.

- d. Higiene y visualización (*Seiketsu*): Consiste en detectar situaciones irregulares o anómalas, mediante normas sencillas y visibles para todos.
- e. Disciplina y compromiso (*shitsuke*): Consiste en establecer un control riguroso a la aplicación del sistema.

G. PRONÓSTICO

Pronosticar es el arte y ciencia de predecir los eventos del futuro. Implica el empleo de datos históricos y su proyección hacia el futuro mediante algún modelo matemático. Por lo general los pronósticos se clasifican por el horizonte de tiempo futuro que cubre (Heizer y Render, 2009). El horizonte de tiempo se clasifica en tres categorías:

- a. Pronóstico a corto plazo: Tiene una extensión de tiempo de hasta de un año, pero casi siempre es menor a 3 meses. Se utiliza para planear las compras, programar el trabajo, determinar los niveles de mano de obra, asignar el trabajo, y decidir los niveles de producción.
- b. Pronóstico a mediano plazo: Por lo general, un pronóstico a mediano plazo, o a plazo intermedio, tiene una extensión de entre 3 meses y 3 años. Se utiliza para planear las ventas, la producción, el presupuesto y el flujo de efectivo, así como para analizar diferentes planes operativos.
- c. Pronóstico a largo plazo: Casi siempre su extensión es de 3 años o más. Los pronósticos a largo plazo se emplean para planear la fabricación de nuevos productos, gastos de capital, ubicación o expansión de las instalaciones, y para investigación y desarrollo.

H. PRONÓSTICOS DE DEMANDA

Los pronósticos de la demanda son proyecciones de la demanda de productos o servicios de una compañía, orientan la producción, capacidad y los sistemas de programación de la empresa, y sirven como entradas de planeación financiera, marketing y de personal (Heizer y Render, 2009). Existen dos enfoques de generales para pronosticar la demanda: análisis cualitativo o cuantitativo.

- a. Los pronósticos cualitativos o subjetivos incorporan factores como la intuición, las emociones, las experiencias personales y el sistema de valores de quien toma las decisiones para llegar a un pronóstico.
- b. Los pronósticos cuantitativos utilizan una variedad de modelos matemáticos que se apoyan en datos históricos y/o variables causales para pronosticar la demanda.

Los métodos de pronóstico cuantitativos se pueden clasificar en modelos de series de tiempo y modelos asociativos. Los modelos de series de tiempo predicen bajo el supuesto de que el futuro es una función del

pasado. Los modelos asociativos incorporan variables o los factores que puedan influir en la cantidad por pronosticar (Heizer y Render, 2009).

Estos son algunos métodos de pronóstico cuantitativo:

Método de pronóstico cuantitativo	
Modelos de series de tiempo	Modelos asociativos
Promedio móvil simple	Análisis de regresión
Promedio móvil ponderado	Modelos econométricos
Suavización exponencial	Modelos de entrada/salida
Análisis de regresión	Modelos principales/Indicadores

La demanda de productos o servicios se puede dividir en seis componentes: demanda promedio para el periodo, una tendencia, elementos estacionales, elementos cíclicos, variación aleatoria y auto correlación (Chase, Jacobs y Aquilano, 2009).

1. Pronóstico por medio de distribución de frecuencias. Una distribución de frecuencias es un resumen tabular de datos que representan el número, la frecuencia en este caso, de elementos en cada una de varias clases que no se superponen. Esto permite una mejor visualización de un conjunto de datos a la hora de realizar un análisis a los mismos (Anderson, 2012).

Para definir el tamaño las clases se utiliza la siguiente ecuación.

$$A = D_{\max} - D_{\min}$$

(Ecuación No.1)

Donde;

A= Ancho de la clase

D_{\max} = Valor de frecuencia máximo en el conjunto de datos

D_{\min} = Valor de frecuencia mínimo en el conjunto de datos

n= número de clases a utilizar

Para calcular las frecuencias relativas se utiliza la siguiente ecuación

$$N_i/N = Fr$$

(Ecuación No.2)

Donde;

N_i = Frecuencia absoluta

N= Tamaño de la muestra

Fr= Frecuencia relativa.

2. Pronóstico por media móvil. El pronóstico de media móvil usa un número de valores de datos históricos reales para generar un pronóstico, es útil cuando la demanda de un producto no crece ni baja con rapidez, y si no tiene características estacionales, un promedio móvil puede ser útil para eliminar las fluctuaciones aleatorias del pronóstico (Chase, Jacobs y Aquilano, 2009).

La fórmula de un promedio simple es:

$$F_t = A_{t-1} + A_{t-2} + A_{t-3} + \dots + A_{t-n}$$

(Ecuación no.3)

Donde;

F_t = Pronóstico del siguiente periodo

n = número de periodos a promediar

A_{t-1} = Ocurrencia real en el periodo pasado

$A_{t-2}, A_{t-3}, A_{t-n}$ = Ocurrencias reales hace dos periodos, hace tres periodos y así sucesivamente, hasta n periodos.

Para este método es importante resaltar que aumentar el tamaño de n suaviza las fluctuaciones de mejor manera, pero resta sensibilidad al método ante cambios reales en los datos; no reflejan muy bien las tendencias debido a que son medias, siempre se quedarán en niveles pasados; no predicen los cambios hacia niveles más altos ni bajos y retrasan los valores reales. Las medias móviles requieren amplios registros de datos históricos (Heizer y Render, 2009).

3. Pronóstico de series cronológica. Puede definirse una serie cronológica o serie temporal como datos ordenados en forma cronológica que pueden contener uno o más componentes de la demanda: tendencia, estacional, cíclico, auto correlación o aleatorio. La descomposición de una serie temporal significa identificar y separar los datos de la serie temporal en estos componentes. En la práctica, es relativamente fácil identificar la tendencia (incluso sin un análisis matemático, casi siempre es sencillo trazar y ver la dirección del movimiento) y el componente estacional (comparando el mismo periodo año tras año). Es mucho más difícil identificar los componentes de los ciclos (pueden durar varios meses o años), la auto correlación y el aleatorio. (Por lo regular, el encargado de realizar el pronóstico considera aleatorio cualquier elemento que sobre y que no sea posible identificar como otro componente.) (Chase, Jacobs y Aquilano, 2009)

Cuando la demanda contiene efectos estacionales y de tendencia al mismo tiempo, la pregunta es cómo se relacionan entre sí. En esta descripción, se analizan dos tipos de variación estacional: aditiva y multiplicativa. (Chase, Jacobs y Aquilano, 2009)

Un factor estacional es la cantidad de corrección necesaria en una serie temporal para ajustarse a la estación del año. Por lo general, se relaciona *estacional* con un periodo del año caracterizado por alguna actividad en particular. Se usa la palabra *cíclico* para indicar que no se trata de los periodos anuales recurrentes de actividad repetitiva.

El pronóstico se determina utilizando los índices estacionales para pronosticar un cálculo sencillo basado en datos estacionales pasados, y la tendencia y el índice estacional de una recta de la regresión ajustada a mano. A continuación, se da un procedimiento más formal para la descomposición y el pronóstico de los datos utilizando la regresión de los cuadrados mínimos. (Chase, Jacobs y Aquilano, 2009)

La descomposición de una serie de tiempo significa encontrar los componentes básicos de la serie de tendencia, estacional y cíclico. Los índices se calculan por estaciones y ciclos. El procedimiento del pronóstico después invierte el proceso con el pronóstico de la tendencia y su ajuste mediante los índices estacionales y cíclicos, determinados en el proceso de descomposición. En términos formales, el proceso:(Chase, Jacobs y Aquilano, 2009)

a. Descomponer las series de tiempo en sus componentes.

1) Encontrar el componente estacional o determinar el factor (o índice) estacional: Se desarrolla un promedio para los mismos bimestres, trimestres del periodo estudiado. Se deriva un factor estacional al dividir ese promedio entre el promedio general del total del periodo.

$$Factor\ Estacional = \frac{Promedio\ del\ mismo\ mes\ cada\ año}{\frac{\sum y}{n}}$$

(Ecuación No.4)

Donde;

y= Demanda real

n= Número de períodos

Descontar las variaciones de temporada de los datos originales: Para eliminar el efecto estacional de los datos, se dividen los datos originales entre el factor estacional. Este paso se llama descuento de las variaciones de temporada de la demanda.

$$y_d = \frac{y}{Factor\ Estacional}$$

(Ecuación No.5)

Donde:

yd= Demanda no estacional (descuento de variaciones)

y= Demanda real

Trazar una recta de regresión por mínimos cuadrados para los datos descontados de las variaciones de temporada: El objetivo es desarrollar una ecuación para la recta de la tendencia Y , que después se modifica con el factor estacional. El procedimiento es el siguiente:

$$Y = a + bx$$

(Ecuación No. 6)

Donde;

Y=Demanda calculada con la ecuación de regresión

a=Secante de Y

b=Pendiente de la recta

x=Periodo

$$b = \frac{\sum xy_d - n\bar{x}\bar{y}_d}{\sum x^2 - n\bar{x}^2}$$

(Ecuación No. 7)

Donde;

b=Pendiente de la recta

x= Periodo

yd= Demanda no estacional (descuento de variaciones)

n= Número de periodos

$$a = \bar{y}_d - b\bar{x}$$

(Ecuación No. 8)

Donde;

a=secante de Y

x= Periodo

yd= Demanda no estacional (descuento de variaciones)

b.Pronosticar valores futuros de cada componente.

Pronosticar el componente de la tendencia en el futuro: Aplicar la ecuación Y (6) en cada periodo que se desee pronosticar.

Multiplicar el componente de la tendencia por el componente estacional: Mediante el ajuste de la recta de la regresión según el factor estacional.

$$\text{Pronóstico} = Y * \text{Factor Estacional}$$

(Ecuación No. 9)

Observe que en esta lista no se incluye el componente aleatorio. Implícitamente, se elimina el componente aleatorio de la serie de tiempo cuando se promedia. No tiene caso intentar una proyección del componente aleatorio a menos que se tenga información sobre algún evento inusual, como un conflicto laboral grave, que pudiera influir en la demanda del producto (y esto no sería al azar)

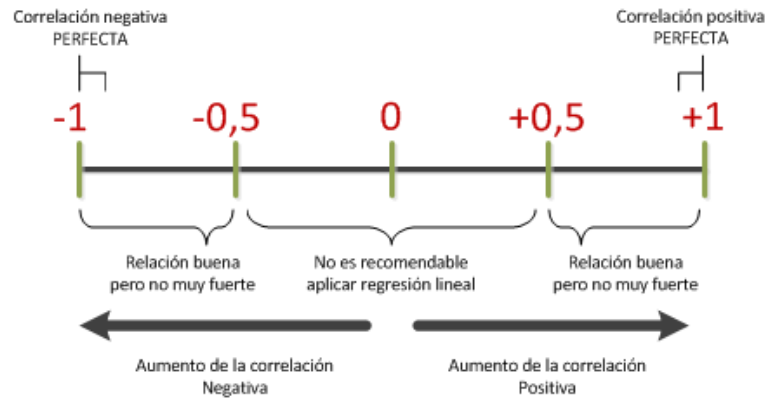
4. Pronóstico por ajuste de curvas por medio de regresión lineal. Estos buscan pronosticar la demanda trazando una curva que siga la tendencia de una serie de puntos históricos, estos puntos son la relación entre la demanda y una o más causas como tiempo o costo de producto. Con base al comportamiento o tendencia que tienen los datos se puede predecir al plantear una ecuación, de donde se obtenga la demanda en el período deseado. Esta forma de pronóstico proyecta la curva a futuro para estimar la demanda que se tendrá. Las tendencias obtenidas suelen ser de tipo lineal, cuadrática, exponencial y logarítmica. (Chase, Jacobs y Aquilano, 2009)

En el modelo de regresión lineal se espera obtener el valor de una variable a , cuando se fija una variable b por eso se necesitan de dos variables o condiciones para comparar una variable dependiente con varias independientes y así obtener el comportamiento de los datos. Además como lo menciona su nombre, se esperan mejores resultados si la tendencia de los datos es lineal. Esto no limita este método ya que pueden haber series de datos donde no tienen una linealidad en todo el período de tiempo analizado, sino que solo por ciertos intervalos, que es en donde puede aplicarse con mejores pronósticos. (Chase, Jacobs y Aquilano, 2009)

Este modelo también se considera asociativo, esto quiere decir que incorpora variables que pueden influir en el pronóstico. Por ejemplo, para ingenios podría ser los meses por la época del año o la producción total de caña de azúcar, ya que son factores que afectan el inventario de fábrica. (Heizer y Render, 2009)

Al aplicar la regresión, se tiene un coeficiente r y según el valor se puede saber qué tan bien aplica el modelo al conjunto de datos, esto se ve en la siguiente figura.

Figura No. 4 Análisis del valor para la correlación “r”



Además de este rango de valor para el coeficiente, se tiene la ecuación para calcularlo con base al tiempo y la demanda.

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i t_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n t_i}{\sqrt{(n \sum_{i=1}^n t_i - (\sum_{i=1}^n t_i)^2)(n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2)}}$$

(Ecuación No. 10)

El modelo de regresión simple se expresa con la siguiente ecuación.

$$\widehat{X}_t = a + bt$$

(Ecuación No. 11)

En donde X es el pronóstico con base al tiempo, a es el intercepto y b es la pendiente. Y se calculan utilizando las siguientes ecuaciones. (Taha, 2004)

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

(Ecuación No. 12)

$$b = \frac{\sum xy - n\bar{x} * \bar{y}}{\sum x^2 - n\bar{x}^2}$$

(Ecuación No. 13)

Además de la ecuación de la tendencia, se debe calcular el error estándar del estimado (S_{yx})

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{y^2 - a * y - (b * \sum xy)}{n - 2}}$$

(Ecuación No. 13)

Para poder obtener los porcentajes de reducción y cumplimiento en la demanda para un insumo, se utilizaron las siguientes ecuaciones.

Para el porcentaje de reducción

$$\frac{(\text{demanda real} - \text{demanda pronosticada})}{\text{demanda real}}$$

(Ecuación No. 14)

Para el cumplimiento de la demanda

$$\frac{\text{Demanda pronosticada}}{\text{Demanda real}} * 100\%$$

(Ecuación No. 15)

5. Pronóstico por ajuste de curva por medio de función cuadrática. Los parámetros de este modelo que componen la curva se pueden estimar por medio del método de mínimos cuadrados, el cual busca minimizar la suma de los errores al cuadrado. Los dos parámetros principales para este modelo de pronóstico son el r y el r^2 .

El coeficiente de correlación, r , es una medida de la linealidad de una función, por lo tanto un $r = 1$ indica cien por ciento de variabilidad en los datos. El coeficiente de determinación, r^2 , se utiliza para conocer la calidad del ajuste de una ecuación, por lo tanto un r^2 alto indica que se ajusta. (Sweeney, 2012) A continuación se presenta la ecuación para obtener el r^2 :

$$r^2 = \frac{SCR}{STC} = \frac{S_t - S_r}{S_t}$$

(Ecuación No. 16)

$$S_r = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 x_i^2)^2$$

(Ecuación No.17)

$$S_t = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

(Ecuación No.18)

I. ERROR DE PRONÓSTICO

La exactitud general de cualquier modelo de pronóstico puede determinar al comparar los valores pronosticados con los valores reales u observados.

$$\text{Error de pronóstico} = \text{Demanda Real} - \text{Valor Pronosticado} = A_t - F_t$$

(Ecuación No. 19)

Donde;

F_t = Pronóstico en el periodo t

A_t = Demanda real del periodo t

Se pueden utilizar distintas medidas de error para comparar, vigilar y asegurar el buen desempeño de distintos modelos de pronóstico. Las tres medidas más populares son MAD (*Mean Absolute Deviation*; Desviación Media Absoluta), el MSE (*Mean Square Error*; Error Cuadrático Medio) y el MAPE (*Mean Absolute Percent Error*; Error Porcentual Absoluto Medio) (Heizer y Render, 2009). A continuación se describen las siguientes medidas:

1. Desviación absoluta media: Su valor se calcula sumando los valores absolutos de los errores individuales del pronóstico y dividiendo el resultado entre el número de periodos con datos (n).

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n}$$

(Ecuación No. 20)

Donde;

t = número del periodo

A = demanda real para el periodo

F = demanda pronosticada para el periodo

n = número total de periodos

2. Error cuadrático medio: Su valor es el promedio de los cuadrados de las diferencias encontradas entre los valores pronosticados y los observados. Una desventaja de emplear el MSE es que tiende a acentuar las desviaciones importantes debido al término cuadrado.

$$MSE = \frac{\sum(A_t - F_t)^2}{n}$$

(Ecuación No.21)

Donde;

F_t = Pronóstico en el periodo t

A_t = Demanda real del periodo t

3. Error porcentual absoluto medio: Este se calcula como el promedio de las diferencias absolutas encontradas entre los valores pronosticados y los reales, y se expresa como un porcentaje de los valores reales. Esta medida es de gran utilidad debido a que tanto la MAD como con el MSE dependen de gran medida de la magnitud en la que se pronostica.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n 100 \times \left(\frac{|Real_i - Pronóstico_i|}{Real_i} \right)}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n 100 \times \left(\frac{|A_t - F_t|}{A_t} \right)}{n}$$

(Ecuación No.22)

Donde;

F_t = Pronóstico en el periodo t

A_t = Demanda real del periodo t

J. MONITOREO Y CONTROL DE PRONÓSTICO

Una manera para supervisar los pronósticos para asegurar su precisión es emplear una señal de seguimiento de control. Esta es una medida de que tan bien predicen los pronósticos los valores reales. Se calcula como la RSFE (*Running Sum of the Forecast Errors*: Suma continua de Errores de Pronóstico) dividida entre la MAD (Heizer y Render, 2009).

$$\text{Señal de Control} = \frac{RSFE}{MAD} = \frac{\sum A_t - F_t}{MAD}$$

(Ecuación No.23)

Donde;

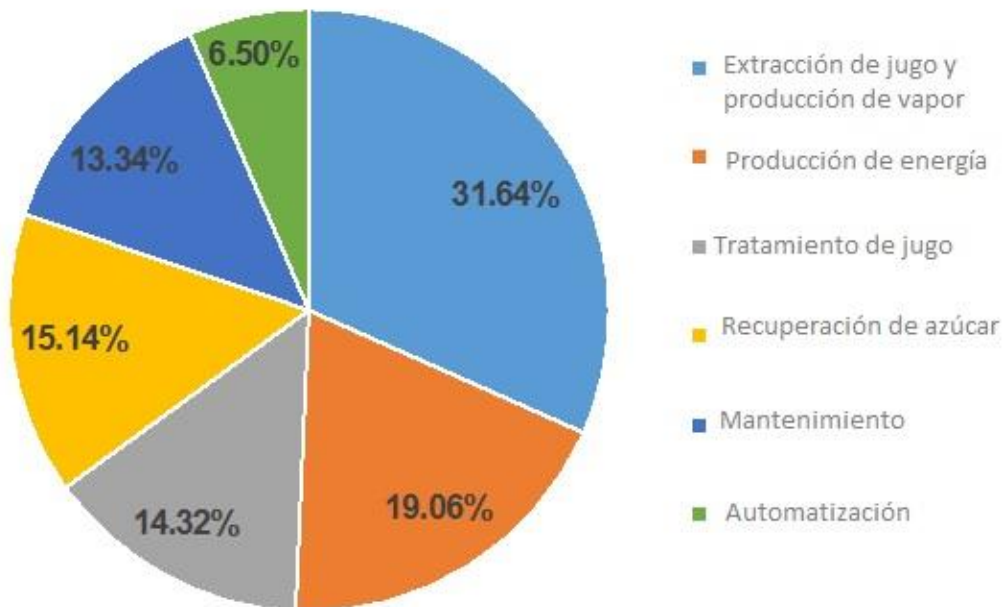
F_t = Pronóstico en el periodo t

A_t = Demanda real del periodo t

V. ANTECEDENTES

Actualmente el Ingenio Pantaleon cuenta con siete áreas de fabricación, las cuales son: Extracción de jugo, producción de vapor, tratamiento de jugo, recuperación de azúcar, mantenimiento, producción de energía y automatización. Para propósito de este megaproyecto se trabajaron todas las áreas, excepto la de Automatización a pedido del mismo ingenio. El área que representa mayor porcentaje de los costos de inventario es extracción de jugo y la menor es automatización, en la Ilustración No.5, se puede observar la distribución de los mismos. Estas distribuciones son para la fecha más reciente con la que se posee datos, la cual es marzo del 2,017.

Figura No.5: Distribución del valor de inventario de las Áreas de Fabricación.



*El inventario del área de producción de vapor esta unificado con el área de extracción de jugo.

La fábrica del Ingenio Pantaleon cuenta con 7927 SKU's, de los cuales 1,272 son utilizados en el área de extracción de jugo y producción de vapor, 481 son utilizados en tratamiento de jugo, 2398 son utilizados en recuperación de azúcar, 2375 en área de producción de energía y 1401 en mantenimiento. Para propósitos de este trabajo es importante establecer que en cada una de las áreas no se pudo analizar la totalidad de los insumos debido a que para ciertos materiales no se poseía información de compra y consumo para determinar su lead time y ser priorizados.

Se asumió que la época de zafra abarca de noviembre a mayo y el resto de meses pertenecen a la época de mantenimiento. Es importante mencionar, que las áreas de extracción de jugo, tratamiento de jugo y recuperación de azúcar son productivas por lo que, dependen del procesamiento de la caña de azúcar, su mayor consumo de insumos se da en la época de zafra. En cambio, el resto de las áreas utilizan los insumos durante todo el año.

De parte del Ingenio Pantaleón, proporcionaron dos bases de datos, las cuales se utilizaron para llevar a analizar y proponer una mejora, en la reducción de costos de inventario del Ingenio Pantaleon. La primera base de datos fue proporcionada directamente por cada una de las áreas y contenía toda la información de solicitudes de insumos. Esta es manejada directamente por el encargado de SAP de cada una de las áreas. La segunda base de datos fue proporcionada por la bodega de la fábrica y contenía toda la información sobre los consumos y compras del Ingenio Pantaleón desde mayo de 2,014 a diciembre del 2,017. Esta fue descargada directamente del sistema SAP. En los anexos se puede consultar más detalladamente la información que contenía las bases de datos utilizadas. Al aplicar la metodología de las 5's a estas bases de datos, se pudo elaborar una matriz de priorización de los insumos por su lead time de todos los insumos de la fábrica. El resultado se encuentra en el Cuadro No. 1 y No. 2. En el anexo No.4 se puede consultar los cálculos de muestra de dicha matriz.

Cuadro No.1 Matriz de priorización de insumos por lead time.

Clasificación de Lead Time del Insumo		
Prioridad	Límite inferior (días)	Límite superior (días)
A	141	264
B	91	140
C	43	90
D	1	42
E	0	0

Se estableció una matriz de priorización de insumo por impacto, en el proceso para todos los insumos de la fábrica del Ingenio Pantaleon, la cual fue validada con las personas encargadas del Ingenio Pantaleon.

Cuadro No.2 Matriz de priorización de insumos por impacto en el proceso de producción.

Clasificación del impacto en el proceso	
Prioridad	Descripción
A	Son aquellos materiales cuya ausencia detiene el proceso de producción.
B	Son aquellos materiales que disminuyen el rendimiento del proceso de producción pero no lo detienen.
C	Son aquellos materiales que cuya ausencia no afectan significativamente el procesos de producción.

VI. METODOLOGÍA

- A. Diagnóstico de las condiciones actuales.
 - 1. Conocer la estructura y recursos del Ingenio Pantaleon. Esta parte del Megaproyecto, consistió en conocer la organización; a qué se dedica, las áreas en las que está dividida, los equipos de trabajo, el sistema informático que poseen, etc.
 - 2. Al tener un conocimiento general de la empresa se pudo definir el alcance de este módulo. Se determinó qué áreas estarían involucradas en el análisis de procesos.
 - 3. Luego de definir el alcance del proyecto, se procedió a realizar el diagnóstico de la situación actual. En esta fase se determinaron los procesos involucrados con el requerimiento, adquisición, almacenamiento y despacho de insumos de las áreas de fabricación del Ingenio Pantaleon.
 - 4. Utilizando diagramas de flujo de actividades se documentaron cada uno de los procesos analizados. También se realizaron entrevistas a los participantes del proceso para tener un conocimiento más profundo sobre el mismo.

- B. Evaluación de los procedimientos actuales y propuestas de mejora.
 - 1. Localizando las buenas prácticas se elaboró un procedimiento estandarizado para la solicitud de insumos desde las áreas de fabricación del Ingenio Pantaleon. Se capacitó al personal y se implementó el procedimiento estandarizado.
 - 2. Con la información recaudada se identificaron las áreas o puntos potenciales de mejora. Se identificaron demoras, documentos innecesarios, operaciones ineficientes y oportunidades de automatización de procedimientos manuales. Se tomaron en cuenta los inconvenientes comunes que indicaron los participantes del proceso.
 - 3. Se elaboraron propuestas de mejora en cada uno de los procesos analizados

- C. Propuesta de un sistema colaborativo de flujo de información
 - 1. Se determinó la información requerida para agilizar, evaluar y controlar el desempeño los procesos. Se establecieron y documentaron los procesos mejorados utilizando diagramas de flujo de actividades, eliminando tiempos de espera, operaciones y documentos innecesarios.

2. Se realizó una propuesta de un sistema colaborativo de flujo de información, documentación y análisis de datos, utilizando el sistema SAP como medio de integración y automatización.
- D. Se clasificaron los insumos mediante la metodología 5'S y se priorizaron según su *lead time*, costo e impacto en el proceso.
1. Clasificación u organización (*Seiri*): Se realizó la extracción de datos históricos de solicitud de insumos del área de producción de energía y el registro histórico de compras y consumos de las áreas de fabricación del Ingenio Pantaleon. Se identificó la información necesaria para llevar a cabo la priorización de los insumos del área de producción de energía según su *lead time* e impacto, y aplicar los distintos modelos de pronóstico de demanda.
 2. Orden (*Seiton*): Se ordenó y clasificó los datos originales de forma que se obtuviera un solo listado general para iniciar el ordenamiento. Se decidió trabajar con una base de datos desde mayo 2014 a diciembre 2016 (zafra 2014 – zafra 2016).
 3. Limpieza (*Seiso*): Se analizó el registro de solicitudes de las áreas de fabricación para identificar y eliminar datos irregulares o anómalos que pudieran afectar el análisis. Se eliminó la información que no se requería o no era útil para evitar que volviera aparecer y poder provocar errores en el análisis.
 4. Estandarización (*Seiketsu*): Se elaboró una hoja de registro estandarizada para el registro de solicitudes de las áreas de fabricación, y se llenó con la información que se contaba con cada una de las áreas de fabricación de manera que fuera fácil y rápido encontrar la información deseada, y permitiera una comparación entre cada una de las áreas.
 5. Disciplina (*Shitsuke*): Se compartió esta hoja de registro con el Ingenio Pantaleon para que puedan estandarizar las hojas de registro de solicitud de insumos en todas las áreas de fabricación.
 6. Priorización según su *lead time* e impacto en el proceso: Para poder priorizarlos por cada una de las variables mencionadas anteriormente se establecieron matrices de priorización para cada una de ellas (ver Anexos, Cuadro No. 17 y 18).
 - a. Matriz de priorización según su *lead time*: Se construyó la matriz con base al mínimo, cuartiles y máximo de los *lead time* de todos los insumos de las áreas de fabricación del Ingenio Pantaleón.
 - b. Matriz de priorización según su impacto en el proceso: Se propuso una matriz, identificando los insumos cuya ausencia detuvieran el proceso, disminuyeran el rendimiento o no afectaran significativamente el mismo. La misma fue validada por los coordinadores de las áreas de fabricación de Ingenio Pantaleon.

- c. Los insumos se clasificaron en tres categorías: impacto alto, medio y bajo. Los insumos que se encuentran dentro de la categoría de alto impacto es debido a que estos son aquellos cuya ausencia detiene el proceso de producción. Los de impacto medio son aquellos que tienen un impacto medio-bajo en el proceso, y además tiene un *lead time* alto-medio. Los de impacto bajo, son aquellos que tienen un impacto medio-bajo en el proceso, y además tiene un *lead time* bajo (Ver Anexos, Cuadro No. 19)
- E. Se determinó la demanda pronosticada de insumos prioritarios según el modelo de series cronológicas y se comparó con otros modelos de pronóstico de demanda para evaluar cuál es el más adecuado para el área de producción de energía. Los métodos de demanda solamente se aplicaron a seis insumos priorizados de la clasificación AB de insumos de alto impacto.
1. Aplicación de modelo de pronóstico de demanda de series cronológicas. Se pronosticó con base en datos históricos de los insumos priorizados.
 - a. Modelo de series cronológicas: Consiste en desglosar los datos históricos en componentes estacionales, estos indican la cantidad de corrección necesaria en una serie cronológica para ajustarse a la estación del año.
 2. Comparación con otros modelos de pronóstico de demanda: correlación y regresión, alisamiento exponencial, series exponenciales, ajuste de media móvil, ajuste de curvas y distribución de frecuencia. (Estos modelos se encuentran en módulos adjuntos)
 - a. Modelo de correlación y regresión: Elaboración de la ecuación de la recta a los datos históricos de los insumos priorizados.
 - b. Modelo de media móvil: Consiste en utilizar un promedio de los n periodos más recientes de datos para pronosticar el siguiente periodo.
 - c. Modelo de suavización exponencial: Se emplea la técnica de pronóstico de promedios móviles ponderados, donde los datos se ponderan mediante una función exponencial.
 - d. Modelo de distribución de frecuencia: Proporciona un valor añadido a la agrupación de datos, presenta las observaciones clasificadas de modo que se pueda ver el número existente de cada insumo en el periodo determinado.
 - e. Modelo de ajuste de curvas: Elaboración de la ecuación polinomial a los datos históricos de los insumos priorizados.
 3. Para elegir el modelo que mejor se ajusta a los insumos priorizados de clasificación AB del área de producción de energía, se utiliza como base la menor desviación absoluta media (MAD), ya

que, al ser un análisis de error, el menor valor indica que tan exacto es el método sobre los insumos aplicados. Ver Sección I del Marco teórico.

- F. Se determinó que al utilizar el modelo de demanda propuesto para el área de producción de energía se logró una reducción de compra y cumplimiento de la demanda de los insumos priorizados a partir de los datos históricos de compra y consumo del área. El resultado de cumplimiento de la demanda se basó en 100% si cumple y 0% no cumple.
- G. Medición y evaluación de las propuestas de mejora.
 - 1. Para evaluar las propuestas de mejora, se establecieron medidas como reducción de inventario, de desempeño de los procesos. Esto con el objetivo de medir el impacto de la propuesta al momento de la implementación, y para promover una evaluación constante de los procesos.
 - 2. Por último, se realizaron recomendaciones para la implementación de un plan de mejora continua y la adquisición de tecnología para facilitar las operaciones.

VII. RESULTADOS

A. ANÁLISIS DE INSUMOS REQUERIDOS POR EL ÁREA DE EXTRACCIÓN DE JUGO

1. Priorización utilizando Metodología 5s

Cuadro No.3 Priorización por impacto en proceso y lead time de artículos en el área de Extracción de jugo y Producción de vapor en existencias en el inventario marzo 2017

Lead time	Impacto			Sub total
Prioridad	A	B	C	
A	0.05%	0.04%	2.96%	3.05%
B	0.21%	0.04%	8.24%	8.50%
C	0.21%	0.04%	7.41%	7.66%
D	0.06%	0.15%	7.23%	7.44%
E	0.08%	38.84%	34.44%	73.36%
Sub total	0.62%	39.11%	60.27%	100%

Cuadro No.4 Distribución de materiales según impacto bajo, medio y alto.

Prioridad	Porcentaje
Alto	0.62 %
Medio	18.73 %
Bajo	80.65 %
Total	100 %

2. Comparación de los métodos de pronóstico de demanda

Cuadro No.5 Análisis de error para modelos de pronósticos para insumos priorizados en área de extracción de jugo y producción de vapor.

Modelos de pronóstico de demanda	Insumo A		Insumo B		Insumo C		Insumo D		Insumo E	
	Pronóstico	MAD (±Rollo)	Pronóstico	MAD (±Unidad)	Pronóstico	MAD (±Litro)	Pronóstico	MAD (±Unidad)	Pronóstico	MAD (±Unidad)
Series Cronológicas	Gráfico no. 42	11.474 37.50%*	Gráfico no. 43	10.736 42.26%	Gráfico no. 44	378.372 42.49%	Gráfico no. 45	1114.895 37.93%	Gráfico no. 46	4.634 74.52%
Correlación y Regresión (Zafra)	Gráfico no. 31	17.914 59.29%	Gráfico no. 33	9.861 46.96%	Gráfico no. 35	281.221 57.46%	Gráfico no. 37	744.105 25.32%	Gráfico no. 39	2.165 80.01%
Correlación y Regresión (Mantenimiento)	Gráfico no. 32	17.696 40.84%	Gráfico no. 34	12.067 39.69%	Gráfico no. 36	836.206 62.17%	Gráfico no. 38	2997.480 61.51%	Gráfico no. 40	7.696 75.45%
Suavizamiento Exponencial	Gráfico no. 48	14.977 48.95%	Gráfico no. 49	12.853 50.59%	Gráfico no. 50	416.008 46.72%	Gráfico no. 51	1577.930 53.68%	Gráfico no. 52	7.550 121.41%
Media Móvil (n=3)	Gráfico no. 25	21.506 70.30%	Gráfico no. 26	13.839 54.47%	Gráfico no. 27	798.508 86.67%	Gráfico no. 28	2875.000 97.81%	Gráfico no. 29	6.000 96.48%
Distribución de Frecuencias (Zafra)	Gráfico no. 10	16.118 83.28%	Gráfico no. 13	9.412 44.82%	Gráfico no. 16	367.059 75.00%	Gráfico no. 19	1029.000 83.45%	Gráfico no. 22	2.176 80.42%
Distribución de Frecuencias (Mantenimiento)	Gráfico no. 11	16.600 38.31%	Gráfico no. 14	10.933 35.96%	Gráfico no. 17	942.913 70.10%	Gráfico no. 20	2990.333 61.36%	Gráfico no. 23	7.800 76.47%
Ajuste de curvas (Zafra)	Gráfico no. 54	14.981 77.41%	Gráfico no. 56	9.729 46.33%	Gráfico no. 58	220.552 45.06%	Gráfico no. 60	706.180 57.27%	Gráfico no. 62	2.108 77.90%
Ajuste de curvas (Mantenimiento)	Gráfico no. 55	18.400 42.46%	Gráfico no. 57	13.894 45.70%	Gráfico no. 59	653.447 48.58%	Gráfico no. 61	2127.089 43.46%	Gráfico no. 63	7.651 75.01%

*Los porcentajes en negrillas representan el MAD obtenido con base al promedio de la demanda real.

3. Reducción en la compra de insumos

Cuadro No.6 Porcentaje de reducción de compra de los insumos priorizados y cumplimiento de la demanda en el periodo de mayo del 2,014 a diciembre del 2,016 con el modelo de descomposición de series cronológicas.

Material	Unidad	Compra real	Compra pronosticada	Reducción de la compra (%)
A	Rollo	975	903	7.34
B	Unidad	966	771	20.16
C	Litro	27,664	25,367	8.30
D	Unidad	97,361	82,580	15.18
E	Unidad	199	180	9.54

Cuadro No.7 Demanda real total, demanda pronosticada total y porcentaje de cumplimiento de la demanda en el periodo de mayo del 2,014 a diciembre del 2,016 con el modelo de descomposición de series cronológicas.

Material	Unidad	Demanda real	Compra pronosticada	Cumplimiento de demanda(%)*
A	Rollo	898	903	100.6
B	Unidad	770	771	100.16
C	Litro	25,584	25,367	99.15
D	Unidad	82,240	82,580	100.41
E	Unidad	180	180	100.0

*Los valores superiores a 100%, significa que tienen un ligero excedente con la demanda. Este valor se obtiene al dividir la compra pronosticada por la demanda real

B. ANÁLISIS DE INSUMOS REQUERIDOS POR EL ÁREA DE TRATAMIENTO DE JUGO

1. Priorización utilizando metodología 5'S

*Para consultar los resultados de la metodología 5'S consultar los antecedentes y metodología de este trabajo.

Cuadro No. 8 Matriz de priorización de SKU's según su lead time e impacto en el proceso analizados del periodo 2015-2016 del área de tratamiento de jugo.

SKU's : 471 de 481					
Prioridad		Impacto			
		A	B	C	Sub total
Lead Time	A	0.00%	0.00%	3.40%	3.40%
	B	0.00%	0.42%	19.53%	19.96%
	C	0.00%	0.21%	15.92%	16.14%
	D	3.40%	9.13%	45.22%	57.75%
	E	0.21%	0.00%	2.55%	2.76%
	Sub Total	3.61%	9.77%	86.62%	100.00%

Cuadro No.9 Clasificación de los SKU's analizados del periodo 2015-2016 del área de tratamiento de jugo y el porcentaje del costo del inventario total del área de tratamiento de jugo que representa.

Impacto	Porcentaje de SKU's (%)	Porcentaje de Costo de Inventario del Área (%)
Alta	3.61	54.70
Medio	39.49	1.37
Baja	56.90	43.93
Total	100	100

2. Comparación de modelos de pronóstico de demanda con análisis de error

Cuadro No. 10 Pronósticos de demanda y desviación media absoluta de los insumos priorizados analizados en el periodo de mayo 2014 a diciembre del 2016 con el modelo de pronóstico de media móvil y otros modelos.

Modelos de pronóstico de demanda	Material A (kg)		Material B (kg)		Material C (kg)		Material D (L)		Material E (L)	
	Pronóstico	MAD (± unidades)	Pronóstico	MAD (± unidades)	Pronóstico	MAD (± unidades)	Pronóstico	MAD (± unidades)	Pronóstico	MAD (± unidades)
Media móvil (n=3)	Gráfica No. 11	12,025.00 32.72%*	Gráfica No. 17	32,499.00 35.99%*	Gráfica No. 23	598 78.24%*	Gráfica No. 29	1,579.00 103.63%*	Gráfica No. 35	40,960.00 53.74%*
Descomposición de series cronológicas	Gráfica No. 12	2,546.00 6.93%*	Gráfica No. 18	5,611.00 6.15%*	Gráfica No. 24	169 22.11%*	Gráfica No. 30	411 26.97%*	Gráfica No. 36	8,400.00 11.02%*
Suavizamiento exponencial	Gráfica No. 13	5,657.00 15.39%*	Gráfica No. 19	8,892.00 9.85%*	Gráfica No. 25	405 52.99%*	Gráfica No. 31	752 49.36%*	Gráfica No. 37	20,160.00 26.45%*
Correlación y regresión lineal	Gráfica No. 14	4,720.00 12.84%*	Gráfica No. 20	7,403.00 8.20%*	Gráfica No. 26	764 99.96%*	Gráfica No. 32	635 41.68%*	Gráfica No. 38	13,093.00 17.18%*
Ajuste de curvas	Gráfica No. 15	5,261.00 14.32%*	Gráfica No. 21	10,382.00 11.50%*	Gráfica No. 27	238 31.14%*	Gráfica No. 33	560 36.75%*	Gráfica No. 39	14,661.00 19.24%*
Distribución de frecuencias	Gráfica No. 16	9,153.00 24.91%*	Gráfica No. 22	26,802.00 29.68%*	Gráfica No. 28	476 62.28%*	Gráfica No. 34	1,219.00 80.01%*	Gráfica No. 40	37,240.00 48.86%*

*Es el porcentaje que representa el MAD obtenido con base a la demanda real promedio.

Cuadro No. 11 Porcentaje de reducción de compra de los insumos priorizados y cumplimiento de la demanda en el periodo de mayo del 2,014 a diciembre del 2,016 con el modelo de descomposición de series cronológicas.

Material	Unidad del material	Compra real (unidades)	Compra pronosticada (unidades)	Reducción de la compra del material(%)
A	Kg	664,015	644,564	2.93
B	Kg	1,547,250	1,550,960	-0.24
C	Kg	14,250	13,054	8.39
D	L	27,722	26,127	5.75
E	L	1,305,738	1,310,082	-0.33

Cuadro No. 12 Demanda real total, demanda pronosticada total y porcentaje de cumplimiento de la demanda en el periodo de mayo del 2,014 a diciembre del 2,016 con el modelo de descomposición de series cronológicas.

Material	Unidad del material	Demanda real (unidades)	Demanda pronosticada (unidades)	Cumplimiento de demanda del material (%)
A	Kg	649,820	644,564	99.19
B	Kg	1,535,010	1,550,960	101.04
C	Kg	12,993	13,054	100.47
D	L	25,902	26,127	100.87
E	L	1,295,632	1,310,082	101.12

C. ANÁLISIS DE INSUMOS REQUERIDOS POR EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

1. Priorización utilizando metodología 5'S

Cuadro No.13. Priorización por impacto en proceso y *lead time* de artículos en el área de producción de energía

SKU's: 2228 de 2375				
Lead time	Impacto			Sub total
Prioridad	A	B	C	
A	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %
B	0.25 %	0.08 %	1.35 %	1.69 %
C	0.55 %	3.63 %	7.88 %	12.06 %
D	3.33 %	23.36 %	56.03 %	82.72 %
E	0.21 %	0.46 %	2.87 %	3.54 %
Sub total	4.34 %	27.53 %	68.13 %	100.00 %

Nota: Los porcentajes de la matriz de priorización se calcularon utilizando 2375 SKU's.

Cuadro No. 14 Distribución de materiales según impacto bajo, medio y alto en el área de producción de energía

Prioridad	SKU's	Porcentaje de SKU's
Alto	166	7.00 %
Medio	285	12.00 %
Bajo	1924	81.00 %
Total	2375	100.00 %

Nota: La priorización de categoría se hizo utilizando las matrices de prioridad por *lead time* e impacto en el proceso.

2. Comparación de modelos de pronóstico de demanda con análisis de error

Cuadro No. 15 Análisis de error para modelos de pronósticos para insumos priorizados en área de producción de energía

Modelos de pronóstico de demanda	Insumo A		Insumo B		Insumo C		Insumo D		Insumo E		Insumo F	
	Pronóstico	MAD (\pm UND)	Pronóstico	MAD (\pm UND)	Pronóstico	MAD (\pm UND)	Pronóstico	MAD (\pm UND)	Pronóstico	MAD (\pm UND)	Pronóstico	MAD (\pm L)
Series cronológicas	Gráfica No. 14	0.12 4.00%*	Gráfica No. 15	0.12 4.00%*	Gráfica No. 16	0.16 4.00%*	Gráfica No. 17	0.17 4.00%*	Gráfica No. 18	0.11 3.00%*	Gráfica No. 19	1138.12 1.76%*
Correlación y regresión	Cuadro No. 9	0.16 5.33%*	Cuadro No. 9	0.16 5.33%*	Cuadro No. 9	0.21 5.25%*	Cuadro No. 9	0.21 5.25%*	Cuadro No. 9	0.22 5.50%*	Cuadro No. 9	1651.32 2.55%*
Suavización exponencial	Gráfica No. 20	0.17 5.66%*	Gráfica No. 21	0.17 5.66%*	Gráfica No. 22	0.25 6.25%*	Gráfica No. 23	0.24 6.00%*	Gráfica No. 24	0.18 4.50%*	Gráfica No. 25	2773.19 4.28%*
Media móvil (n=3)	Gráfica No. 8	0.21 7.00%*	Gráfica No. 9	0.21 7.00%*	Gráfica No. 10	0.25 6.25%*	Gráfica No. 11	0.28 7.00%*	Gráfica No. 12	0.28 7.00%*	Gráfica No. 13	1869.43 2.89%*
Media móvil (n=6)	Gráfica No. 8	0.19 6.33%*	Gráfica No. 9	0.17 5.66%*	Gráfica No. 10	0.22 5.50%*	Gráfica No. 11	0.25 6.25%*	Gráfica No. 12	0.20 5.00%*	Gráfica No. 13	1739.53 2.69%*
Media móvil (n=12)	Gráfica No. 8	0.18 6.00%*	Gráfica No. 9	0.17 5.66%*	Gráfica No. 10	0.26 6.50%*	Gráfica No. 11	0.26 6.50%*	Gráfica No. 12	0.18 4.50%*	Gráfica No. 13	2067.78 3.20%*
Ajuste de curvas	Cuadro No. 12	0.29 9.66%*	Cuadro No. 12	0.29 9.66%*	Cuadro No. 12	0.33 8.25%*	Cuadro No. 12	0.34 8.50%*	Cuadro No. 12	0.41 10.25%*	Cuadro No. 12	2229.77 3.45%*
Distribución de frecuencias	Cuadro No. 11	0.84 28.00%*	Cuadro No. 11	0.84 28.00%*	Cuadro No. 11	0.81 20.25%*	Cuadro No. 11	0.81 20.25%*	Cuadro No. 11	0.87 21.75%*	Cuadro No. 11	1876.92 2.90%*

*es el porcentaje que representa el MAD obtenido sobre la demanda real promedio.

3. Análisis de porcentaje de costos

Cuadro No. 16 Porcentajes de reducción y cumplimiento de demanda para insumos priorizados para área de producción de energía

Insumo	Unidad de medida	Compra real	Compra pronosticada	Reducción (%)	Cumplimiento de demanda (%)
A	Unidad	3	2.25	25 %	100 %
B	Unidad	3	2.25	25 %	100 %
C	Unidad	4	4	0%	100 %
D	Unidad	4	3.98	0.33 %	100 %
E	Unidad	4	3.98	0.33 %	100 %
F	Litros	64645.94	53009.67	18 %	100 %

Nota: El cumplimiento de la demanda se basa en 100% si cumple y 0% no cumple.

D. ANÁLISIS DE INSUMOS REQUERIDOS POR EL ÁREA DE RECUPERACIÓN AZÚCAR

1. Priorización utilizando metodología 5'S

Cuadro No.17 Priorización por impacto en proceso y *lead time* de artículos en el área de recuperación de azúcar

Lead time	Impacto			Sub total
	A	B	C	
A	2.99%	2.39%	14.93%	20.31%
B	0.60%	0.00%	1.48%	2.08%
C	1.19%	0.00%	4.18%	5.37%
D	2.09%	2.09%	68.06%	72.24%
E	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Sub total	6.87%	4.48%	88.65%	100%

Cuadro No. 18 Distribución de materiales según su criticidad bajo, medio y alto.

Prioridad	Porcentaje
Alto	6.87%
Medio	22.98 %
Bajo	70.15%
Total	100%

2. Comparación de modelos de pronóstico de demanda con análisis de error

Cuadro No. 19 Análisis de error para modelos de pronósticos para insumos químicos priorizados en área de recuperación de sacarosa

Modelos de pronóstico de demanda	Insumo A		Insumo B		Insumo C		Insumo D	
	Pronóstico	MAD	Pronóstico	MAD	Pronóstico	MAD	Pronóstico	MAD
Series cronológicas	Gráfica No. 21	435.9	Gráfica No.22	13849.63	Gráfica No. 23	32.81	Gráfica No. 26	228.15
Correlación y regresión (tiempo)	Gráfica No. 31	2736.5	Gráfica No. 32	372104.62	Gráfica No. 33	96.71	Gráfica No. 36	1094.56
Correlación y regresión (casual)	Cuadro No. 41	540.6	Cuadro No. 42	64692.97	Gráfica No. 31	35.36	Gráfica No. 46	298
Suavizamiento exponencial	Gráfica No. 11	522.26	Cuadro No. 12	81519.76	Cuadro No. 10	64.78	Gráfica No. 16	306.42
Media móvil (n=3)	Gráfica No. 1	2220.41	Gráfica No. 2	312143.3	Gráfica No. 31	81.33	Gráfica No. 6	915.53
Media móvil (n=6)	Gráfica No. 1	3772.64	Gráfica No. 2	497027.92	Gráfica No. 3	124.67	Gráfica No. 6	1492.83
Media móvil (n=12)	Gráfica No. 1	2778.55	Gráfica No. 2	376360.02	Gráfica No. 3	111.25	Gráfica No. 6	1072.02
Ajuste de curvas (tiempo)	Gráfica No. 51	2670.77	Gráfica No. 52	365607.89	Gráfica No. 12	93.83	Gráfica No. 56	1036.94
Ajuste de curvas (casual)	Gráfica No. 61	631.28	Gráfica No. 62	84242.4	Gráfica No. 13	29.94	Gráfica No. 66	244.57
Distribución de frecuencias	Gráfica No. 71 Gráfica No. 72	1256.98	Gráfica No. 73 Gráfica No. 74	195120.17	Gráfica No. 75 Gráfica No. 76	81.69	Gráfica No. 81 Gráfica No. 82	765.14

Cuadro No. 20. Análisis de error para modelos de pronóstico para materiales de empaque priorizados en área de recuperación de sacarosa.

Modelos de pronóstico de demanda	Insumo E		Insumo F		Insumo G		Insumo H		Insumo I		Insumo J	
	Pronóstico	MAD	Pronóstico	MAD	Pronóstico	MAD	Pronóstico	MAD	Pronóstico	MAD	Pronóstico	MAD
Series cronológicas	Gráfica No. 24	25.8	Gráfica No.25	2.88	Gráfica No. 27	194.63	Gráfica No. 28	576.68	Gráfica No. 29	82.62	Gráfica No. 30	0.397
Correlación y regresión (tiempo)	Gráfica No. 34	39.84	Gráfica No. 35	4.18	Gráfica No. 37	498.43	Gráfica No. 38	682.72	Gráfica No. 39	137.38	Gráfica No. 40	0.729
Correlación y regresión (casual)	Cuadro No. 44	17.04	Cuadro No. 45	5.36	Gráfica No. 47	445.88	Gráfica No. 48	667.92	Gráfica No. 49	123.50	Gráfica No. 50	125.5
Suavizamiento exponencial	Gráfica No. 14	23.77	Cuadro No. 15	9.17	Cuadro No. 17	243.72	Gráfica No. 18	1059.78	Gráfica No. 19	124.88	Gráfica No. 20	0.942
Media móvil (n=3)	Gráfica No. 4	31.93	Gráfica No. 5	3.45	Gráfica No. 7	226.49	Gráfica No. 8	765.06	Gráfica No. 9	127.01	Gráfica No. 10	0.624
Media móvil (n=6)	Gráfica No. 4	49.55	Gráfica No. 5	3.40	Gráfica No. 7	216.51	Gráfica No. 8	826.06	Gráfica No. 9	147.47	Gráfica No. 10	0.696
Media móvil (n=12)	Gráfica No. 4	33.91	Gráfica No. 5	4.83	Gráfica No. 7	107.66	Gráfica No. 8	846.13	Gráfica No. 9	112.17	Gráfica No. 10	0.908
Ajuste de curvas (tiempo)	Gráfica No. 54	39.52	Gráfica No. 55	3.33	Gráfica No. 57	493.89	Gráfica No. 58	633.29	Gráfica No. 59	135.21	Gráfica No. 60	0.616
Ajuste de curvas (casual)	Gráfica No. 64	18.88	Gráfica No. 65	5.36	Gráfica No. 67	481.45	Gráfica No. 68	593.74	Gráfica No. 69	126.65	Gráfica No. 70	0.791
Distribución de frecuencias	Gráfica No. 77 Gráfica No. 78	32.77	Gráfica No. 79 Gráfica No. 80	6.23	Gráfica No. 83 Gráfica No. 84	768.50	Gráfica No. 85 Gráfica No. 86	773.28	Gráfica No. 87 Gráfica No. 88	773.28	Gráfica No. 89 Gráfica No. 90	1.044

E. ANÁLISIS DE INSUMOS REQUERIDOS POR EL ÁREA DE MANTENIMIENTO

Cuadro No. 21. Resultado de priorización por lead time e impacto en el proceso luego de aplicar la metodología de las 5'S a base de datos en el área de mantenimiento.

Insumo	Lead time (días)	Impacto en proceso	Descripción	Prioridad total
A	214	Proceso alcalinización	Pieza utilizada para poder hacer funcionar bomba dentro de proceso de alcalinización	AA
B	164	Mantenimiento y limpieza	Equipo necesario para hacer un mantenimiento a maquinarias.	AA
C	101	Proceso alcalinización	Pieza utilizada para poder hacer funcionar bomba dentro de proceso de alcalinización	AB
D	167	Proceso filtración y clarificación	Pieza utilizada para poder hacer funcionar bomba dentro de proceso de clarificación	BA
E	164	Mantenimiento y limpieza	Equipo necesario para hacer un mantenimiento a maquinarias.	BA

Cuadro No. 22 Priorización por impacto en proceso y lead time de artículos en el área de mantenimiento

Ítems únicos: 1401				
Lead time	Impacto			Sub total
Prioridad	A	B	C	
A	0.14%	0.86%	2.36%	3.35%
B	0.29%	2.00%	4.35%	6.64%
C	1.14%	3.93%	14.42%	19.49%
D	0.07%	6.28%	52.18%	58.53%
E	0.29%	2.00%	9.71%	11.99%
Sub total	1.93%	15.06%	83.01%	100%

*Los porcentajes representan la cantidad de insumos que hay por cada categoría según impacto y lead time. Además se encuentran clasificados por color según su criticidad (rojo: alto, amarillo: media y verde: baja)

Cuadro No. 23 Distribución de materiales según impacto bajo, medio y alto.

Prioridad	Porcentaje de ítems	Porcentaje de costo del inventario de área
Alto	1.93 %	29.22%
Medio	27.91 %	35.19%
Bajo	70.16 %	35.59%
Total	100 %	100%

Cuadro No. 24 Análisis de error para modelos de pronósticos para insumos priorizados en área de mantenimiento.

Modelos de pronóstico de demanda	Insumo A		Insumo B		Insumo C		Insumo D		Insumo E	
	Pronóstico	MAD	Pronóstico	MAD	Pronóstico	MAD	Pronóstico	MAD	Pronóstico	MAD
Series cronológicas	Gráfica No. 6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Correlación y regresión por toneladas de caña molida mensual	Cuadro No. 9	0.23 15.33%*	Cuadro No. 9	0.90 13.64%*	N/A	N/A	Cuadro No.9	0.21 16.33%*	Cuadro No.9	0.44 9.26%*
Correlación y regresión por toneladas de caña molida anual	Cuadro No. 8	0.36 24.00%*	Cuadro No. 8	1.81 27.42%*	N/A	N/A	Cuadro No. 8	0.24 18.67%*	Cuadro No. 8	0.95 20.00%*
Correlación y regresión por tiempo mensual	Cuadro No. 10	0.12 8.00%*	Cuadro No. 10	2.55 38.64%	Cuadro No. 10	0.63 31.50%*	Cuadro No. 10	0.61 47.44%*	Cuadro No. 10	1.61 33.89%*
Correlación y regresión por tiempo anual	Cuadro No. 11	0.83 55.33%*	Cuadro No. 11	9 136.36%*	N/A	N/A	Cuadro No. 11	1.89 147.00%*	Cuadro No. 11	4.83 101.68%*
Suavizamiento exponencial	Gráfica No. 7	0.10 6.67%*	Gráfica No. 8	2.18 33.03%*	Gráfica No. 9	0.33 16.50%*	Gráfica No. 10	0.48 37.33%*	Gráfica No. 11	1.05 22.11%*
Media móvil (n=3)	Gráfica No. 1	0.21 13.79%*	Gráfica No. 2	2.28 34.48%*	Gráfica No. 3	0.32 16.09%*	Gráfica No. 4	0.53 41.12%*	Gráfica No. 5	1.31 27.59%*
Media móvil (n=6)	Gráfica No. 1	0.22 14.96%*	Gráfica No. 2	1.79 27.10%*	Gráfica No. 3	0.31 15.38%*	Gráfica No. 4	0.43 33.40%*	Gráfica No. 5	0.97 20.38%*
Media móvil (n=12)	Gráfica No. 1	0.14 9.17%*	Gráfica No. 2	1.85 28.03%*	Gráfica No. 3	0.35 17.50%*	Gráfica No. 4	0.44 34.35%*	Gráfica No. 5	0.97 20.44%*
Ajuste de curvas por caña molida	Gráfica No. 12	0.24 16.00%*	Gráfica No. 12	0.96 14.55%*	Gráfica No. 12	-	Gráfica No. 12	0.21 16.33%*	Gráfica No. 12	0.46 9.68%*
Ajuste de curvas por tiempo	Gráfica No. 13	0.17 11.33%*	Gráfica No. 13	2.54 38.48%*	Gráfica No. 13	0.61 30.50%*	Gráfica No. 13	0.59 45.89%*	Gráfica No. 13	1.61 33.89%*
Distribución de frecuencias	Cuadro No. 12	0.88 58.67%*	Cuadro No. 12	1.18 17.88%*	Cuadro No. 10	0.88 44.00%*	Cuadro No. 12	0.76 59.11%*	Cuadro No. 12	1 21.05%*

*Es el porcentaje que representa el MAD obtenido a partir de la demanda real promedio. El método en color es el que mejores resultados generó.

Cuadro No. 25 Resultados para la reducción en la demanda luego de aplicar el modelo de suavizamiento exponencial a insumos críticos de mantenimiento.

Material	Unidad de material	Demanda real	Demanda pronosticada
A	Unidad	1	0.8
B	Unidad	12	11.4
C	Unidad	2	2
D	Unidad	1	4.2
E	Unidad	3	8.4

Cuadro No. 26 Porcentajes de reducción y cumplimiento de demanda para insumos priorizados para área de mantenimiento utilizando el modelo de suavizamiento exponencial.

Insumo	Reducción (%)	Cumplimiento de demanda (%)
A	0.20	80%
B	0.05	95%
C	0.00	100%
D	-3.20*	420%
E	-1.80*	280%

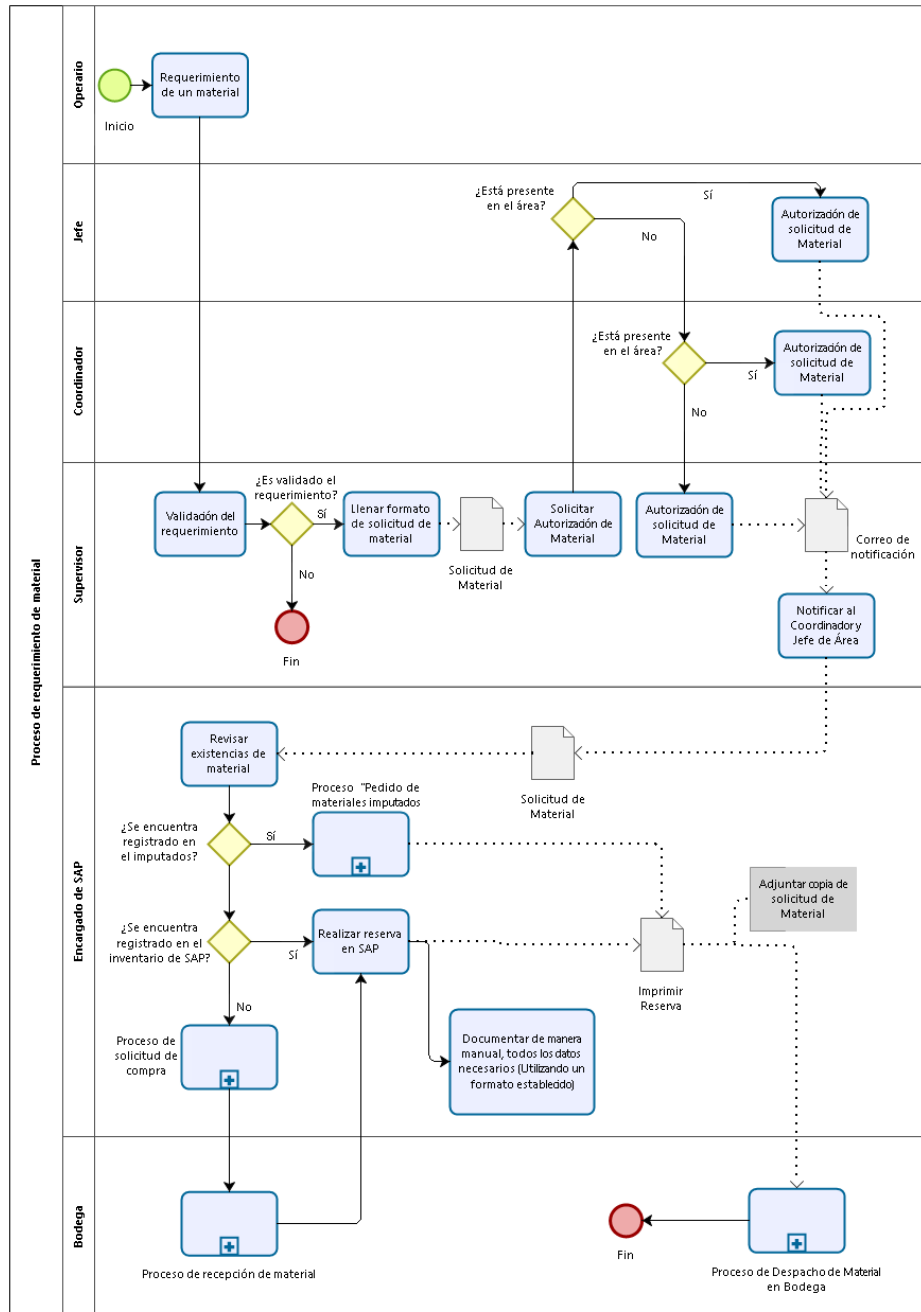
*Un porcentaje de reducción negativo significa que hubo un aumento de la demanda, en vez de una reducción.

F. SISTEMA DE FLUJO DE INFORMACIÓN

1. Procedimiento estándar para solicitud de insumos

Figura No.6 Diagrama de procedimiento estándar presentado en las áreas de fabricación

*Diagramas de pasos generales y diagramas realizados por cada área de fabricación en Anexos 3 y 4.



2. Propuesta de mejora en el procedimiento de solicitud de insumos

Cuadro No. 27 Resumen de las propuestas de mejora en el procedimiento de solicitud de insumos

Resumen de las propuestas de mejora en el procedimiento de solicitud de insumos	
Propuesta de mejora	Descripción
Eliminar la segunda verificación de existencias fuera de SAP (Base de datos fuera de SAP de insumos comprados para proyectos)	Ingresarán al inventario en una categoría con el nombre del proyecto, y se cargarán como gasto hasta el momento en que se utilicen. Cuando el proyecto haya finalizado, los insumos podrán ser utilizados por cualquier área que lo solicite, y únicamente se tendrán que verificar existencias en SAP.
Eliminación de reserva impresa para autorización	Realizar autorización por medio del sistema SAP Business One. Actualmente ya se utiliza para autorizaciones de compra.
Eliminación de traslado de reserva impresa	Utilizar la herramienta de alerta de SAP para indicar en la bodega que ya ha sido autorizada la reserva. No será necesario que el operario traslade la reserva impresa para que inicie el proceso de preparación de pedido.

**Diagrama de propuesta en Anexo 5, páginas 224-227*

3. Clasificación de los insumos

Cuadro No. 28. Clasificación de insumos por impacto en el proceso

Clasificación de insumos para la realización de pronósticos según el impacto en el proceso	
Clasificación	Descripción
A	Insumos con alto impacto. Faltantes de este insumo provocan un paro la producción, normalmente se planifica una compra con tiempo de anticipación.
B	Insumos con impacto medio. Las faltas de estos insumos no detienen la producción, pero son importantes para operar sin problemas.
C	Insumos de impacto bajo. Son todos aquellos insumos consumibles. Por ejemplo, tornillos y productos de limpieza.

4. Propuesta de aplicación de metodologías de compras

Cuadro No. 29 Propuesta de metodologías de compra para cada tipo de insumo

Propuesta de metodologías de compra para reducir el precio		
Clasificación del Insumo	Metodologías de compra	Ahorro porcentual esperado
A	Licitación o subasta inversa	15%
B	Consignación	30%
C	Consignación	40%

*Diagrama de proceso de compras en **Anexo 6, página 228**

*El ahorro esperado para insumos A fue establecido utilizando como referencia la reducción obtenida por licitaciones realizadas por EEGSA del 2014 al 2016.

*El ahorro esperado para los insumos B y C fueron establecidos utilizando el estimado de insumos excedentes durante el último año. La información fue proporcionada durante entrevistas al gerente de bodega.

5. Propuestas de mejora en los procesos de recepción y despacho de insumos

Cuadro No. 30 Propuestas de mejora en los procesos de recepción y despacho de insumos

Resumen de las propuestas de mejora de los procesos de recepción y despacho de insumos	
Propuesta de mejora	Descripción
Eliminación de tiempos de espera	Utilizar la herramienta de alerta de SAP Business One para notificar en el momento que ha sido autorizada una reserva de insumos. Evita esperar el traslado físico de la reserva y agiliza el proceso de despacho.
Notificación en el momento que ingresa un pedido al área que lo solicitó	Utilizar la herramienta de alertas de SAP Business One para agilizar el proceso de reserva, y utilizar el insumo lo antes posible

*Diagrama de procesos actuales y propuestas en **Anexo 7, página 229**

Cuadro No. 31 Medición del impacto teórico de la propuesta de mejora en los procesos de despacho de insumos

Impacto teórico de las mejoras en el tiempo de despacho de insumos		
Actividad	Tiempo aproximado actual (min)	Tiempo teórico de la propuesta (min)
Traslado del operario a bodega después de autorizada la reserva	15	15
Espera del operario para el despacho de insumos	20	5
TOTAL	35	20
REDUCCIÓN PORCENTUAL		43%

*Datos proporcionados durante las entrevistas realizadas a las áreas

6. Indicadores de desempeño de las propuestas en los procesos analizados

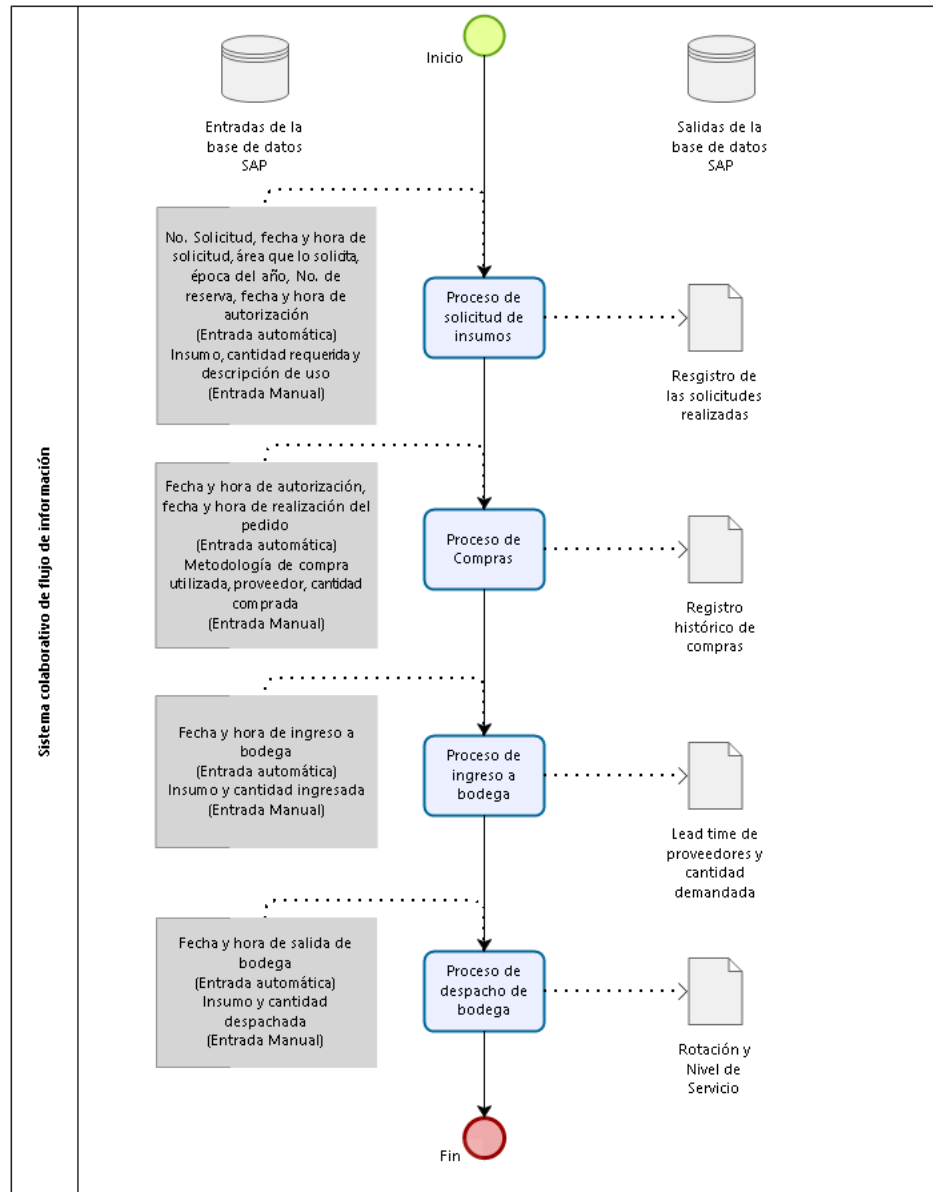
Cuadro No. 32 Propuesta de indicadores de desempeño de los procesos

Indicadores de desempeño de los procesos analizados	
Proceso	Indicadores
Solicitud de insumos	1. Tiempo desde la realización de una reserva hasta la autorización del jefe de área. 2. Tiempo desde la realización de una solicitud de compra hasta la autorización de compra.
Compras	3. Tiempo desde que se autoriza la compra hasta que se realiza el pedido. 4. Reducción del costo entre adquisiciones de insumos.
Bodega	5. Tiempo desde que se autoriza una reserva hasta que se despacha el pedido. 6. Nivel de Servicio de bodega hacia fábrica para los insumos de alto impacto en la producción

$$\text{Nivel de servicio} = \frac{\text{Reservas realizadas} - \text{Solicitudes de compra desde áreas de fabricación}}{\text{Reservas realizadas}}$$

7. Propuesta de un sistema colaborativo de flujo de información

Figura No.7 Diagrama de propuesta de un sistema colaborativo de flujo de información



*Detalles de la información requerida en Anexo 2, página 221

VIII. DISCUSIÓN

A. ANÁLISIS DE INSUMOS REQUERIDOS POR EL ÁREA DE EXTRACCIÓN DE JUGO

El objetivo general del megaproyecto fue realizar un análisis y propuesta de mejora para la reducción de costos del manejo de inventario de áreas de fabricación del Ingenio Pantaleon. El proceso de fabricación del Ingenio Pantaleon se distribuye en siete áreas distintas, dentro de las cuales se encuentra el área de extracción de jugo y producción de vapor. El objetivo general del módulo “Aplicar la metodología 5’s y el modelo de distribución de frecuencias para generar una propuesta de reducción de inventario en el área de extracción de jugo y producción de vapor del Ingenio Pantaleon”, consistió en priorizar los insumos del área con base a su impacto en el proceso y lead time. También se buscaba determinar el modelo de pronóstico de demanda de items de alto impacto, que presentara la menor desviación media absoluta para el área y con ello comparar el costo de inventario actual del área de Extracción y producción de vapor contra el propuesto, para validar la reducción del costo de inventario.

El primer paso, fue entonces obtener los datos de todas las solicitudes realizadas por el área comprendidas entre los años 2015 y 2016. Se consideraron solo estos dos años, debido a que todas las áreas de fabricación contenían solicitudes completas en este período. Los datos obtenidos se encuentran separados en diferentes archivos de Excel según la época que se está trabajando: Zafra o mantenimiento.

De las primeras impresiones que se puede notar de estos archivos de Excel, compartidas por el encargado de SAP del área de Extracción de Jugo y Producción de vapor, es que muchos de los datos se encuentran incompletos, algunas hojas tienen sus costos en dólares y otras tienen costos en quetzales. Esto dificultó su análisis para la categorización de los insumos, sin embargo, se logró completar parte de la información con documentos de otras áreas.

Previo a comenzar a utilizar los datos para la generación de un pronóstico de demanda, fue necesario realizar un barrido de los mismos, así como una clasificación y ordenamiento. Para ello se siguió con la metodología 5’S. De esta manera se descartaron los datos innecesarios y se obtuvo una hoja de cálculo estandarizada entre todas las áreas que facilitó su comparación entre las mismas.

La priorización de los insumos, se realizó por dos criterios, por impacto en el proceso y por su valor de “Lead Time” (Resultados, Cuadro No. 1 y No. 2) Un gran porcentaje de los artículos analizados no tenían fechas de solicitud ni de ingreso de los materiales por lo que, no se logró calcular su valor de Lead Time.

Al realizar la clasificación de insumos por prioridad, se evidenció la falta de información en muchos de los materiales, esto es una oportunidad de mejora, que se puede implementar en el área de Extracción de jugo y producción de vapor.

El resumen del impacto en costo del inventario actual, según la clasificación por priorización de los insumos se presenta en el Cuadro No. 4. En dicho cuadro, se puede observar, que la mayor cantidad del costo se ve concentrado en los insumos de impacto medio-bajo, esto se debe a que hay un mayor consumo y por lo tanto mayor rotación de este tipo de materiales. Una cantidad considerable de datos era catalogados como insumos tipo E, esto quiere decir que tenían un lead time igual a cero, o que no se contaba con el valor de lead time para dicho insumo.

Los insumos catalogados como A, en el área de extracción de jugo y producción de vapor fueron los también los SKU más caros. Esto se debe, a la naturaleza del área de extracción de jugo; es una de las más grandes del ingenio Pantaleon, y requiere de grandes equipos, como los molinos, para obtener jugo de la caña. Es un área donde hay menos procesos químicos que mecánicos, y por lo tanto hay mucho desgaste físico entre las partes de los equipos. En la Cuadro no. 4 se evidencia, que a pesar de ser los insumos con mayor costo, no representan un mayor porcentaje de costo en el inventario.

Las mazas de los molinos, son un ejemplo de estos insumos críticos, ya que son esenciales para continuar con el proceso y tienen un elevado costo. Las mazas al estar sometidas a tanta presión física sufren mucho desgaste por temas de fricción con las otras mazas, se da abrasión y corrosión en algunos casos, ya que está en contacto constantemente con caña húmeda. Por lo tanto, es normal tener que usar mazas nuevas cada cierto tiempo. Es necesario tener un repuesto de cada maza en la bodega debido a que poseen altos Lead time y de no tenerla pueden detener el proceso de molienda.

Así como las mazas, también existen artículos como chumaceras, ejes, algunos cojinetes, un secador de tamiz rotativo que son categoría A en impacto, pero que no son solicitadas con frecuencia. Todos los artículos priorizados como A en el área de extracción de jugo y producción de vapor, no se han solicitado más de cinco veces a lo largo del período, y la baja frecuencia de solicitud no permite que se realice un análisis de pronóstico de demanda, ya que las solicitudes son atípicas y no siguen ninguna tendencia.

Para estos datos de alto impacto y baja rotación, se recomienda que se tenga un estricto control en la bodega, ya que se debe de asegurar que estos materiales se mantengan siempre en bodega.

Se procedió a analizar en cambio los insumos categoría B que tenga más rotación en la bodega, y así facilitar el análisis de los mismos en los diferentes modelos de pronóstico de la demanda. Al ser los insumos que son utilizados con más frecuencia por el proceso, son de interés para el análisis y son una perfecta ejemplificación de la reducción de costos de almacenaje debido a la aplicación de pronósticos de demanda.

Para efectos de este Megaproyecto se analizaron únicamente cinco insumos de alta rotación debido a que no se puede analizar la totalidad de los insumos, debido al gran número de insumos de con mayor frecuencia de utilización en el área. Es por ello que se recomienda que el Ingenio Pantaleón que realicen el mismo análisis para los demás materiales, y de esta manera se produzca una reducción total del inventario.

Se realizó un análisis del costo total de los insumos retirados, y con base a esto se encontró que los insumos de alta rotación, a pesar de no tener un valor unitario elevado, sí representan un gran costo total en el inventario y es por ello la importancia de su análisis.

Se analizó uno de los insumos prioritarios A llamado “insumo prioritario 1” utilizando los diferentes modelos de pronóstico, para mostrar como los diferentes métodos para predecir la demanda no son útiles para insumos como este que posee una baja rotación.

Para los pronósticos de demanda desarrollados fue muy importante tener en cuenta que un ingenio azucarero en Guatemala trabaja en dos grandes períodos a lo largo del año: época de zafra y de mantenimiento. Durante estas temporadas, el área de extracción de jugo y producción de vapor trabaja de manera distinta, ya que en época de zafra se obtiene jugo y se utiliza bagazo para producir vapor; y en época de mantenimiento, como su nombre lo dice se repara la maquinaria. Es por esta razón que para analizar mejor los datos utilizando el modelo de distribución de frecuencias, correlación y regresión y ajuste de curvas genere un pronóstico distinto para estos dos períodos.

En el caso del área de extracción de jugo y producción de vapor, la mayor cantidad de solicitudes ocurren durante la época de mantenimiento, ya que es durante este tiempo donde se necesita de repuestos y herramientas para reparar el daño y el desgaste que ocurrió durante la época de zafra.

En cambio, durante la época de zafra la cantidad de solicitudes es menor, pues en esa área no se utilizan químicos ni materias primas para la producción, es únicamente la maquinaria que ayuda a la obtención del jugo a partir de la caña.

En la sección de anexos los gráficos no.1 al no. 5 se representan la demanda bimensual de cada uno de los insumos y en el mismo gráfico es representada la cantidad de caña molida en dicho bimestre. Se agruparon en bimestres para tener una mejor visualización de todos los períodos de tiempo en un mismo gráfico. Se puede observar como los insumos A, C, D, E tienen mayores solicitudes en los meses donde se tiene menor producción de caña molida, estos ítems son entonces inversamente proporcionales a las toneladas de caña molida, esto confirma que el modelo debe de ser abordado en dos períodos distintos.

El modelo de distribución de Frecuencias analiza el número de ítems (en su respectiva unidad) solicitados por mes y categoriza estos números en diferentes clases de frecuencias (Ver Anexos Cálculo 5). Cada clase tendrá entonces, una frecuencia de ítems que entran dentro de los límites definidos por dicha clase.

Se evalúa cuál es la clase con mayor frecuencia y se utiliza el límite superior como el pronóstico de dicho insumo.

Utilizar el límite superior permite contemplar cierto margen de seguridad en el pronóstico, y asegura que las solicitudes que se encuentren comprendidas en dicha clase sean igual o menor al valor del pronóstico, evitando así tener resultados menores a las demandas reales. El resultado del pronóstico por medio de distribución de frecuencias es un dato para todo un período de tiempo, zafra o mantenimiento. Por lo tanto se tendrá mucho error o desviación cuando la cantidad de ítems por solicitud sean irregulares.

En el Gráfico No. 37 se puede observar como para el insumo prioritario 1, hay pocas solicitudes y por lo tanto el pronóstico indica que se debe de comprar una unidad cada mes durante toda la zafra y el mantenimiento. Por la naturaleza del ítem se sabe que con mantener uno en la bodega durante cada periodo o incluso durante el año es suficiente para cumplir con la demanda. Un comportamiento similar ocurre con los otros datos prioritarios.

El modelo de distribución de frecuencias no es el adecuado para describir el comportamiento de solicitudes futuras de insumos. Este método de pronóstico de la demanda logra predecir mejor la cantidad de insumos a comprar, cuando estos tienen frecuencias de similares magnitudes, a pesar de separar los consumos en dos épocas (zafra y mantenimiento), en cada una de las mismas se presentan frecuencias muy distintas en cada mes lo cual, produce un valor de pronóstico con alta desviación al compararlo con la demanda real.

Para tomar un ejemplo, si se observa el Gráfico No. 41, que describe el pronóstico para el insumo A en época de mantenimiento, el valor de compra durante este periodo sería de 51 unidades, lo cual cumple con la demanda de la mayoría de los meses evaluados. Sin embargo, en los meses de agosto 2015, agosto 2016 y septiembre 2016 la cantidad de insumos pronosticados no lograrán satisfacer el consumo de ese mes. en estos casos los picos de consumo son en un periodo de tiempo determinado (agosto y septiembre en este caso), y se puede generar un plan de contingencia teniendo presente que siempre en los meses de agosto y septiembre se debe de tener un mayor inventario de dicho material.

Siguiendo con el ejemplo del Gráfico No. 41, también se puede notar que en otros meses el valor pronosticado es considerablemente mayor al consumo de ese mes, dejando un remanente en la bodega de material no consumido. Esto no cumple con el objetivo principal del Megaproyecto de disminuir el costo de inventario, por lo tanto, no se recomienda que se utilice este método para el pronóstico de demanda de los insumos, al menos que se observe un comportamiento de insumos con frecuencias constantes o casi constantes durante un periodo de tiempo.

Se emplearon otros métodos de pronóstico de demanda, media móvil, suavizamiento exponencial, regresión y correlación, curvas de ajuste, y series cronológicas. En el Cuadro No. 5 se presenta una comparación del Error MAD entre los diferentes modelos para comparar cuál de los métodos genera una menor desviación entre los valores pronosticados y la demanda real.

De los métodos analizados en este trabajo el de series cronológicas fue el que mejor se adecuó a predecir la demanda de los cinco insumos analizados. Esta conclusión se determinó con base a el bajo valor de MAD obtenido en comparación con los otros modelos y en como el comportamiento de los datos pronosticados se asemeja al de los datos de consumo real (Anexos, Gráficos No. 50 al No. 54).

Descomposición de series cronológicas es un modelo que funciona para pronósticos donde que tengan estacionalidad y es por ello que mejor se aplica a los insumos del área de Extracción de jugo y Producción por la tendencia de los mismos en dos épocas distintas, zafra y mantenimiento.

En el Cuadro no. 5 se presenta el porcentaje de reducción de compra cuando se compara los insumos comprados contra los insumos que se hubieran comprado, si se utilizara el modelo de descomposición de series cronológicas. En todos los casos se da una reducción en la obtención de insumos lo cual indica que si se puede obtener una disminución de costos en el manejo de inventarios al momento que se utilice este modelo en los demás ítems.

Al comprarse menos materiales, además del ahorro producido por la disminución en la cantidad de insumos también hay un ahorro en el costo de almacenaje de dichos materiales, de ahí radica la reducción en el costo de manejo de inventarios, al extrapolar este análisis a los demás insumos del área de extracción de jugo y producción de vapor.

1. Conclusiones parciales

- a. Se clasificaron los SKU's analizados usando la metodología 5's para priorizarlos según su "lead time, costo e impacto en el área de extracción de jugo y producción de vapor, y se determinó que 5.02% de los insumos son de alto impacto en el proceso, esto quiere decir que este porcentaje de los insumos puede detener la operación.

- b. Se determinó que el modelo de distribución de frecuencias no es el adecuado para pronosticar la demanda de los materiales de alta rotación del área de extracción de jugo y producción de vapor, debido a que fue uno de los modelos con mayor desviación media absoluta presentó ± 16.118 (zafra) y ± 16.600 (mantenimiento) para el insumo A, ± 10.933 (zafra) y ± 9.729 (mantenimiento) para el insumo B, ± 367.059 (zafra) y ± 942.913 (mantenimiento) para el insumo C, ± 1029 (zafra) y ± 2990.333 (mantenimiento) para el insumo D, ± 2.176 (zafra) y ± 7.800 (mantenimiento) para el insumo E. El elevado error se debe a que hay variedad de frecuencias en el número de insumos en cada pedido, lo que ocasiona un pronóstico no adecuado. El modelo tampoco funciona para insumos de baja rotación, ya que se necesita que exista una alta frecuencia de solicitudes para que se pueda correlacionar un pronóstico, ver gráficos no. 7 y no. 8 del Anexo G para ver como se comporta el modelo con insumos de baja rotación.

- c. Se determinó que el modelo de descomposición de series cronológicas es el adecuado para pronosticar la demanda de los materiales del área de extracción de jugo y producción de vapor debido a que fue el modelo que menor desviación media absoluta presentó respecto a otros modelos utilizados ± 11.474 para el insumo A, ± 10.736 para el insumo B, ± 378.372 para el insumo C, ± 1114.895 para el insumo D y ± 4.634 para el insumo E. Este método cumple con la demanda de todos los insumos analizados, debido a que la compra propuesta por el modelo es igual o superior que la demanda real. Esto representa una reducción en la compra de los mismos en todos los materiales analizados (Ver Cuadro no. 6).
 - d. Al comparar la compra total realizada de los materiales analizados durante el periodo de mayo del 2014 a diciembre del 2016 con la demanda total pronosticada para el mismo periodo de tiempo por el modelo de descomposición de series cronológicas, se concluye que existe una reducción de la compra de los materiales analizados, lo cual hubiera generado un ahorro en la compra en exceso de los materiales, y también una disminución en el costo de mantener los materiales en exceso dentro del inventario.
2. Recomendaciones parciales
- a. Se recomienda aplicar el método de descomposición de series cronológicas al resto del inventario del área de extracción de jugo y producción de vapor, para generar una reducción en las compras de los mismos.
 - b. Para facilitar el análisis de los insumos de las solicitudes del área de extracción de jugo y Producción de vapor se debe de ingresar toda la información pertinente al insumo solicitado, incluyendo fecha de recepción del material para conocer mejor los tiempos de entrega del mismo.
 - c. Utilizar una mayor cantidad de datos históricos de solicitudes de los insumos para que el modelo de pronóstico de demanda utilizado sea de mayor confianza.

B. ANÁLISIS DE INSUMOS REQUERIDOS POR EL ÁREA DE TRATAMIENTO DE JUGO

El objetivo general del megaproyecto fue realizar un análisis y propuesta de mejora para la reducción de costos del manejo de inventario de áreas de fabricación del Ingenio Pantaleon. El proceso de fabricación del Ingenio Pantaleon se distribuye en siete áreas distintas, dentro de las cuales se encuentra el área de tratamiento de jugo. El objetivo general del módulo “Aplicar la metodología 5’s y el modelo de media móvil para generar una propuesta de reducción de inventario en el área de tratamiento de jugos del Ingenio Pantaleon”, consistió en priorizar los insumos del área con base a su impacto en el proceso, lead time y costo. También se buscaba determinar si al utilizar el modelo de pronóstico de demanda propuesto para el área de tratamiento de jugo

se hubiera logrado una reducción de compra y cumplimiento de la demanda de los insumos priorizados a partir de los datos históricos de compra y consumo del área.

Para poder iniciar el megaproyecto se conocieron las instalaciones del Ingenio Pantaleon y todo lo que conlleva su proceso industrial. Luego se buscó entender las operaciones en el área de tratamiento de jugo, específicamente el proceso de solicitud de insumos. Para ello se dialogó con las distintas personas involucradas en proceso del área: Jefe, Coordinador, Supervisor, Encargado de SAP y Operario, que son todas las personas que conforman el organigrama del área y se elaboró un flujograma del proceso de solicitud de insumos del área.

La hoja de registro de solicitud de insumos del área del tratamiento de jugo fue elaborada y es manejada por el encargado de SAP del área. Esta, es un documento de Microsoft Excel que contiene información general de cada una de las solicitudes realizadas. Existe un registro de las solicitudes realizadas desde el año 2015 hasta la actualidad, pero para propósitos del trabajo se analizaron únicamente los años 2015 y 2016, por ser los únicos que tenía registro del año completo. En el año 2015 el área realizó 1,106 solicitudes de insumos y en el 2016 realizó 473 solicitudes de insumos, teniendo una totalidad de 1425. Esta hoja al ser llenada por el encargado de SAP y no ser descarga del sistema puede presentar datos incorrectos, por lo que se analizó el porcentaje de cumplimiento de la información requerida para cada una de las solicitudes (Ver Cuadro No.46), dentro de las cuales se detectó que la fecha de pedido, pedido, valor total, y cantidad pedida del insumo no tenían un 100% de cumplimiento.

Se solicitó la hoja de registro de consumos y compras de bodega de las áreas, la cual es un documento de Excel descargado del sistema SAP. Esta contenía la información de consumo y compras de las áreas de fabricación del Ingenio Pantaleón. Los consumos son los materiales dentro del inventario de bodega utilizados por las distintas áreas y las compras son aquellos materiales que se compraron e ingresan al inventario de bodega. Dentro de este documento se identificó que el área consume 450 SKU's y compra 332 SKU. Además, se determinó que el inventario del área de Tratamiento de Jugo representa un 14.32% del inventario total de las áreas de fabricación en bodega (Ver Figura No.5).

Para poder llevar a cabo un barrido de la información compartida por el ingenio, se aplicó la metodología de las 5's para poder eliminar datos innecesarios y poder estandarizarlos entre todas las áreas de fabricación. Al analizar la hoja de registro de solicitudes de insumos del área y comparándola con la hoja de registro de consumos y compras de bodega, se identificó que de las 1425 solicitudes realizadas en el año 2015-2016, 996 fueron compras que ingresaron en inventario de bodega, 394 fueron solicitudes que no fueron identificadas y 35 fueron solicitudes en donde no realizó la compra. Por lo que únicamente se analizaron las 996 solicitudes que efectivamente ingresaron al inventario de bodega.

De las 996 solicitudes de insumos analizadas en el periodo del 2015-2016, se tuvieron 471 SKU's (número de referencia), lo cual nos indica que hubo materiales que se pidieron más de una vez durante el período analizado. Al analizar el valor específico del inventario del área de estos 471 SKU's para marzo de

2,017, se determinó que estos representan el 65.91% del valor del inventario total del área de tratamiento de jugo. El otro 34.09% corresponde a 10 SKU's que no se pudieron analizar debido a que no se tenía la información de los mismos para el periodo 2015-2016.

Como se puede observar en el cuadro No.8, los 471 SKU's analizados fueron priorizados según su lead time e impacto en el proceso. Para poder priorizarlos por cada una de las variables mencionadas anteriormente se establecieron matrices de priorización para cada una de ellas (Ver Antecedentes). Los insumos se clasificaron en tres categorías: impacto alto, medio y bajo. Aquellos que se encuentran dentro de la categoría de alto impacto es debido a que estos son aquellos cuya ausencia detiene el proceso de producción; los de impacto medio son los que tienen un impacto medio-bajo en el proceso, y además tiene un lead time alto-medio: Por último, los de impacto bajo, son aquellos que tienen un impacto medio-bajo en el proceso, y además tiene un lead time bajo. Determinando que, de los 471 SKU's analizados, el 3.61% son de impacto alto, 39.49% son de impacto medio y 56.90% son de impacto bajo.

Al analizar el valor que representa cada una de las categorías establecidas del 65.91% del inventario total del área de tratamiento de jugo, se determinó que los insumos de impacto alto representan el 54.70%, los de impacto medio 1.37% y los de impacto bajo 43.93% respecto al grupo seleccionado del área de tratamiento de jugo. Por lo que, se decidió determinar la demanda de insumos de impacto alto según el modelo de media móvil y compararlo con otros modelos de pronóstico de demanda para evaluar cual es el más adecuado para el área. Se seleccionaron los insumos de impacto alto debido a que estos representan 3.61% de los SKU's analizados y contribuyen con el 54.70% del costo del inventario analizado del área de tratamiento de jugo. Al determinar un modelo que pueda pronosticar correctamente la demanda de esta categoría, se espera un alto impacto en los costos de inventario del área.

De los 471 SKU's analizados 17 pertenecen a la categoría de impacto alto, de los cuales se seleccionaron los 5 que representan mayor costo en el inventario del área. Todos los materiales seleccionados son químicos, debido a que el área de esta involucrada directamente con la producción de caña de azúcar, y los químicos son su principal materia prima para llevar a cabo el acondicionamiento y preparación de la misma.

En anexos, en la sección de datos originales se puede observar los gráficos de la demanda mensual de los materiales desde el periodo de mayo 2,014 a diciembre del 2,016, siendo la base de datos histórica de demanda con la que se contaba de parte del Ingenio Pantaleon. Al examinar la demanda de los materiales se puede observar que estos tienen estacionalidad en los meses de noviembre a mayo de cada año, debido a que en estos meses se da el periodo de zafra, cuando se recolecta y se procesa la caña para obtener azúcar. Es lógico que estos materiales presenten estacionalidad durante los meses de esta época debido a que, como se ha mencionado anteriormente, el área de tratamiento de jugo es clave con la producción de azúcar. En la época de mantenimiento, la cual consiste en el mantenimiento de los equipos de fábrica, mientras que en el campo se siembra y se cultiva la planta de caña de azúcar. Para propósitos de este trabajo se estableció que

la época de zafra todos los años da inicio en noviembre y finaliza en mayo. El resto de los meses entran dentro de la época de mantenimiento.

Al analizar la demanda de los insumos, únicamente en los meses de zafra se puede observar que la misma muestra el mismo comportamiento para esta época y posee los mismos picos estacionales. Sin embargo, de la base de datos histórica solo se posee datos completos de las zafras 14-15 y 15-16. Se poseen datos parciales de los años 13-14 y 16-17 de los materiales analizados, por lo que no se puede apreciar el comportamiento del material en su totalidad durante la misma. Es importante resaltar que en los meses que inicia y finaliza la zafra, la demanda mensual de los materiales se comporta distinto a los demás meses de zafra. Esto se debe a que esta no se inicia el primer día del mes de noviembre ni termina el último día del mes de mayo.

Se decidió aplicar el modelo de media móvil a los materiales a analizar y compararlo con otros modelos de pronóstico de demanda para evaluar, cual es el que menos desviación media absoluta presenta para el área de tratamiento de jugos. En general se trabajó con dos tipos de pronósticos: Análisis de Series de Tiempo y Causal. Los pronósticos de análisis de serie de tiempo se basan en la idea que es posible utilizar información relacionada con la demanda pasada para predecir la demanda futura. Dentro de estos entrarían: Media móvil, descomposición de series cronológicas, suavización exponencial y distribución de frecuencias. Los pronósticos causales supone que la demanda se relaciona con algún factor subyacente en el ambiente. dentro de estos entrarían: correlación y regresión lineal, y ajuste de curvas. Para propósitos de este trabajo se utilizó las toneladas de caña molida como factor subyacente, debido a que no se contaba con la información de jugo de caña producido en los meses analizados, sin embargo la relación entre la caña molida y el jugo de caña producido es proporcional.

Al aplicar el modelo de media móvil, se trabajó únicamente con los meses de zafra, por lo que se poseían 17 datos históricos. Se dispuso hacer esto, debido a que en la época de mantenimiento, la demanda de estos materiales es casi nula respecto a la demanda en la época de zafra. Se decidió trabajar con una frecuencia de 3 meses para determinar el pronóstico del modelo, por lo que se obtuvieron 14 pronósticos. Se trabajó con una frecuencia relativamente corta debido a que al aumentar la frecuencia, se suaviza de mejor manera las fluctuaciones, pero resta sensibilidad al método ante cambios reales de los datos. Al tener una frecuencia muy grande se uniformarían más los elementos aleatorios, pero se tendría que el pronóstico de la demanda para los materiales sería muy bajo para ciertos meses o muy alto en otros, debido a que los materiales presentan picos estacionales. En el Cuadro No. 10 se puede observar que el pronóstico de media móvil es el modelo de pronóstico de demanda que mayor desviación absoluta media (MAD) presenta para cada uno de los materiales, en donde los porcentajes representan el MAD obtenido por el modelo con base a la demanda real promedio. Este, aplicado a cada uno de los materiales obtuvo un MAD de: $\pm 12,025.00$ kg para el material A, $\pm 32,499.00$ kg para el material B, ± 598.00 kg para el material C, $\pm 1,579.00$ L para el material D y $\pm 40,960.00$ para el material E. Con base en esto, se puede decir que el modelo de media móvil no es el

apropiado para determinar la demanda de los insumos de impacto alto del área de Tratamiento de Jugo del Ingenio Pantaleon.

Existen varias razones por las cuales el modelo de media móvil no es el apropiado, principalmente se debe a que los datos que se deben aplicar en este modelo deben ser estacionarios, es decir sin tendencia o estacionalidad, y los materiales de impacto alto presentan tanto tendencia como estacionalidad. Además, al tener una tendencia de demanda los materiales ya sea alta o baja, el modelo de media móvil tiene la característica adversa de retrasar la tendencia. Además, una de las mayores desventajas de trabajar con un modelo de media es que todos los elementos individuales se deben manejar como información ya que un nuevo periodo de pronóstico comprende agregar datos nuevos y eliminar los primeros. Para la media móvil de tres o seis periodos, lo anterior no es muy complicado. Pero agregar una media móvil sobre el uso de cada uno de todos los elementos, en un inventario comprendería el manejo de una gran cantidad de información.

El modelo de pronóstico de demanda que menor desviación absoluta media presentó para cada uno de los materiales de impacto alto analizados, fue el modelo de descomposición de series cronológicas. Este modelo consiste en desglosar los datos históricos en componentes estacionales. Estos indican la cantidad de corrección necesaria en una serie cronológica para ajustarse a la estación del año. Funciona correctamente para datos con estacionalidad marcada y los cinco materiales analizados cuentan con estacionalidad, debido a que se consumen solamente en alguna de las épocas del año, por lo que marcan picos y valles pronunciados. El pronóstico obtenido al aplicar el modelo a cada uno de los materiales obtuvo un MAD de: $\pm 2,546.00$ kg para el material A, $\pm 5,611.00$ kg para el material B, ± 169.00 kg para el material C, ± 411.00 L para el material D y $\pm 8,400.00$ para el material E. La relación entre el error del modelo de media móvil y el modelo de descomposición de series cronológicas es aproximadamente de 4.5 contra 1.0 para los materiales analizados.

Con base en esto, se puede decir que el modelo de descomposición de series cronológicas es el más apropiado para determinar la demanda de los insumos de impacto alto del área de tratamiento de jugo del Ingenio Pantaleon. Por la naturaleza de los materiales y su comportamiento en el tiempo, este modelo presenta errores de pronóstico bajos y puede proporcionar el pronóstico final mediante el ajuste de la recta de la regresión según el factor estacional.

Al observar la compra total realizada de los materiales analizados durante el periodo de mayo del 2014 a diciembre del 2016 en el Cuadro No. 11 y compararla con la demanda total pronosticada para el mismo periodo de tiempo, por el modelo de descomposición de series cronológicas, se obtuvo un porcentaje de lo que se hubiera reducido la compra real de los materiales de haber utilizado dicho modelo. Estos hubieran sido un 2.93% la cantidad del material A, -0.24% del material B, 8.39% del material C, 5.75% del material D y -0.33% del material E. Los valores negativos indican que el valor de la demanda pronosticada es mayor a lo que realmente se compró. Los dos valores que fueron negativos son relativamente bajos respecto a la reducción que hubiera brindado el modelo con los otros materiales. Al utilizar la cantidad necesaria de

materiales, no solo se genera un ahorro en la compra de los materiales, sino también se disminuyen los costos de mantener los mismos en exceso el inventario.

Al examinar la demanda total real de los materiales analizados durante el periodo de mayo del 2014 a diciembre del 2016 en el Cuadro No. 12 y compararla con la demanda pronosticada para el mismo periodo de tiempo por el modelo de descomposición de series cronológicas, se determinó que se hubiera cumplido la demanda con un 99.19% para el material A, 101.04% del material B, 100.47% del material C, 100.87% del material D y 101.12% del material E. Es importante resaltar que a pesar de que para todos los casos, exceptuando el material A, la demanda total se hubiera cumplido con el modelo, al analizarlo mes a mes, aquellos que presentaban un pico muy alto, la demanda real era mayor a la demanda pronosticada, por lo que el modelo de descomposición de series de tiempo debe ser una herramienta que permita tener una idea clara de cuanto se debe solicitar de cada material y estos deben ser ajustados por la persona encargada de realizar las solicitudes de insumos en función del histórico y/o preparación de molienda.

1. Conclusiones parciales

a. Se clasificaron los 471 SKU's analizados utilizando la metodología 5's para priorizarlos según su lead time, costo e impacto en el área de Tratamiento de Jugo, y se determinó que 3.61% de los insumos son de impacto alto y representan un 54.70% del costo total del inventario del área analizado, 39.49% son de impacto medio y representan un 1.37% del costo del inventario, y 56.90% de los insumos son de impacto bajo y representan un 43.93% del costo del inventario del área analizado.

b. Se determinó que el modelo de media móvil no debe ser utilizado para pronosticar la demanda de los materiales de impacto alto del área de Tratamiento de Jugo debido a que fue el modelo que mayor desviación media absoluta presentó respecto a otros modelos utilizados, obteniendo un MAD de: $\pm 12,025.00$ kg para el material A, $\pm 32,499.00$ kg para el material B, ± 598.00 kg para el material C, $\pm 1,579.00$ L para el material D y $\pm 40,960.00$ para el material E.

c. Se determinó que el modelo de descomposición de series cronológicas debe ser utilizado para pronosticar la demanda de los materiales de impacto alto del área, debido a que fue el modelo que menor desviación media absoluta presentó respecto a otros modelos analizados, obteniendo un MAD de: $\pm 2,546.00$ kg para el material A, $\pm 5,611.00$ kg para el material B, ± 169.00 kg para el material C, ± 411.00 L para el material D y $\pm 8,400.00$ para el material E. La relación entre el error del modelo de media móvil y el modelo de descomposición de series cronológicas es aproximadamente de 4.5 contra 1.0 para los materiales analizados.

d. Al comparar la compra total realizada de los materiales analizados durante el periodo de mayo del 2014 a diciembre del 2016 con la demanda pronosticada total, para el mismo periodo de tiempo por el modelo de descomposición de series cronológicas, se determinó que hubiera sido posible una reducción de la compra del 2.93% para el material A, -0.24% para el material B, 8.39% para el material C, 5.75% para el material D y -0.33% para el material E.

e. Al utilizar el modelo de descomposición de series cronológicas se determinó que se hubiera cumplido la demanda de los materiales de alto impacto, analizados durante el periodo de mayo del 2014 a diciembre del 2016 con la demanda pronosticada total del modelo para el mismo periodo de tiempo con un cumplimiento de 99.19% para el material A, 101.04% para el material B, 100.47% para el material C, 100.87% para el material D y 101.12% para el material E.

2. Recomendaciones parciales

- a. Generar las hojas de registro de solicitud de insumos del área de tratamiento de jugo desde SAP y no directamente por el encargado del área debido, a que se puede generar información incorrecta sobre las solicitudes de insumos, como por ejemplo, insumos con precio incorrecto o lead times negativos.
- b. Realizar el análisis anterior al 100% de los SKU's pertenecientes al área, debido a que para este trabajo se contaba con la información pertinente de 471 SKU's de 481 de la totalidad del área de tratamiento de jugo, así como verificar el impacto en el valor de inventario de los insumos faltantes.
- c. Aplicar el modelo de pronóstico de demanda de descomposición de series cronológicas al resto de los insumos de alto impacto e implementar la medición continua de los resultados del pronóstico contra la demanda real para continuar validando el modelo.
- d. Determinar la cantidad mínima de cada uno de los materiales que son de impacto bajo, debido a que estos tienen un impacto medio bajo en el proceso de tratamiento de jugo y un lead time muy bajo, por lo que no es necesario excedentes en el inventario de bodega.

C. ANÁLISIS DE INSUMOS REQUERIDOS POR EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

El objetivo general del módulo de megaproyecto fue aplicar la metodología 5`S y el modelo de pronóstico de demanda de series cronológicas, para generar una propuesta de reducción de inventario en el área de producción de energía del Ingenio Pantaleón. Para lograrlo se realizó un análisis del proceso de solicitud de pedidos y compra en el área de producción de energía (Ver Anexo 5, Figura No. 11), el cual posteriormente se comparó con los otros procesos del área de producción. Se determinó la situación actual del área, donde existía una escasa documentación que no permitía llevar un buen control de los pedidos realizados. El manejo inadecuado del software para el control de inventario (SAP), disminuye la eficiencia del proceso de solicitud, generando compras innecesarias, reservas duplicadas, entre otras.

Cada proceso de solicitud se realizaba de manera diferente dependiendo del área de fabricación, cada área también contaba con su metodología y documentación. Es por ello, que se planteó una propuesta de mejora

con el objetivo de estandarizar el proceso de solicitud para asegurar la homogeneización de procedimientos entre procesos (Ver Anexo 6, Figura No. 13). Adjunto a esto se realizó una plantilla general (Ver Anexo, Cuadro No. 15), para que la información que brinda la solicitud de compra sea igual en cada área y esté mejor organizada.

Se procedió aplicar la metodología 5'S para los insumos de cada área de fabricación, esta metodología es una gestión basada en cinco pasos, que funciona para organizar de mejor manera los datos de los insumos para su posterior análisis. Para ello se ordenaron los datos originales, los cuales provenían de diferentes bases de datos, por lo que se tenía información desordenada y poco útil para poder realizar una estandarización. Se realizó una clasificación de datos abarcando las épocas que se querían estudiar, las cuales comprendían de mayo 2014 – diciembre 2016 (zafra 2014 – zafra 2016), se escogieron estas limitaciones debido a que eran representativas en todas las áreas. Se realizó una limpieza de datos, mediante depuraciones de insumos innecesarios y se logró una reducción del 32.22% de insumos, obteniendo un inventario actualizado de 2375 insumos de una base de datos original de 3504 insumos. Con la base de datos ordenada y limpia se realizó la estandarización con la plantilla general, para verificar la presencia o ausencia de información de cada insumo.

Con la base de datos completa, se priorizaron los insumos con base a tres criterios: *lead time*, costos e impacto en el proceso. Debido a la naturaleza de la industria, que funciona con estacionalidades conocer el *lead time*, el tiempo que se toma un insumo en llegar a bodega desde su solicitud de compra, es de vital importancia, ya que no se puede desabastecer en la época de producción y se debe de contar con un stock de seguridad, ya que la mayoría de proveedores son extranjeros. La matriz de priorización de los insumos por *lead time* se construyó con base en mínimo *lead time*, cuartiles y máximo *lead time*. Los costos de los materiales, impactan directamente a la economía, pero no es proporcional a su impacto en el proceso. La priorización por impacto en el proceso, se determinó cualitativamente, estableciendo los materiales que, sin ellos, el proceso de producción debe de parar, provocando pérdidas económicas y por esta razón no debe faltar en el inventario de bodega, esta matriz fue propuesta con base a los conocimientos de los coordinadores de las áreas de fabricación del Ingenio Pantaleon.

Utilizando matrices de priorización (Antecedentes, Cuadros No. 1 y 2) dependiendo del criterio, se logró realizar la priorización para los 2228 insumos de 2375 insumos, equivalente al 93%, donde no se obtuvo ningún insumo “AA” y en su defecto se obtuvieron 6 insumos con la categorización “AB”, los cuales fueron seleccionados debido a su alto impacto por *lead time* e impacto en el proceso, estos representan el 0.25% de los insumos totales analizados del área. Los porcentajes que representa cada código se pueden observar en el Cuadro No. 13. Los artículos considerados de prioridad alta, representan el 7.00% equivalente a 166 insumos del inventario en el área de producción de energía, los de media un 12.00%, equivalente a 285 insumos y los bajos un 81.00%, equivalente a 1964 insumos. Los de baja prioridad son la mayoría del inventario, ya que son artículos que se consumen durante todo el año. El porcentaje bajo en los de prioridad alta, se debe a que son piezas que se piden con menos frecuencia, ya sea por su impacto del proceso o *lead time*.

A los seis insumos priorizados “AB”, se les aplicaron los seis modelos de pronóstico de demanda, es importante mencionar que no todos los insumos se ajustan a todos los modelos, debido a su tipo de estacionalidad y su utilización dentro del proceso de producción. Se analizaron solamente seis insumos priorizados debido a que representan el mayor impacto en *lead time* e impacto en el proceso. Se aplicó el modelo de correlación y regresión, el cual mediante la elaboración de una línea recta puede describir las relaciones funcionales que existen entre la demanda del insumo en relación al tiempo o a las toneladas de caña molida, el primero describe la ecuación de la recta para la época de mantenimiento y el segundo para la época de zafra. Esta separación limita el pronóstico en general, los seis insumos priorizados se utilizan en la época de mantenimiento, por lo cual se analizó la demanda respecto al tiempo por año y por mes.

Los seis insumos priorizados de categoría “AB” del área de producción de energía no son adecuados para este modelo debido a que poseen estacionalidad, en época donde no se produce, por lo cual no se posee un valor definido para cada mes, por lo cual no se puede pronosticar un consumo a futuro. Es difícil que una recta se pueda ajustar a picos de estacionalidad, produciendo valores muy pobres en confiabilidad, se puede observar (Ver Anexos, Cuadros No. 38 y 39) que los valores del coeficiente de determinación o regresión son muy pequeños.

El segundo modelo aplicado fue el de Media Móvil, el cual consiste en utilizar un promedio de los n periodos más recientes de datos para pronosticar el siguiente periodo, se trabajó con n igual a 3, 6 y 12 meses. Se puede observar que los insumos de A – E (Ver Anexos, Gráfica No. 184 – 189), poseen el mismo comportamiento, la demanda pronosticada es menor a la demanda real, por lo que se puede considerar una reducción del insumo en el inventario. Debido a que los insumos A – E son unidades físicas, estos no pueden fraccionarse en el tiempo, por lo que para estos insumos no es un buen modelo de pronóstico. A diferencia del insumo F (Ver Anexos, Gráfica No. 189), que por su naturaleza el consumo es mayor y más cíclico, el pronóstico se puede aplicar, obteniendo una demanda pronosticada menor, reduciendo los picos de compras y distribuyendo de mejor manera su demanda durante los periodos, actualmente se está consumiendo menos de lo que se requiere y puede presentar una reducción en las compras.

El tercer modelo aplicado fue el de Series Cronológicas, también llamado descomposición de series de tiempo, consiste en desglosar los datos históricos en componentes estacionales, estos indican la cantidad de corrección necesaria en una serie cronológica para ajustarse a la estación del año. Funciona correctamente para datos con estacionalidad marcada, los seis insumos priorizados del área de producción de energía cuentan con estacionalidad, debido a que se consumen solamente en alguna de las épocas del año, por lo que marcan crestas y valles pronunciados. Se puede observar que los insumos de A – E (Ver Anexos, Gráfica No. 190 – 195), poseen el mismo comportamiento, la demanda pronosticada es menor a la demanda real, pero al

igual que en el modelo de media móvil al ser insumos de unidades físicas, no se pueden fraccionar durante el tiempo.

Este comportamiento se debe, a que la cantidad de insumos consumidos es de una unidad por época de mantenimiento a lo largo del periodo analizado, por lo cual la tendencia es muy marcada. El insumo F (Ver Anexos, Gráfica No. 195), que por su naturaleza si puede ser fraccionado durante el tiempo y su consumo es mayor, muestra el modelo correctamente aplicado para un insumo que posee estacionalidad, la demanda pronosticada se adapta al modelo histórico y es mejor a la demanda real, produciendo un impacto económico positivo para el inventario.

El cuarto modelo aplicado fue, el de Suavización Exponencial, donde se emplea la técnica de pronóstico de promedios móviles ponderados, donde los datos se ponderan mediante una función exponencial, no es necesario contar con gran cantidad de datos históricos y es un modelo que se acopla a los insumos que no poseen estacionalidad. El modelo es incierto, debido a que el alfa se debe ajustar manualmente dependiendo del comportamiento del insumo. En los insumos de A – F, se puede observar que mientras más alto es el valor de alfa, el pronóstico es más cercano a la realidad y entre más se acerque a la demanda real, es probable sumar un factor de tendencia.

Para los insumos A, C, D, F, se muestra una reducción en la demanda pronosticada, ingiriendo directamente en la reducción de inventario del insumo, para el insumo B, no se muestra una variación en la demanda pronosticada, siendo la misma que la real y para el insumo E se muestra una demanda pronosticada mayor, por lo que afecta negativamente al criterio económico del inventario.

Los insumos también se analizaron para el modelo de Distribución de Frecuencia, este modelo proporciona un valor añadido a la agrupación de datos, presenta las observaciones clasificadas de modo que se pueda ver el número existente de cada insumo en el periodo determinado. Este es un mal modelo para pronosticar, ya que solo distribuye equitativamente la cantidad de insumos consumidos, en un periodo de manera que, el insumo debería comprarse en la misma cantidad cada mes. Debido a la cantidad de consumo de los insumos A – E (Ver Anexos, Cuadro No. 36), no se observa ninguna variación y aumenta la demanda pronosticada mensualmente durante el periodo, el modelo se representa de mejor manera en el insumo F (Ver Anexos, Gráfica No. 182 y 183), debido a que existe mayor demanda el modelo, representa una demanda mínima y máxima del insumo. El modelo no toma en cuenta la estacionalidad, ni la tendencia del insumo durante el tiempo, ya que los insumos se compran dependiendo de su necesidad en el tiempo y su proceso productivo.

El último modelo analizado es el de ajuste de curvas, el cual es homólogo al modelo de correlación y regresión, a diferencia de este último, el ajuste de curvas, no calcula el pronóstico con base a la ecuación de

la recta, sino que intenta hacer el pronóstico mediante una ecuación polinomial, que se ajuste a la demanda estacional de los insumos. Este modelo devuelve coeficientes de determinación (Ver Anexos, Cuadro No. 37) mayores que el de correlación y regresión, por lo que al pronosticar se puede obtener mejores resultados. El ajuste polinomial es de grado dos, en cuanto mayor sea el grado polinomial, más confiabilidad se podrá obtener en los resultados. Es importante mencionar que debido a que los insumos de un ingenio azucarero en Guatemala, presentan estacionalidad dependiendo en que época se utilizan, es difícil que los métodos se ajusten sin retirar la estacionalidad de los mismos para su posterior pronóstico.

Para todos los modelos se realizó la medición del error de los pronósticos, existen tres mediciones de error: MAD (*mean absolute deviation*; desviación absoluta media), el MSE (*mean squared error*; error cuadrático medio), y el MAPE (*mean absolute percent error*; error porcentual absoluto medio). El MAD es el error de pronóstico más utilizado y se logró calcular para todos los modelos en los insumos, este consiste en la medida del error global del pronóstico, mostrando la desviación del mismo (Ver Resultados, Cuadro No. 15). La tendencia del MAD se repite mostrando un menor error para el modelo de series cronológicas para los seis insumos priorizados y el mayor error para el modelo de distribución de frecuencias. Como antes se mencionó los insumos priorizados de categoría “AB” del área de producción de energía presentan estacionalidad por lo que el modelo que mejor se ajusta es el de series cronológicas y se puede comprobar mediante el menor valor de desviación en comparación con los otros modelos.

Con base en los análisis realizados se determinaron los porcentajes de reducción de compra y cumplimiento de la demanda para el área de producción de energía, utilizando los saldos de insumos en bodega para el mes de marzo de 2017, puesto que es la data más actualizada que se posee y representa mejor los resultados. Los costos para el área de producción de energía representan el 19.06%, del total monetario que maneja actualmente la bodega. Los 2375 insumos analizados representan el 97.00% del total de insumos para el área, lo que significa que este porcentaje de insumos se encuentra actualmente a marzo de 2017 en saldos de bodega. En el Cuadro No. 16 en la sección de Resultados se puede observar que el modelo hace una reducción en la compra de insumos y siempre cumple con la demanda establecida, por lo cual se puede apreciar a futuro una reducción de costos.

Al observar la compra total realizada de los materiales analizados durante el periodo de mayo 2014 a diciembre 2016 y compararla con la demanda total pronosticada para el mismo periodo de tiempo por el modelo de pronóstico de demanda de series cronológicas, se obtuvo un porcentaje de lo que se hubiera reducido la compra real de los materiales de haber utilizado dicho modelo. La reducción de compra hubiera sido de 25% para el insumo A, 25% para el insumo B, 0% para el insumo C, 0.33 % para el insumo D, 0.33% para el insumo E y 18% para el insumo F. Al utilizar la cantidad necesaria de materiales, no solo se genera un ahorro en la compra de los materiales, sino también se disminuyen los costos de mantener los mismos en exceso el inventario. Al examinar la demanda total real de los materiales analizados en comparación con la

demanda pronosticada para el mismo periodo de tiempo, por el modelo de descomposición de series cronológicas se determinó, que se hubiera cumplido la demanda en el caso de todos los insumos, siendo 100% si cumple y 0% no cumple.

Se puede concluir que, el modelo de pronóstico de demanda, series cronológicas, es un modelo que se ajusta bien al comportamiento de los insumos priorizados de categoría “AB” del área de producción de energía, debido a que estos insumos poseen estacionalidad durante la época de zafra o mantenimiento. Para este modelo se obtuvieron los menores valores de la desviación absoluta media (MAD), los cuales fueron de: ± 0.12 UND para el material A, ± 0.12 UND para el material B, ± 0.16 UND para el material C, ± 0.17 UND para el material D, ± 0.11 UND para el material E y $\pm 1,138.12$ L para el material F.

Es importante aclarar que, aunque el modelo de pronóstico de demanda de series cronológicas puede ser apropiado para los seis insumos de categoría “AB” de alto impacto, este representa solamente el 0.25% de total de los insumos, por lo que existe la posibilidad que los seis insumos no sean representativos para el total de los insumos del área de producción de energía y no se pueda aplicar el mismo en las demandas del área analizada.

Debido al tipo de insumos que se analizaron, los pronósticos de datos de compra no pueden ser posibles debido a que, no se pueden fraccionar los insumos físicos. Pero muestran una tendencia clara y sus demandas pronosticadas siguen la tendencia de pedidos precedidos por los datos históricos. Por la naturaleza de los insumos y su comportamiento en el tiempo, este modelo presenta errores de análisis bajos y puede crear la demanda pronosticada mediante el ajuste de la recta de la regresión según el factor estacional.

Se recomienda aplicar el modelo de pronóstico de demanda de series cronológicas a insumos que presenten mayor demanda, tendencia estacional definida y puedan ser fraccionados en el tiempo, como por ejemplo los productos químicos, que presentan un alto impacto en producción y costos.

1. Conclusiones parciales

a. Se aplicó la metodología 5[°]S a los insumos del área de producción de energía, mediante su clasificación, limpieza y estandarización, se clasificaron 2375 insumos de 3504 insumos, equivalente a una reducción del 32.22% de la data de insumos en bodega y se priorizaron los insumos de acuerdo a su *lead time* e impacto en el proceso para su análisis. Se determinó que 166 (7.00 %) de los insumos son de impacto alto, 285 (12.00 %) de los insumos son de impacto medio y 1924 (81.00 %) de los insumos son de impacto bajo.

b. Se determinó que el modelo de series cronológicas podría ser el apropiado para pronosticar la demanda de los materiales de impacto alto de la categoría “AB” del área de Producción de Energía debido a que fue el modelo que menor desviación media absoluta presentó respecto a otros modelos utilizados, obteniendo un MAD de: ± 0.12 UND para el material A, ± 0.12 UND para el material B, ± 0.16 UND para el material C, ± 0.17 UND para el material D, ± 0.11 UND para el material E y $\pm 1,138.12$ L para el material F.

c. Aunque el modelo de pronóstico de demanda de series cronológicas puede ser apropiado para los seis insumos de categoría “AB” de alto impacto, este representa solamente el 0.25% de total de los insumos, por lo que existe la posibilidad que los seis insumos no sean representativos para el total de los insumos del área de producción de producción de energía y no se pueda aplicar el mismo en las demandas del área analizada.

d. Los modelos de correlación y regresión y ajuste de curva, no se adaptan correctamente a la tendencia de los insumos priorizados con clasificación “AB”, debido a que no todos poseen tendencia lineal o polinomial, por lo cual no representa el comportamiento de la demanda. Los modelos de media móvil y suavización exponencial se ajustan mejor para insumos no estacionales.

e. El modelo de distribución de frecuencias es el que menos se ajusta a los insumos priorizados con clasificación “AB” del área de producción de energía, debido a que solo pronostica máximos y mínimos, sin seguir la tendencia cualitativamente, lo que hace que la cantidad de insumos en la demanda pronosticada aumente, incrementando también su valor en inventario. Se obtuvo un MAD de: ± 0.84 UND para el material A, ± 0.84 UND para el material B, ± 0.81 UND para el material C, ± 0.81 UND para el material D, ± 0.87 UND para el material E y $\pm 1,876.92$ L para el material F.

f. Al comparar los porcentajes de compra total realizada de los materiales analizados durante el periodo de mayo 2014 a diciembre 2016, con la demanda pronosticada total para el mismo periodo de tiempo por el modelo de descomposición de series cronológicas, se determinó que hubiera sido

posible una reducción de porcentaje de compra del 25% para el insumo A, 25% para el insumo B, 0% para el insumo C, 0.33% para el insumo D, 0.33% para el insumo E y 18% para el insumo F.

g. Al utilizar el modelo de descomposición de series cronológicas, se determinó que cumplió con la demanda de los insumos de categoría “AB” de alto impacto analizados durante el periodo de mayo 2014 a diciembre 2016, utilizando la demanda pronosticada total del modelo en comparación con la demanda real del mismo periodo de tiempo, por lo que se estima que se realizó un sobre pedido para esta clasificación de insumos.

2. Recomendaciones parciales

a. Aplicar el modelo de pronóstico de demanda de series cronológicas a insumos que presenten mayor demanda, tendencia estacional definida y puedan ser fraccionados en el tiempo, como por ejemplo los productos químicos, que presentan un alto impacto en producción y costos.

b. Utilizar y capacitar sobre el uso del software para el control de inventario (SAP), ya que por falta de conocimiento no se está aprovechando la utilidad del mismo, ya que aún se llevan controles manuales de algunos insumos, lo que genera descontrol en el proceso de solicitud de insumos.

c. Realizar todo el análisis anterior a los 2375 SKU's pertenecientes al área de producción de energía debido a que, por falta de información solamente se analizaron 2228 SKU's del inventario total del área.

d. Aplicar el modelo de pronóstico de demanda de descomposición de series cronológicas al resto de los insumos de alto impacto e implementar la medición continua de los resultados del pronóstico contra la demanda real, para continuar validando el modelo.

e. Incrementar la base de datos históricos, para buscar una mayor frecuencia de consumos y la formación de la tendencia para los mismos.

f. Disminuir la cantidad de insumos de prioridad baja en la bodega de Ingenio Pantaleon, ya que, para el mes de marzo 2017, 81.00 % de los insumos en bodega, eran de prioridad baja debido a que tienen *lead times* bajos y su impacto en el proceso no es crítico.

g. Realizar un análisis económico donde se puedan analizar los insumos utilizando el impacto de costos en el proceso y verificar como afecta el mismo monetariamente en el inventario del área de producción de energía.

D. ANÁLISIS DE INSUMOS REQUERIDOS POR EL ÁREA DE RECUPERACIÓN AZÚCAR

En el Cuadro No.17 se presentan los resultados de la priorización de insumos del área de recuperación de sacarosa utilizando la metodología 5'S, el lead time se refiere al tiempo que transcurrió entre la solicitud de compra realizada por el operador de SAP hasta que el insumo entra a la bodega del Ingenio. Los insumos se clasificaron en los rangos de tiempo A, B, C, D y E; ordenados de mayor a menor.

Los criterios para clasificar los insumos según su impacto fueron A, B y C. Los encargados verificaron que los insumos se encontraran en la categoría correspondiente. Los insumos con un lead time de A y un impacto de A fueron 10, representando 2.99% del total de materiales que pidió el área analizada.

Para el análisis de los modelos de pronósticos de la demanda se tomaron los insumos con mayor criticidad en el área, estos fueron los de un lead time de A y un impacto A. El modelo de pronóstico aplicado fue el de ajuste de curva, la curva trazada fue una cuadrática y se obtuvo aplicando mínimos cuadrados. Se realizaron dos análisis, uno de la variación del consumo respecto al tiempo y otro de la variación respecto a la caña molida, aplicado al ser un modelo asociativo.

Se observan los resultados obtenidos al utilizar un ajuste de curva con las variables demanda respecto al tiempo, dando un coeficiente de correlación baja; demostrando que no existe correlación entre ambas variables, por lo que no es adecuado utilizar este modelo para pronosticar la demanda de los insumos del área de recuperación de sacarosa.

Se encuentran los resultados cuando se utilizó un ajuste de curva por medio de una función cuadrática utilizando las variables demanda respecto a la caña molida, ver gráficas no. 9 a la 103. Solamente aquellos insumos que son químicos presentan un alto coeficiente de determinación siendo el más bajo de 0.78705 el cual le pertenece al material A y el más alto de 0.90818 para el material B. Esto indica que, si hubo correlación entre las variables, y si es apropiado utilizar este modelo de pronóstico para los insumos químicos del área de recuperación de azúcar, debido a que se ajusta al comportamiento que presentan.

El modelo de pronóstico de serie de tiempo, que presentó menor MAD con los 10 insumos analizados fue el de Series Cronológicas, por lo tanto, se estima que es el modelo que mejor se ajusta para pronosticar los insumos críticos del área de recuperación de azúcar. En cambio, el modelo de pronóstico asociativo que presentó menor MAD con los 10 insumos analizados fue el de Regresión lineal esto indica que es el modelo que mejor se ajusta para pronosticar los insumos críticos del área de recuperación de azúcar.

En los materiales de empaque no se encontró correlación debido a que los sacos son utilizados para envasar diferentes tipos de azúcar y existe variación determinada por el mercado, en el tipo de azúcar que se va a envasar cada mes.

Se encontró que una correlación directa y positiva entre el uso de químicos y la cantidad de caña molida. Sin embargo esta no ocurre al 100%, debido a que una cantidad de ellos se utilizan en la refinería, donde su uso no depende de la molienda.

Al comparar los resultados de los ajustes de curva por medio de una función cuadrática, con los de la regresión lineal, gráficos 109 al 113, se observó que el material A y B mejoran su coeficiente de determinación, algo que no ocurre con los materiales C y D. Esto ocurre debido a que ellos son utilizados más en refinería y su uso no depende de la caña molida.

El comportamiento que presentan los insumos del área de recuperación de sacarosa son estacionales y cíclicos, esto se puede comprobar al observar los gráficos 16 al 25, revisando la demanda real. La demanda pronosticada sigue la tendencia de la demanda real. Se utilizó el modelo de suavizamiento exponencial, el pronóstico obtenido con este método para los insumos priorizados no se ajusta bien a la demanda real, esto debido a que el modelo no es para insumos cíclicos, demostrando que este modelo de pronóstico no es adecuado para analizar los insumos del área del área analizada.

En el caso del E, el cual no es un químico, también presentó un coeficiente de determinación alto, de 0.69886. Esto puede deberse a que se utiliza para distintos tipos de empaque con presentaciones diferentes.

En los cuadros 19 y 20 para el análisis del error MAD no se tomaron en cuenta los modelos de pronósticos de ajuste de curva (casual) y regresión lineal (casual) debido a que utilizaron la variable caña molida en vez de tiempo la variable tiempo.

El modelo de regresión lineal es mejor modelo que el de ajuste de curva mediante una función cuadrática para pronosticar los insumos críticos del área de recuperación de azúcar debido a que presentó menor error MAD.

En el caso del modelo de media móvil, este está basado en promedios de periodos recientes, para realizar el pronóstico del próximo periodo. En este caso se trabajó con frecuencias de 3, 6 y 9 meses. (Observar los pronósticos en las gráficas 134-143)

Se puede observar que entre más aumentó los periodos, el pronóstico tiene menos oscilaciones. Ese modelo es el que presenta mayor error MAD. El modelo de media móvil es el que menos se ajusta al comportamiento de los insumos del área de recuperación de sacarosa según el error MAD. Una de las razones por la cual dio un alto error MAD, es a que los insumos presentan un comportamiento estacional, este modelo no se utiliza para este comportamiento. Otro modelo empleado fue el de distribución de frecuencias, el segundo error más alto después del de media móvil.

Se utilizó el modelo de suavizamiento exponencial, el pronóstico obtenido con este método para los insumos priorizados. Se observa que entre más alto es el valor alfa, el pronóstico se acerca más a la demanda real. Según el error MAD este modelo es el que mejor se ajusta al comportamiento de los insumos priorizados

después del de Series Cronológicas. Una de las posibles razones por lo cual no se ajuste bien, se debe a que el modelo no es para insumos cíclicos.

Para obtener el porcentaje de reducción de compra, se comparó la demanda pronosticada utilizando el modelo de ajuste de curva mediante una función cuadrática, con la variable cantidad de caña molida (eje x) contra la variable demanda, durante el periodo de mayo del 2014 a diciembre del 2016, contra las compras realizadas en las mismas fechas. Se observa que se logró reducir el porcentaje de compra en 0.30% para el insumo A, 1.05% para el B y 14.31% para el C.

Para poder cumplir con la demanda de para obtener el porcentaje de cumplimiento de la demanda, se comparó la demanda pronosticada utilizando el modelo de ajuste de curva mediante una función cuadrática con la variable cantidad de caña molida (eje x) contra la variable demanda, durante el periodo de mayo del 2014 a diciembre del 2016, contra la demanda de los insumos realizadas en las mismas fechas.

Los insumos G e I solo se pidieron una vez entre los meses evaluados. El G se dejó de utilizar, por lo que no debería de tener registro en bodega. El insumo I es un saco para reproceso, lo cual indica que se puede utilizar varias veces, debido a esto se debería de pedir en menores cantidades. Para este sería mejor calcular su punto de reorden ya que se demostró que un modelo de pronóstico de demanda no es la metodología adecuada.

1. Conclusiones parciales

a. De los insumos 335 evaluados sólo 10 son A-A, estos son los de mayor criticidad y representan 2.99% del total de insumos solicitados. Estos son: A, B, C,D,E,F,G,H,I y J.

b. El modelo de pronóstico de serie de tiempo que presenta menor MAD con los 10 insumos analizados fue el de series cronológicas. Por lo tanto, es el modelo que mejor se ajusta para pronosticar los insumos críticos del área de recuperación de sacarosa.

c. Utilizando el modelo de series cronológicas se logró reducir la compra en 22.99% para el insumo F, 0.94% para H y 27.79% para J. Sin embargo, se determinó un aumento en la compra del -1.06%, -1.84%, -5.07%, -8.48%, -68.71%, -678.89% y -523.51% para los insumos A, B, C, E, D, G e I respectivamente.

d. Los químicos presentan una alta variabilidad en los datos y el modelo de ajuste de curva se ajusta bien, por el contrario en los materiales de empaque el modelo no se ajusta debido a que El coeficiente de determinación son de 0.90818, 0.89907, 0.789705, 0.90829, 0.13589, 0.12328, 0.18616, 0.03372, 0.00295 y 0.69886 para los insumos A, B, C, D, J, I, G, F y E respectivamente.

2. Recomendaciones parciales

- a. Se recomienda realizar análisis con base en la producción de las clasificaciones específicas de azúcar contra el consumo de la sumatorio de las presentaciones de sacos que se utilizan para su envasado. Con el propósito de buscar una mejor correlación entre los datos.
- b. Se propone combinar métodos de pronósticos cualitativos con los métodos cualitativos de pronóstico de demanda utilizados, con la cual se pueden mejorar los pronósticos obtenidos.
- c. Se recomienda que se aplique la metodología de las series cronológicas para reducir el porcentaje de compra de los insumos F y J. Esto generaría ingresos extra a la empresa.
- d. Se exhorta a analizar el insumo C, y los demás químicos utilizados en la refinería, utilizando la producción de azúcar refino en lugar de la caña molida contra su consumo. Con esto se podrá mejorar el coeficiente de determinación.
- e. Se recomienda Realizar estudios posteriores utilizando metodología distinta entre ellas cálculos de puntos de reorden y Pareto; comparando los resultados con los obtenidos por las metodologías usadas en este estudio. Con el fin de encontrar mejores procedimientos para la reducción del inventario.
- f. Se propone extender la recolección de los datos para poder tener pronósticos futuros con mayor exactitud. Esto ayudaría tanto en la reducción del inventario como en cualquier proceso de la gestión del mismo.

E. ANÁLISIS DE INSUMOS REQUERIDOS POR EL ÁREA DE MANTENIMIENTO

El objetivo general del Megaproyecto fue realizar un análisis y propuesta de mejora para la reducción en los costos del manejo de inventario de áreas de fabricación del Ingenio Pantaleon. Para esto se hizo un análisis al proceso de solicitud de pedidos en el área de Mantenimiento y se comparó con las demás áreas de fabricación (Ilustración 12) Esto se hizo, con el objetivo de estandarizar el proceso de solicitud en toda la fábrica (Ilustración 13). Se pudo determinar que el proceso variaba entre cada área, a pesar de que todas estas se manejan con el mismo sistema de inventarios (SAP). Además, se tenían distintos formatos en las plantillas donde se ingresaban todas las solicitudes, como se puede observar en la Cuadro No. 46.

La metodología 5'S permite mejorar la gestión de un lugar, y en este caso, la gestión de los inventarios analizados. Se ordenaron y unieron los datos históricos correspondientes a las zafas 2014-2015 hasta la del año 2016-2017. Se consideró que estas fechas eran suficientes para poder realizar un análisis completo, debido a que todas las áreas contaban con una base completa en este período, lo que iba facilitar la comparación entre ellas. Además, no se tenía la misma base de datos para cada área en fechas anteriores. Se hicieron distintas depuraciones de artículos para el área de Mantenimiento y se pudo reducir de 3144 ítems a 2426.

Con los artículos ordenados y completos, se priorizó por lead time y el impacto en el proceso. El lead time es crítico, ya que es el tiempo que tarda un ítem desde que se hace la orden de compra hasta que el producto llega a bodega. En un ingenio se cuenta con piezas o repuestos de proveedores en otros países, por eso es importante tomar en cuenta este aspecto. No es lo mismo tener un material agotado, pero que pueda solicitarse de forma inmediata, a uno que requiere de semanas o incluso meses para que pueda llegar al país. La priorización por impacto del proceso se refiere a, si el insumo detiene o no el proceso y por esta razón no puede faltar en el inventario de bodega. Esta categorización se hizo utilizando los criterios listados en los cuadros que se presentaron en antecedentes.

Al hacer la priorización se llegó a obtener 3 artículos "AA" y un total de 29 entre "AA", "AB" y "BA". Solo se pudo trabajar con 2 artículos "AA" debido a que no todos tenían un registro de consumo. De los 29 insumos, se analizaron 5 que se eligieron para que el análisis fuera más completo y se tuvieran datos en las categorías de interés (AA, AB, BA). Los porcentajes que representa cada código se pueden observar en el Cuadro No. 22. Los artículos considerados de prioridad alta, representan el 1.93% de cantidad de ítems del inventario asignado al área de Mantenimiento, los de media un 27.91% y los bajos un 70.16%. Los insumos de baja prioridad son la mayoría del inventario, ya que se consumen durante todo el año. El porcentaje bajo respecto a la cantidad de insumos totales en los de prioridad alta, se debe a que son piezas que se piden con menos frecuencia, ya sea por su impacto del proceso o lead time.

Entre todos los artículos ya priorizados, se tiene la característica que su consumo no es alto a lo largo del año y los pedidos no son grandes, pero sí son importantes para el Mantenimiento de la fábrica. Algunos mantienen una tendencia en los pedidos, solicitándose con cierta frecuencia. Otro aspecto importante es que todos son solicitados a un proveedor del extranjero y por esta razón los lead times son altos y caen en la primera categoría. De 29 insumos priorizados solamente 1 es de un proveedor nacional.

Se aplicaron los distintos modelos de pronósticos seleccionados y se comparó los resultados obtenidos con cada uno. No todos se pudieron aplicar a los 5 artículos elegidos. Al inicio se aplicó el modelo de correlación y regresión pero como se mencionó anteriormente, los ítems críticos en Mantenimiento no se piden en grandes cantidades o de forma continua. Este modelo consiste en relacionar el consumo o demanda (variable “y”) en relación a las toneladas de caña molida por mes del año (variable “x”) y esto limita el pronóstico a la época de zafra, ya que en la época de reparación no se tiene producción de azúcar. No todos los insumos críticos se consumen en zafra y por eso se hizo un análisis en relación al tiempo, para poder obtener resultados en la época de Mantenimiento.

Se graficaron los datos tomando la zafra desde los meses de noviembre hasta mayo según el año que se estaba analizando. Se hicieron 2 análisis, uno por mes de cada año y otro con la sumatoria de cada mes por año obteniendo mejores resultados con este último, donde se hizo por año el análisis. Al resumir más los datos, se pudieron ajustar mejor los valores y así tener un comportamiento más lineal con r^2 de hasta 0.69.

Por aparte, algunas piezas tenían demanda en los meses de Mantenimiento, por esta razón se decidió hacer el análisis en relación al tiempo. Se trabajó por mes y año, como lo muestran los Cuadros 41 y 42 ubicados en anexos. A pesar que los resultados parecen ser mejores que los anteriores, ya que hay un mejor ajuste en los datos, al ser tiempo y no tener un valor definido para cada mes, no se puede pronosticar un consumo a futuro, a diferencia de los datos utilizando las toneladas de caña procesadas

Se realizó un análisis de error a los valores obtenidos utilizando el método de correlación y regresión lineal. Los artículos con una mayor desviación del pronóstico y resultados menos exactos fueron los B y E. Esto significa que son los que se encuentran más lejanos del consumo real del material. Además cuentan con los coeficientes de regresión más bajos.

El error al aplicar el modelo de correlación y regresión a los datos analizados es sesgado. El comportamiento de los insumos analizados en algunos es cíclico y a pesar que en otros el consumo es más constante, la demanda no llega a ser lineal. Es por esto que los resultados obtenidos no son exactos. En Mantenimiento, los críticos no se consumen cada semana, sino cada cierto tiempo, variando según el insumo que se esté analizando, limitando la cantidad de datos disponibles para analizar por este método.

El siguiente modelo analizado fue el de media móvil. Este consiste en obtener un promedio del consumo en un tiempo n. Se trabajó con n igual a 3, 6 y 12 meses. Analizando los 5 artículos, se tuvieron pronósticos

menores, a la demanda real, pero al ser insumos que se piden muy poco y se venden en unidades, no es posible aplicar el pronóstico obtenido. Por ejemplo, no se puede pedir 0.5 unidades de un equipo, y por esta razón el resultado, a pesar que se está pidiendo menos, no se puede aplicar. Este método funciona mejor en químicos en donde estas cantidades si se pueden fraccionar, pero para el área de Mantenimiento no se manejan químicos críticos.

Cómo se puede apreciar en los Gráficos No. 196 a No. 200 ubicados en anexos, el pronóstico está por debajo de la demanda real. Esto significa que se está consumiendo menos de lo que se requiere y puede significar una reducción en la compra de este artículo o en este caso significa que no se cumple la demanda necesaria.

Se aplicó también el modelo de series cronológicas. Este utiliza un pronóstico con base en la estacionalidad de un producto. No se tuvieron resultados, debido a la ausencia de estacionalidad en los insumos críticos analizados en el área de mantenimiento. Sin estacionalidad, los resultados no son exactos, por otra parte, si se tiene definido un período de consumo, puede aplicarse el modelo. Esto puede aplicarse para algunos insumos del ingenio, por la forma de trabajo en que se dividen anualmente. (Reparación y zafra)

El siguiente método aplicado fue de suavización exponencial. Este consiste en utilizar datos de años anteriores y con estos, trazar un pronóstico para un siguiente año. En este caso, se utilizó el 2014 como el año base, y 2015 como la base de datos actual, todo esto para pronosticar al 2016. Este es útil para ítems que no tienen estacionalidad. Los resultados fueron algunos satisfactorios y otros no, donde para las piezas A y B hubo una reducción de consumo pronosticado, y para las D y E hubo un aumento del consumo, lo cual no reduce el inventario de bodega. El ítem C, se mantuvo igual, a los años anteriores. Los resultados se muestran en el Cuadro No. 24

Analizando los datos por distribución de frecuencias, el pronóstico no fue exacto. El resultado de este modelo implica reducir los pedidos, al regular una cantidad por cada mes, y en los artículos de mantenimiento no se puede hacer esto ya que los pedidos no se hacen en ese período. Cómo se puede observar en el Cuadro no. 40, se debe pedir como mínimo una unidad por mes lo que resulta en un aumento del inventario. Se hizo un ajuste de curvas por polinomios y los ajustes no mostraron resultados. Se tienen coeficientes de regresión muy bajos (Gráfico no. 201 ubicado en anexos) y es complicado predecir utilizando estas ecuaciones por la base de datos de inventario disponible. Al igual que con el modelo de correlación y regresión, al aplicar el ajuste de curvas por polinomios, se tiene un error sesgado porque el comportamiento de la propuesta, no se ajusta a la demanda.

Se obtuvieron las desviaciones medias absolutas (MAD) para los pronósticos y se compararon resultados para saber qué tan exactos habían sido. Las desviaciones medias más bajas se obtuvieron en el modelo de suavización exponencial y de correlación-regresión lineal, ambas con el artículo A, pero a pesar de estas desviaciones bajas, el resultado no se ajusta a la demanda. El insumo A tiene un coeficiente de correlación (r^2) de 0.0464 y en la suavización exponencial, no es posible obtener una reducción, ya que se solicitan 0.8

piezas, pero en realidad solo puede pedir uno, que es lo mismo que se pidió en el año anterior (Gráfico No. 204 ubicado en anexos). El método de media móvil y de frecuencias fueron los que mayores desviaciones tuvieron.

Luego de calcular el análisis error para cada modelo no se puede justificar cuál de los utilizados es el mejor para una aplicación general. Se debe evaluar la demanda individual de cada producto analizado, afinar la demanda y así reducir el impacto de este en los costos de inventario.

Se determinaron los porcentajes de costos en el área de mantenimiento, utilizando los saldos de bodega para el mes de marzo 2017, esto ya que eran los datos más recientes y de esta forma fueran más representativos los resultados. Los costos del inventario de mantenimiento representaron un 13% del total de dinero manejado en bodega para esa fecha. Se pudo analizar un 40% de insumos, que se tenían y se obtuvieron los porcentajes respecto al total de ítems según prioridad (alta, baja o intermedia). El 1.93 % de es de prioridad alta, estos representan el 11.74% de los costos, tienen el porcentaje más bajo por ser la categoría que tiene menos artículos, además por el mes elegido, es posible que no se haya tenido saldo de ciertas piezas importantes para esta área.

En conclusión general el pronóstico de correlación y regresión no se ajusta para analizar el área de mantenimiento. La mayor fuente de error estuvo en el pronóstico de la demanda que tenían estas piezas críticas, si la demanda fuera lineal, o tuviera una estacionalidad definida donde existe una clara tendencia, los resultados hubieran sido mejores y el pronóstico por este modelo hubiera sido válido.

El modelo que mejor se ajustó fue el de suavización exponencial, pero a pesar de mostrar una reducción del consumo para los insumos A y B como se muestra en los Cuadros no. 25 y 26, esta reducción no es posible aplicarla. Son piezas mecánicas que se venden por unidad, es decir no se puede pedir media unidad de una pieza, a diferencia de una materia prima o químico, en donde los pedidos no son unitarios. En general, los resultados no muestran que los artículos priorizados en esta área se ajusten a los pronósticos de demanda realizados.

Se recomienda aplicar el modelo correlación y regresión a otros artículos de categorías más bajas o en donde el consumo tenga una tendencia definida, así la ecuación que se obtenga sea útil y pueda pronosticar la demanda con mayor exactitud.

1. Conclusiones parciales

- a. El modelo de pronóstico de correlación y regresión elegido no se ajusta para analizar los insumos críticos en el área de mantenimiento. El comportamiento en el consumo para los artículos no tiene

una tendencia lineal y posee un r^2 promedio de 0.31, 0.06, 0.05 y 0.75 para cada análisis hecho por este método, es por esto que al querer ajustar la curva, los resultados no son los esperados.

b. La falta de diferenciación entre época de mantenimiento y zafra en el manejo de los datos afecta significativamente la aplicación de los modelos de la demanda de los insumos críticos., además a pesar de ser piezas críticas, sus pedidos no son altos y esto limita la disponibilidad de datos para que pueda ser aplicado el modelo de pronósticos correspondiente.

c. Se determinó que el 70.16% de los insumos son de impacto bajo y que el 1.93% son insumos críticos para el inventario del área de mantenimiento luego de aplicar la metodología 5'S y priorizar lo insumos por lead time, costo e impacto en el proceso siendo su impacto en el costo total del inventario de 35.59% y 29.22% respectivamente.

d. Se obtuvo una reducción de 0.20% y 0.05% y valores de MAD de 0.10 y 2.18 para los insumos A y B al utilizar el pronóstico por suavizamiento exponencial. Este modelo fue el que mejor predijo la demanda real, a diferencia del modelo de correlación y regresión en donde no se tuvo un pronóstico concreto.

e. Al aplicar el modelo de suavizamiento exponencial se determinó que de haber sido utilizado no se hubiera cumplido la demanda para los insumos priorizados, con un 80% y 95% para el insumo A y B respectivamente.

f. Los resultados de la correlación y regresión en relación al tiempo no generan pronósticos cercanos a la demanda real, debido a que no hay un valor definido para cada mes, a diferencia de las toneladas de caña molida, que puede proyectarse para el siguiente año.

2. Recomendaciones parciales

a. Se recomienda aplicar el modelo correlación y regresión a otros artículos de categorías más bajas o en donde el consumo tenga una tendencia o comportamiento definido, de forma que la ecuación de pronóstico sea útil.

b. Se debe extender la base de datos para contar como mínimo con 10 años de historial de pedidos, esto puede ayudar a definir qué tendencia se tienen en los insumos críticos de mantenimiento. Para poder mejorar resultados, se recomienda hacer un análisis con base a la producción de azúcar, estos

datos funcionarían como la variable “x” y podrían ajustarse mejor en relación al consumo, variable “y”

c. Disminuir la cantidad de insumos de baja criticidad en el inventario de mantenimiento ya que estos ocupan el 70.16% del total de insumos y un 35.59% de costos para esta área. Estos son insumos que no tienen lead times altos y su impacto en el proceso no es relevante, por esta razón se debe tener una gran cantidad menor de este tipo de materiales.

d. Para el mes de marzo 2017, 38.26 % de los insumos en bodega, eran de prioridad baja, por eso se recomienda disminuir la cantidad de ítems de prioridad baja en la bodega de Pantaleon, ya que tienen tiempos de entrega bajos y su impacto en el proceso no es crítico.

e. Aplicar en el área de mantenimiento el modelo de suavización exponencial, en insumos que sean críticos, que tengan una ausencia de estacionalidad y no sean vendidos por unidades (piezas, herramientas) de esta forma se podrá generar un pronóstico que si pueda aplicarse y reducir el inventario general del área.

F. SISTEMA COLABORATIVO DE FLUJO DE INFORMACIÓN

El objetivo general de este módulo de Megaproyecto fue analizar los procesos involucrados en el manejo de inventario para proponer un sistema colaborativo de flujo de información, con procedimientos estandarizados, que brinde la información necesaria para planificar el abastecimiento de insumos requeridos por áreas de fabricación del Ingenio Pantaleon. El resto de módulos se dedicaron a clasificar insumos y evaluar métodos de pronóstico de demanda de los mismos. Mucha de la información requerida para llevar a cabo la evaluación estaba incompleta (Cuadro No. 42) y desordenada, lo que dificultó el trabajo. En promedio, se obtuvo el 56.14% de la información solicitada. Por esta razón, este módulo se dedicó a analizar los procesos de solicitud, adquisición, recepción y despacho de insumos de las áreas de fabricación, proponiendo un sistema para obtener la información necesaria y ordenada y la realización de pronósticos de demanda.

Para lograr el objetivo general de este módulo, se establecieron cuatro objetivos específicos. El primero consistió en analizar el procedimiento de solicitud de insumos desde las áreas de fabricación del Ingenio Pantaleon, y realizar una propuesta de mejora estableciendo indicadores de desempeño. El segundo, proponer distintas metodologías de compra que puedan ser implementadas en el proceso de adquisición de insumos y que contribuyan a la reducción del costo. El siguiente objetivo específico fue evaluar y realizar una propuesta de mejora que permita agilizar los procesos de recepción y despacho de insumos. Por último, realizar una propuesta de un sistema colaborativo de flujo de información integrado por un sistema ERP «Enterprise

Resource Planning» (Sistema de Planificación de Recursos de una Empresa), que brinde los datos requeridos para pronosticar la demanda de insumos de las áreas de fabricación. Para lograr esto, se recaudó la información general del Ingenio Pantaleon: su proceso productivo, el sistema informático que poseen, las etapas y áreas de trabajo, etc.

Al tener un conocimiento general del Ingenio Pantaleon se establecieron las áreas que estarían involucradas en el análisis de procesos. Las áreas involucradas fueron: fabricación, compras y bodega. Esto debido a que dentro de estas divisiones se encuentran los procesos de solicitud, adquisición, recepción, almacenamiento y despacho de insumos requeridos en fabricación. El proceso de fabricación se divide en las siguientes áreas de trabajo: 1) Extracción de jugo, 2) tratamiento de jugo, 3) producción de energía, 4) recuperación de azúcar, 5) mantenimiento, y 6) automatización. A estas seis divisiones se les denominará áreas de fabricación, que poseen un equipo de trabajo. En este trabajo no se analizó el área de automatización debido a que únicamente consumen un 6% de los insumos totales dentro del inventario.

El análisis inició en el proceso de solicitud de materiales desde las áreas de fabricación. Se realizó una entrevista a los líderes de fabricación y bodega, que indicaron que no existe un procedimiento estándar, es por eso por lo que cada una de las áreas analizadas obtuvo diferente información, como se muestra en el Cuadro No. 46. También relataron los pasos generales que se deberían seguir. Estos pasos secuenciales fueron documentados utilizando un diagrama de flujo de actividades (Anexo 4, Figura 8). Luego se investigaron y documentaron los procedimientos realizados desde cada área de fabricación (Anexo 5, Figuras 9-12).

La solicitud se realiza de manera distinta en todas las áreas de fabricación. El área de extracción de jugo tiene varias operaciones de control. Entre ellas se encuentra la verificación que realiza el supervisor para determinar si el insumo realmente es necesario, autorizaciones por parte del jefe o coordinador del área, y documento de registro de solicitudes. El registro se realiza de manera manual, en un documento en Microsoft Excel. En el área de tratamiento de jugo se documenta de la misma manera. Las áreas de producción de energía, recuperación de energía y mantenimiento, descargan el reporte de las solicitudes realizadas desde el sistema SAP. Todos los métodos utilizados para la documentación son deficientes, ningún área posee el 100% de los datos para todas las solicitudes realizadas.

En todas las áreas se verifica existencias y se realiza una reserva en SAP, para luego imprimirla y que el jefe del área la firme. La reserva impresa y autorizada se traslada a bodega para que inicie la preparación del pedido y el proceso de despacho. En ninguna de las áreas de fabricación es común que se verifiquen existencias de los insumos imputados. Los insumos imputados son materiales que se han solicitado para algún proyecto, y la compra se carga como gasto en el sistema, aunque físicamente ingresen a bodega. Los insumos restantes no se encuentran registrados en el sistema luego de la finalización del proyecto. Los operadores de SAP indicaron que no se verifican debido a que se encuentran en un documento Excel que la mayoría del tiempo está desactualizado.

Se identificaron las buenas prácticas y los puntos de mejora dentro de los procedimientos realizados por las áreas de fabricación, y se presentó un procedimiento estándar (Figura No. 6) junto con los líderes de fabricación y bodega. El personal que se encarga del sistema informático en el Ingenio Pantaleon, desarrolló una base de datos en la red de su plataforma interna para insumos imputados, que permitirá mantener actualizado el registro de estos insumos. Luego se realizó una capacitación con todo el personal involucrado en el proceso, como supervisores, operadores de SAP, coordinadores y jefes de área. El procedimiento busca asegurar la verificación de existencias de los insumos imputados, lo que evita compras innecesarias. Además, se estableció un formato estándar para el registro de las solicitudes realizadas y se establecieron métodos de control en las áreas que no lo tenían. Por ejemplo, la verificación del supervisor para determinar si realmente se necesita el insumo.

Aunque se ha presentado un procedimiento estándar para la solicitud de insumos, se realizó una propuesta de mejora en la que se automatizan operaciones utilizando las herramientas del sistema SAP, eliminando tiempos de espera y de traslado. Se propone que el jefe del área realice la reserva desde SAP, y se utilice la herramienta de alerta para notificar al personal de bodega que ya ha sido autorizada la reserva. Esto permitirá que se prepare el pedido sin que se traslade la reserva impresa, lo que agilizará el proceso. Además, el tiempo de espera aproximado del operario se reducirá un 75% como se muestra en el Cuadro No. 31.

El segundo proceso analizado fue el proceso de compras (Anexo 7, Figura 14). Si no hay existencias del insumo requerido, el área de fabricación realiza una solicitud de compra, que debe ser autorizada según la política de autorizaciones de compra del Ingenio Pantaleon. Luego de ser autorizada, se inicia el proceso. Se solicitan cotizaciones a tres proveedores distintos, se reciben y analizan las cotizaciones y luego se selecciona al proveedor según el precio y las condiciones de pago. Se emite una orden de compra para realizar el pedido. Esta información fue obtenida en una entrevista realizada al director de compras del Ingenio Pantaleon. No existe una selección de una metodología de compra dentro del proceso.

La propuesta de mejora del proceso de compras (Anexo 7, Figura 15) consiste en la selección de una metodología de compras basándose en factores como el volumen de compra, el tipo de producto, la frecuencia de pedido y el tiempo de entrega de los proveedores. Para la selección de la metodología de compras se utilizó la clasificación de los insumos realizado por el resto de módulos, que se detalla en el Cuadro No. 28. Seleccionar una buena metodología de compra permitirá conseguir el mejor precio, y mejorar el flujo de efectivo de la empresa. Los insumos que tienen un tiempo de entrega muy largo y son de alta prioridad para la producción, se compran en grandes cantidades y con muy poca frecuencia. Se mantienen en inventario para evitar faltantes que puedan afectar el proceso productivo. Para lograr obtener un mejor precio de estos insumos se puede realizar una licitación o una subasta inversa con la que se espera reducir el precio un 15%. Este porcentaje fue establecido basado en licitaciones realizadas en Guatemala del 2014 al 2017, por la empresa Empresa Eléctrica de Guatemala S.A. (EEGSA). Además, en todos los artículos que poseen una demanda alta y constante como los insumos de limpieza, se podría realizar una negociación para realizar

compras por consignación con el que se espera un ahorro del 30% en los insumos B y un 40% en los insumos C. Se establecieron estos porcentajes con la información proporcionada durante entrevistas, sobre los excedentes de estos insumos durante el último año. Utilizando esta metodología siempre estarán abastecidos con estos insumos y tendría un impacto directo y positivo en el flujo de efectivo de la compañía.

Cuando el proveedor realiza la entrega de pedido se realiza el proceso de recepción (Anexo 8, Figura 16). Se requiere que el proveedor lleve la factura y la orden de compra para la entrega. El personal de bodega verifica que la factura, la orden de compra, y el pedido físico coincidan. Si el producto se encuentra en mal estado o no cumple con los estándares de calidad no se recibe. Puede haber entregas parciales, pero el trámite de pago se inicia hasta que el pedido sea entregado por completo. Luego de haber aceptado el pedido, el recepcionista ingresa la factura al sistema de manera manual. Es decir, ingresa los códigos de cada insumo para que se registren en el inventario. Por último, los insumos se rotulan y se almacenan en el lugar asignado. Algunos de los inconvenientes que relata el personal, es que el área de fabricación no se entera en el momento en que ingresa a bodega el pedido que solicitaron, lo que causa demoras en operaciones de producción o que se le despache el insumo a otra área que lo solicite.

Para el proceso de recepción de pedidos se propone (Anexo 8, Figura 17) utilizar la herramienta de alerta del sistema SAP para notificar al área de fabricación que el pedido solicitado está ingresando a la bodega. Esto evitará inconvenientes como atrasos en operaciones de mantenimiento y la utilización de insumos por parte de áreas que no lo solicitaron. También se recomienda analizar la opción de la implementación de un sistema de código de barras para facilitar la operación de ingreso en el sistema y la ubicación del insumo dentro de la bodega. Esto también permitirá llevar un control más exacto y evitará errores de ingreso.

El último proceso analizado fue el despacho de insumo de bodega (Anexo 8, Figura 18). Inicia cuando el operario del área de fabricación entrega la reserva impresa y firmada por el jefe del área. El encargado del despacho en bodega verifica la reserva y la ubicación de los insumos en SAP. Luego prepara el pedido, recolectando todos los insumos solicitados y procesa el despacho en SAP. Por último, entrega el pedido al operario. Todo el proceso de despacho conlleva un tiempo de espera del operario del área de fabricación.

Para el despacho de los materiales de bodega se propone (Anexo 8, Figura 19) utilizar la herramienta de alertas de SAP nuevamente para agilizar la preparación del pedido. En el momento que se autorice la reserva se notifica al personal de bodega. De esta manera el operario que se encarga del despacho puede iniciar la preparación del pedido y notificar por medio de un correo electrónico en el momento en que el pedido esté listo para ser despachado. Implementando esta propuesta de mejora se espera reducir un 43% en el tiempo como se muestra en el Cuadro No. 31. La implementación del sistema de código de barras también facilitaría la operación de despacho en el sistema.

Este módulo pretendía medir el impacto de la propuesta de mejora con los insumos analizados de áreas de fabricación del Ingenio Pantaleon, utilizando como indicador la reducción porcentual en el tiempo y el

costo de abastecimiento, que incluye el costo de mantener un inventario. Las propuestas planteadas no se han implementado, por lo que no se ha podido medir el impacto. Pero se realizó una propuesta de indicadores (Cuadro No. 32) que permita conocer el desempeño actual de los procesos y compararlo con el desempeño en el momento en que se decida implementar las mejoras propuestas. Todos estos indicadores pueden ser calculados con la información proporcionada por SAP. En la gran mayoría son el tiempo entre operaciones. Para el proceso de compras se incluyó la reducción en el precio en el que se adquieren insumos utilizando una nueva metodología de compra. Por último, se propone establecer como indicador el nivel de servicio de la bodega hacia fábrica, para los insumos con alto impacto en el proceso productivo. Es decir, la cantidad de veces que bodega puede proveer de insumos de alto impacto sin necesidad de que el área de fabricación solicite una compra.

El último objetivo específico de este módulo es proponer un sistema por medio del cual se intercambie la información necesaria para planificar el abastecimiento de insumos para áreas de fabricación del Ingenio Pantaleon, agilizando el proceso y permitiendo reducir los niveles de inventario. La propuesta (Figura No. 7) consiste en programar las entradas requeridas durante los procesos de solicitud, autorización, adquisición, recepción y despacho de insumos (Anexo 3, Cuadro No. 47) de áreas de fabricación del Ingenio Pantaleon, que permita brindar las salidas de información adecuadas para llevar un control de las solicitudes realizadas, comparar los precios a los que se han adquirido los insumos, pronosticar la demanda de insumos y medir el desempeño de los procesos. Las entradas en el sistema SAP se almacenan en una misma base de datos, por lo que pueden ser compartidas entre todos los módulos del sistema.

Este sistema colaborativo de flujo de información eliminará la documentación manual. En el momento en que se realice una operación en el sistema SAP Business One, se estarán generando entradas a la base de datos que permita generar las salidas deseadas. Muchas de las entradas se realizan de manera automática. Por ejemplo, la fecha y hora en la que se realiza una operación y el área que la realiza. Este sistema de flujo de información permitirá obtener el 100% de la información requerida. Al poseer mayor información se podrá calcular la tendencia de crecimiento de la demanda, las fluctuaciones, las estacionalidades, la reducción del costo de adquisición y el desempeño de los procesos, lo que permitirá realizar pronósticos más exactos.

1. Conclusiones parciales

- a. Se presentó un procedimiento estandarizado para solicitar insumos desde las áreas de fabricación del Ingenio Pantaleon, que podría asegurarla verificación de existencias y evitar compras innecesarias. Además, se propuso automatizar la operación de autorización de reserva de insumos por medio del sistema SAP Business One, lo que impacta en una reducción teórica del 75% en el tiempo de espera del operario.

b. Para el proceso de adquisición de insumos, se proponen tres metodologías de compra y se establece la reducción del precio entre las compras como indicador de desempeño de las metodologías. El ahorro esperado es de un 15% en los insumos con clasificación A (ahorro calculado con licitaciones realizadas en Guatemala del 2014 al 2017), un 30% en los insumos B y un 40% en los insumos (eliminación del excedente de compra realizando consignaciones).

c. En el proceso de recepción de insumos se propone utilizar la herramienta de alerta del sistema SAP Business One para notificar a las áreas de fabricación que el insumo ha ingresado a bodega. También se propone implementar una alerta para notificar que se ha autorizado una reserva de insumos, lo que permitirá al responsable de despacho iniciar el proceso de preparación de pedido. Esto contribuye a una reducción teórica del 43% en el tiempo del proceso de despacho.

d. La propuesta del sistema colaborativo de flujo de información integrado por SAP Business One, define las entradas necesarias para eliminar la documentación manual, calcular los indicadores de desempeño de los procesos, y pronosticar con mayor exactitud la demanda de insumos. Contribuye con un aumento teórico del 78% en los datos obtenidos en este Megaproyecto.

2. Recomendaciones parciales

a. Implementar el sistema de flujo de información para luego realizar un pronóstico de demanda para todos los insumos con clasificación A, utilizando el método que más se aproxima a la demanda real en cada área de fabricación según la evaluación realizada por cinco módulos de este Megaproyecto.

b.. Implementar la propuesta de metodologías de compras, y comparar el ahorro real con el ahorro esperado.

c. Capacitar constantemente a todos los colaboradores del Ingenio Pantaleon que utilizan el sistema SAP Business One, para un mejor aprovechamiento del software, incluso en las áreas que no estuvieron involucradas en el análisis.

d. Implementar una metodología de análisis de procesos continua, evaluando los resultados e identificando posibles puntos de mejora. Se recomienda aplicar el ciclo PDCA «Plan, Do, Check, Act» (PHVA «Planear, Hacer, Verificar, Actuar»).

e. Evaluar el impacto real de las propuestas de mejora en el momento de su implementación y la factibilidad de replicar el mismo análisis de procesos, para evaluar posibles puntos potenciales de mejora en las empresas de Grupo Pantaleon.

IX. CONCLUSIONES

1. Al evaluar los métodos en cada una de las áreas de fabricación, se determinó que el más apropiado para pronosticar la demanda de insumos fue el modelo de descomposición de series cronológicas, utilizando el MAD como parámetro de comparación.
2. Realizar la autorización de reserva de insumos por medio del sistema SAP Business One, impacta en una reducción teórica del 75% en el tiempo de espera del operario.
3. Para el proceso de adquisición de insumos, se proponen tres metodologías de compra y se establece la reducción del precio entre las compras como indicador de desempeño de las metodologías. El ahorro esperado es de un 15% en los insumos con clasificación A, un 30% en los insumos B y un 40% en los insumos C.
4. Utilizar la herramienta de alerta de SAP Business One permitirá al responsable de despacho iniciar el proceso de preparación de pedido. Esto contribuye a una reducción teórica del 43% en el tiempo del proceso de despacho.
5. La propuesta del sistema colaborativo de flujo de información integrado por SAP Business One contribuye con un aumento teórico del 78% en los datos obtenidos en este Megaproyecto.

X. RECOMENDACIONES

1. Realizar un pronóstico de demanda para todos los insumos con clasificación A, utilizando el método más apropiado para cada área implementando el sistema colaborativo de flujo de información.
2. Implementar la propuesta de metodologías de compras, y comparar el ahorro real con el ahorro esperado.
3. Capacitar constantemente a todos los colaboradores del ingenio que utilizan el sistema SAP Business One, para un mejor aprovechamiento del software.
4. Implementar una metodología de análisis de procesos continua, evaluando los resultados e identificando posibles puntos de mejora.
5. Evaluar el impacto real de las propuestas de mejora en el momento de su implementación y la factibilidad de replicar el mismo análisis de procesos, para evaluar posibles puntos potenciales de mejora en las empresas del grupo.

XI. BIBLIOGRAFÍA

1. Anderson, D; Sweeny, D. y Williams, T. 2012. *Estadística para negocios y economía*. 11ª. Edición. CengageLearning. México. 250 págs.
2. Cengicaña (2012). *El Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala*. 1st ed. Guatemala: Artemis Edinter, pp.307-361.
3. Chapra S. (2010) *Métodos Numéricos para ingenieros* 6ta edición. Mc Graw Hill: México D.F., México, pág.:400-420
4. Chase, R.; Jabobs, F.; Aquilano, N. (2009) *Administración de operaciones: Producción y cadena de suministros*. Duodécima edición. México, D.F. Editorial McGraw-Hill. Págs. 466-470.
5. Chen J.(1993).*Manual del Azucar de caña*. editorial LimusaS.A.:México D.F.,pág.:102-205
6. Chopra (2008). *Administración de la cadena de Suministro* 3era edición, editorial Pearson Education: México, pág.:205-269
7. *Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa*. Obtenido de: [<http://tfig.unece.org/SP/contents/identify-opportunities-improvement.htm>] consultado el 4 de mayo del 2017
8. *Control y Manejo de Inventario y Almacén*. (2014). 1st ed. [PDF] Nueva Barcelona del Cierro Santo: FIAEP, pp.54-58. Disponible at: <http://www.fiaep.org/site2/> [Consultado 26 Sep. 2017].
9. *Diferencias entre SAP Business One y SAP All-in-one*. Obtenido de: [<https://backofficemag.wordpress.com/2008/09/30/diferencias-entre-sap-all-in-one-y-sap-business-one/>] consultado el 2 de agosto del 2017
10. Eppen, G. (2000). *Investigación de operaciones en la ciencia administrativa*. 5ta. Edición. México, D.F. Editorial Prentice Hall. Pág. 364-368.
11. *Guatemala-Ingenio Pantaleón*. Obtenido de: [<https://www.pantaleon.com/#ingenios-guatemala-pantaleon>] consultado el 23 de mayo del 2017.
12. Hadley, G., y T. M. Whithin, (2001) *Análisis de sistemas de inventarios*. Tercera edición. España. Editorial Norma, Pág. 522.
13. Heizer J.; Render, B. *Administración de operaciones*. (2009). Séptima edición. México, D.F. Editorial Pearson Educación. Págs. 109-115

14. Hillier y Lieberman. (2002). *Investigación de Operaciones*. México: McgrawHill / Interamericana Editores, S.A. de C.V.
15. Hugot, E. (1963). *Manual para ingenieros azucareros*. (1963). México. Compañía Editorial Continental. Pág. 802.
16. *Ingenios Activos*, ASAZGUA. Obtenido de: [<http://www.azucar.com.gt/ingenios.html>] consultado el 10 de mayo del 2017.
17. Krajewski L(2008) *Administración de Operaciones: Procesos y Cadenas de Valor* 8a edición, Pearson education: México, pág.:405-489
18. López, V. (2008). *Gestión eficaz de los procesos productivos*. Primera edición. Madrid, España. Editorial WolterKluwer, Página 65.
19. Melgar M.(2012) *El cultivo de la caña de Azúcar en Guatemala* editorial Artemis Edinter , S.A.: Mixco, Guatemala, pág.:307-407
20. *Módulos de SAP Business One*. Obtenido de: [<http://www.evolve-it.com.mx/sap-business-one/modulos-de-sap-business-one/>] consultado el 2 de agosto del 2017.
21. Moya, M. (1990) *Investigación de operaciones: Control de inventarios y teoría de colas*. 2da edición. Editorial: Universidad estatal a distancia.
22. Muller, M. (2004). *Fundamentos de la Administración de Inventarios*. 20th ed. Bogotá: Editorial Norma, pp. 1-5.
23. Pantaleon. (2016). *Pantaleon*. [online] Disponible en: <https://www.pantaleon.com> [Consultado 26 Sep. 2017].
24. *Regresión lineal o mínimos cuadrados*. Obtenido de [<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/pron%C3%B3stico-de-ventas/regresi%C3%B3n-lineal/>] consultado el 13 de julio del 2017
25. Rein P. (2012). *Ingeniería de la Caña de Azúcar*. 1 edición. Bartens: Madrid, España.
26. Rey F.(2005). *Las 5S: orden y limpieza en el puesto de trabajo*, ARTEGRAF S.A.: Madrid, España
27. Sácristan, F. (2005) *Las 5'S orden y limpieza en el trabajo*. Fundación Confemetal. Primera edición. Madrid, España. FC Editorial. Pág. 17.
28. *SAP BUSINESS ONE*. Obtenido de: [http://www.bexap.com/sap_business_one.html] consultado el 2 de agosto del 2017
29. Schroeder R.(1992). *Administración de Operaciones*, McGraw-Hill: México, pág.:205-265

30. *Software para pequeñas y medianas empresas*. Obtenido de: [<https://www.sap.com/latinamerica/trends/sme-business-software.html>] consultado el 20 de julio del 2017.
31. Soto, D. (2017). *¿Qué es SAP y para qué sirve SAP?*. [en línea] Nextech. Disponible en: <http://nextech.pe/que-es-sap-y-para-que-sirve-sap/> [Consultado 27 Sep. 2017].
32. Starr, Martin K., y D. W. Millar. (2001). *Control de inventarios: Teoría y práctica*. México. Pág. 620.
33. Sweeney A. (2012) *Estadística para negocios y economía* 11va edición editorial CENGAGE Learning: México D.F., México
34. Taha, H. (2004) *Ingeniería de operaciones*. Séptima edición. México, D.F. Editorial Pearson Educación. Pág. 491-511.
35. Wagner, R. (2007) *Historia del azúcar en Guatemala*. Primera edición. Guatemala. Editorial Galería Guatemala. Págs.244-254.
36. Winston,W. (2005) *Investigación de Operaciones, Aplicaciones y algoritmos*. 4ta Edición. CengageLearning, México.1418 págs.
37. Yzquierdo-Herrera, R. Silverio-Castro, Otros. (2012). *Diagnóstico de proceso basado en el descubrimiento de subprocessos*. 09/07/2017, de SCIELO Sitio web: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59362012000200005

XII. ANEXOS

A. Datos originales

a. Extracción y producción de vapor

Gráfico No. 1. Demanda del ítem A y la cantidad de caña molida bimensualmente.

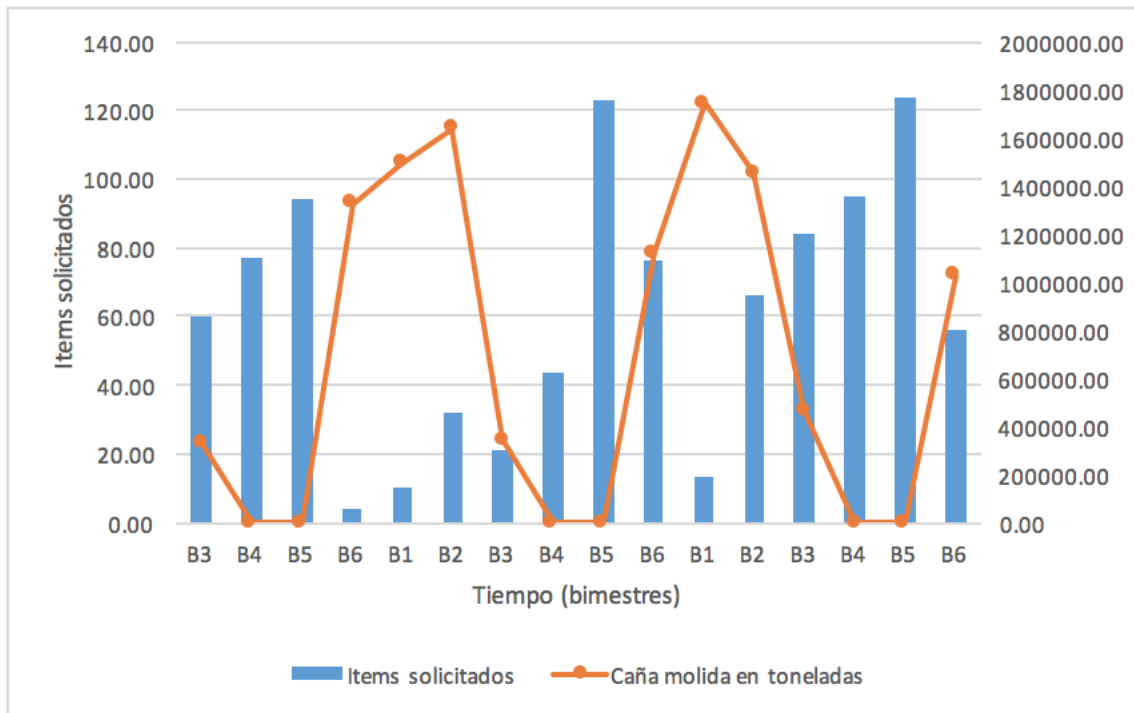


Gráfico No. 2. Demanda del ítem B y la cantidad de caña molida bimensualmente.

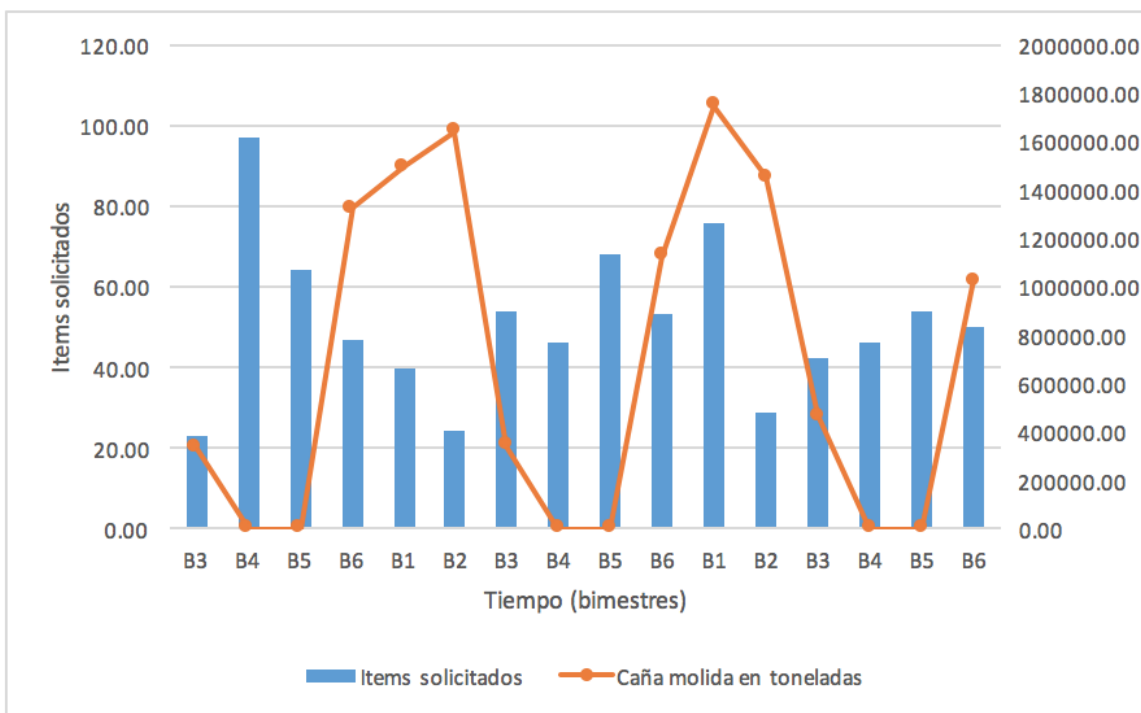


Gráfico No. 3. Demanda del ítem C y la cantidad de caña molida bimensualmente.

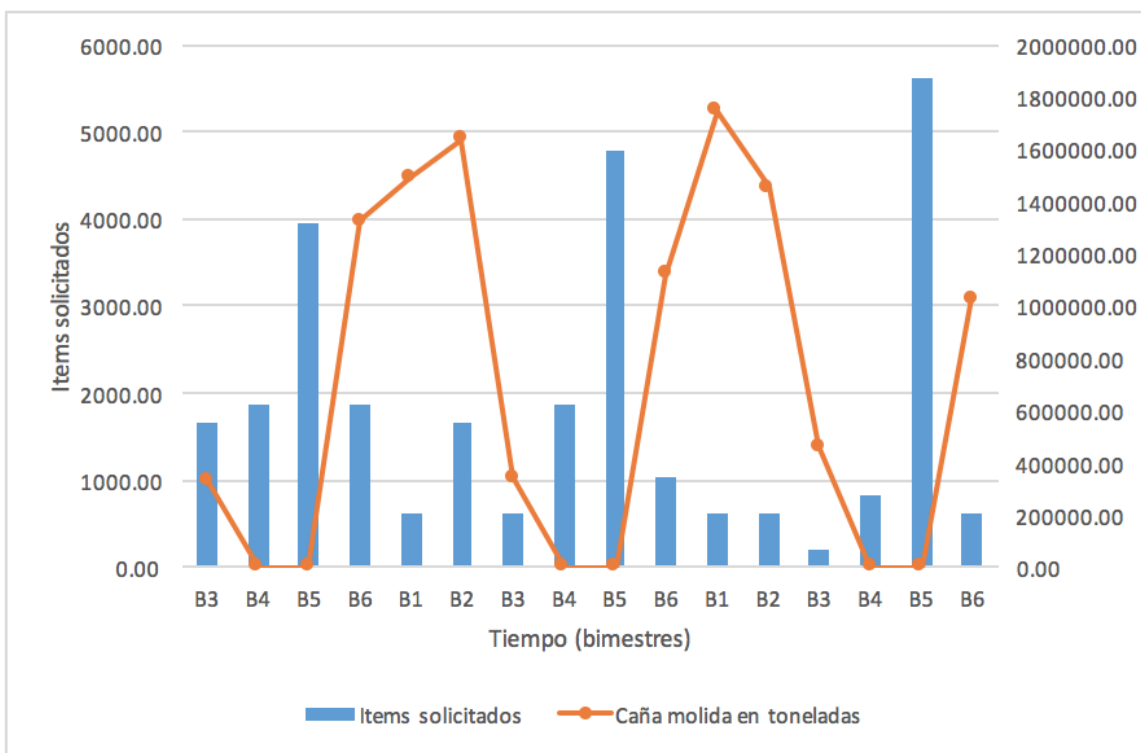


Gráfico No. 4. Demanda del ítem D y la cantidad de caña molida bimensualmente.

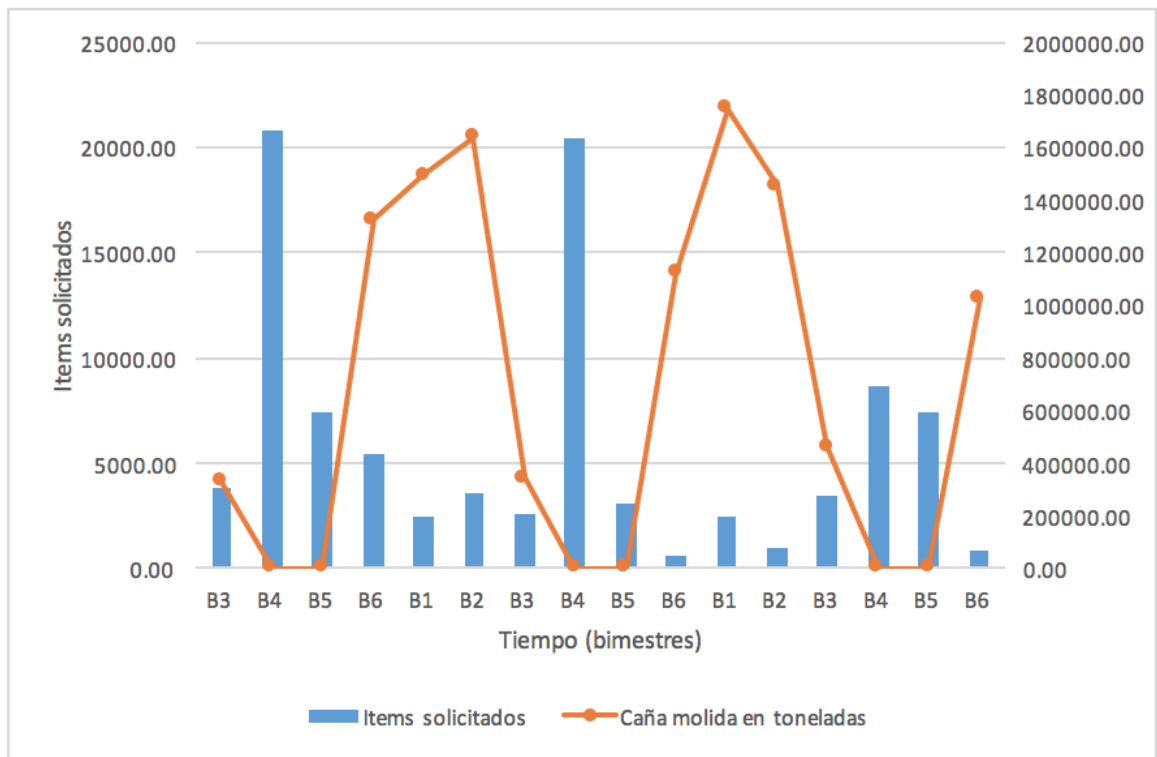
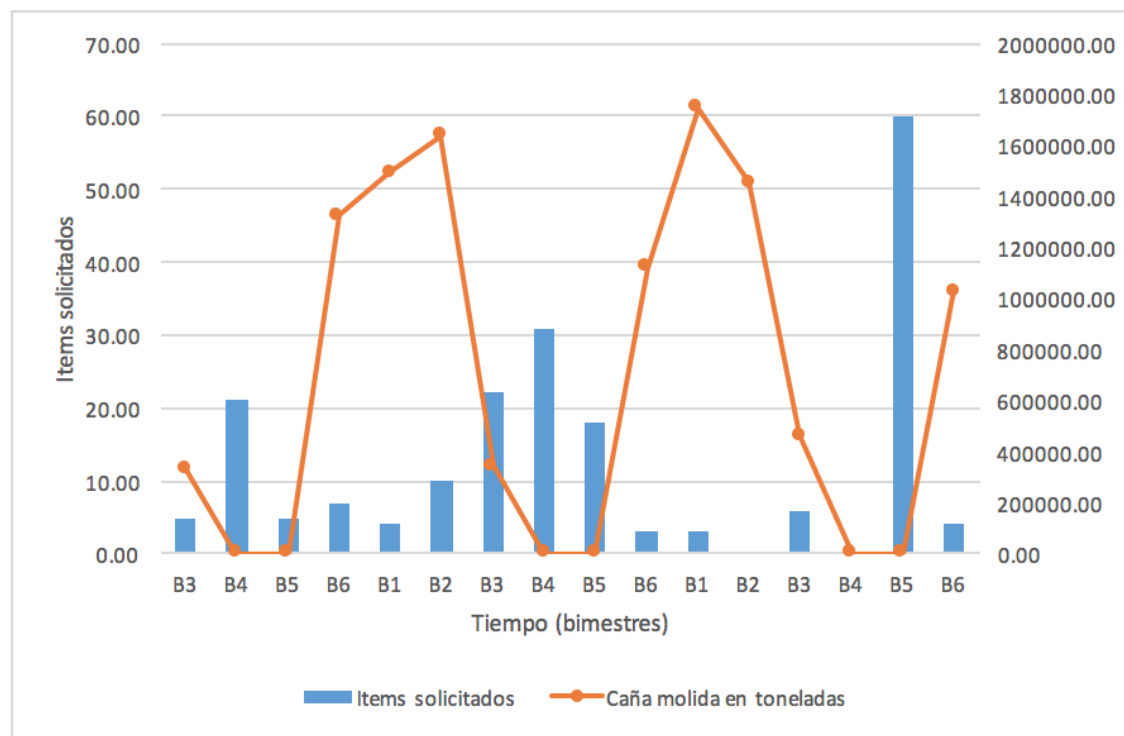


Gráfico No. 5. Demanda del ítem E y la cantidad de caña molida bimensualmente.



b. Tratamiento de jugo

Gráfico No. 6 Demanda general del material A

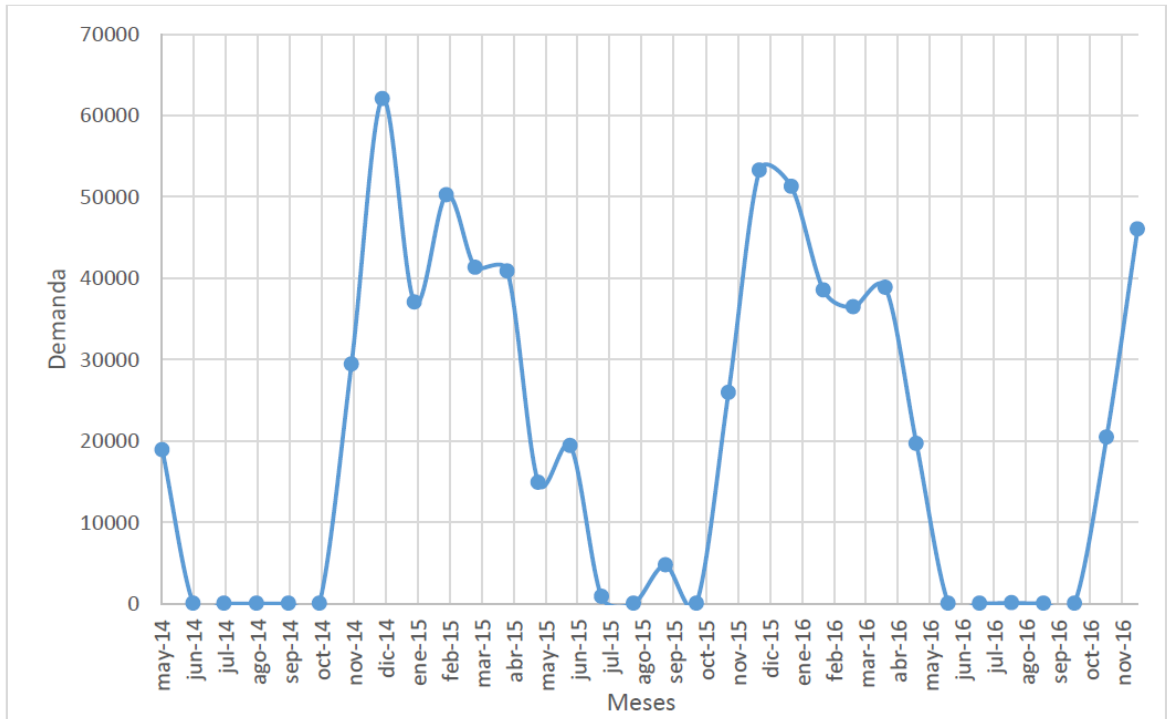


Gráfico No. 7 Demanda del material A en época de zafra

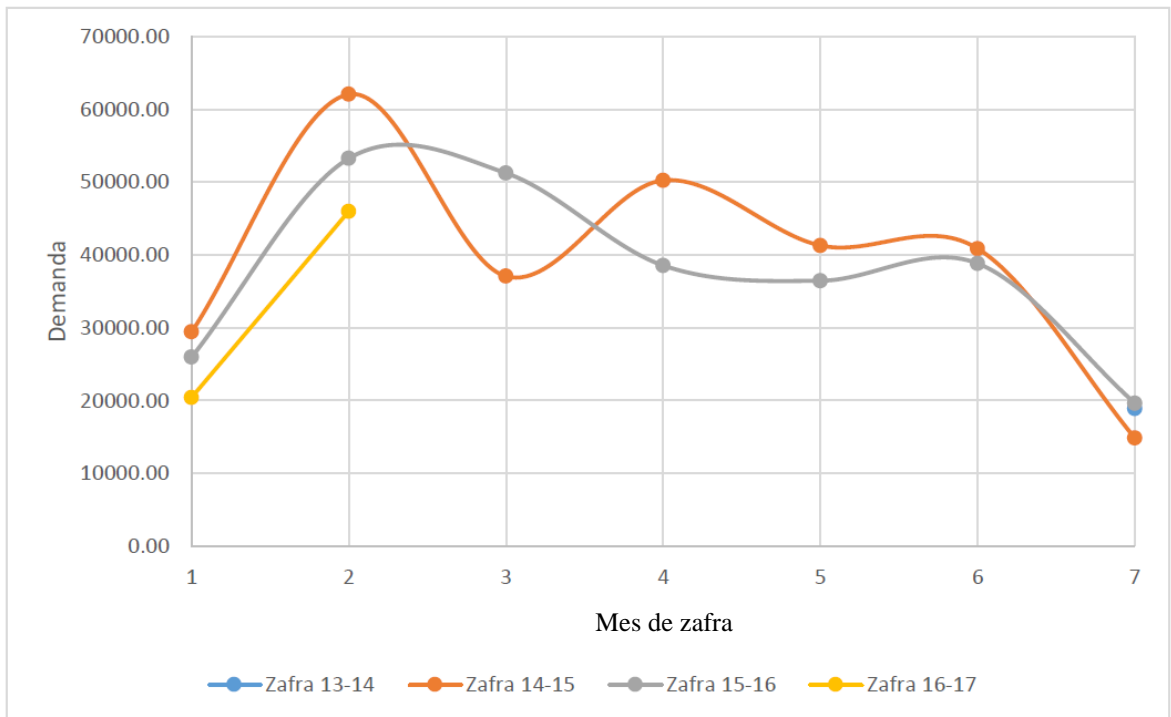


Gráfico No. 8 Demanda general del material B

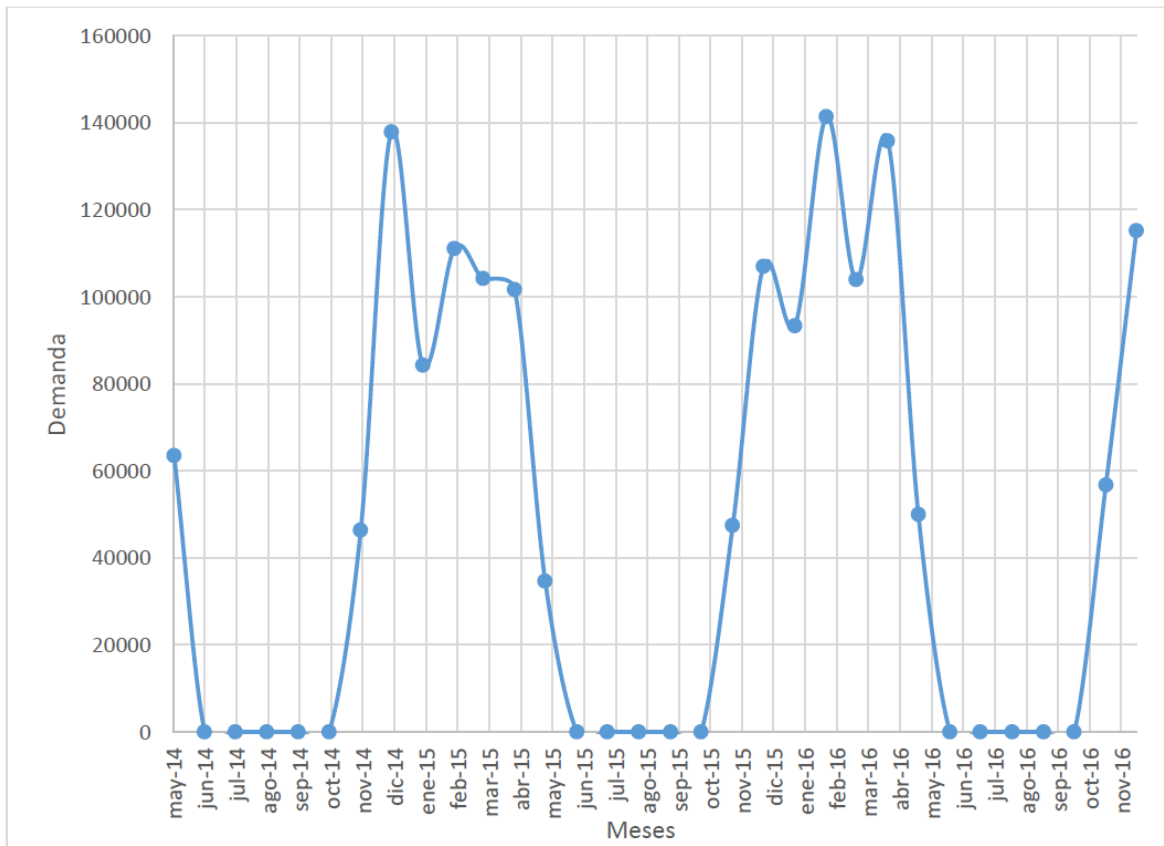


Gráfico No. 9 Demanda del material en época de zafra

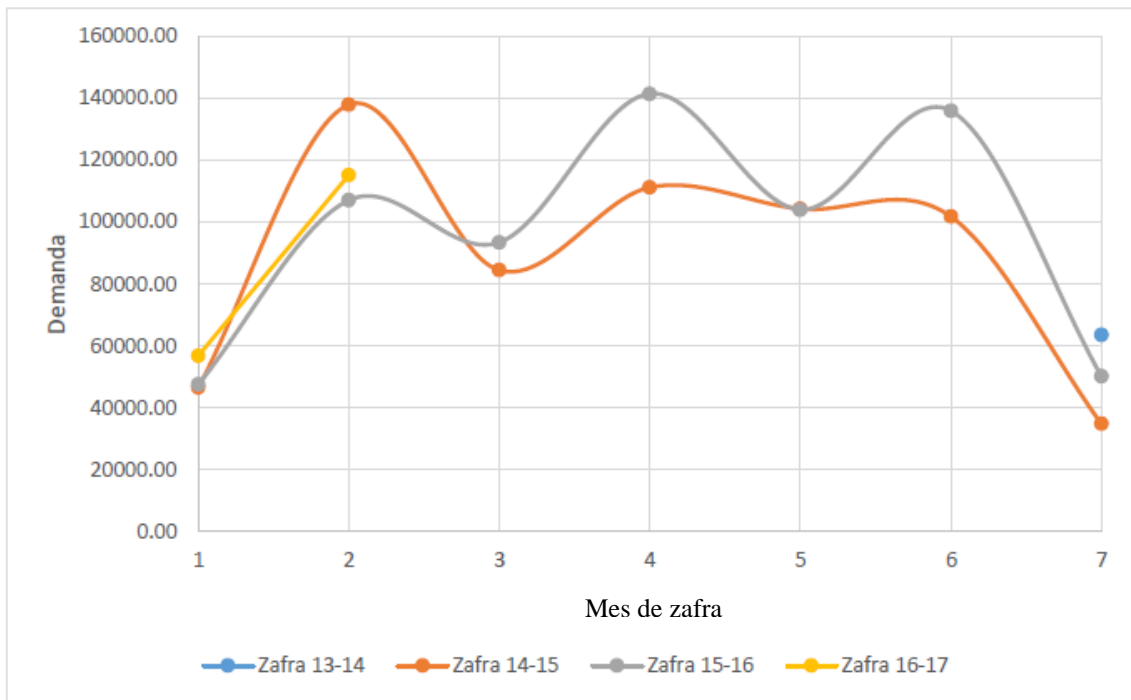


Gráfico No. 10 Demanda general del material C

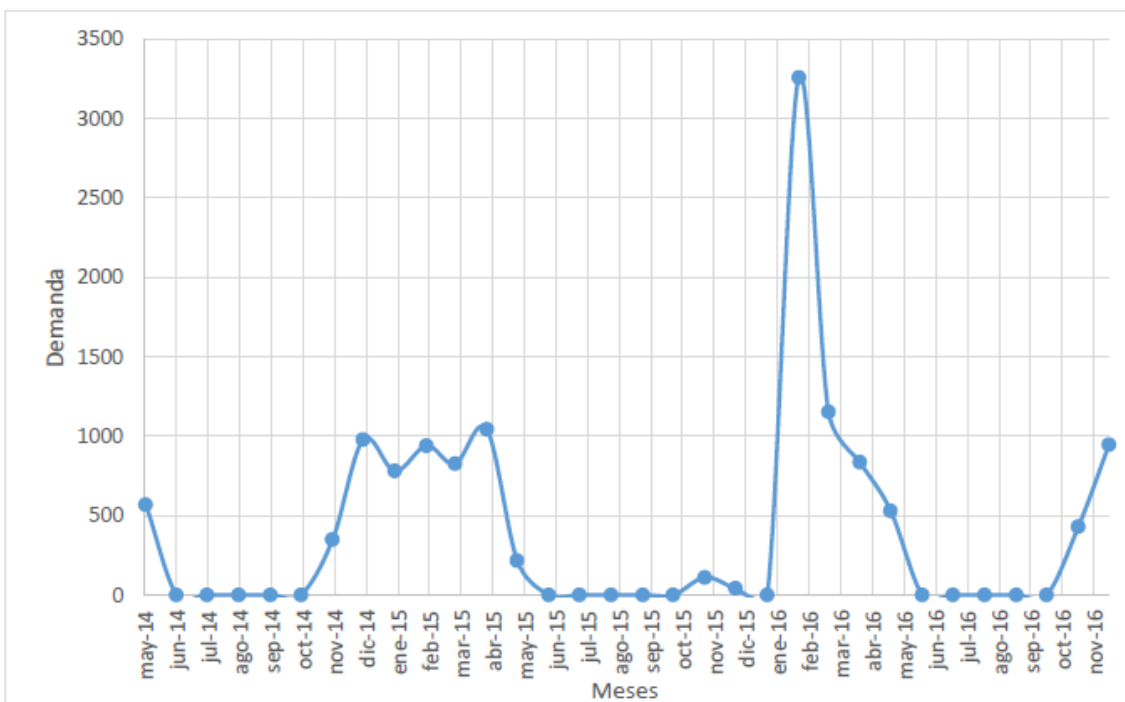


Gráfico No. 11 Demanda de material C en época de zafra

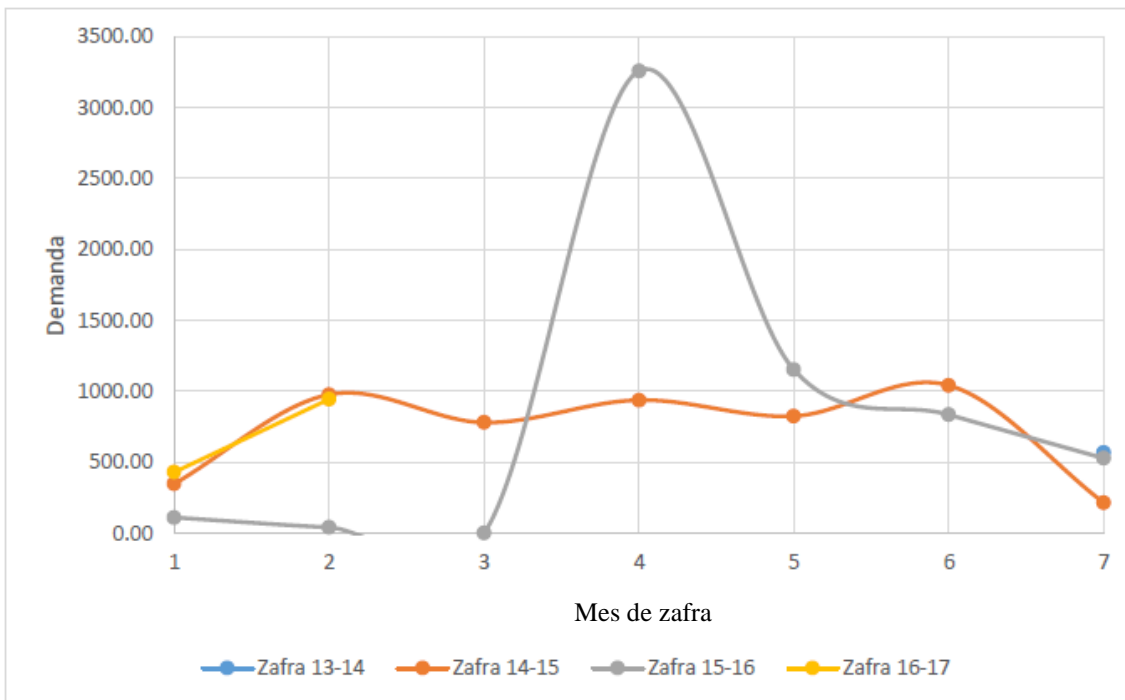


Gráfico No. 12 Demanda general de material D

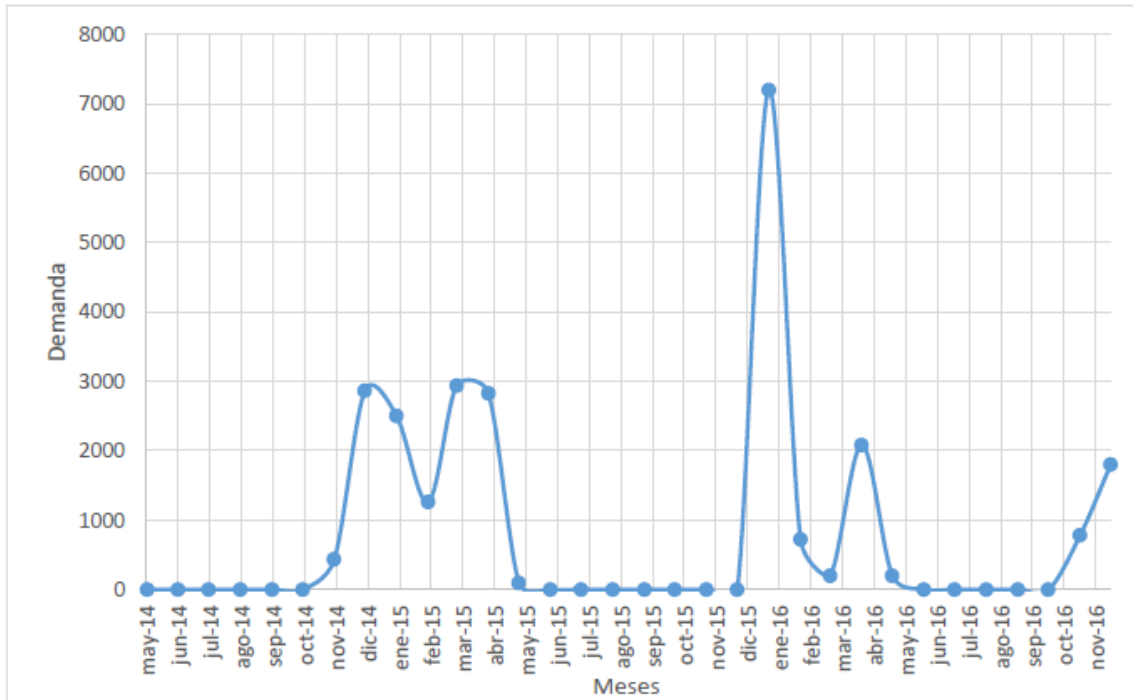


Gráfico No. 13 Demanda de material D en época de zafra

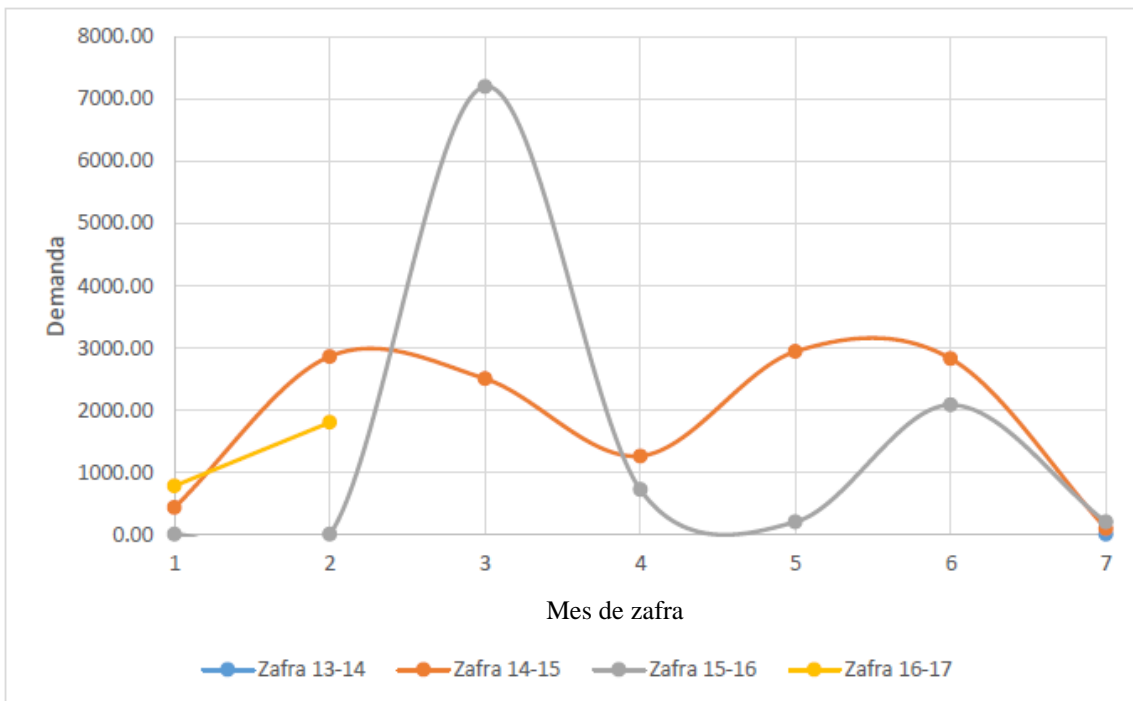


Gráfico No. 14 Demanda general del material E

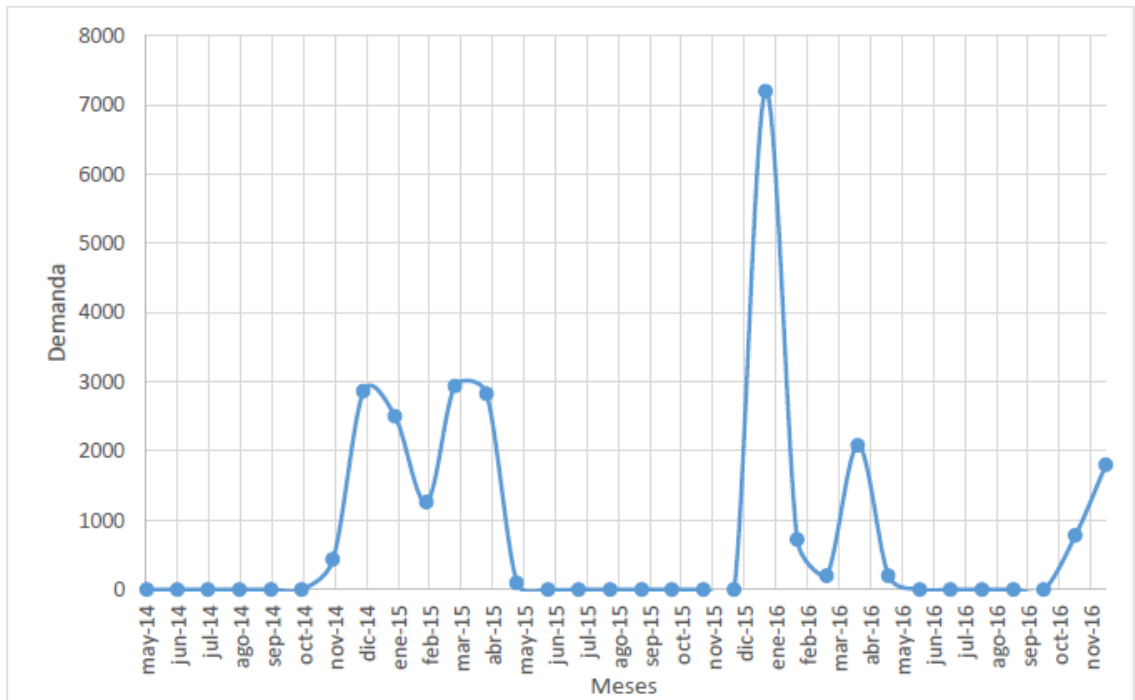
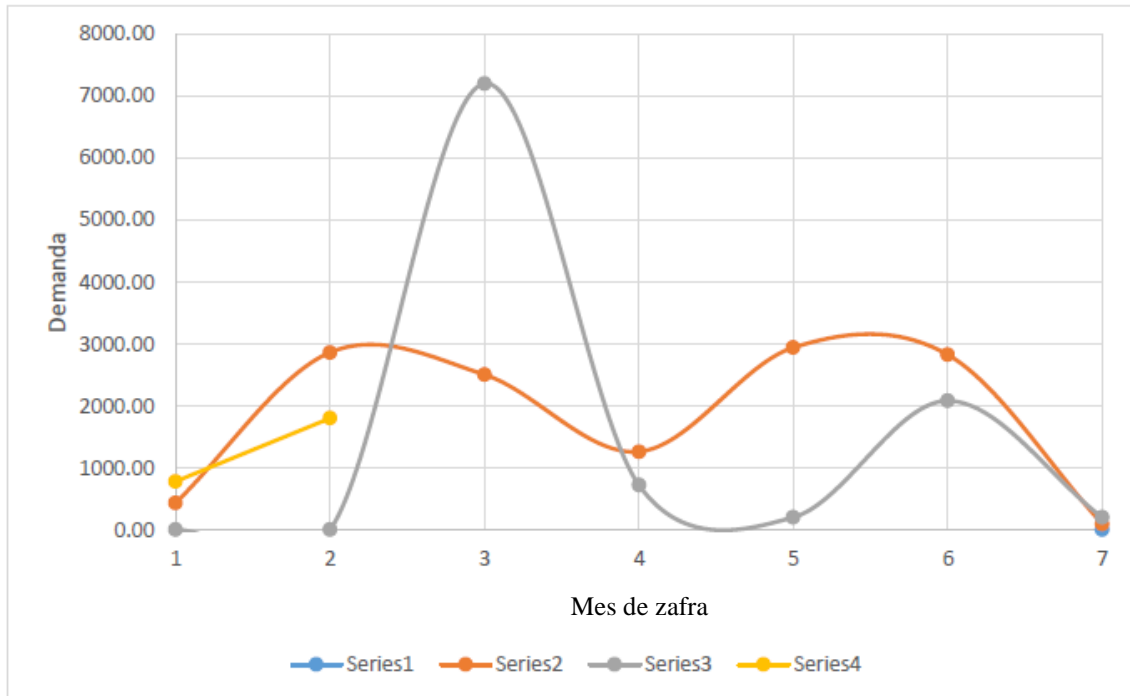


Gráfico No. 15 Demanda del material E en época de zafra



c. Recuperación de sacarosa

Gráfico No.16 Demanda real para insumo priorizado A para mayo 2014 a diciembre 2016

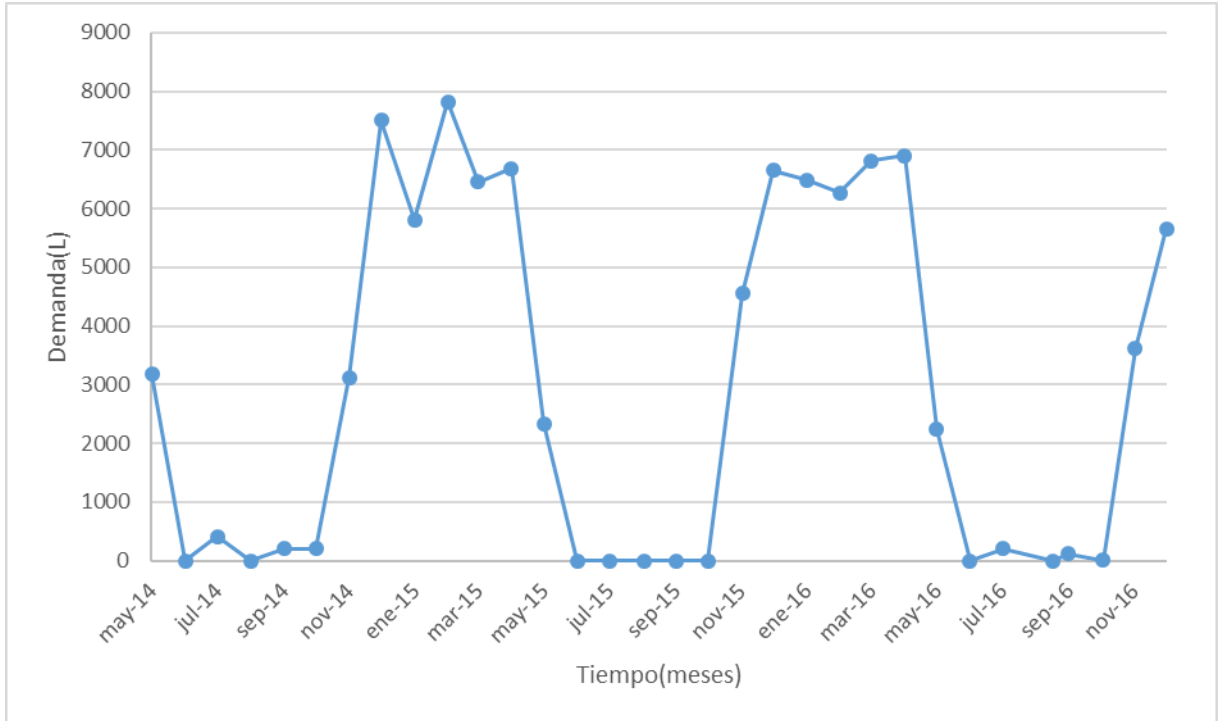


Gráfico No.17 Demanda real para insumo priorizado B para mayo 2014 a diciembre 2016

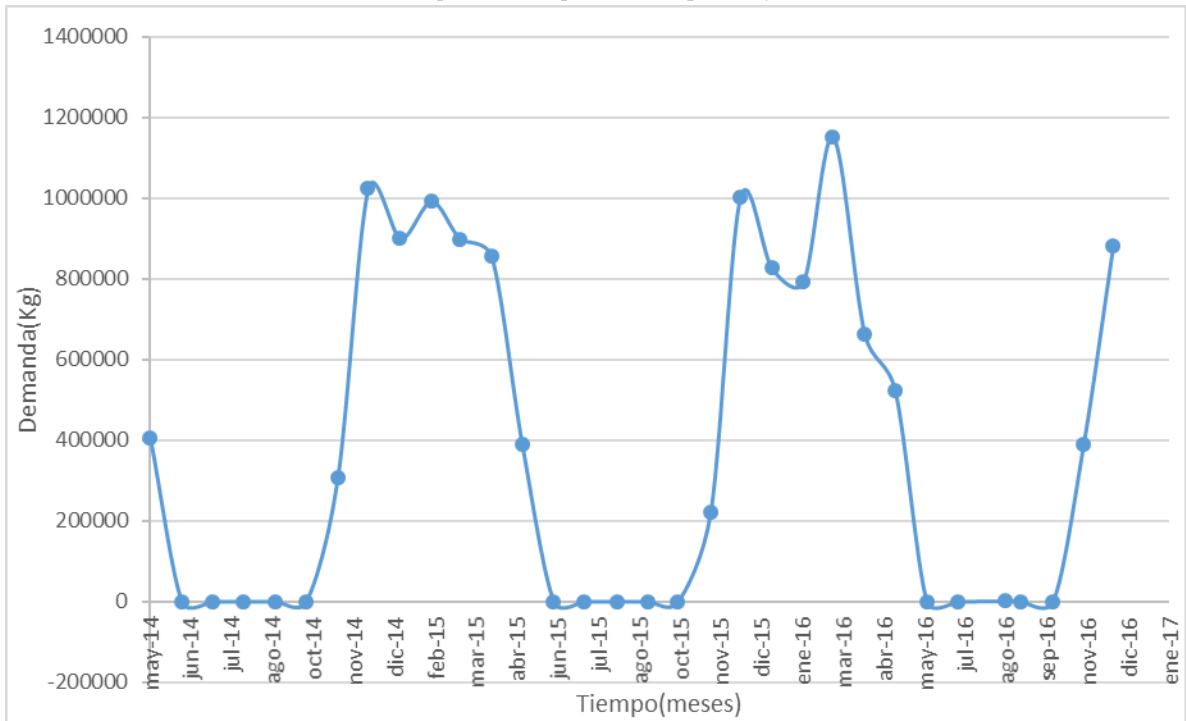


Gráfico No.18 Demanda real para insumo priorizado C para mayo 2014 a diciembre 2016

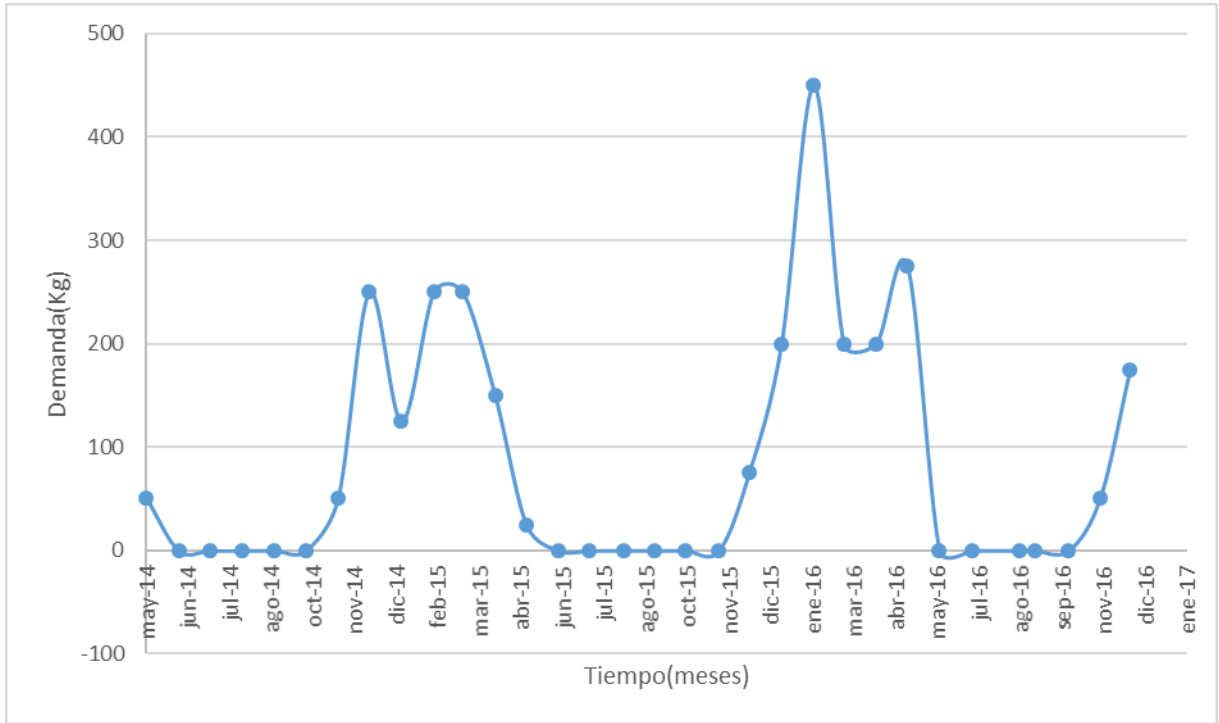


Gráfico No.19 Demanda real para insumo priorizado E para mayo 2014 a diciembre 2016

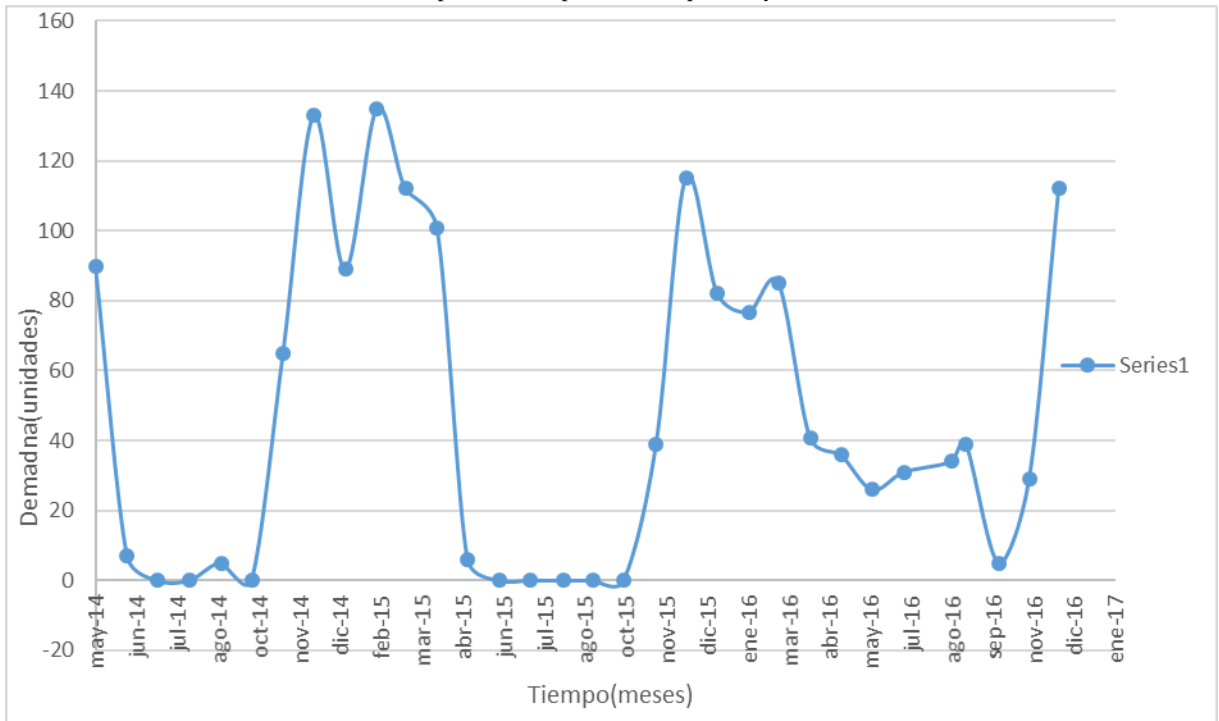


Gráfico No.20 Demanda real para insumo priorizado D para mayo 2014 a diciembre 2016

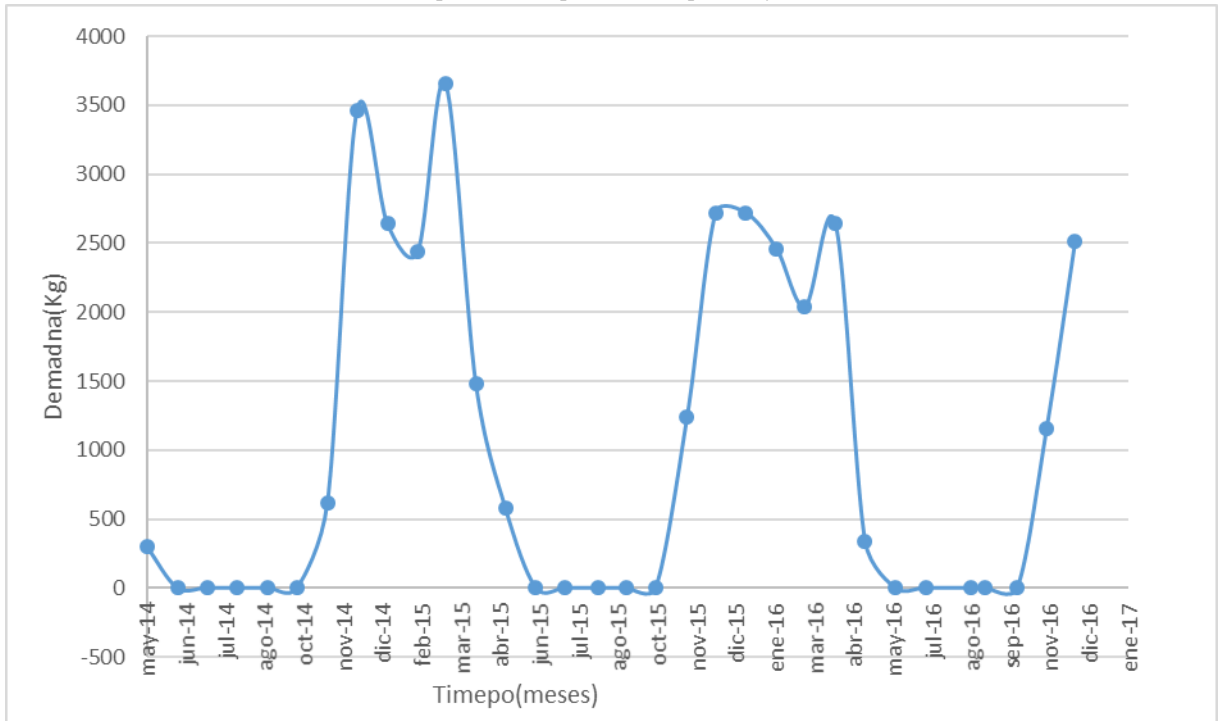


Gráfico No.21 Demanda real para insumo priorizado F para mayo 2014 a diciembre 2016

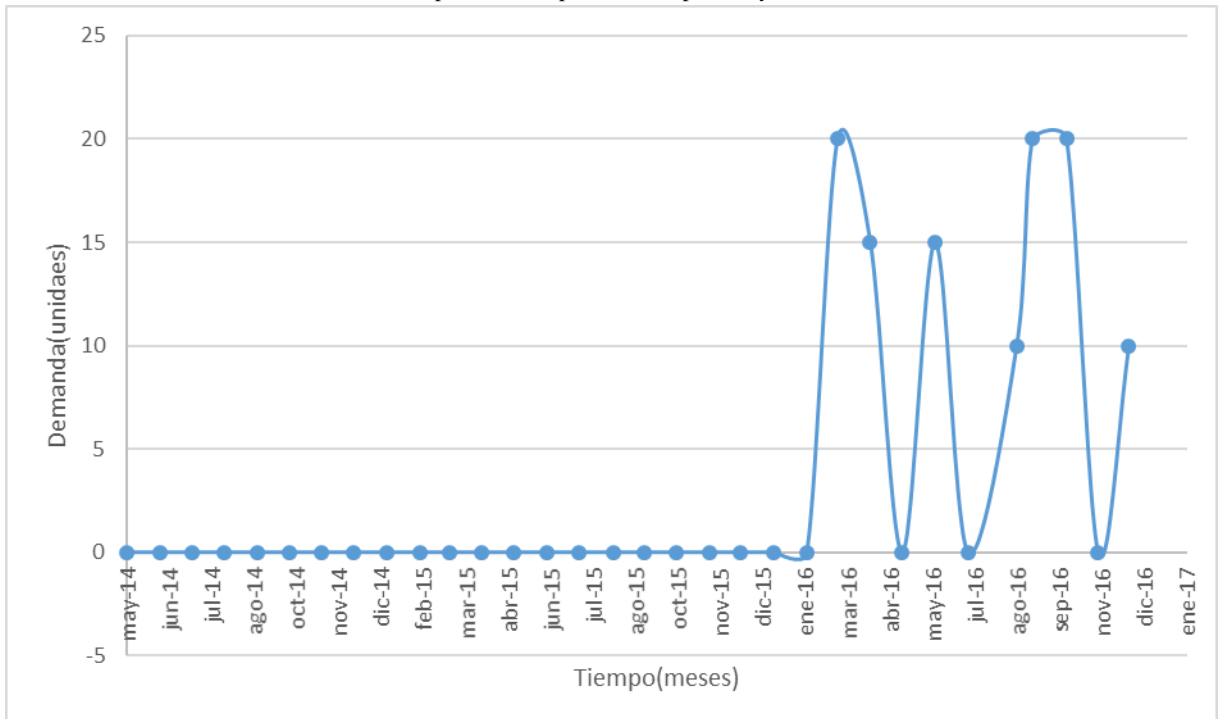


Gráfico No.22 Demanda real para insumo priorizado G para mayo 2014 a diciembre 2016

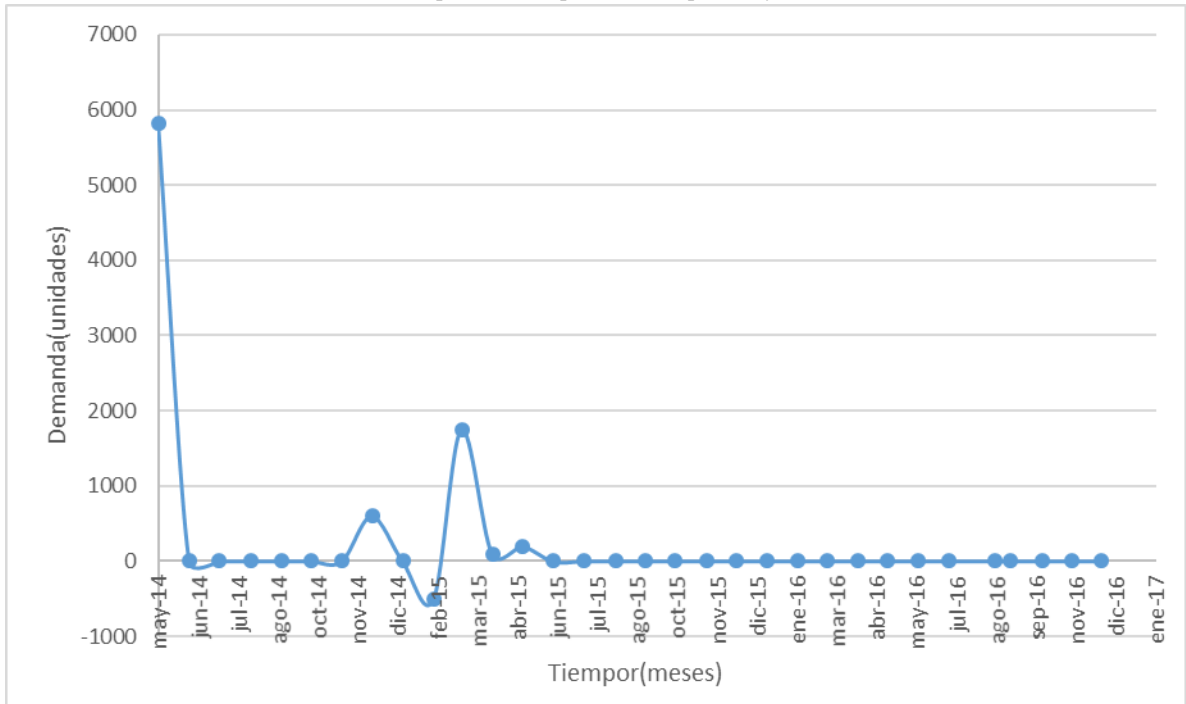


Gráfico No.23 Demanda real para insumo priorizado H para mayo 2014 a diciembre 2016

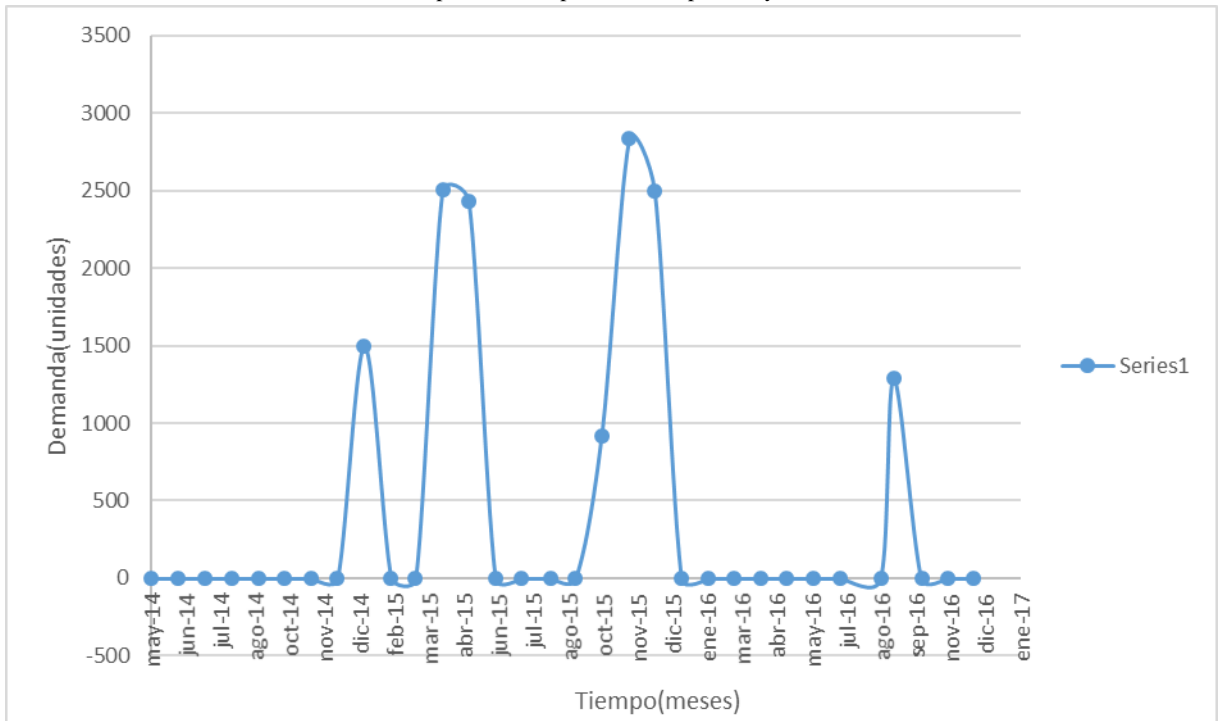


Gráfico No.24 Demanda real para insumo priorizado I para mayo 2014 a diciembre 2016

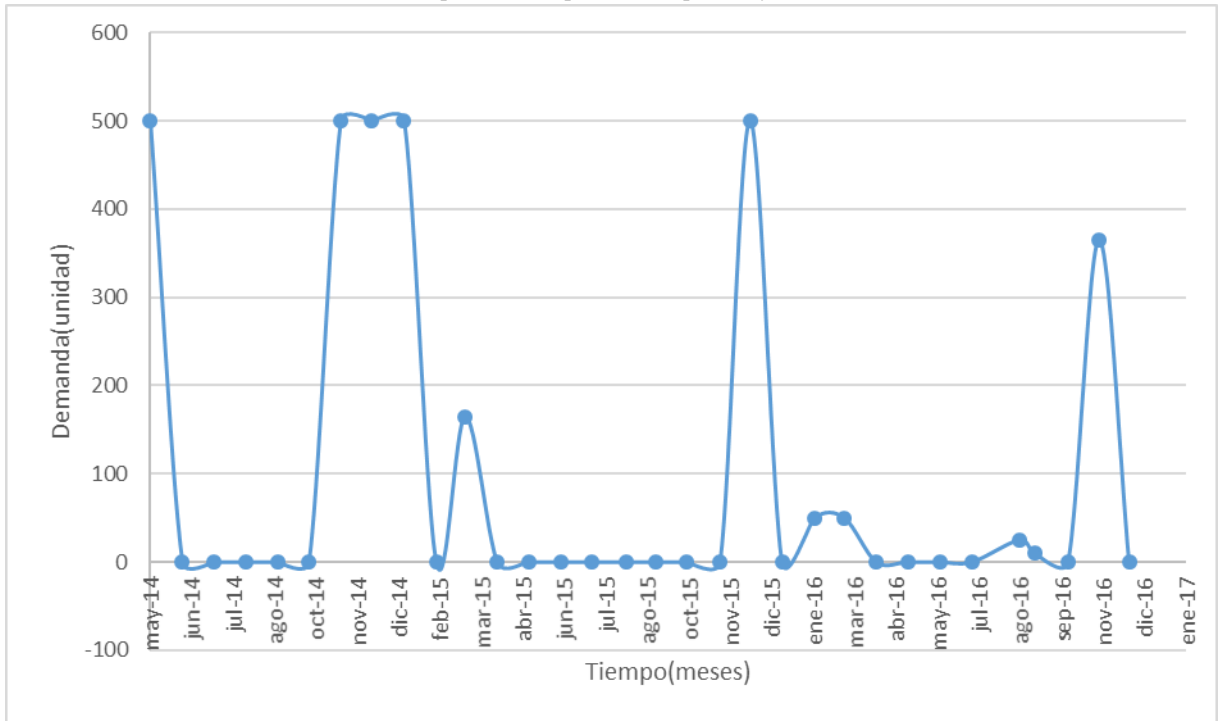
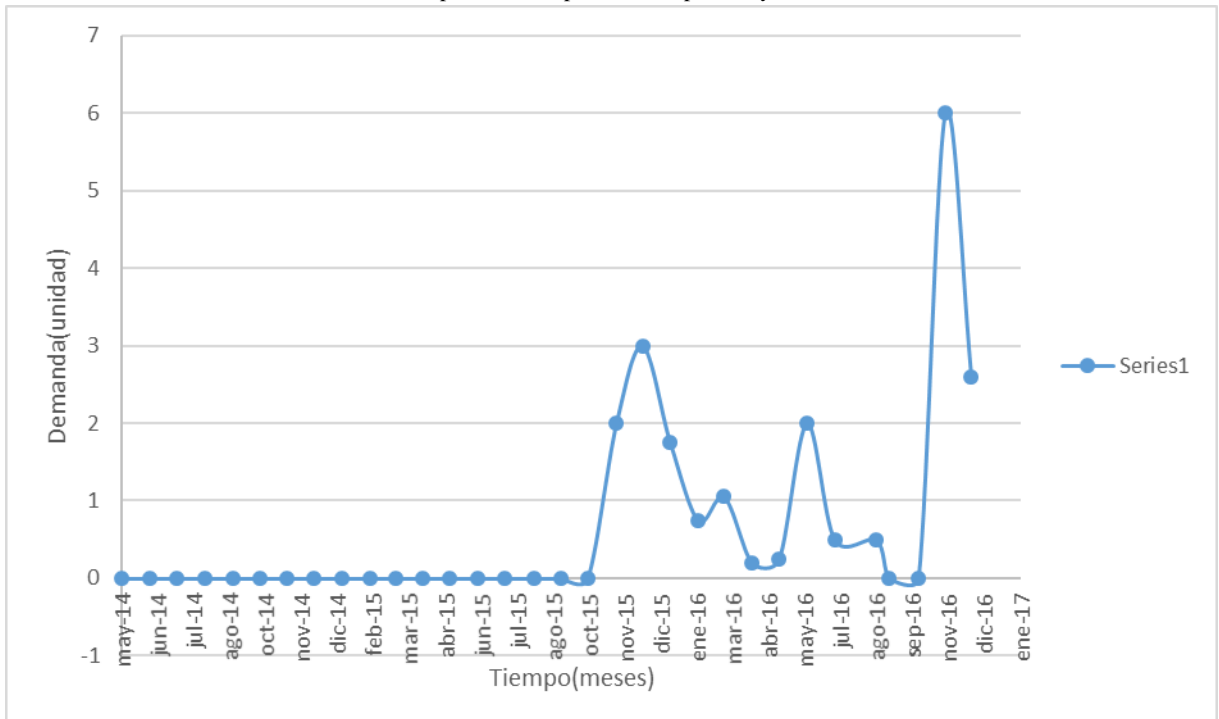


Gráfico No.25 Demanda real para insumo priorizado J para mayo 2014 a diciembre 2016



d. Producción de energía

Gráfico No. 26 Demanda real para insumo priorizado A para mayo 2014 a diciembre 2016

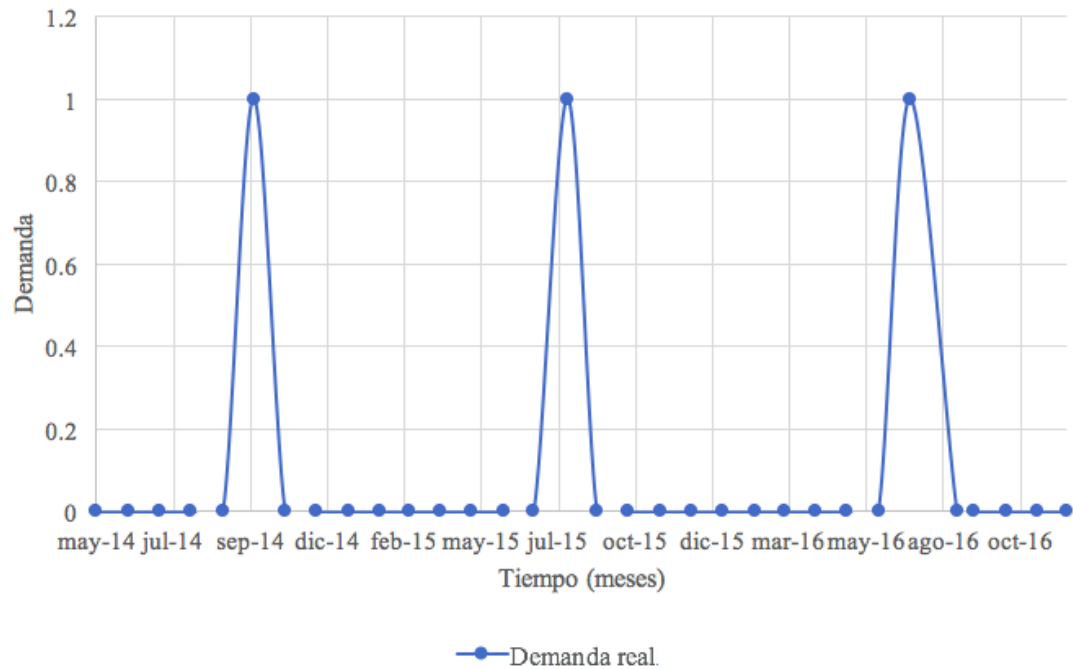


Gráfico No. 27 Demanda real para insumo priorizado B para mayo 2014 a diciembre 2016

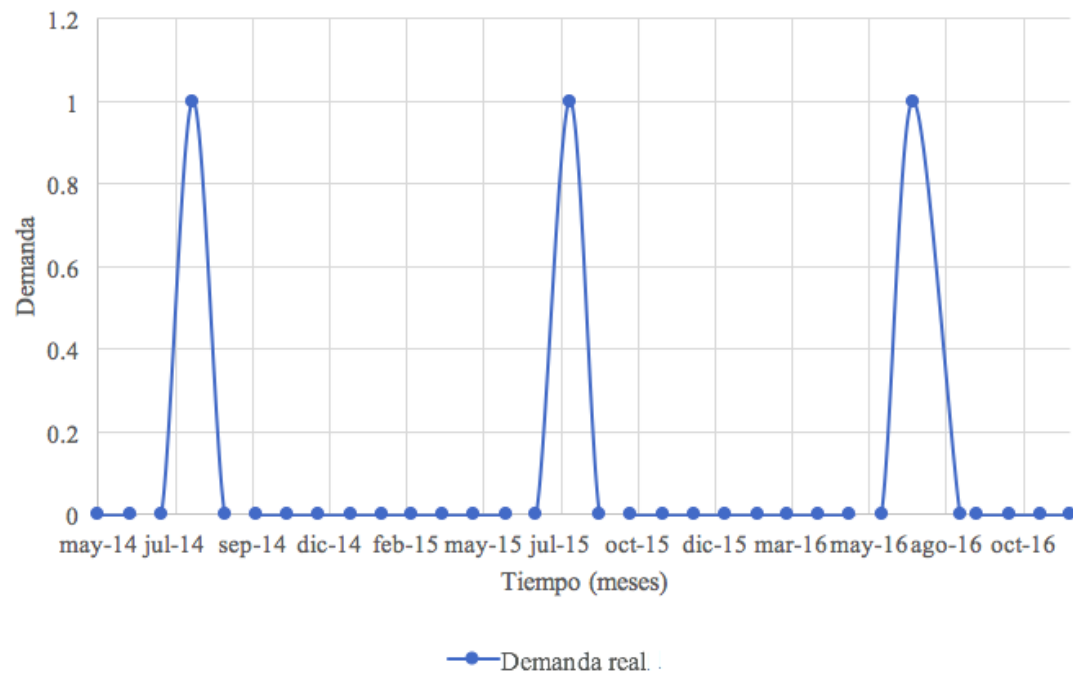


Gráfico No. 28 Demanda real para insumo priorizado C para mayo 2014 a diciembre 2016

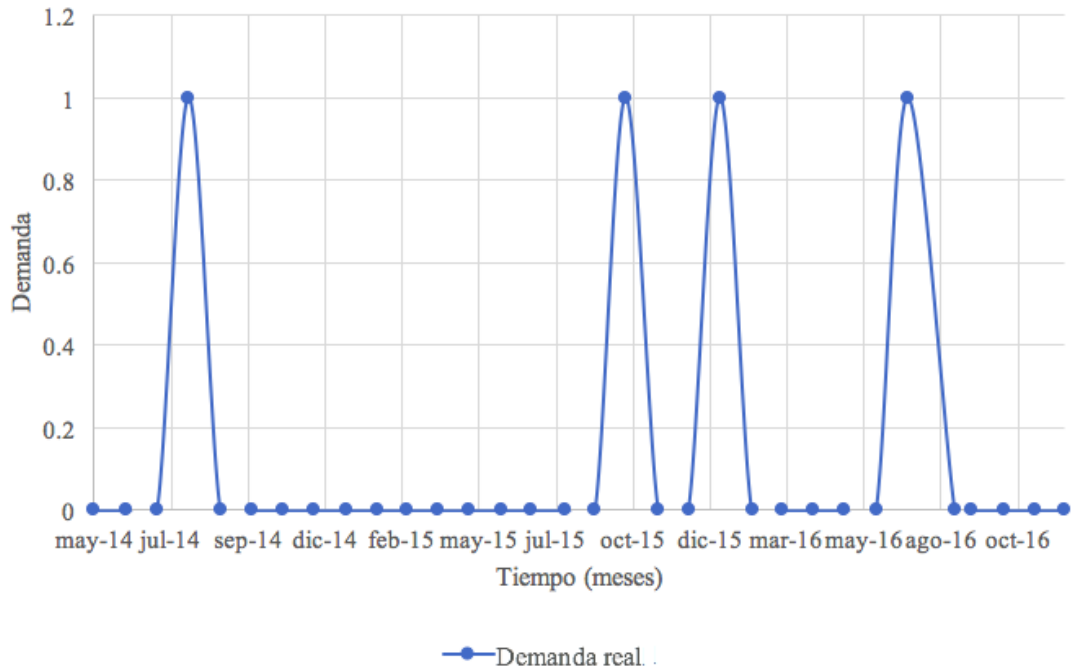


Gráfico No. 29 Demanda real para insumo priorizado D para mayo 2014 a diciembre 2016

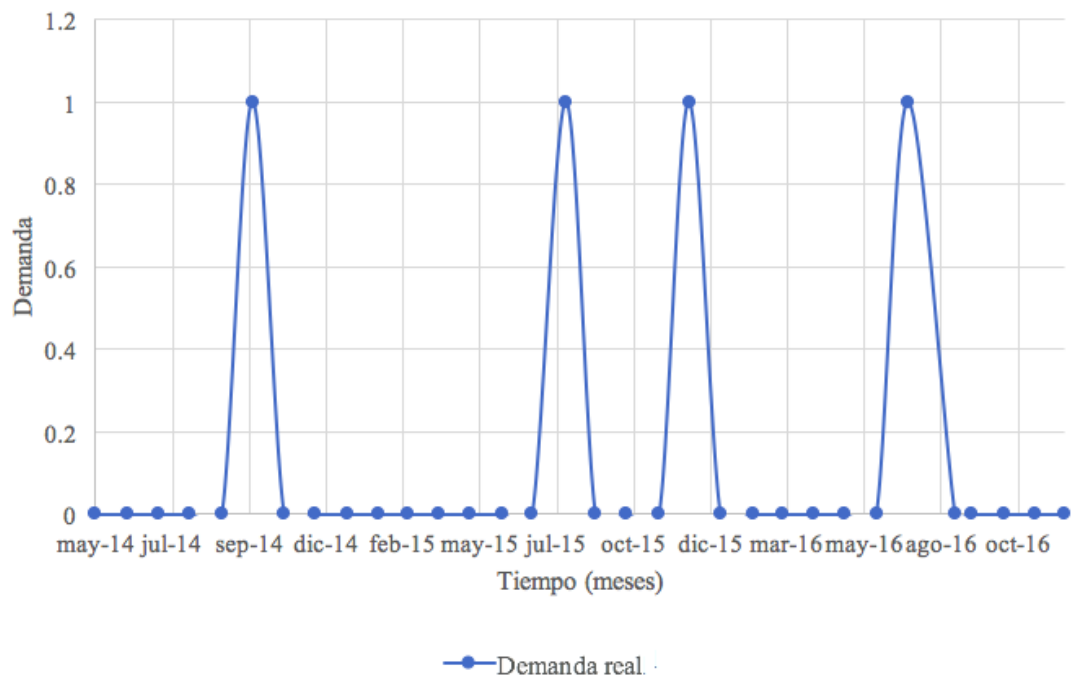


Gráfico No. 30 Demanda real para insumo priorizado E para mayo 2014 a diciembre 2016

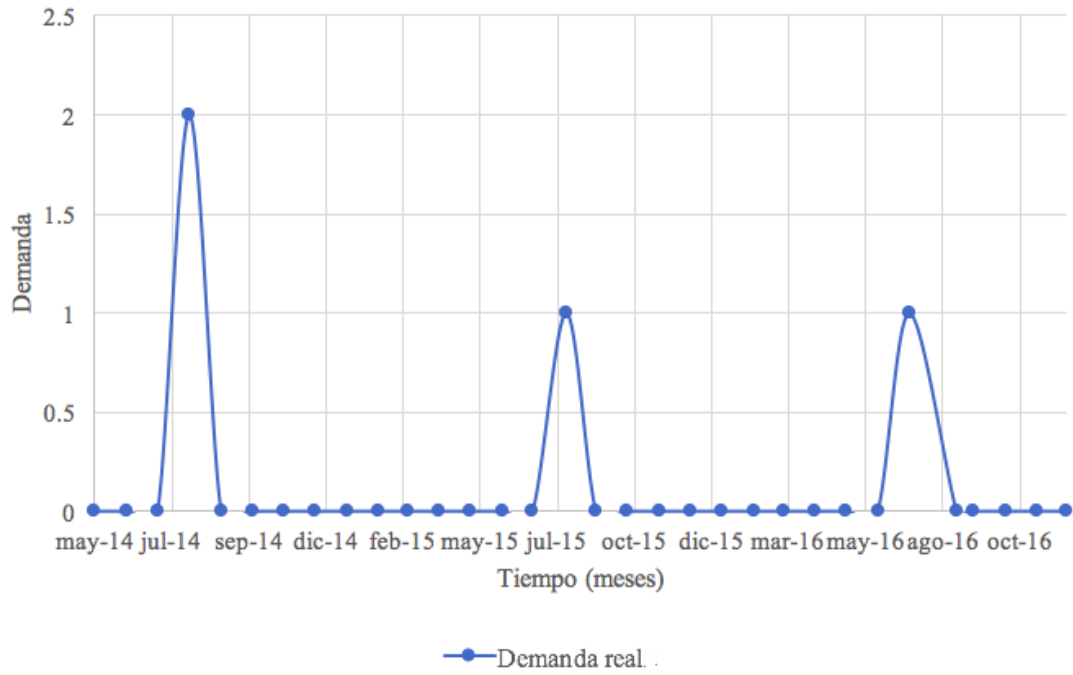
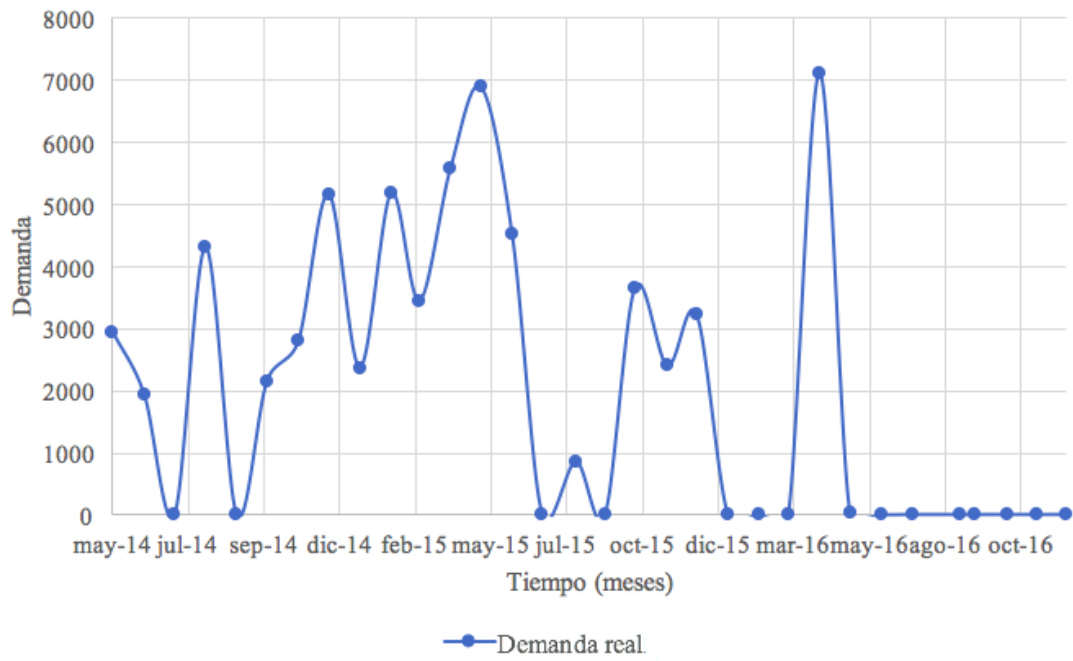


Gráfico No. 31 Demanda real para insumo priorizado F para mayo 2014 a diciembre 2016



e. Mantenimiento

Gráfico No. 32 Demanda real para insumo priorizado A para mayo 2014 a diciembre 2016

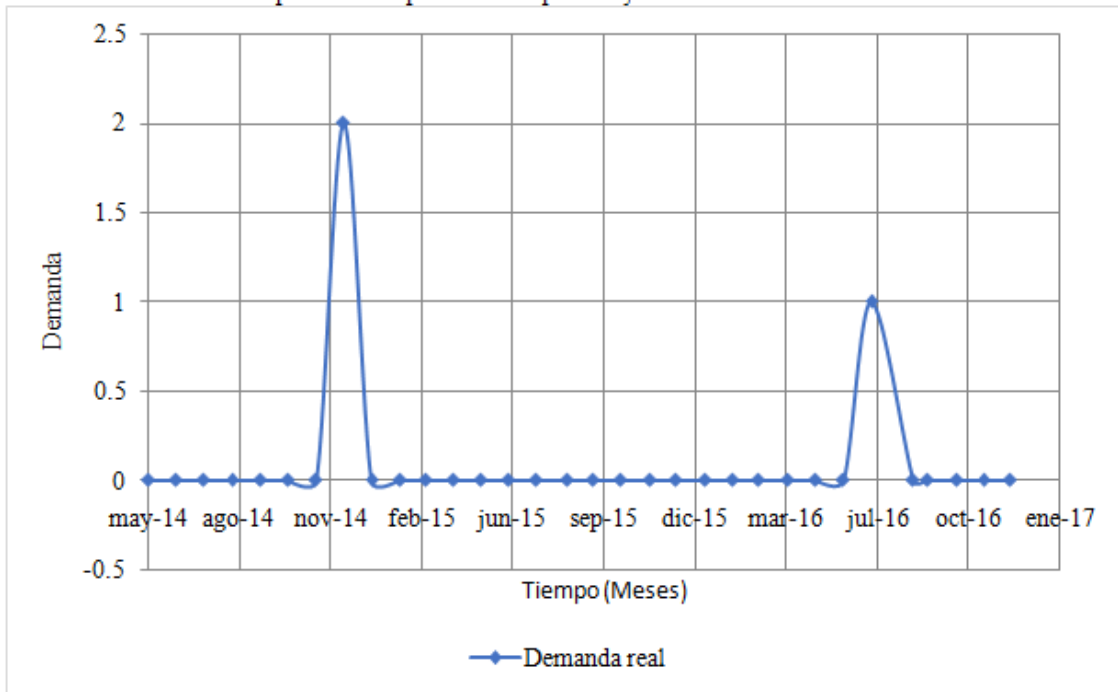


Gráfico No. 33 Demanda real para insumo priorizado B para mayo 2014 a diciembre 2016

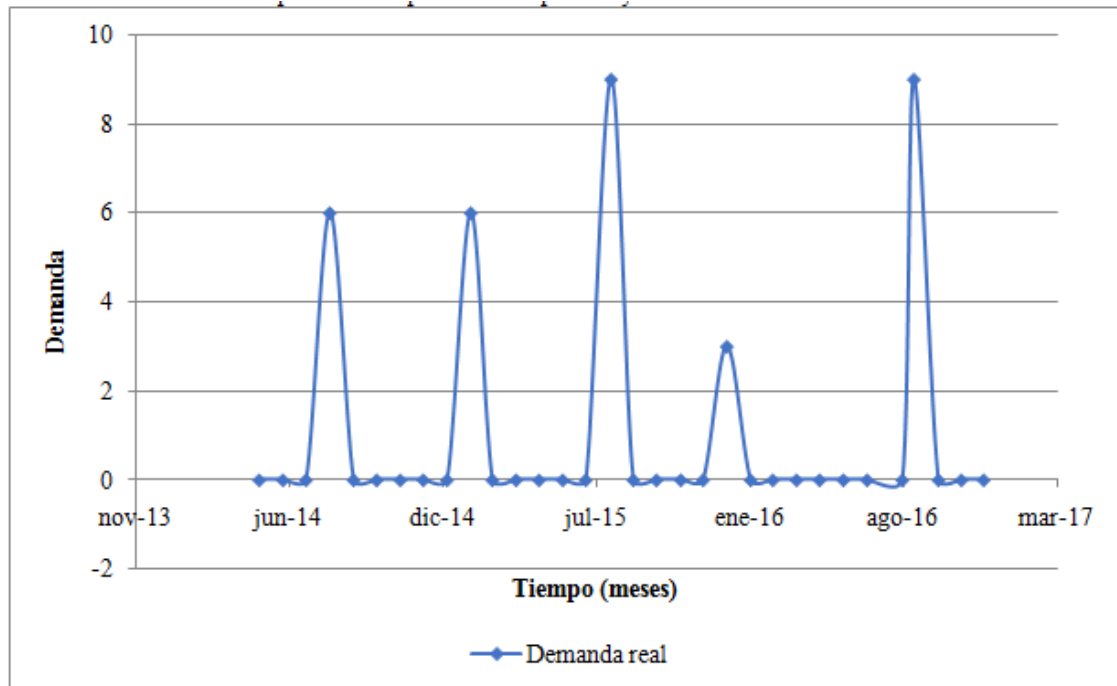


Gráfico No. 34 Demanda real para insumo priorizado C para mayo 2014 a diciembre 2016

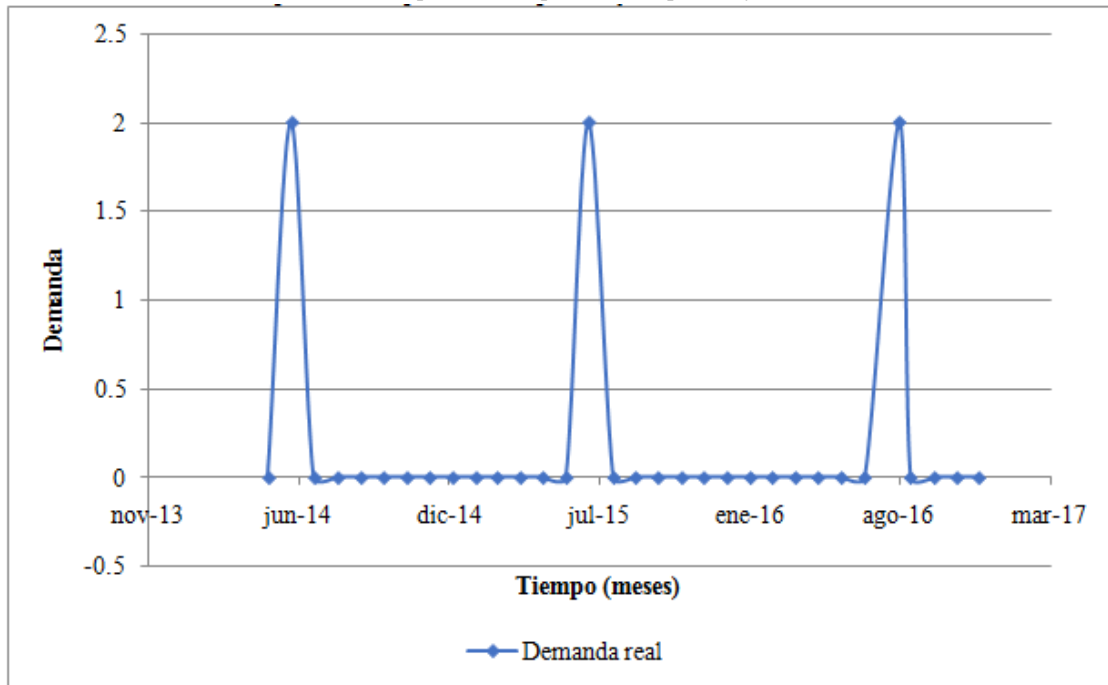


Gráfico No. 35 Demanda real para insumo priorizado D para mayo 2014 a diciembre 2016

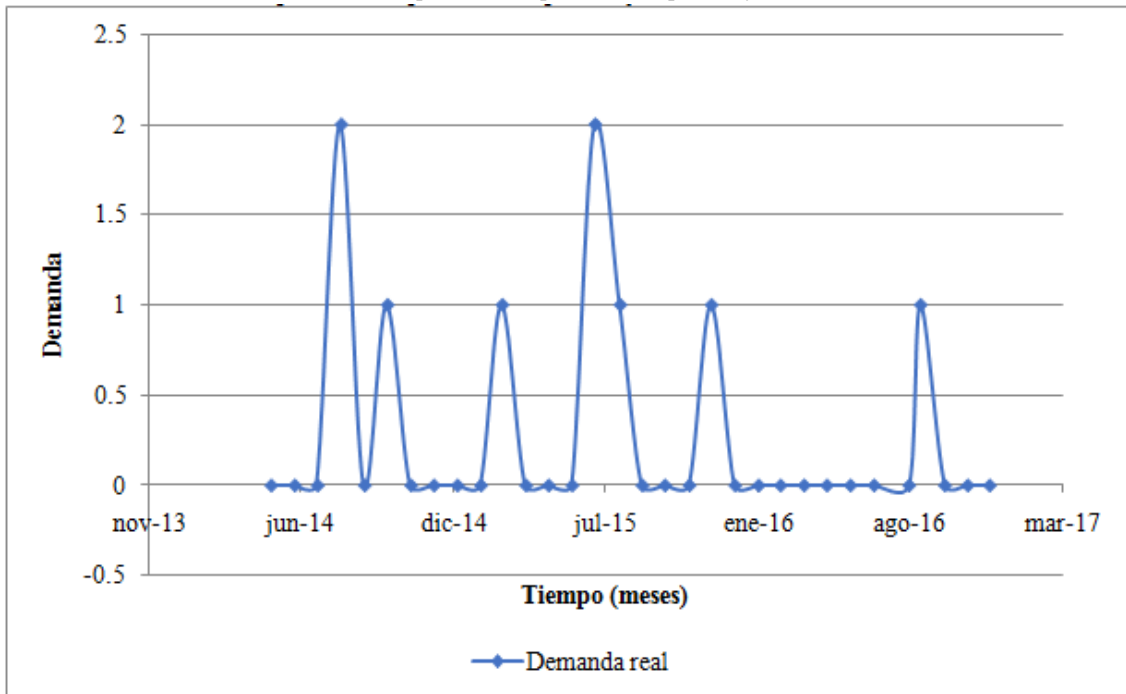
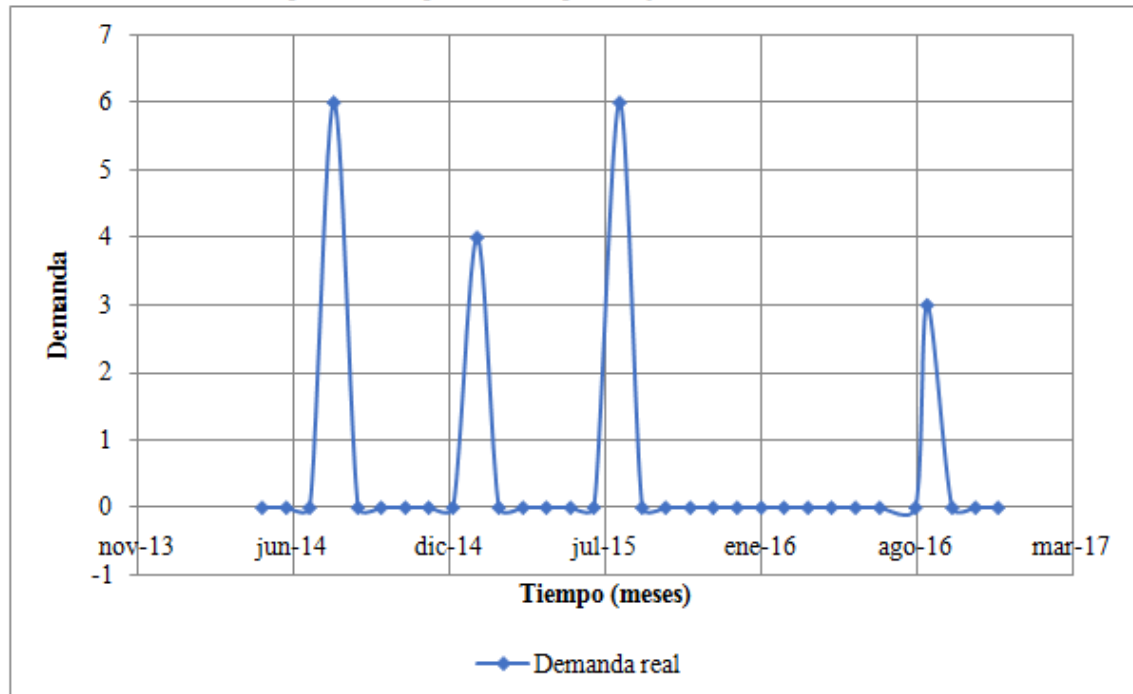


Gráfico No. 36 Demanda real para insumo priorizado E para mayo 2014 a diciembre 2016



B. Cálculos de muestra

1. Modelo de distribución de frecuencias

Cálculo 1: Determinación de los costos del inventario de los SKU's analizados en el periodo 2015-2016 del área Extracción de jugo y producción de vapor analizados respecto a el costo de inventario total del área de Extracción de jugo y producción de vapor en marzo 2017.

Para determinar el costo del inventario del área de Extracción de jugo y producción de vapor que representan en los SKU's analizados en el periodo 2015-2016 respecto al costo de inventario total del área en marzo 2017 se realizó lo siguiente:

$$\text{Costo del Inventario Analizado} = 100 \times \left(\frac{Q_{m1}C_{m1} + \dots + Q_{m471}C_{m471}}{VTI} \right) = 73.15\%$$

Donde;

Q_{m1} = Cantidad del Material 1 en el Inventario del Área en marzo del 2,017

C_{m1} = Costo del Material 1

VTI = Valor Total del Inventario del Área en marzo del 2,017

Cálculo 2. Determinación del lead time de un material: Para determinar el lead de un material se realizó la diferencia de días entre la fecha en que se solicitó el material con la fecha que se recibió el material. Como por ejemplo, para el material A.

$$\text{Lead Time} = 09/05/16 - 03/05/16 = 6 \text{ días}$$

Cálculo 3. Matriz de priorización de insumo por Lead Time.

Para construir la matriz de priorización de los materiales por lead time se determinó el mínimo, cuartiles y máximo de los lead time de todos los insumos de las áreas de fabricación del Ingenio Pantaleon.

Cuadro No. 33 Cuartiles de los Lead times de los insumos analizados.

Mínimo	Cuartil 1	Cuartil 2	Cuartil 3	Máximo
0 días	42 días	90 días	140 días	264 días

A partir de esto se estableció una matriz de cinco clases en el cual el mínimo, cuartiles y máximo fueron los límites superiores de cada una de las clases.

Cálculo 4. Clasificación de los SKU's analizados del periodo 2015-2016 del área de Extracción de jugo y el porcentaje del costo del inventario analizado del área.

La clasificación se dividió en tres categorías: Insumo de Impacto Alto, Insumo de Impacto Medio e Insumo de Impacto Bajo.

Cuadro No. 34 Clasificación de insumos en impacto alto, medio y bajo.

Impacto	Descripción	Tipo
Alto	Impacto alto en el proceso y cualquier lead time.	AA, AB, AC, AD y AE.
Medio	Impacto medio-bajo en el proceso y un lead time alto-medio.	BA, BB, BC, CA, CB y CC.
Bajo	Impacto medio-bajo en el proceso y un lead time bajo.	BD, BE, CD Y CE

Para determinar el costo del inventario del área analizado que representa cada categoría, como por ejemplo la categoría de Impacto Alto, se realizó el siguiente cálculo:

$$\text{Costo de la Categoría} = 100 \times \left(\frac{Q_{m1}C_{m1} + \dots + Q_{m17}C_{m17}}{VTI} \right) = 54.70\%$$

Donde;

Q_{m1} = Cantidad del Material 1 en el Inventario del Área en marzo del 2,017

C_{m1} = Costo del Material 1

VTI = Valor Total del Inventario Analizado del Área en marzo del 2,017

Cálculo 5. Determinación del pronóstico de demanda utilizando el modelo de Distribución de Frecuencias

Para utilizar este modelo primero es importante ordenar los datos de solicitudes de mayor a menor frecuencia de ítems solicitados como se muestra en el cuadro a continuación.

Cuadro No. 35 Ordenamiento de datos de solicitudes de mayor a menor frecuencia.

MES	COMPRA	CONSUMO
Dec-15	34	73
Dec-16	55	55
Mar-16	54	54
May-16	46	50
Apr-15	23	17
Mar-15	0	15
May-15	16	12
Apr-16	20	12
May-14	10	10
Feb-16	0	9
Feb-15	6	8
Jan-16	9	4
Nov-15	38	3
Nov-14	5	2
Dec-14	1	2
Jan-15	20	2
Nov-16	0	1

Luego utilizar la ecuación no. 3 para calcular el ancho de frecuencia. Es importante redondear el ancho de clase de manera que no se tengan decimales.

$$A = \frac{D_{max} - D_{min}}{n} = 14$$

Donde:

A = Ancho de la clase

D_{max} = Valor de frecuencia máximo en el conjunto de datos

D_{min} = Valor de frecuencia mínimo en el conjunto de datos

n = Número de clases

Cálculo 6. Determinación del porcentaje de reducción de compra de los insumos priorizados en el periodo de mayo 2014 a diciembre 2016.

Se determinó el porcentaje de reducción de la compra para el periodo de mayo del 2014 a diciembre del 2016 de los insumos priorizados analizados, mediante el modelo de descomposición de series cronológicas. Como por ejemplo, para el material A.

$$\begin{aligned} \text{Porcentaje de reducción de compra} &= 100 \times \left(\frac{\text{Compra}_{Total} - \text{Demanda pronostica}_{Total}}{\text{Compra}_{Total}} \right) \\ &= 2.93\% \end{aligned}$$

Donde;

Compra_{Total} = Compra Total del material en el periodo de mayo del 2014 a diciembre del 2016

$\text{Demanda Pronostica}_{Total}$ = Demanda Pronosticada Total del material en el periodo de mayo del 2014 a diciembre del 2016

Cálculo 7. Determinación del porcentaje de cumplimiento de demanda de los insumos priorizados en el periodo de mayo 2014 a diciembre 2016.

Se determinó el porcentaje de cumplimiento de demanda para el periodo de mayo del 2014 a diciembre del 2016 de los insumos priorizados analizados, mediante el modelo de descomposición de series cronológicas. Como por ejemplo, para el material A.

$$\text{Porcentaje de cumplimiento de demanda} = 100 \times \left(\frac{\text{Demanda Pronostica}_{Total}}{\text{Demanda}_{Total}} \right)$$

$$\text{Porcentaje de cumplimiento de demanda} = 99.19\%$$

Donde;

Demanda_{Total} = Demanda Total del material en el periodo de mayo del 2014 a diciembre del 2016

$Demanda\ Pronostica_{Total}$ = Demanda Pronosticada Total del material en el periodo de mayo del 2014 a diciembre del 2016

2. Modelo de media móvil

Cálculo 8. Determinación del pronóstico de demanda mediante el modelo de media móvil. Para determinar el pronóstico de demanda mediante el modelo de media móvil para los materiales analizados se utilizó la Ecuación No.1.

$$F_t = \frac{A_{t-1} + A_{t-2} + A_{t-3}}{3}$$

Donde;

F_t = Pronostico del siguiente mes.

n = número de periodos a promediar

A_{t-1} = Ocurrencia real en el periodo pasado

$A_{t-2}, A_{t-3}, A_{t-n}$ = Ocurrencia real hace dos meses y hace tres meses.

Cálculo 9. Determinación del porcentaje de reducción de compra de los insumos priorizados en el periodo de mayo 2014 a diciembre 2016: se determinó el porcentaje de reducción de la compra para el periodo de mayo del 2014 a diciembre del 2016 de los insumos priorizados analizados, mediante el modelo de descomposición de series cronológicas. como por ejemplo, para el material A.

$$Porcentaje\ de\ reducción\ de\ compra = 100 \left(\frac{Compra_{Total} - Demanda\ pronostica_{Total}}{Compra_{Total}} \right) = 2.93\%$$

Donde;

$Compra_{Total}$ = Compra Total del material en el periodo de Mayo del 2014 a Diciembre del 2016

$Demanda\ Pronostica_{Total}$ = Demanda Pronosticada Total del material en el periodo de Mayo del 2014 a Diciembre del 2016

Cálculo 10. determinación del porcentaje de cumplimiento de demanda de los insumos priorizados en el periodo de mayo 2014 a diciembre 2016. se determinó el porcentaje de cumplimiento de demanda para el

periodo de mayo del 2014 a diciembre del 2016 de los insumos priorizados analizados, mediante el modelo de descomposición de series cronológicas. como por ejemplo, para el material A.

$$\text{Porcentaje de cumplimiento de demanda} = 100 \times \left(\frac{\text{Demanda pronostica}_{Total}}{\text{Demanda}_{Total}} \right)$$

$$\text{Porcentaje de cumplimiento de demanda} = 99.19\%$$

Donde;

Demanda_{Total} = Demanda Total del material en el periodo de mayo del 2014 a diciembre del 2016

$\text{Demanda Pronostica}_{Total}$ = Demanda Pronosticada Total del material en el periodo de mayo del 2014 a diciembre del 2016.

3. Modelo de ajuste de curvas cuadrático

Cálculo 11. Suma total de los cuadrados (S_t): Se utilizó la ecuación No.6 para calcular el S_t del pronóstico utilizando el modelo de ajuste de curva.*La y_i con base a mayo del 2014.

$$S_t = \sum_{i=1}^n (3183.98 - 2915.22)^2 = 282000864.1$$

*Se utilizó el mismo cálculo para calcular el S_t de los otros insumos, utilizando el mismo y los otros modelos de pronósticos de demanda utilizados.

Cálculo 12. Suma de los cuadrados de los residuos (S_r): Se utilizó la ecuación No.5 para calcular la S_r del pronóstico utilizando el modelo de ajuste de curva. *La y_i y la x_i son con base a mayo del 2014.

$$S_r = \sum_{i=1}^n ((3183.98) - a_0 - a_1(344,015.490) - a_2(344,015.490)^2)^2 = 25516294.47$$

*Se utilizó el mismo cálculo para calcular la S_r de los otros insumos, utilizando el mismo y los otros modelos de pronósticos de demanda utilizados.

Cálculo 13. Coeficiente de Determinación: Se utilizó la ecuación No.4 para calcular el r^2 del pronóstico del utilizando el modelo de ajuste de curva

$$r^2 = \frac{282000864.10 - 25516294.47}{282000864.10} = 0.90818$$

*Se utilizó el mismo cálculo para calcular el r^2 de los otros insumos, utilizando el mismo y los otros modelos de pronósticos de demanda utilizados.

4. Modelo de series cronológicas

Cálculo 14. Factor (o índice) estacional: Se desarrolla un promedio para el mismo mes cada año durante el periodo estudiado. El cálculo se realizó para el insumo F con base a agosto de 2014, 2015, 2016 durante un periodo de 32 de meses. Se utilizó la Ecuación No. 5:

$$\text{Factor Estacional} = \frac{\text{Promedio del mismo mes cada año}}{\frac{\sum y}{n}}$$

Donde:

y= Demanda real

n= Número de períodos

$$\text{Factor Estacional} = \frac{1724.16}{\frac{64645.97}{32}} = 0.85$$

Cálculo 15. Demanda no estacional: Se descuentan las variaciones de temporada de los datos originales. El cálculo se realizó para el insumo F con base en agosto de 2014. Se utilizó la Ecuación No. 6:

$$y_d = \frac{y}{\text{Factor Estacional}}$$

Donde:

y_d= Demanda no estacional (descuento de variaciones)

y= Demanda real

$$y_d = \frac{1724.16}{0.85} = 5050.46$$

Cálculo 16. Regresión por mínimos cuadrados: Trazar una recta de regresión por mínimos cuadrados para los datos descontados de las variaciones de temporada. El cálculo se realizó para el insumo F con base en agosto de 2014, graficado la demanda no estacional contra tiempo. Se utilizó la Ecuación No. 7:

$$Y = a + bx$$

Donde:

Y=Demanda calculada con la ecuación de regresión

a=Secante de Y

b=Pendiente de la recta

x=Periodo

$$Y = 3740.67 - 104.27x$$

Cálculo 17. Proyección de la regresión: Resolver la ecuación Y para cada periodo a pronosticar. El cálculo se realizó para el insumo F con base en agosto de 2014, utilizado para pronosticar el periodo 4, para su posterior comparación con el mismo periodo en la demanda real. Se utilizó la Ecuación No. 7:

$$Y = 3740.67 - 104.27(4) = 3323.58$$

Cálculo 18. Pronóstico final: Mediante el ajuste de la recta de la regresión según el factor estacional. El cálculo se realizó para el insumo F con base en agosto de 2014. Se utilizó la Ecuación No. 10:

$$\text{Pronóstico} = Y * \text{Factor Estacional}$$

$$\text{Pronóstico} = 3323.58 * 0.85 = 2836.57$$

5. Modelo de correlación y regresión lineal

Cálculo 19. Determinación de la variable “b” : Utilizando la ecuación No. 8, el cálculo se realizó para el insumo A.

$$b = \frac{\sum xy - n\bar{x} * \bar{y}}{\sum x^2 - n\bar{x}^2}$$

$$b = \frac{4678091.50 - 7 * 1563068.7 * 0.29}{18119960339798.3 - 7 * 1563068.7^2}$$

$$b = 1.525 * 10^{-6}$$

Cálculo 20. Determinación de la variable “a” : Utilizando la ecuación No. 7, el cálculo se realizó para el insumo A.

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$a = 0.29 - 1.525 * 10^{-6} * 1563068.7$$

$$a = -2.0980$$

Cálculo 21. Determinación de la correlación “r” : Utilizando la ecuación No. 5, el cálculo se realizó para el insumo A.

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i t_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n t_i}{\sqrt{(n \sum_{i=1}^n t_i - (\sum_{i=1}^n t_i)^2)(n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2)}}$$

$$r = \frac{4678091.5 - 7 * 1563068.7 * 0.29}{\sqrt{(18119960339798.3 - 7 * 1563068.7^2) * (4 - 7 * 0.29^2)}}$$

$$r = 0.8308$$

Con este resultado, se pudo calcular el coeficiente de regresión lineal

$$r^2 = 0.6902$$

C. Análisis de modelo de pronóstico de demanda

a. Extracción de jugo y producción de vapor

1) Modelo de distribución de frecuencias

Gráfico No. 37 Distribución de las frecuencias del insumo prioritario 1, en época de zafra.

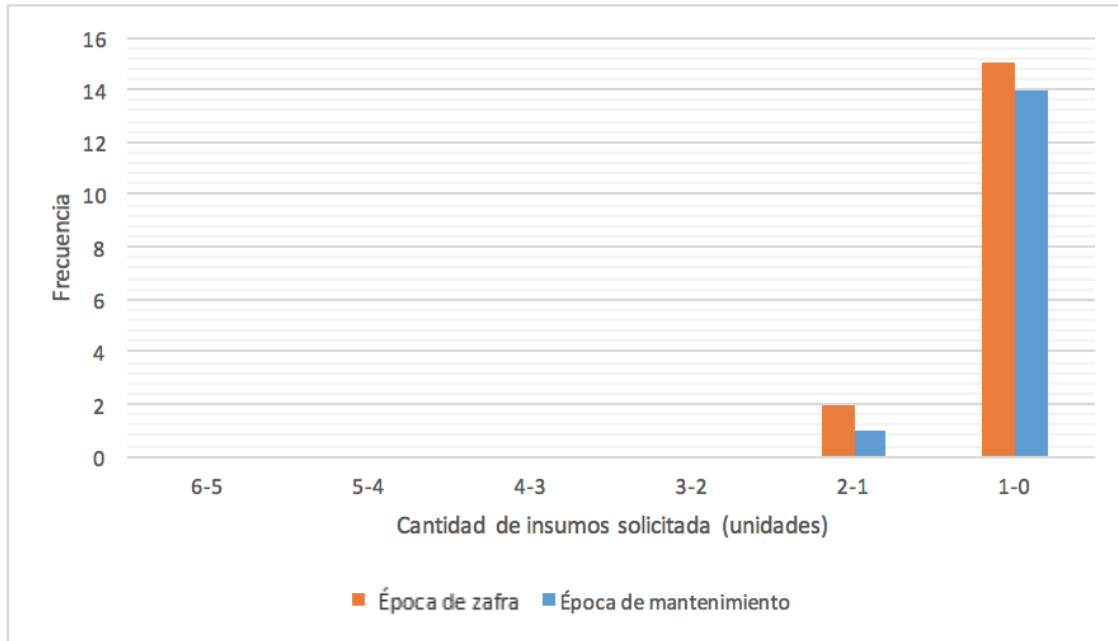


Gráfico No. 38 Resultado de pronóstico para el insumo prioritario 1, en época de zafra.

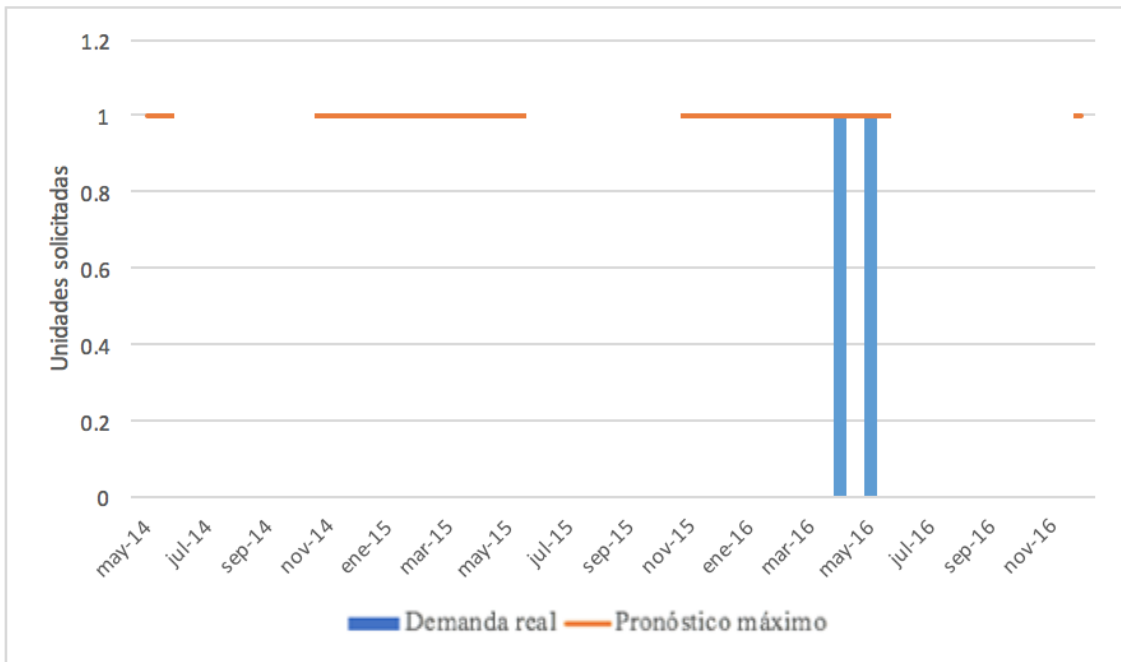


Gráfico No. 39 Resultado de pronóstico para el insumo prioritario 1, en época de mantenimiento

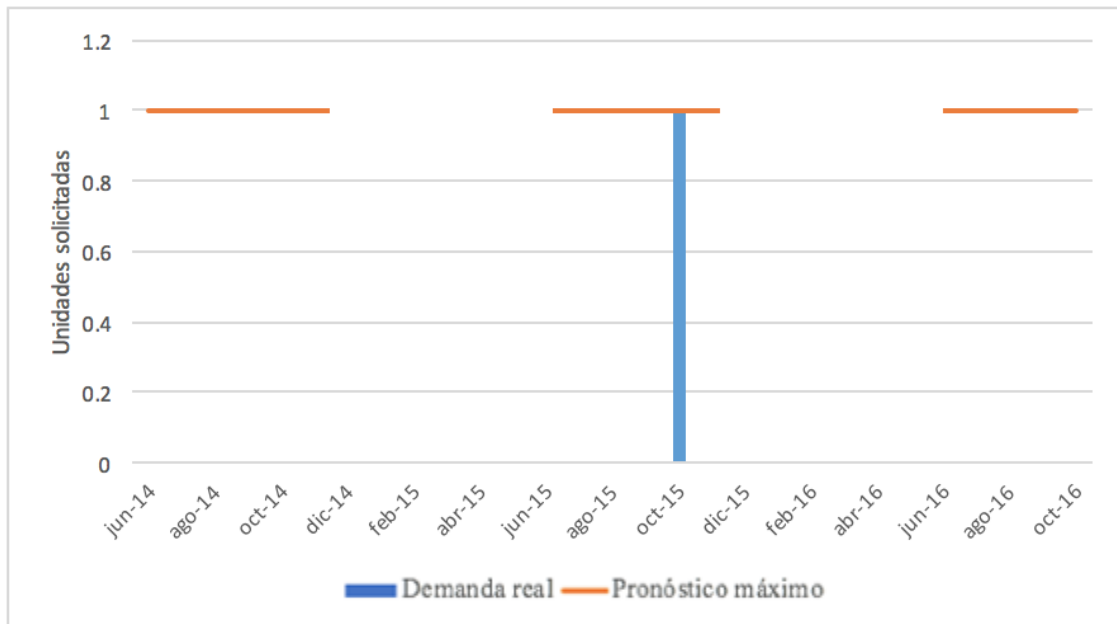


Gráfico No. 40. Distribución de las frecuencias del insumo A

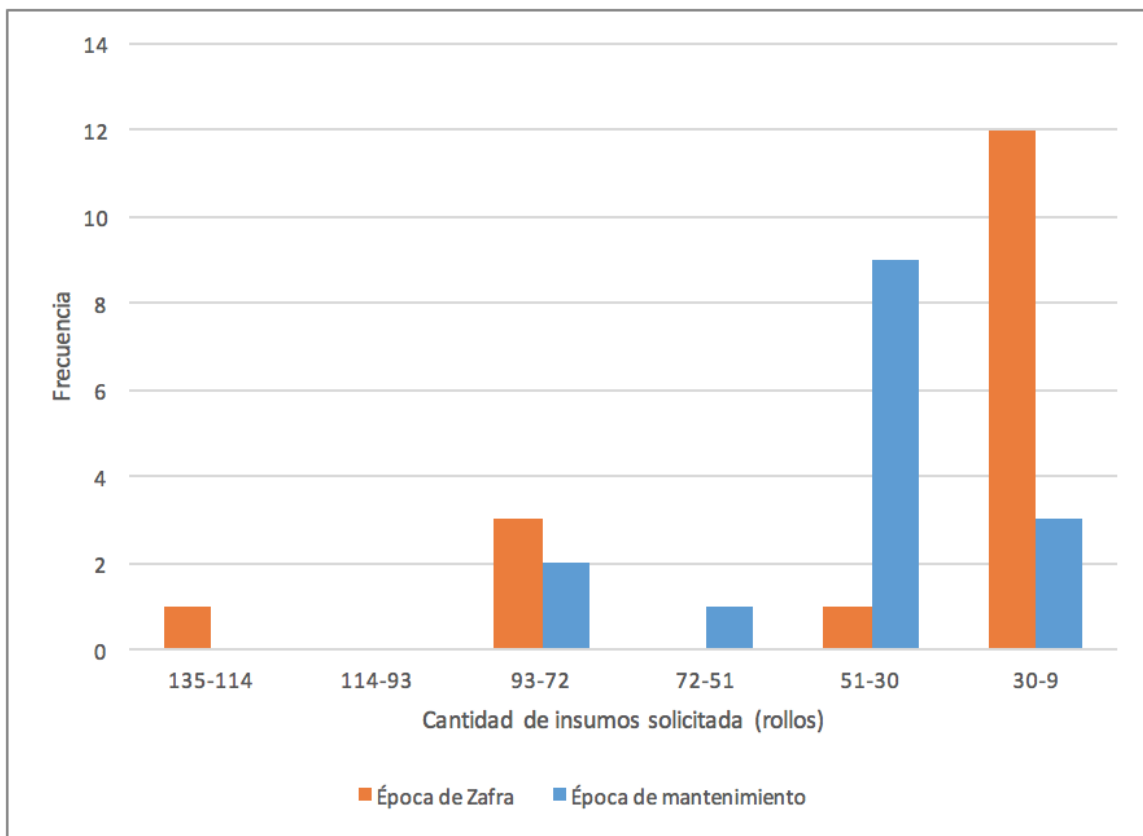


Gráfico No. 41. Resultado del pronóstico para el insumo A, en época de zafra.

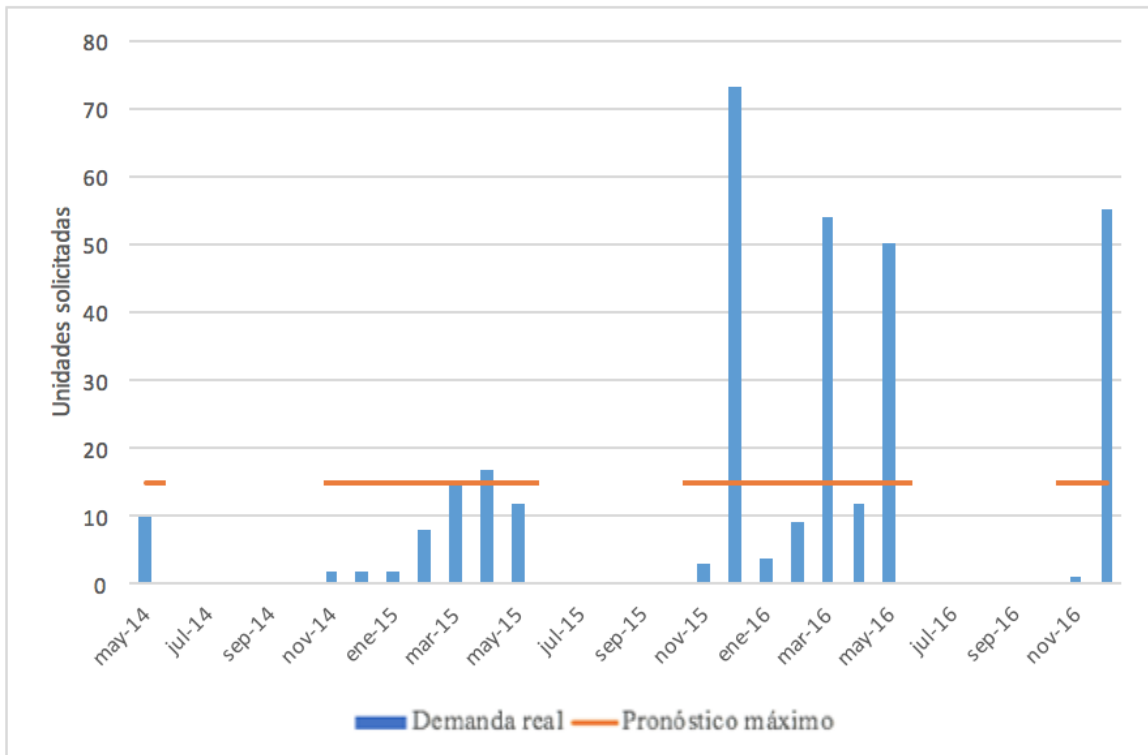


Gráfico No. 42. Resultado de pronóstico para el insumo A, en época de mantenimiento.

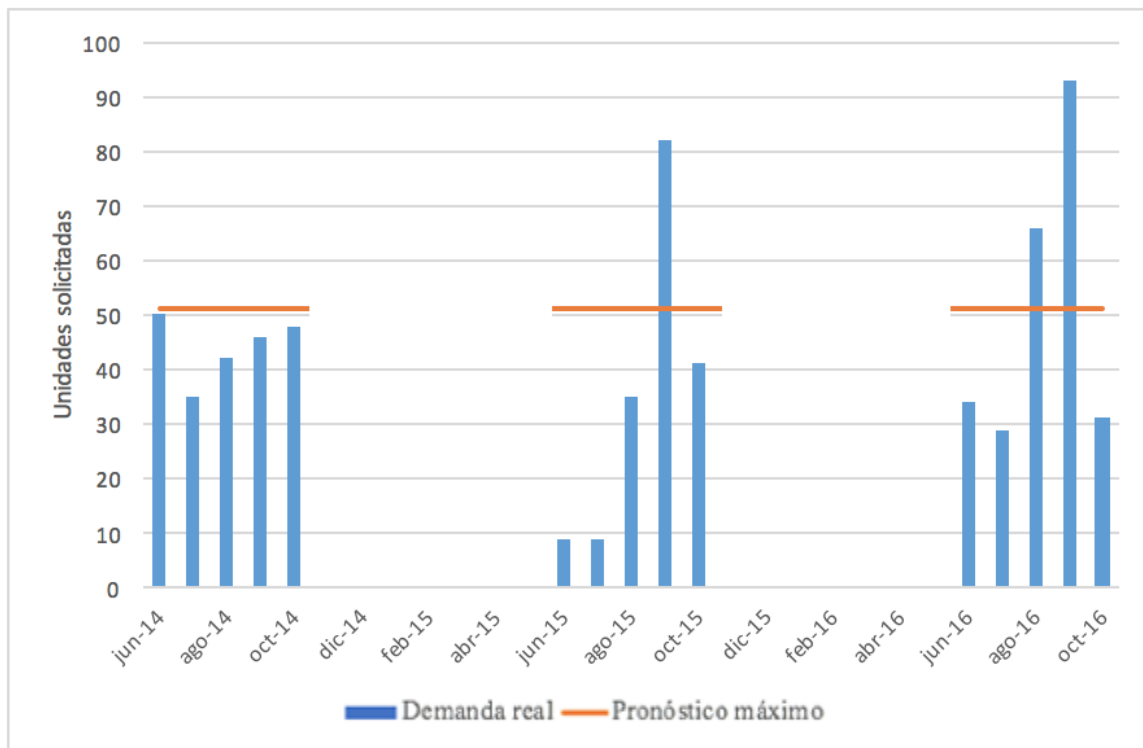


Gráfico No. 43 Distribución de las frecuencias del insumo B en época de zafra

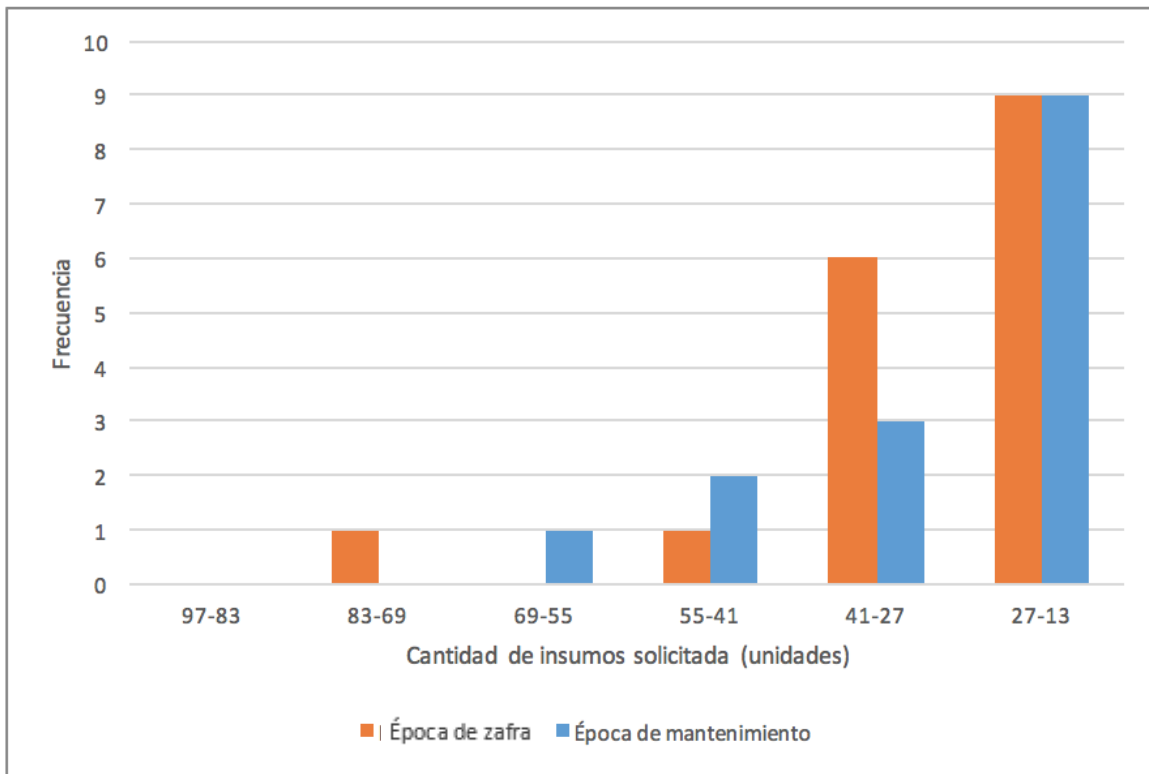


Gráfico No. 44. Pronóstico insumo B en época de zafra.

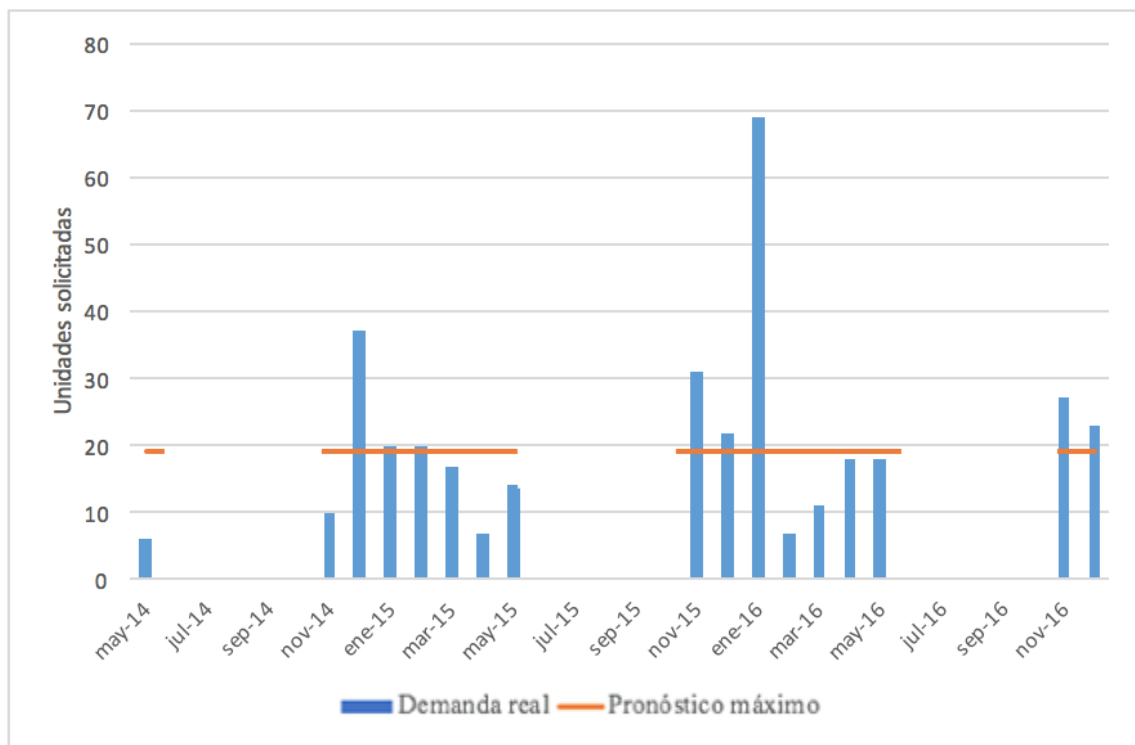


Gráfico No. 45 Pronóstico insumo B en época de mantenimiento.

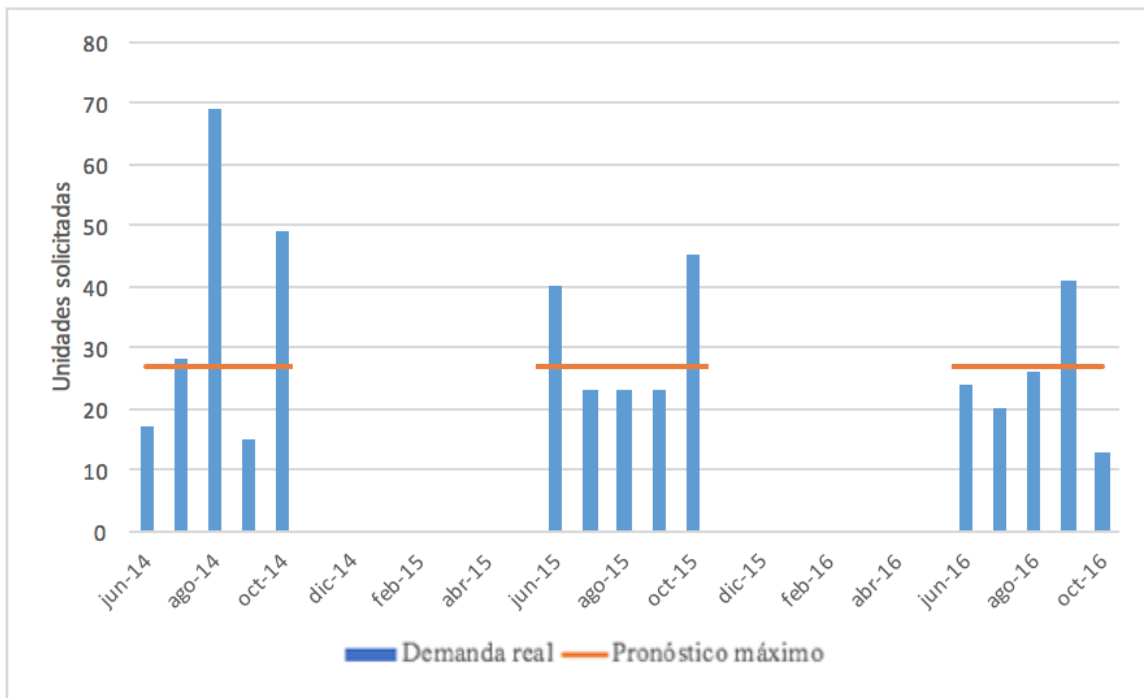


Gráfico No.46 Distribución de las frecuencias del insumo C.

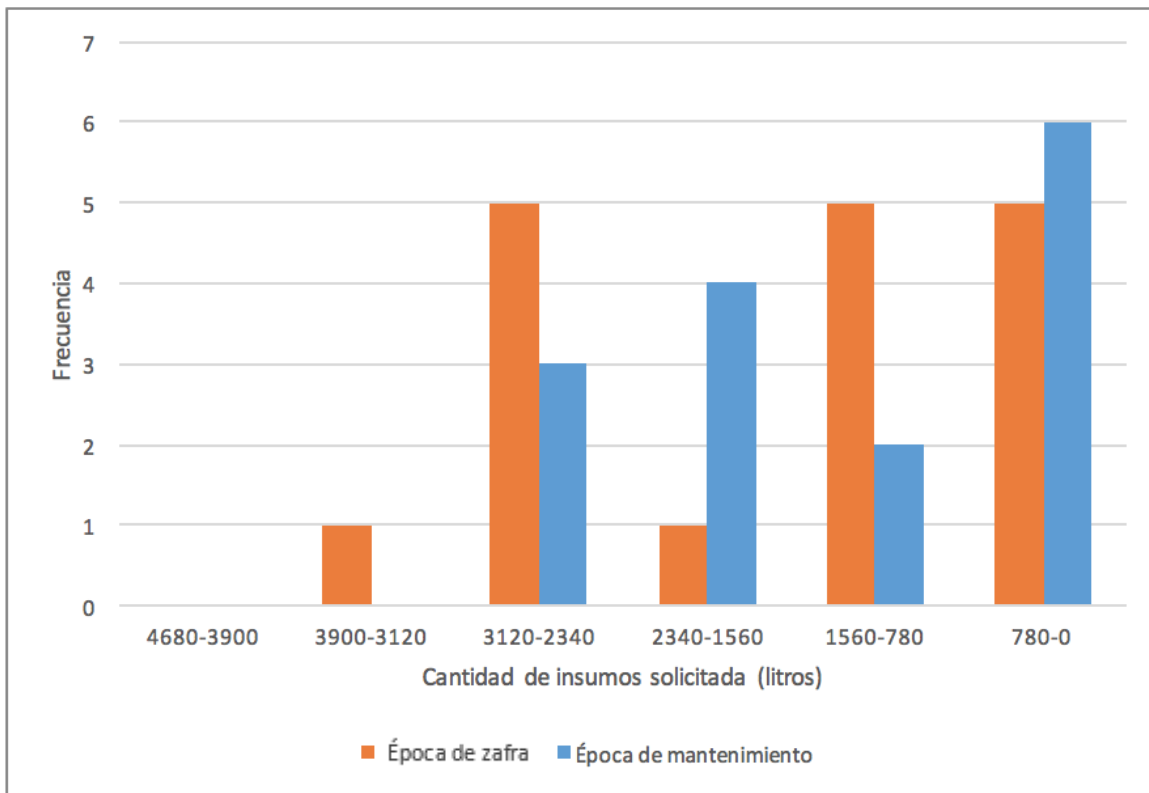


Gráfico No. 47 Pronóstico insumo C en época de zafra.

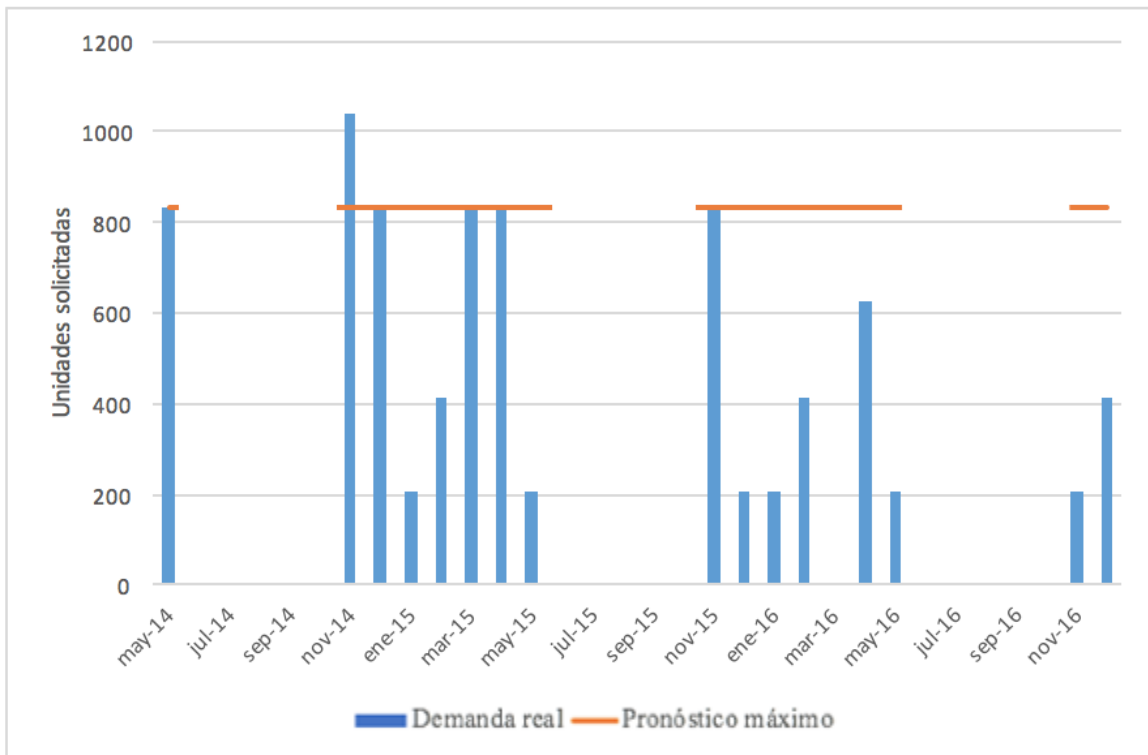


Gráfico No. 48 Pronóstico insumo C en época de mantenimiento

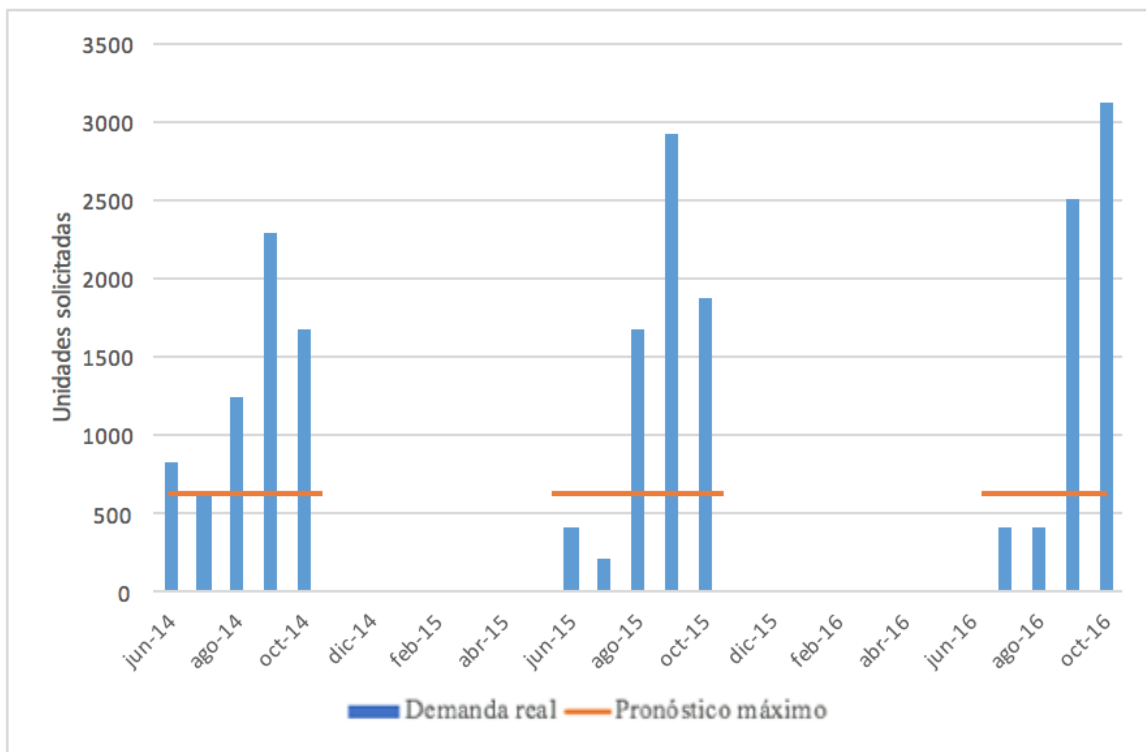


Gráfico No. 49 Distribución de las frecuencias del insumo D

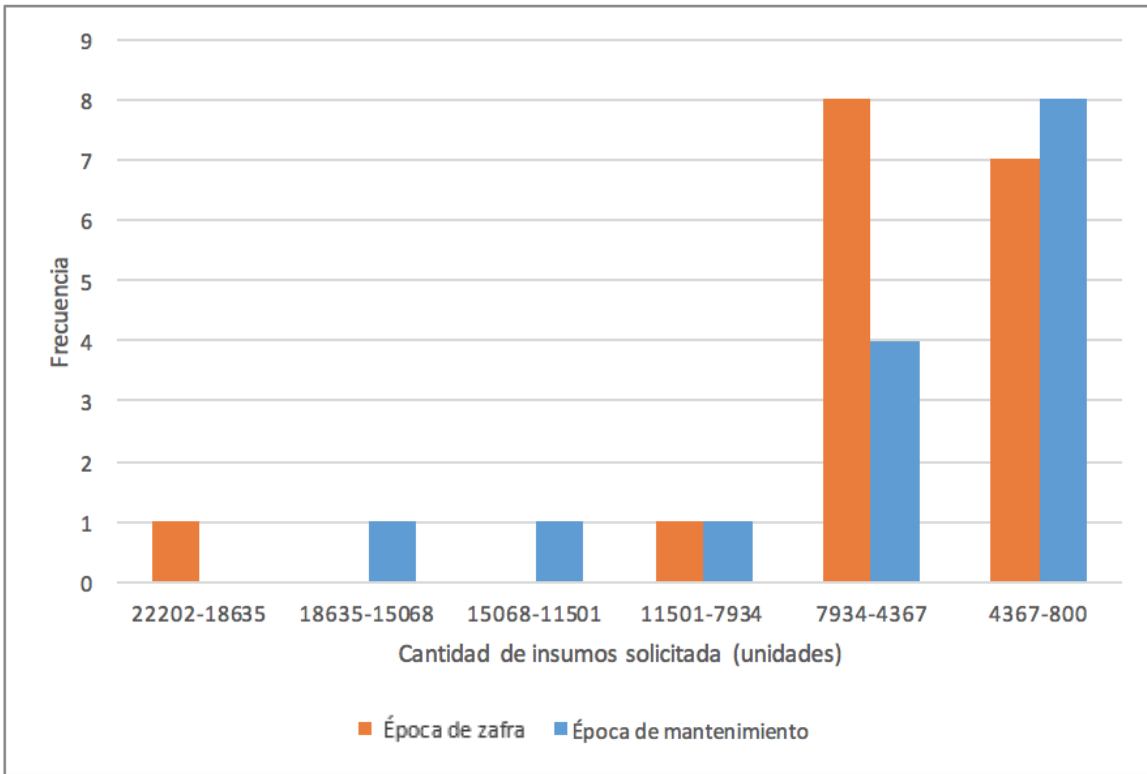


Gráfico No. 50 Pronóstico insumo D en época de zafra.

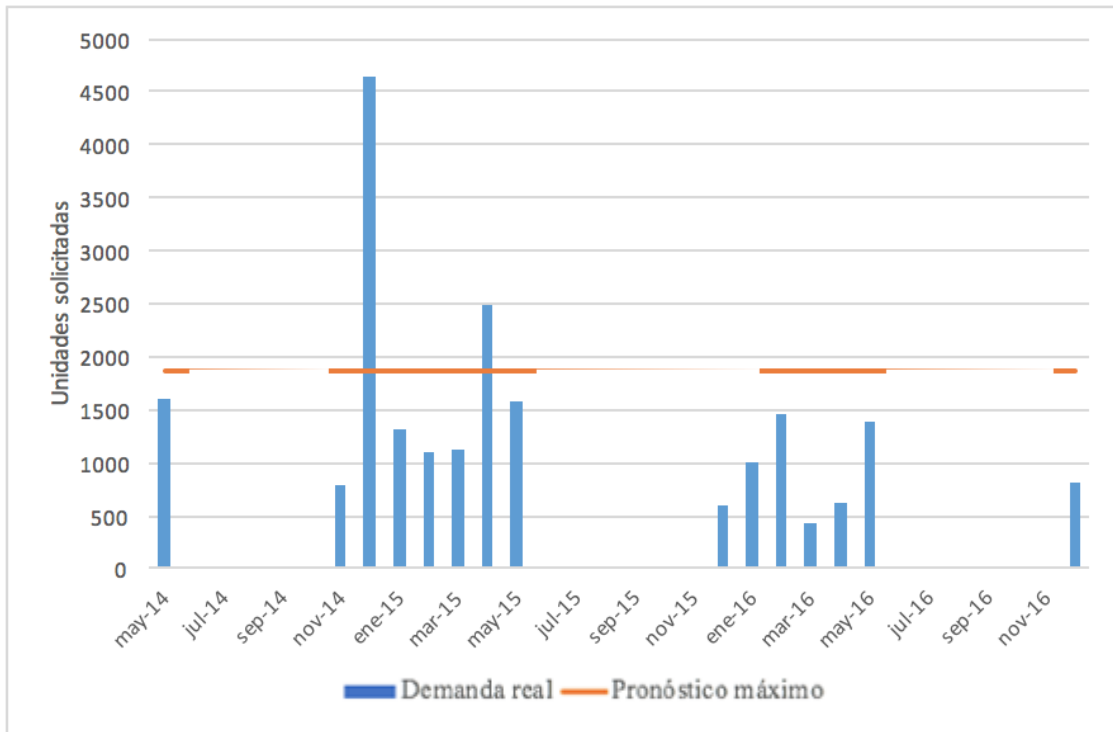


Gráfico No. 51 Pronóstico insumo D en época de mantenimiento

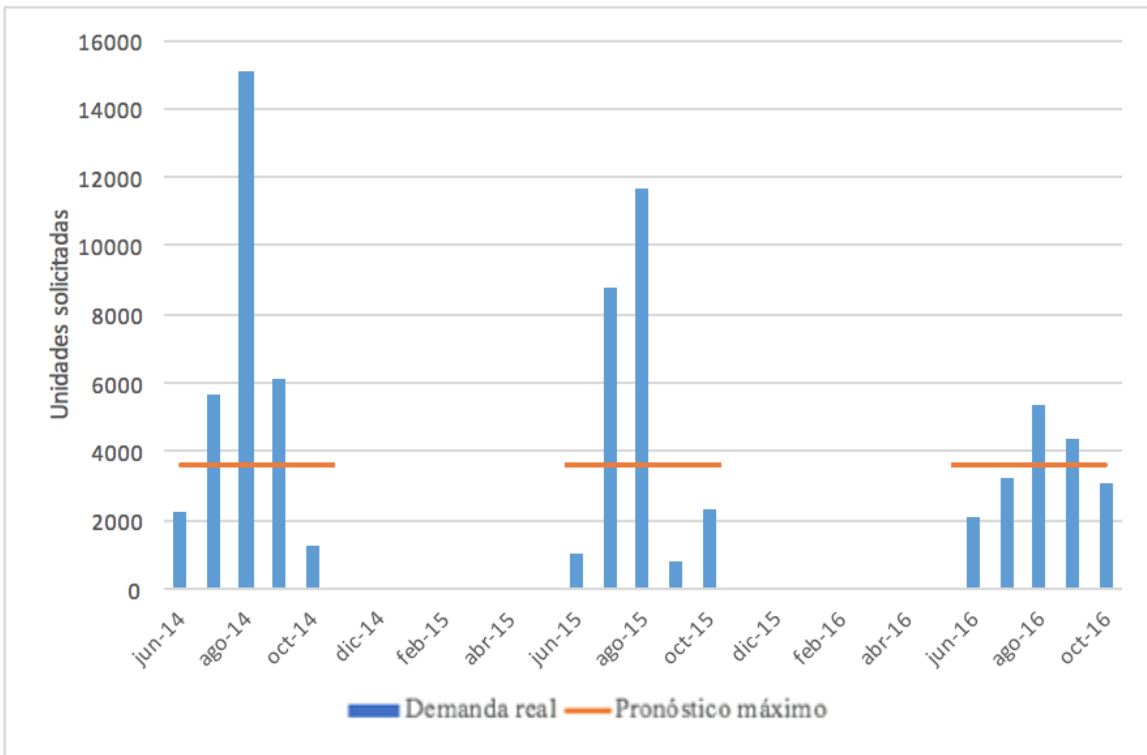


Gráfico No. 52 Distribución de las frecuencias del insumo E.

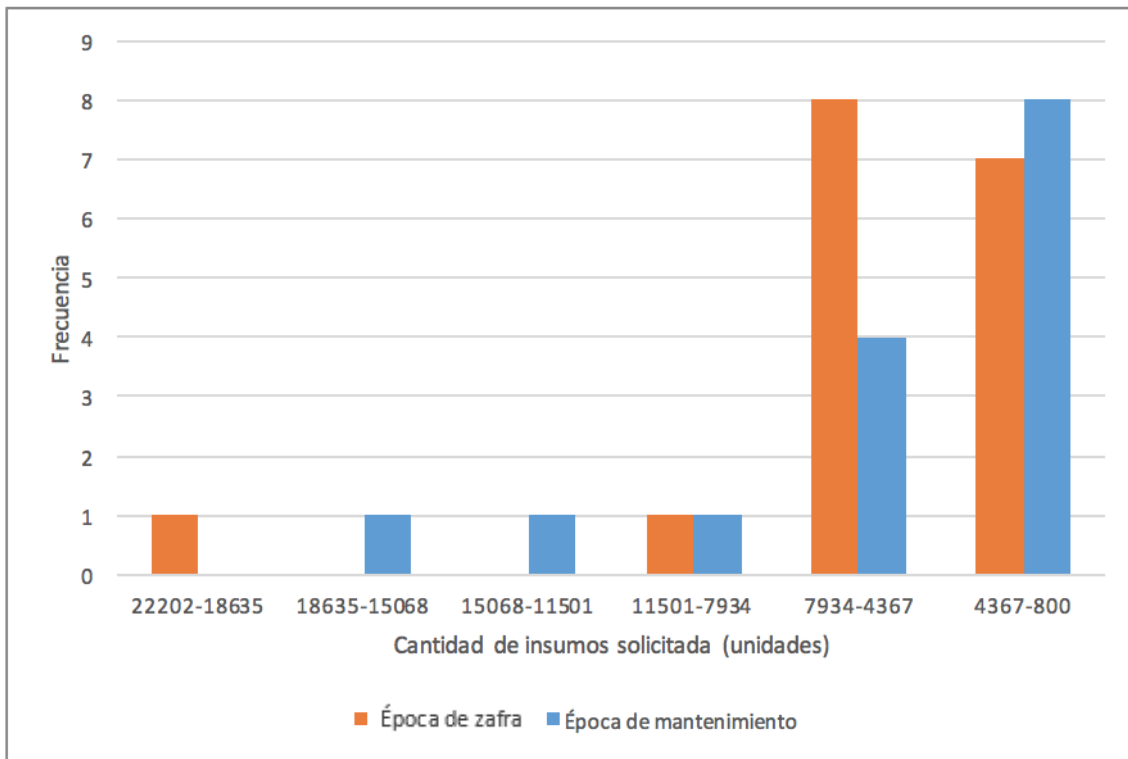


Gráfico No. 53 Pronóstico insumo E en época de zafra.

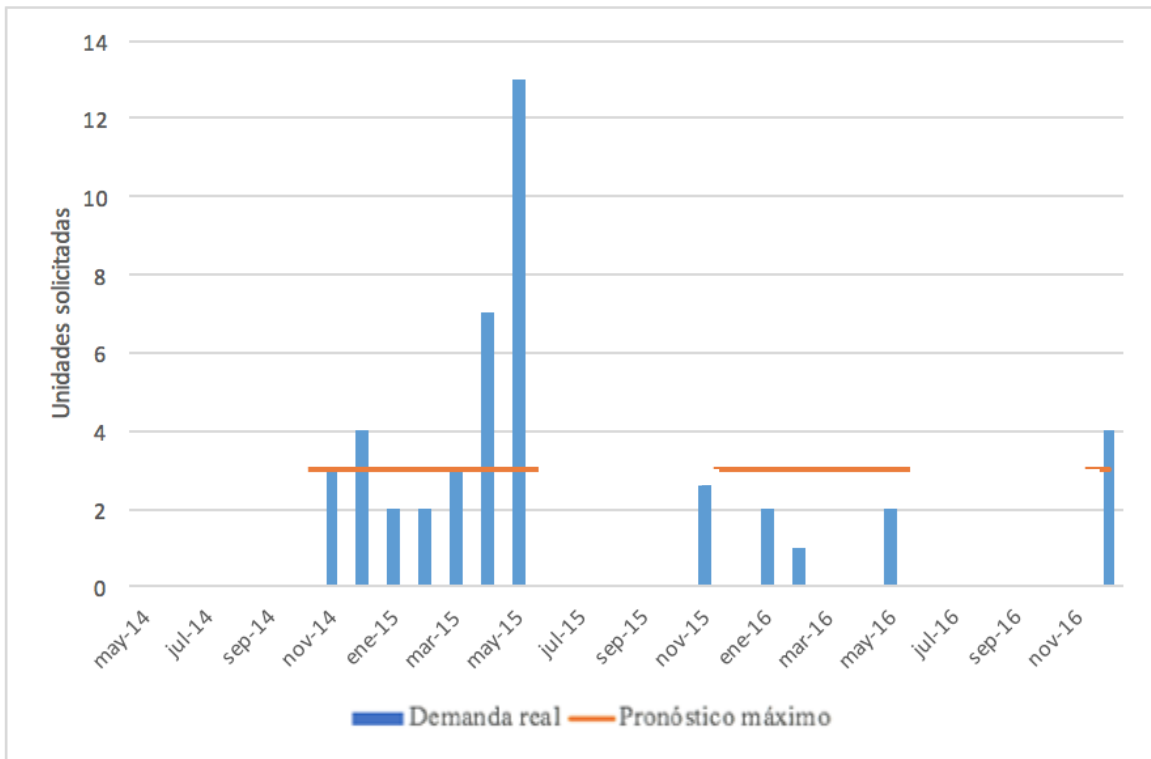
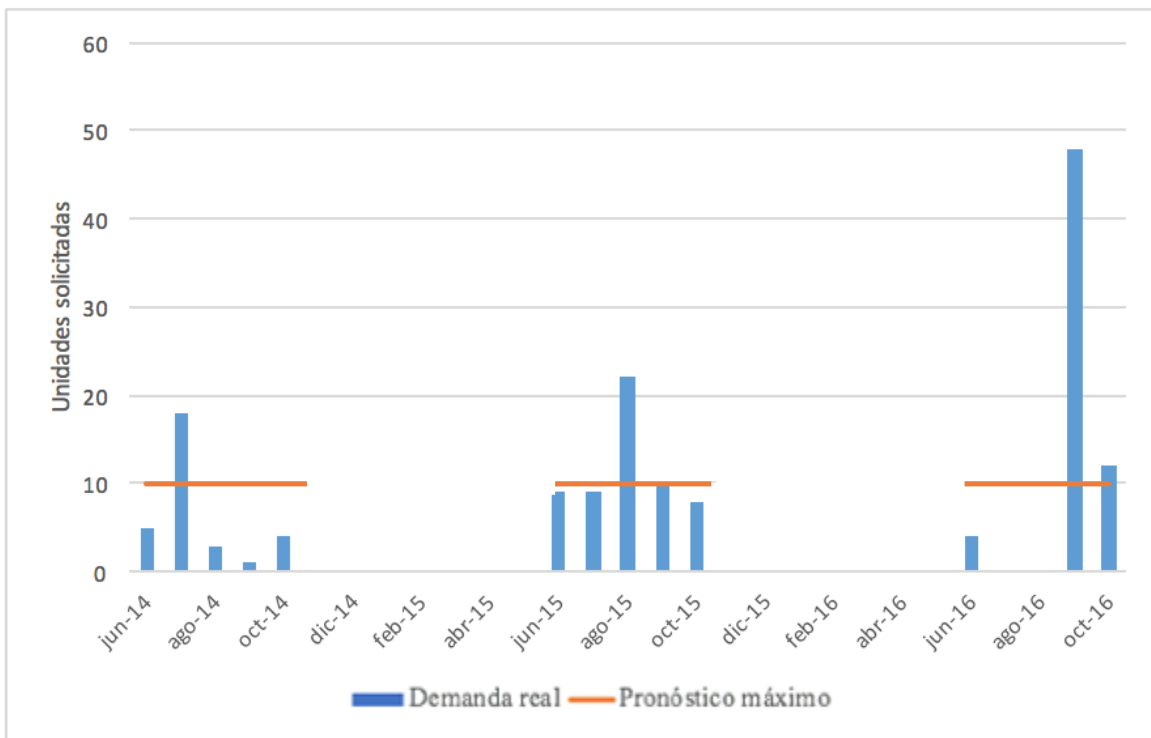


Gráfico No. 54 Pronóstico insumo E en época de mantenimiento



2) Modelo de media móvil

Gráfico No. 55. Pronóstico insumo prioritario 1 utilizando modelo de media móvil

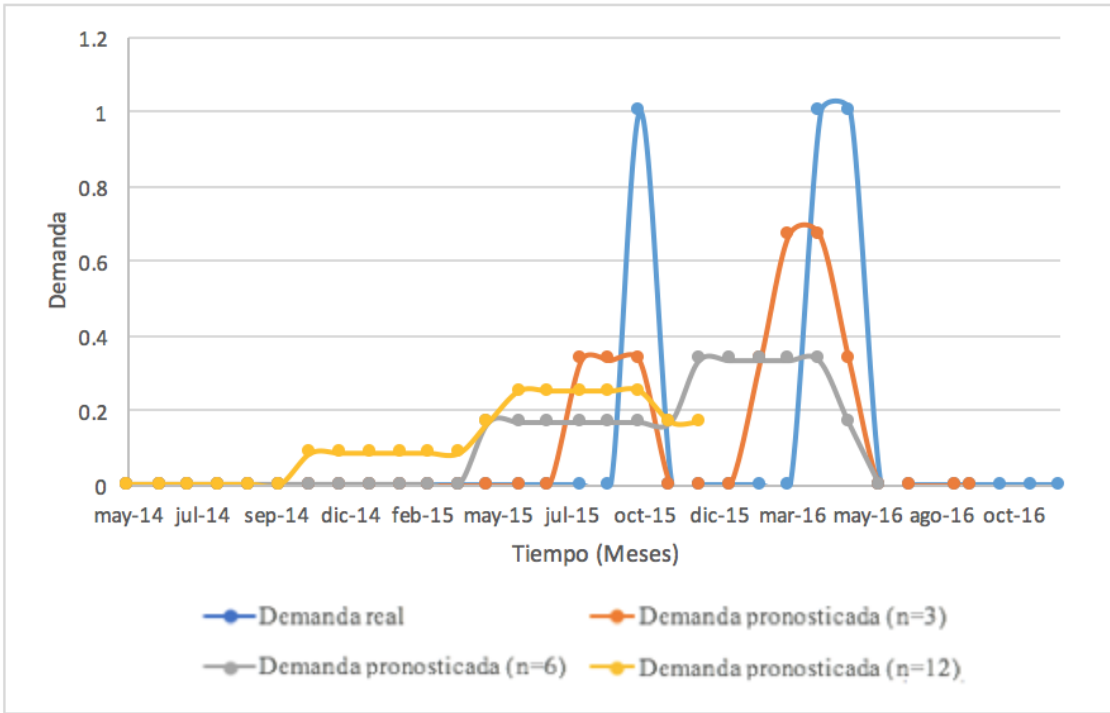


Gráfico No. 56 Pronóstico insumo A utilizando modelo de media móvil

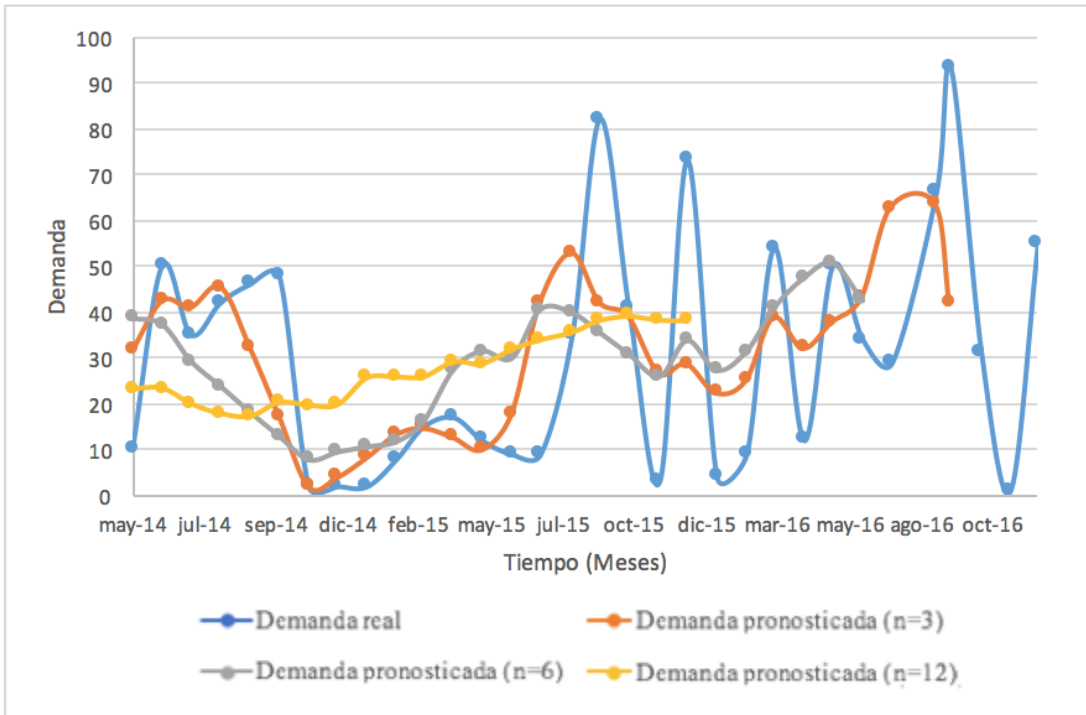


Gráfico No. 57 Pronóstico insumo B utilizando modelo de media móvil

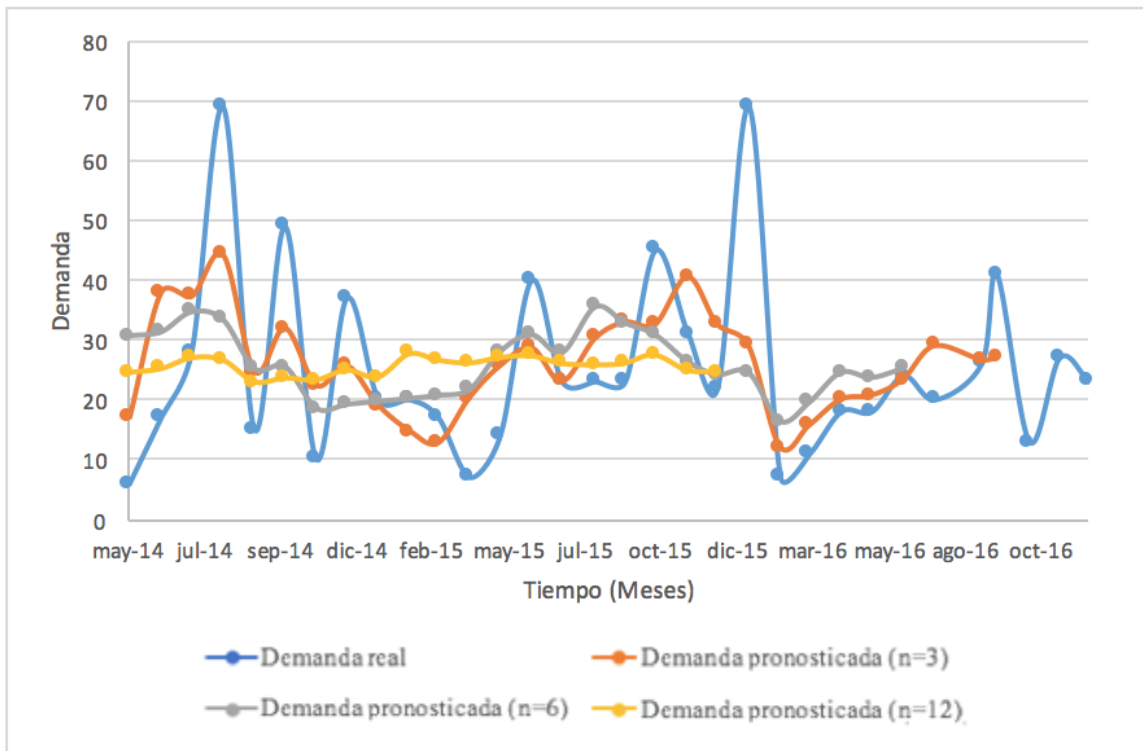


Gráfico No. 58. Pronóstico insumo C utilizando modelo de media móvil

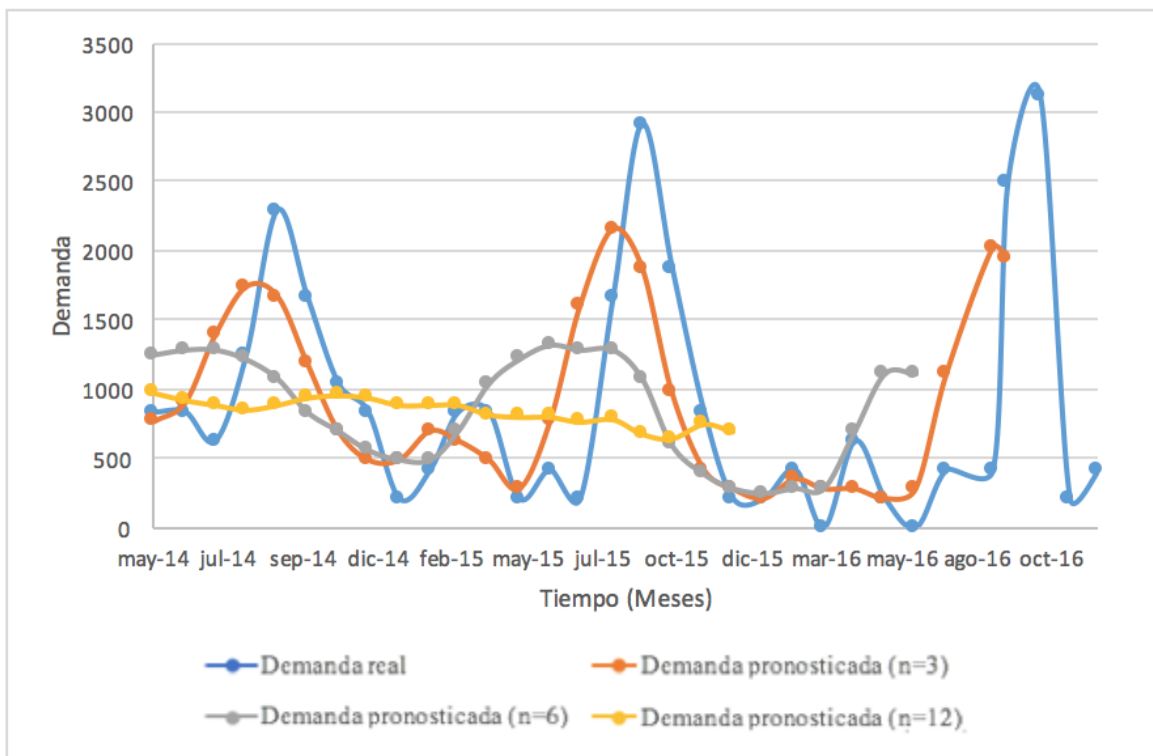


Gráfico No. 59. Pronóstico insumo D utilizando modelo de media móvil

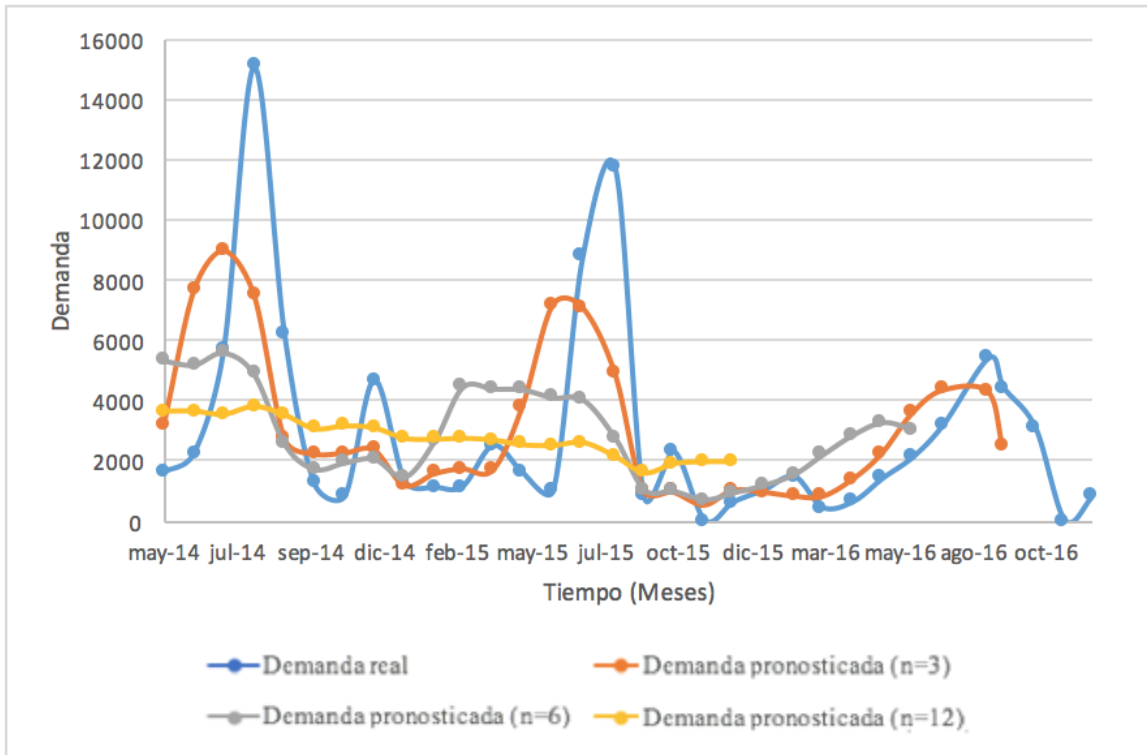
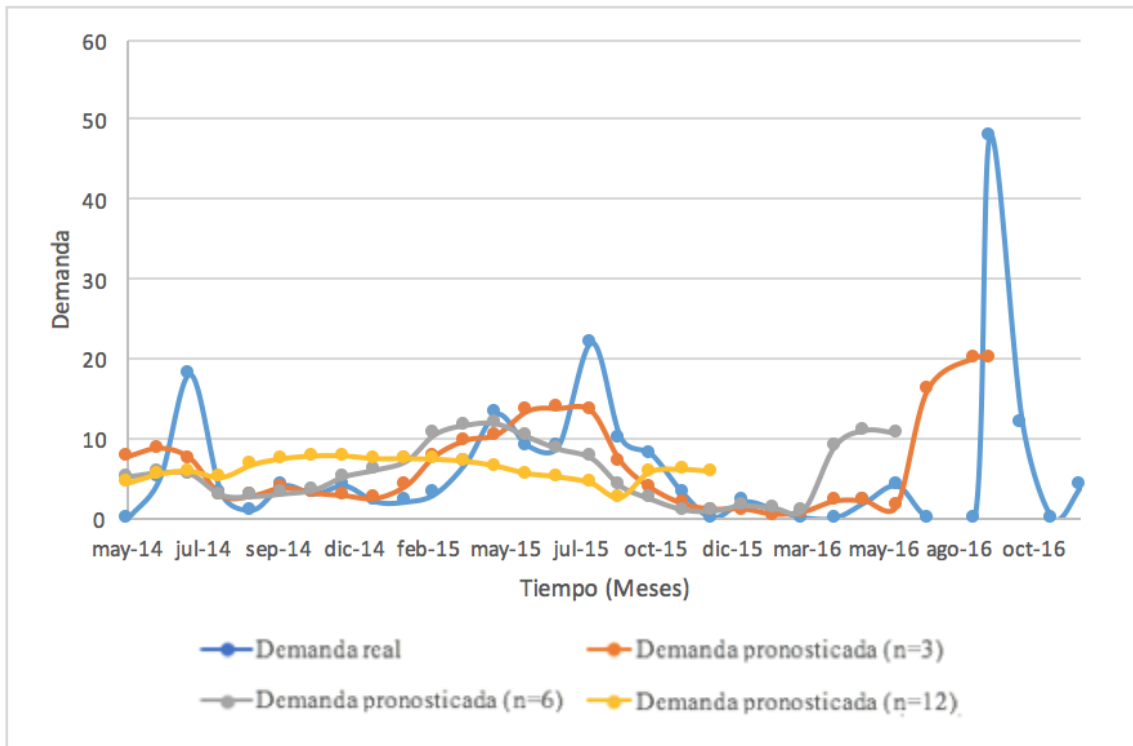


Gráfico No. 60. Pronóstico insumo E utilizando modelo de media móvil



3) Modelo de ajuste de curvas cuadrático

Gráfico No. 61. Pronóstico para el insumo prioritario 1 utilizando el modelo ajuste de curvas, en época de zafra.

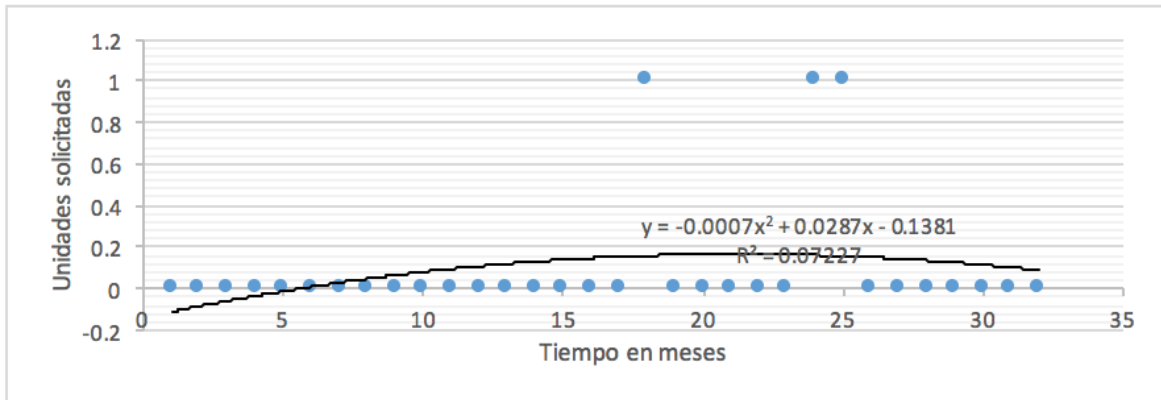


Gráfico No. 62. Pronóstico para el insumo A utilizando el modelo ajuste de curvas, en época de zafra

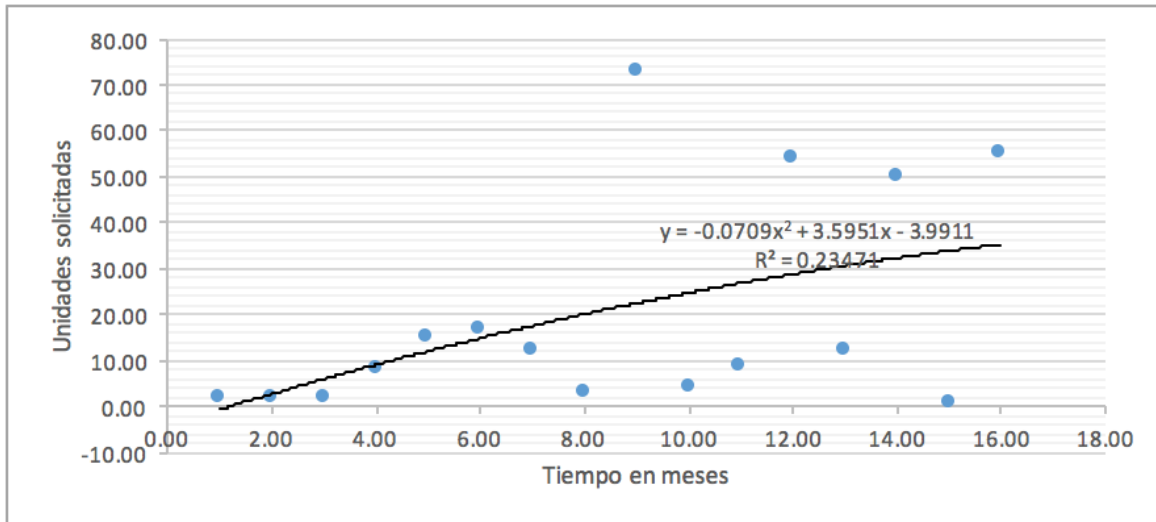


Gráfico No. 63 Pronóstico para el insumo A utilizando el modelo ajuste de curvas, en época de mantenimiento

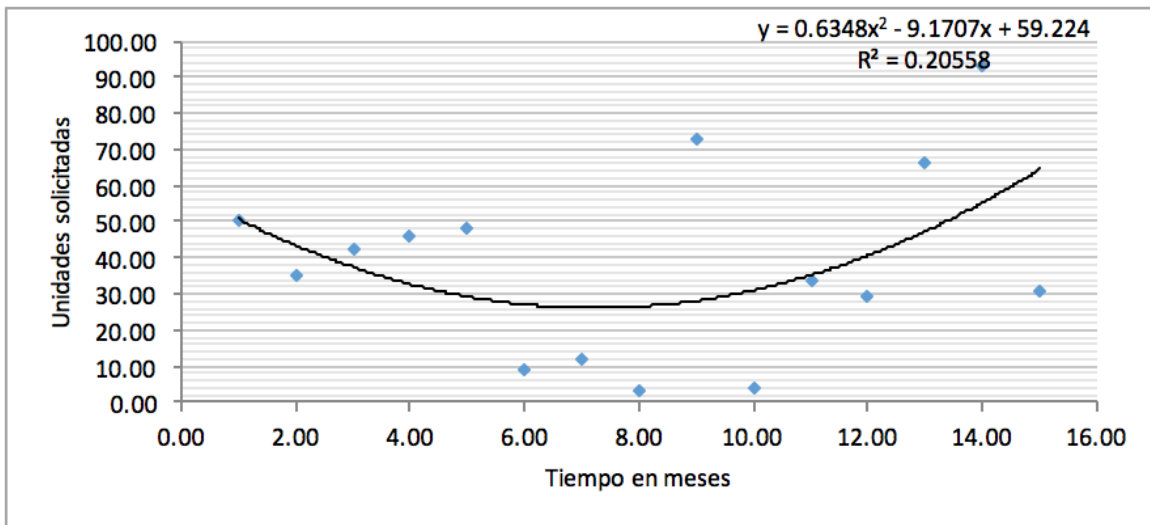


Gráfico No. 64 Pronóstico para el insumo B utilizando el modelo ajuste de curvas, en época de zafra

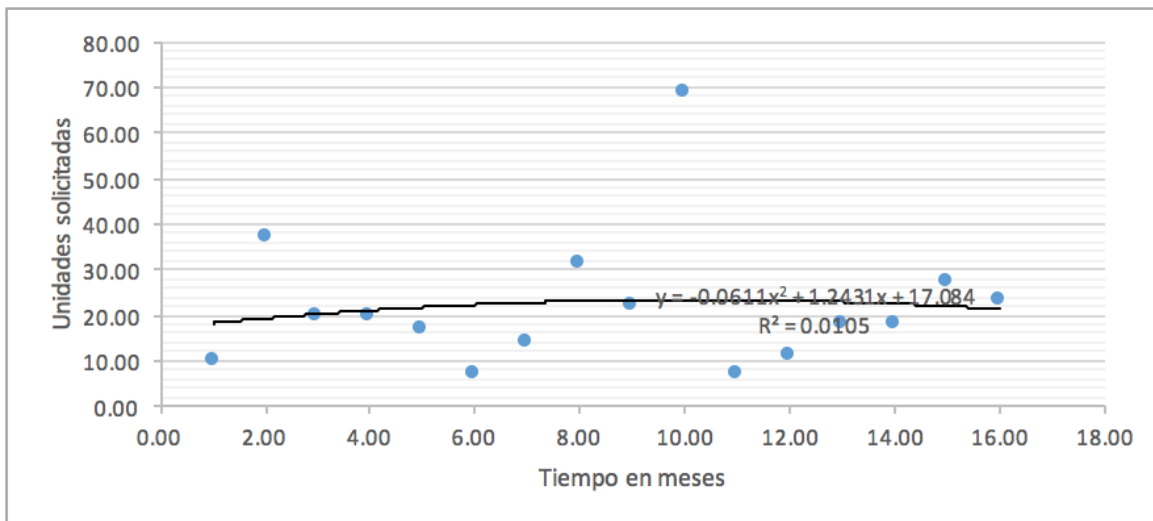


Gráfico No. 65 Pronóstico para el insumo B utilizando el modelo ajuste de curvas, en época de mantenimiento

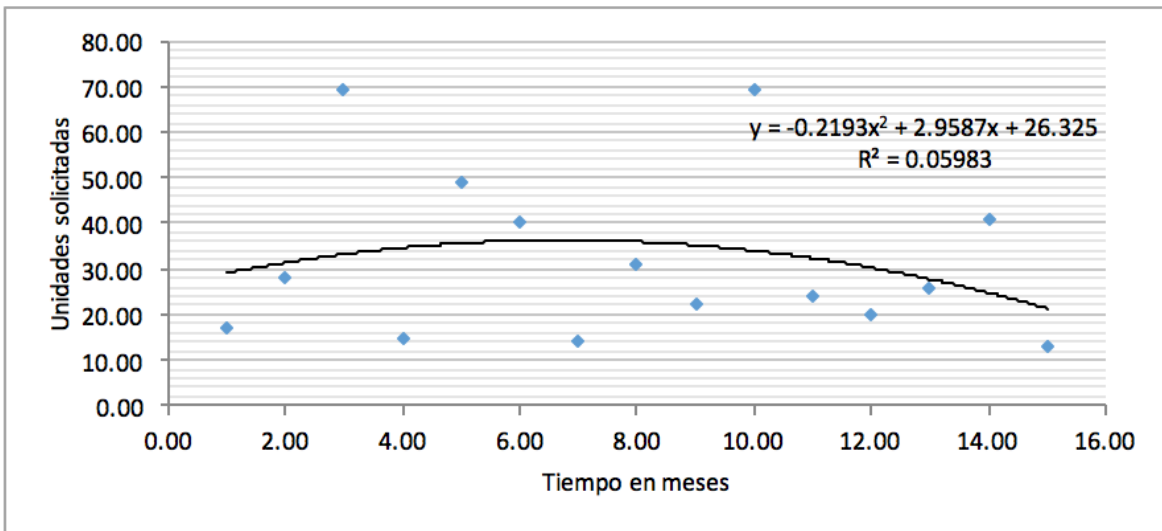


Gráfico No.66 Pronóstico para el insumo C utilizando el modelo ajuste de curvas, en época de zafra

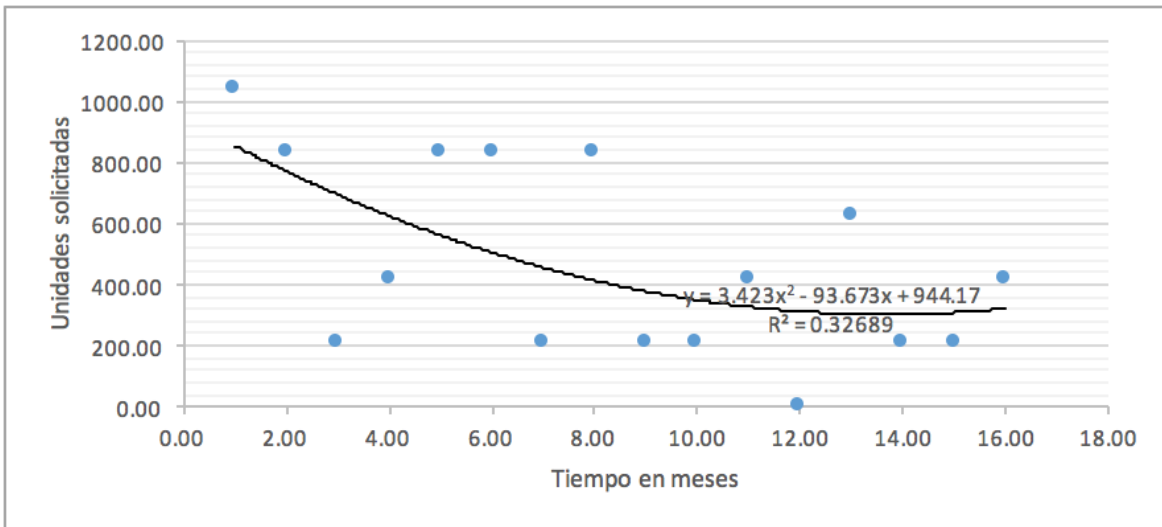


Gráfico No. 67 Pronóstico para el insumo C utilizando el modelo ajuste de curvas, en época de mantenimiento

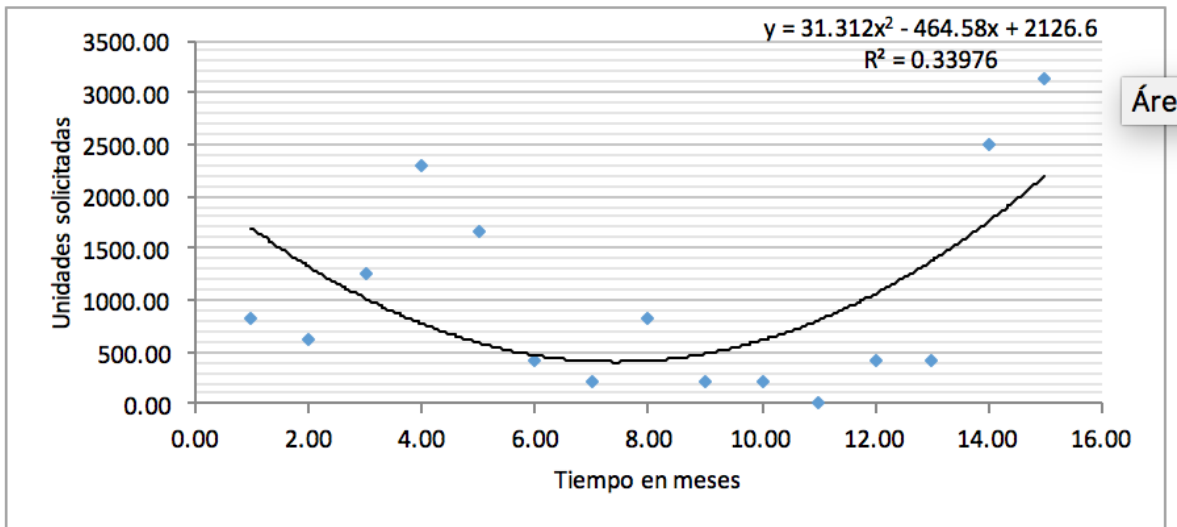


Gráfico No. 68 Pronóstico para el insumo D utilizando el modelo ajuste de curvas, en época de zafra

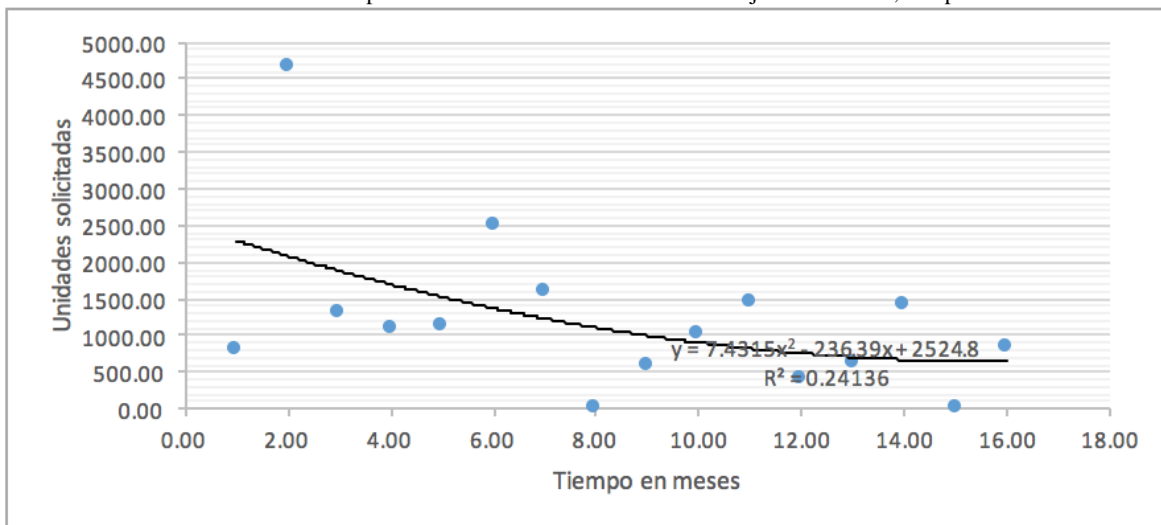


Gráfico No. 69 Pronóstico para el insumo D utilizando el modelo ajuste de curvas, en época de mantenimiento

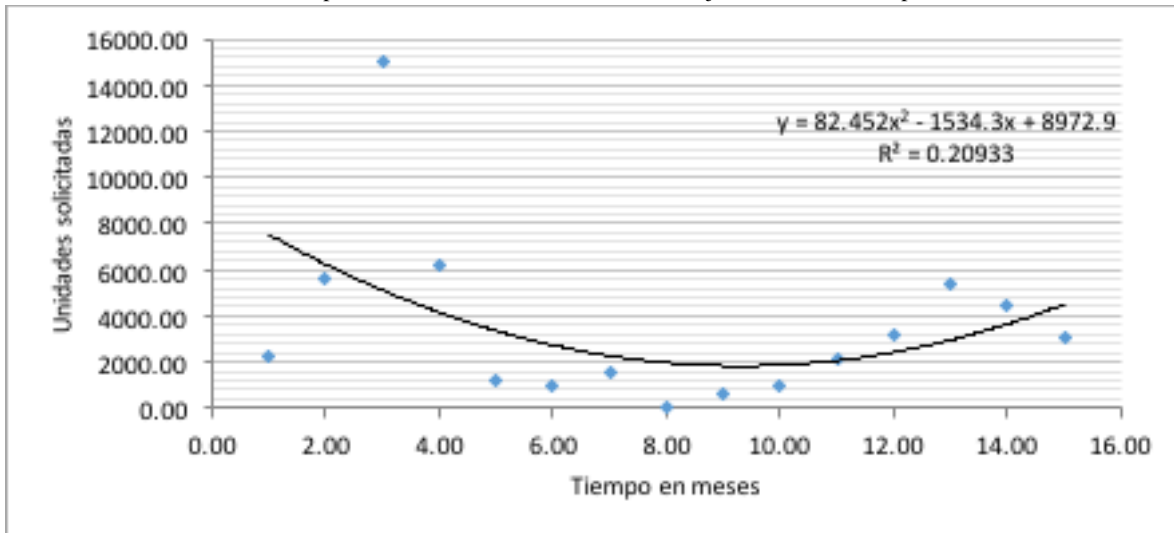


Gráfico No. 70 Pronóstico para el insumo E utilizando el modelo ajuste de curvas, en época de zafra

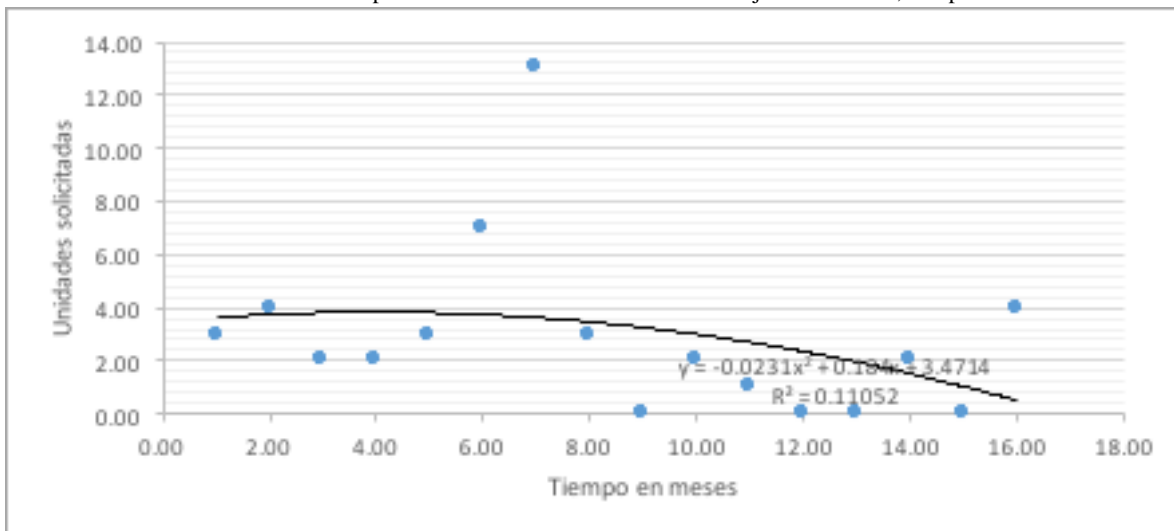
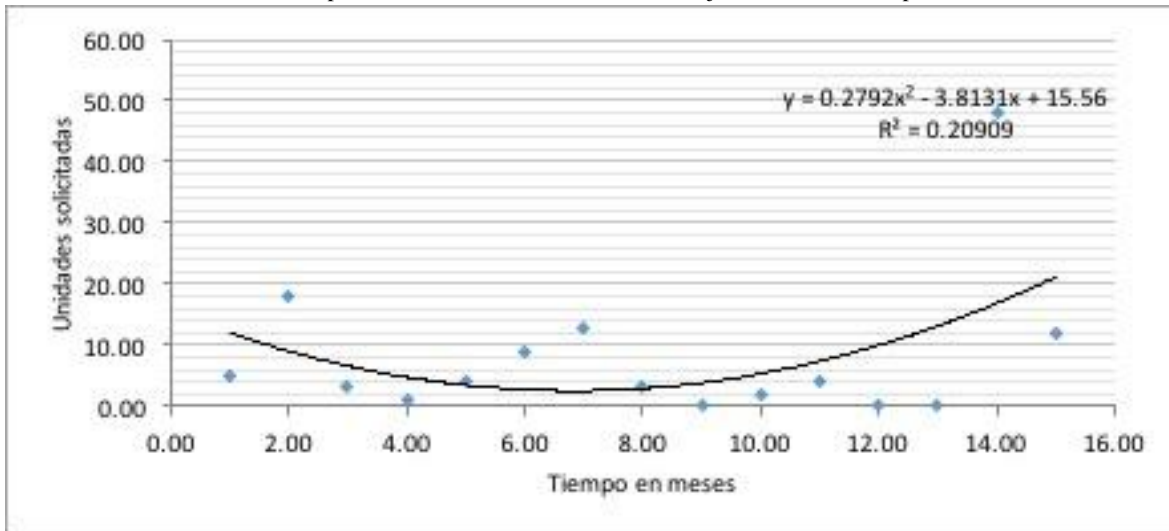


Gráfico No. 71 Pronóstico para el insumo E utilizando el modelo ajuste de curvas, en época de mantenimiento



4) Modelo de series cronológicas

Gráfico No. 72 Pronóstico para el insumo prioritario 1 utilizando el modelo de series de tiempo cronológicas.

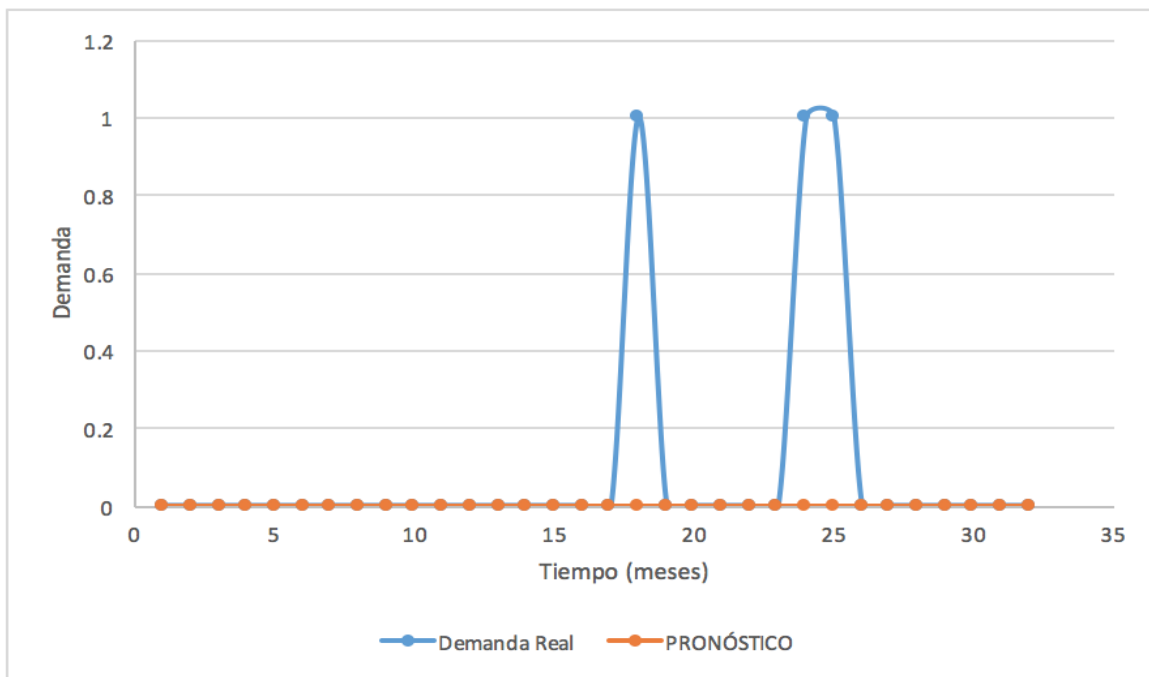


Gráfico No. 73 Pronóstico para el insumo A utilizando el modelo de series de tiempo cronológicas.

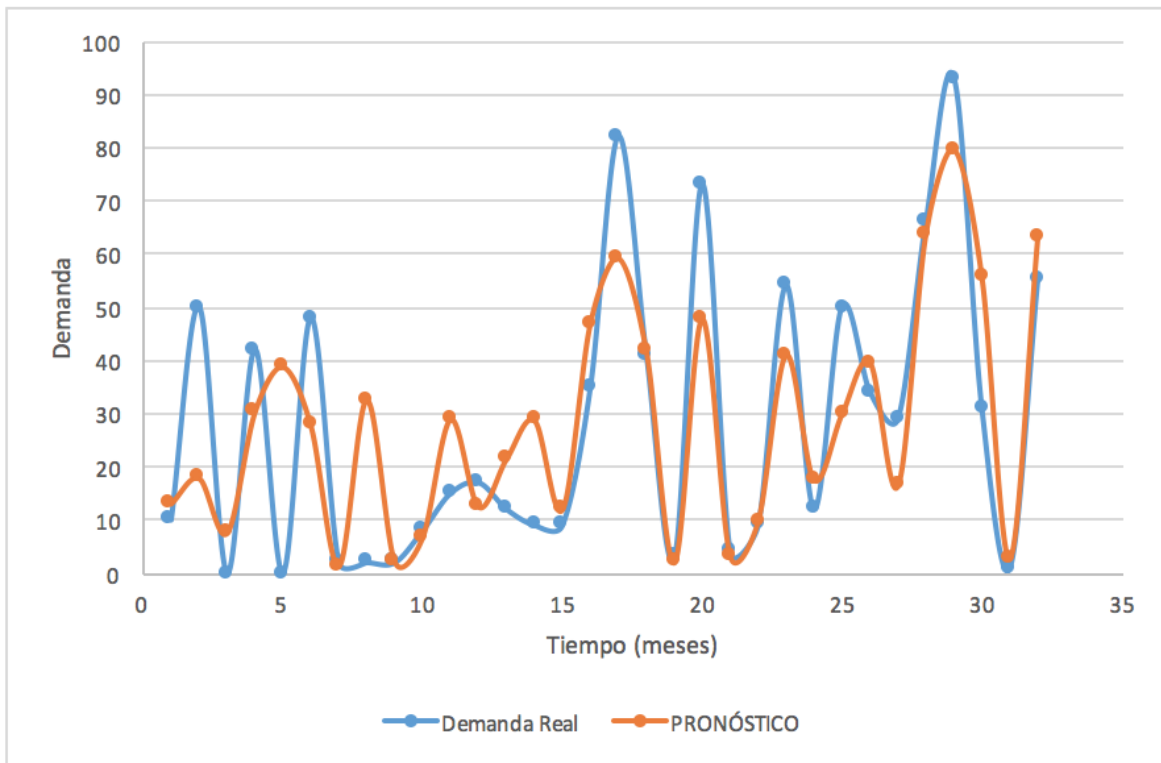


Gráfico No. 74 Pronóstico para el insumo B utilizando el modelo de series de tiempo cronológicas.

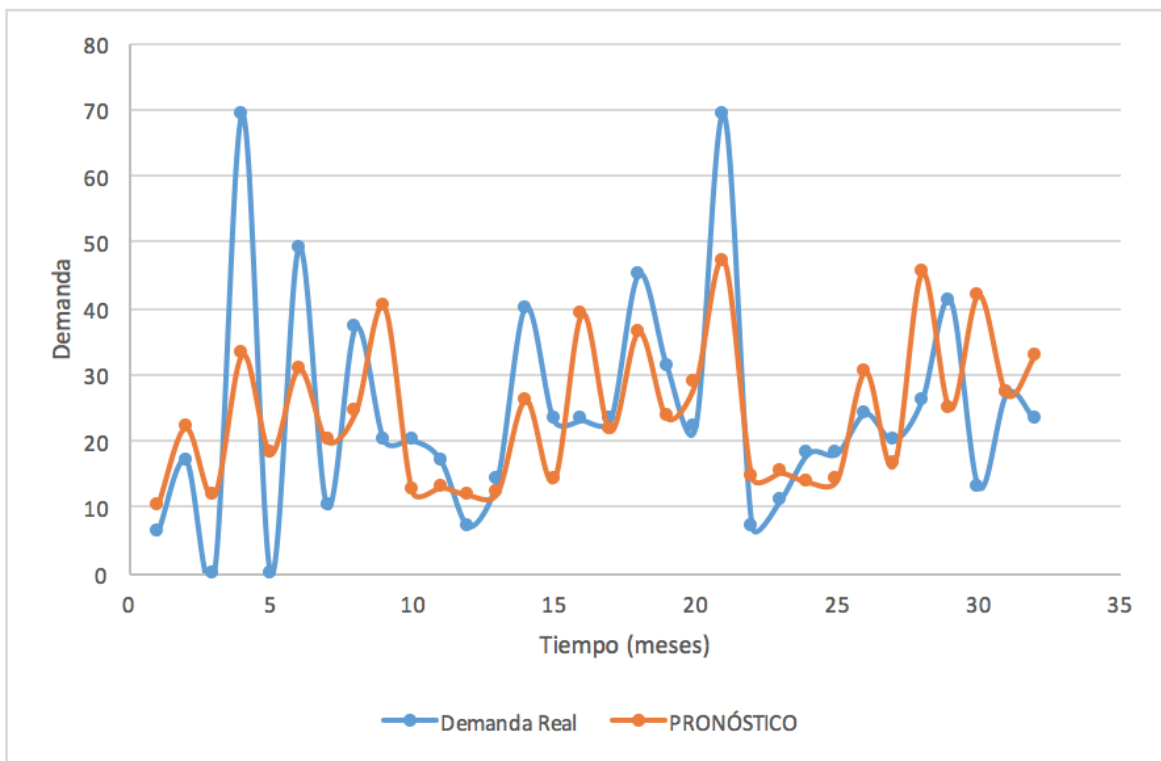


Gráfico No. 75 Pronóstico para el insumo C utilizando el modelo de series de tiempo cronológicas.

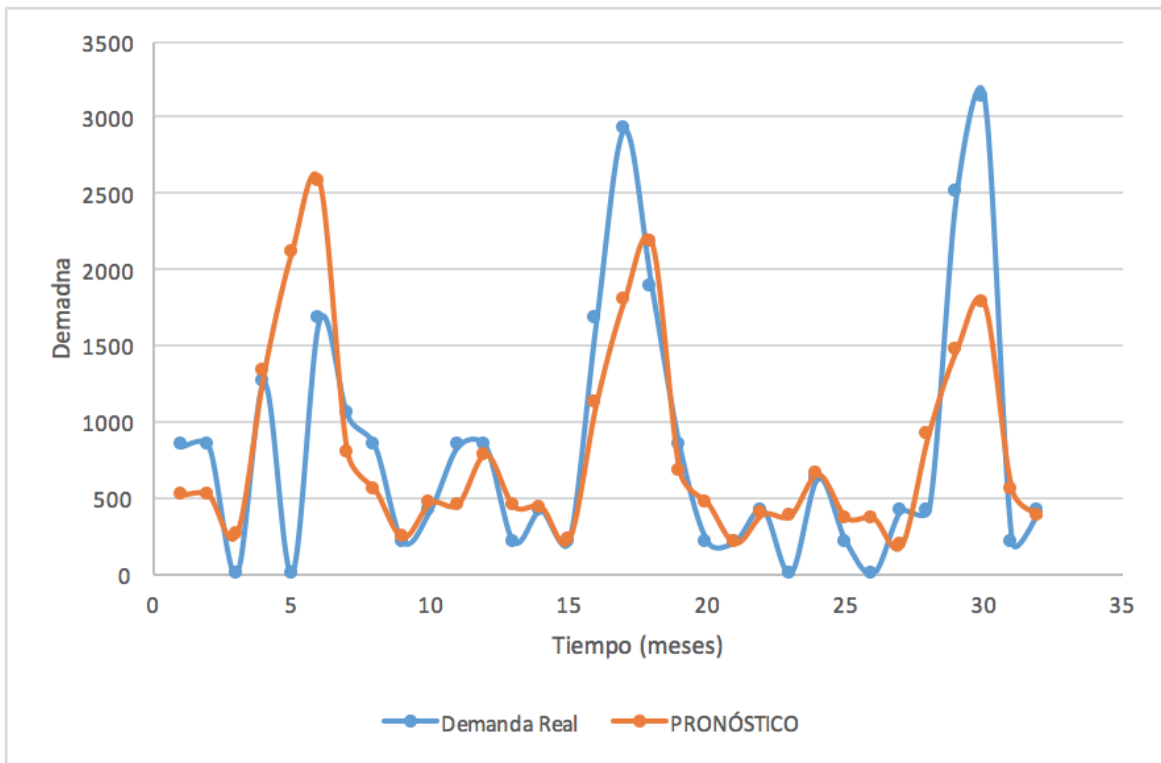


Gráfico No. 76 Pronóstico para el insumo D utilizando el modelo de series de tiempo cronológicas.

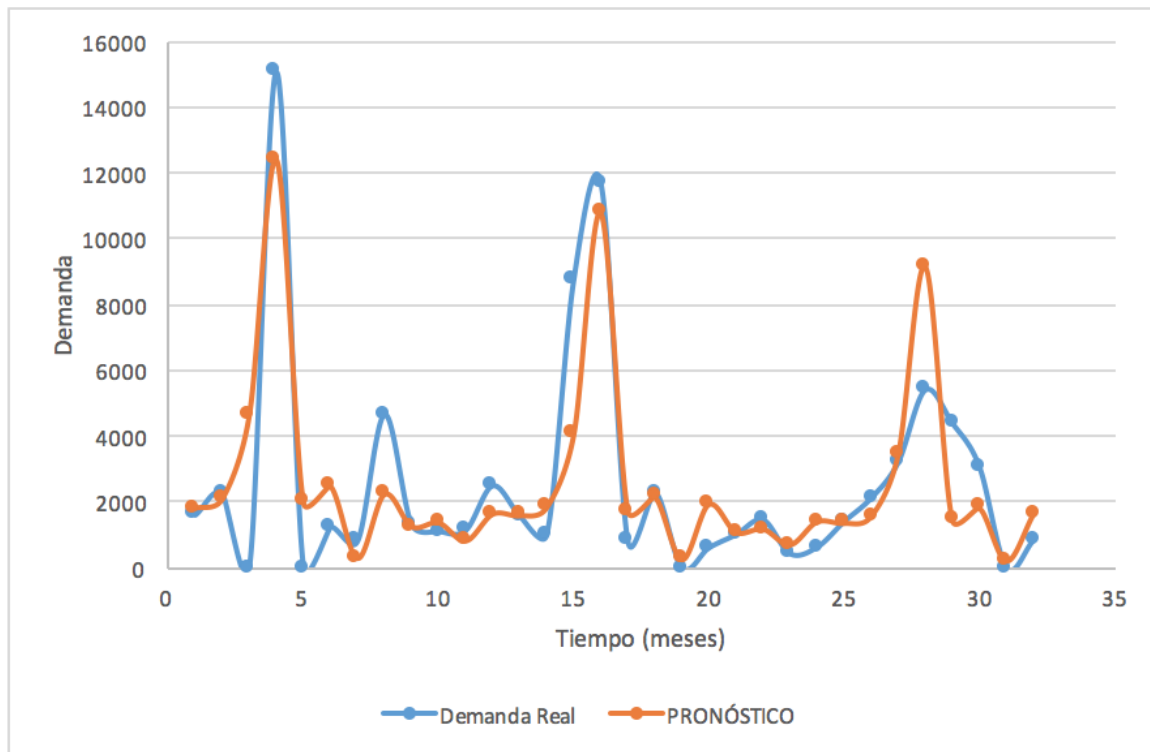
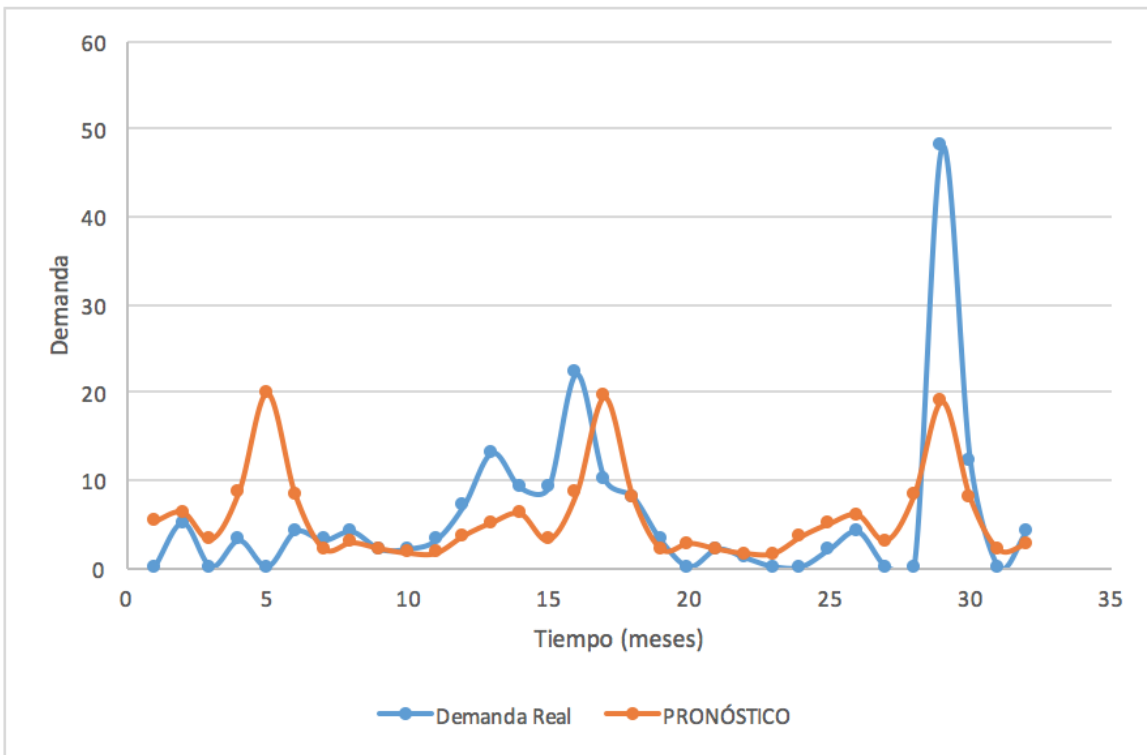


Gráfico No. 77 Pronóstico para el insumo E utilizando el modelo de series de tiempo cronológicas.



5) Modelo de correlación y regresión

Gráfico No. 78 Pronóstico para el insumo prioritario 1 utilizando el modelo de correlación y regresión.

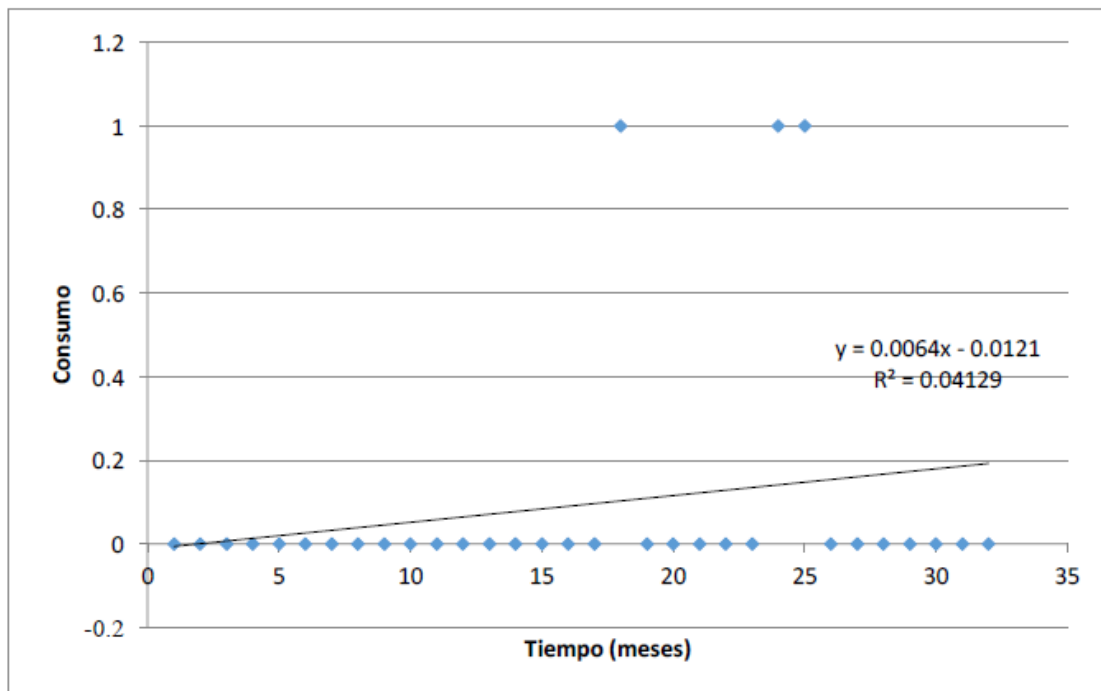


Gráfico No. 79 Pronóstico para el insumo prioritario A utilizando el modelo de correlación y regresión, en época de zafra.

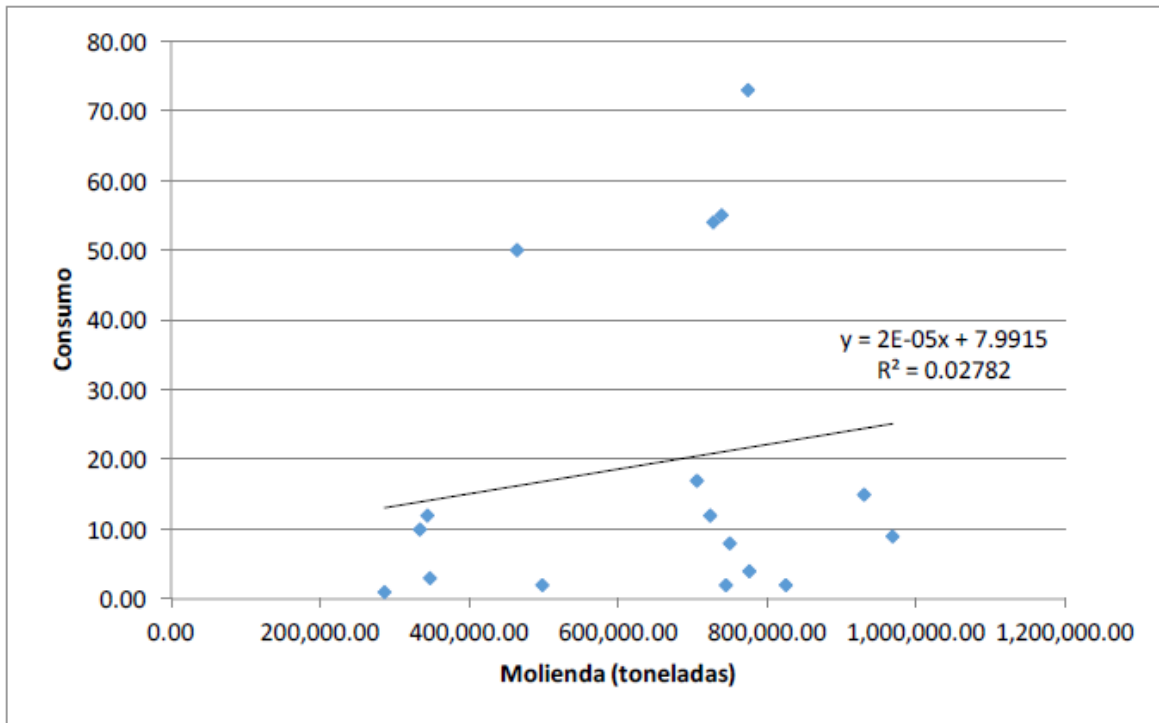


Gráfico No. 80 Pronóstico para el insumo A utilizando el modelo de correlación y regresión, en época de mantenimiento.

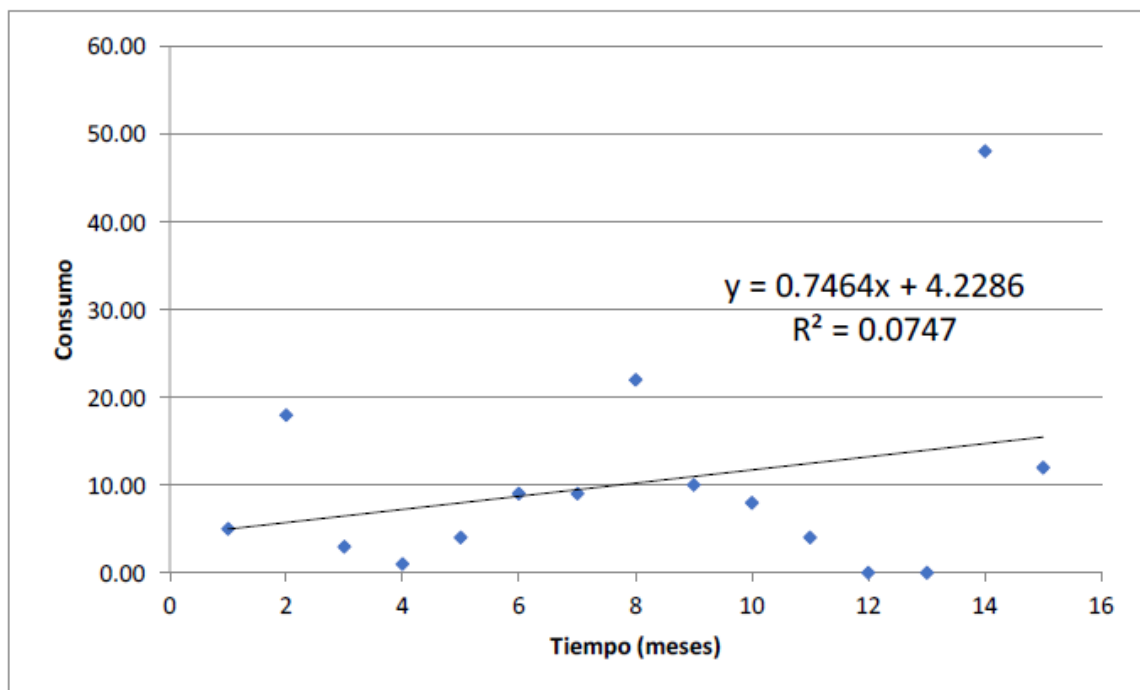


Gráfico No. 81 Pronóstico para el insumo B utilizando el modelo de correlación y regresión, en época de zafra.

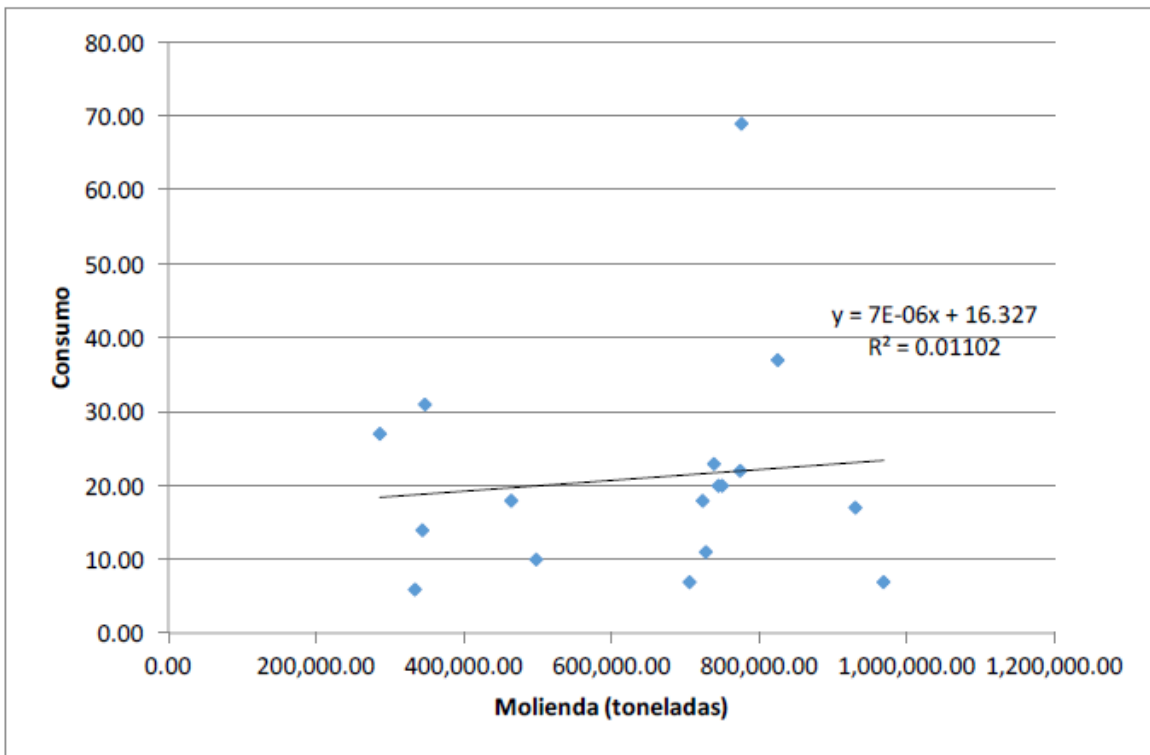


Gráfico No. 82 Pronóstico para el insumo B utilizando el modelo de correlación y regresión, en época de mantenimiento.

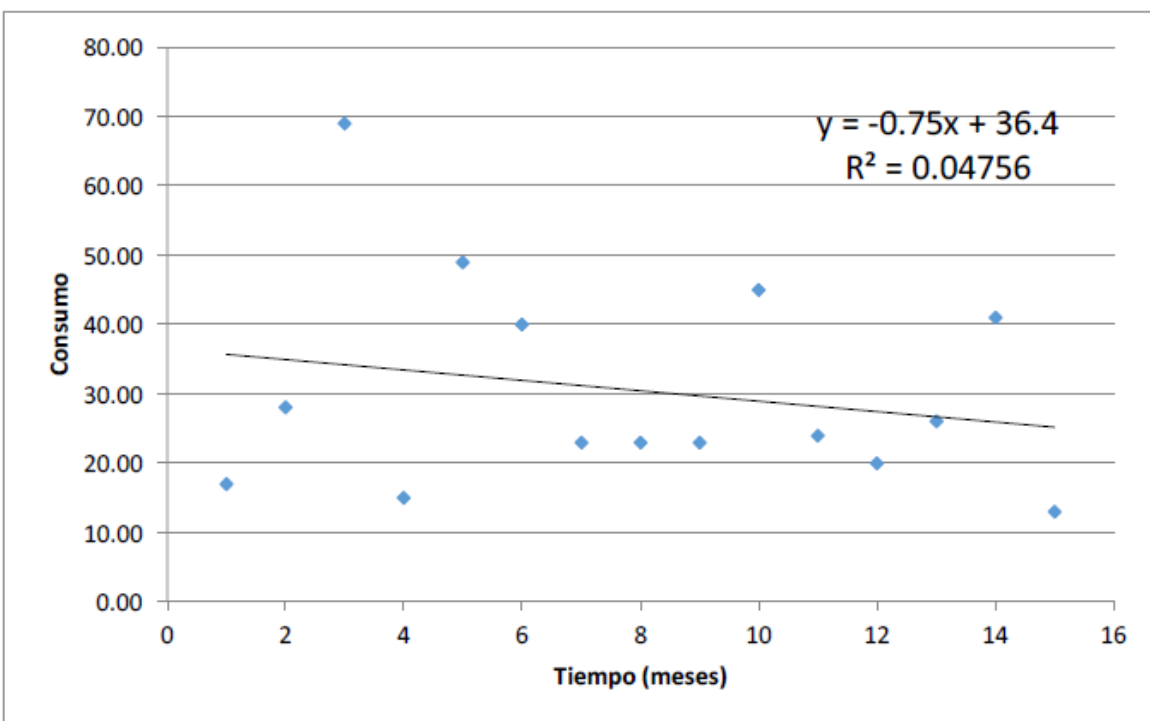


Gráfico No. 83 Pronóstico para el insumo C utilizando el modelo de correlación y regresión, en época de zafra.

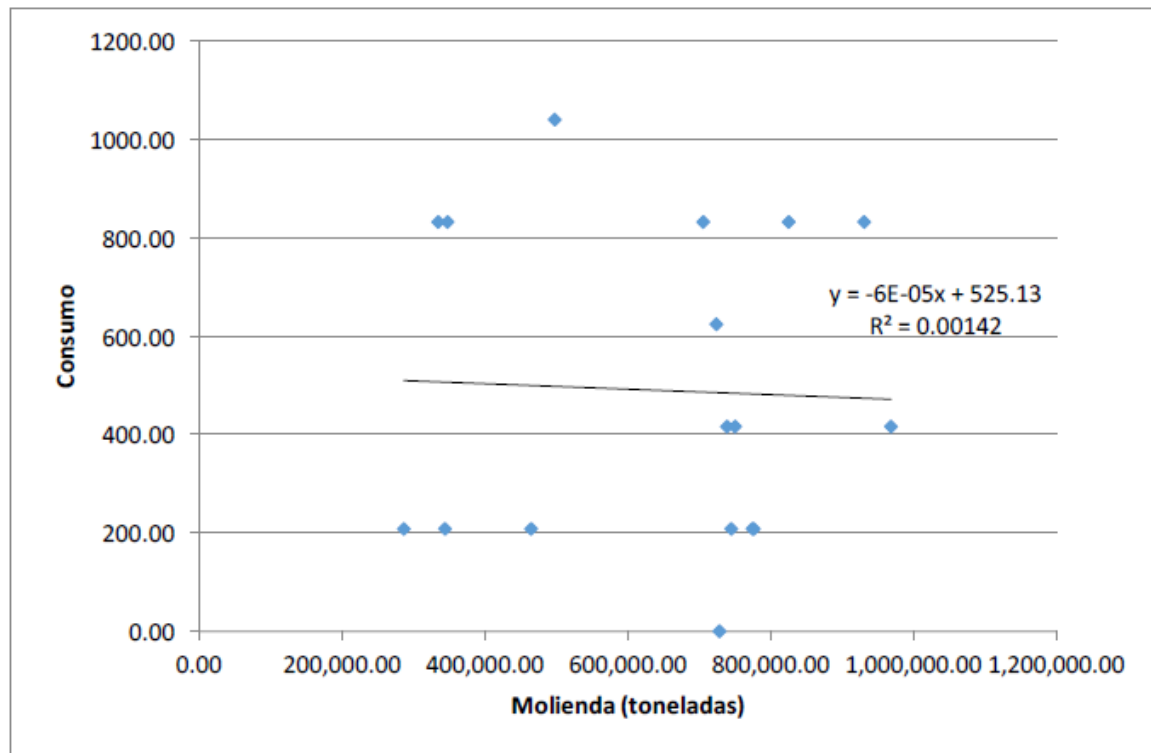


Gráfico No. 84 Pronóstico para el insumo C utilizando el modelo de correlación y regresión, en época de mantenimiento.

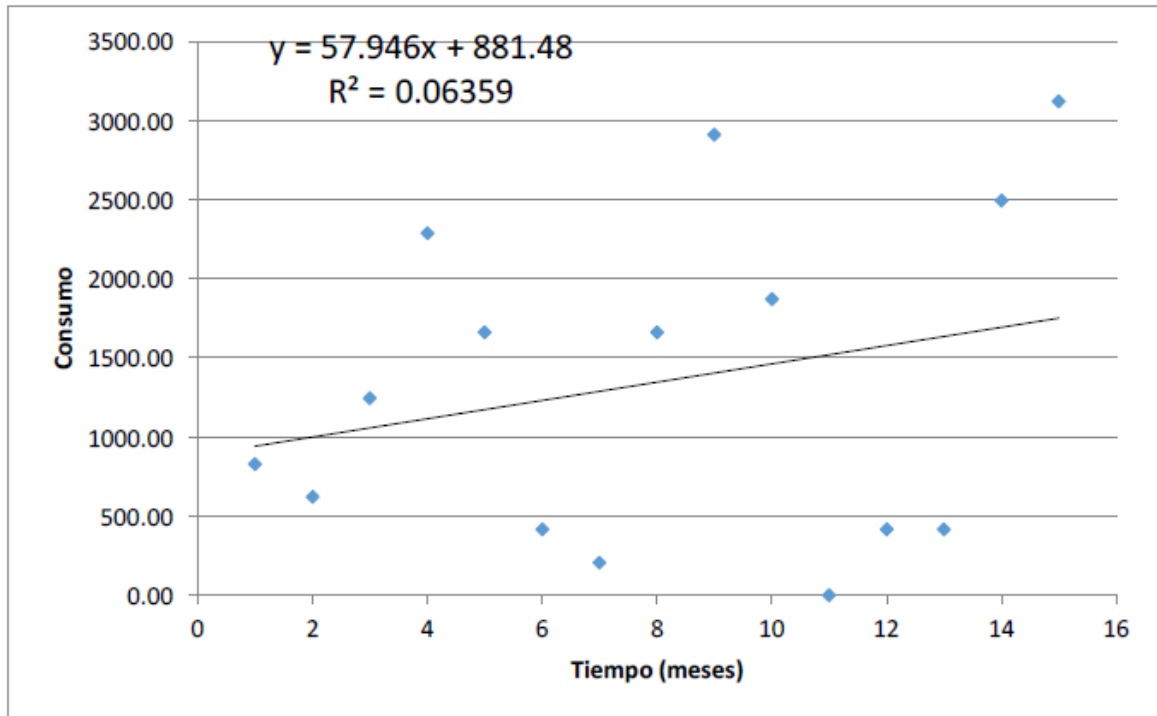


Gráfico No. 85 Pronóstico para el insumo D utilizando el modelo de correlación y regresión, en época de zafra.

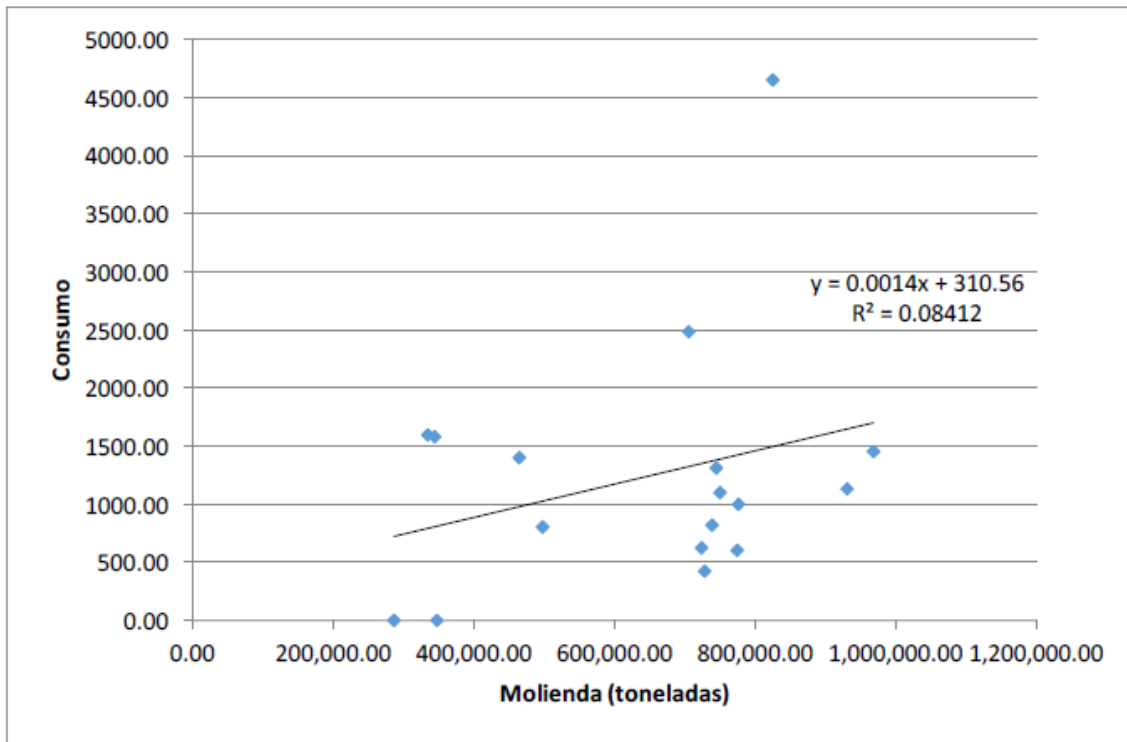


Gráfico No. 86 Pronóstico para el insumo D utilizando el modelo de correlación y regresión, en época de mantenimiento.

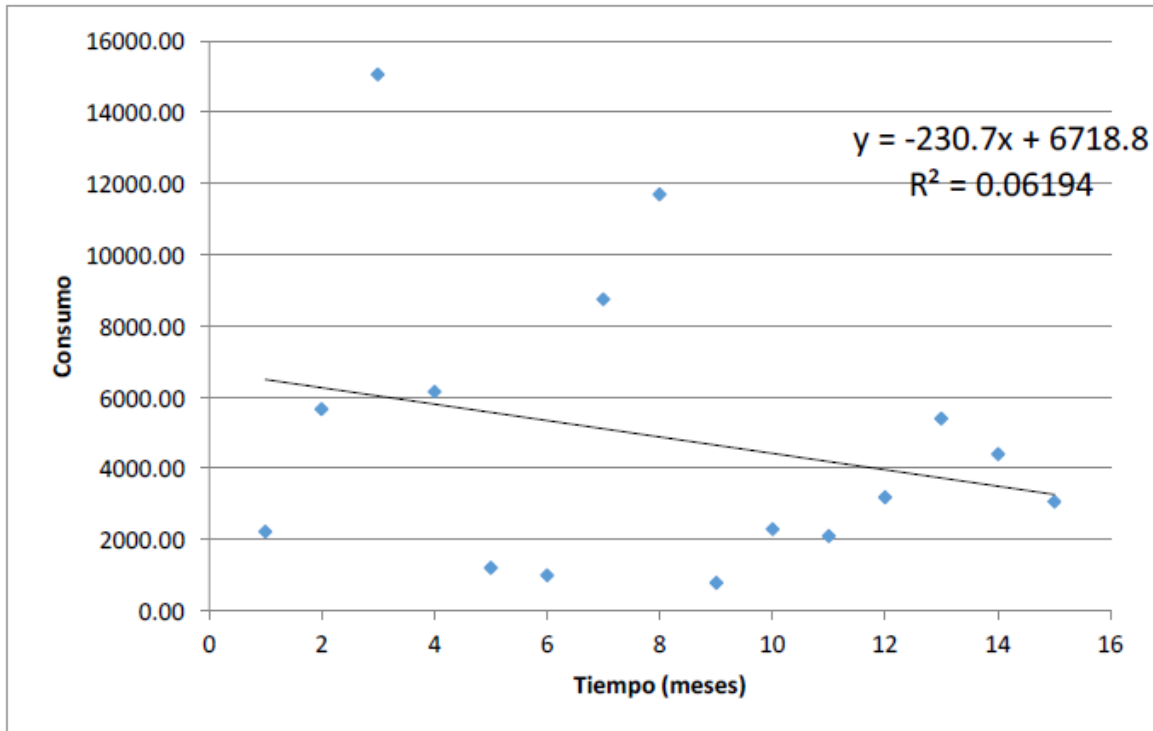


Gráfico No. 87 Pronóstico para el insumo E utilizando el modelo de correlación y regresión, en época de zafra.

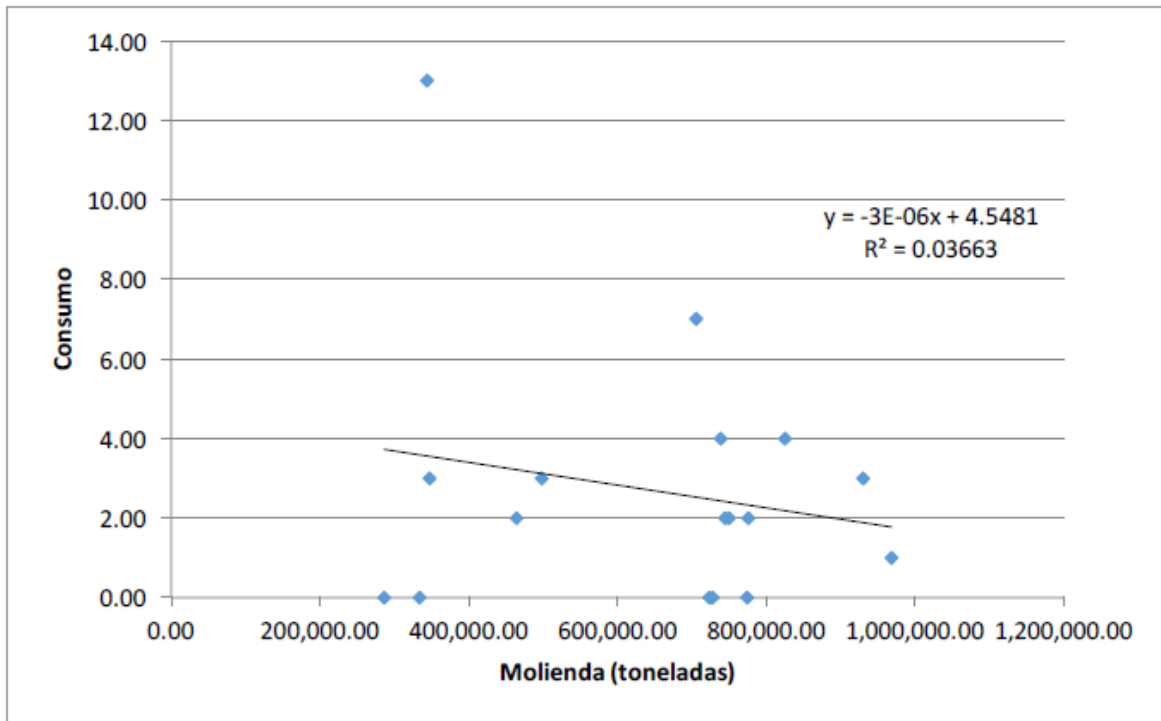
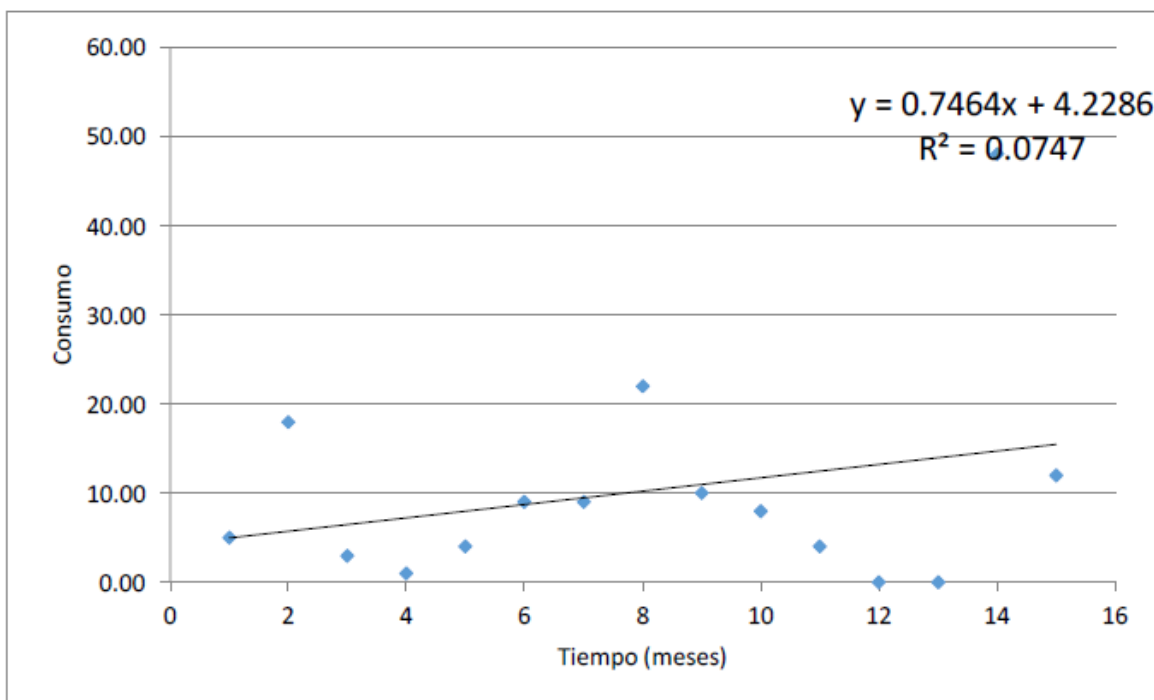


Gráfico No. 88 Pronóstico para el insumo E utilizando el modelo de correlación y regresión, en época de mantenimiento.



b. Tratamiento de jugo

1) Modelo de distribución de frecuencias

Gráfico No. 89 Modelo de distribución de frecuencias del material A.

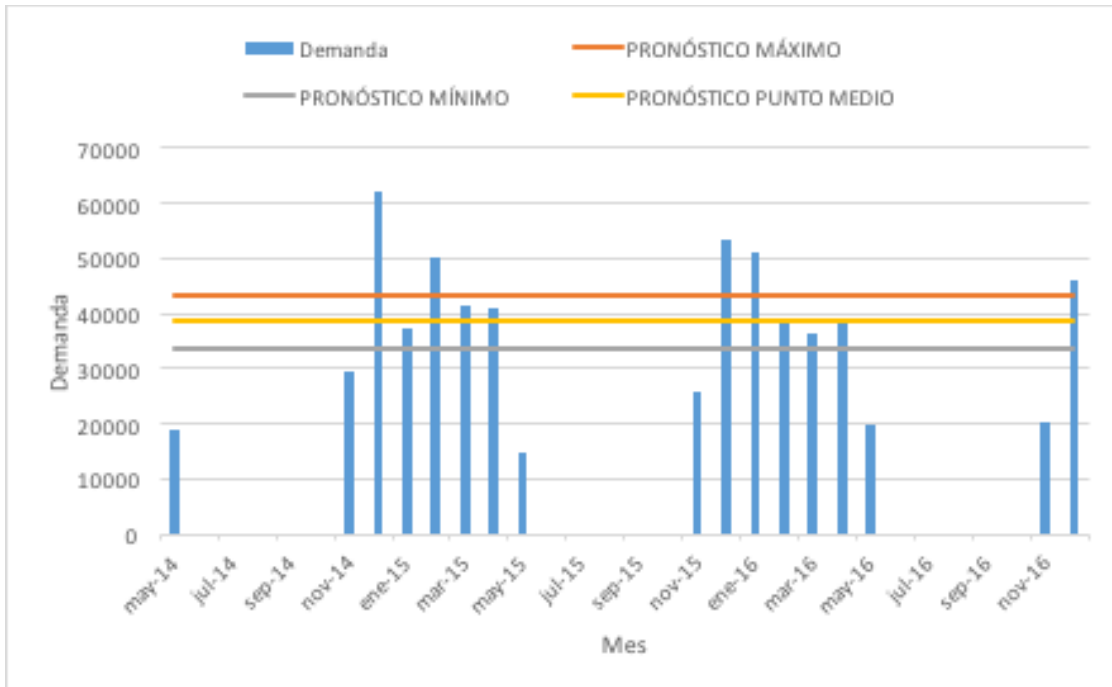


Gráfico No. 90 Modelo de distribución de frecuencias del material B.

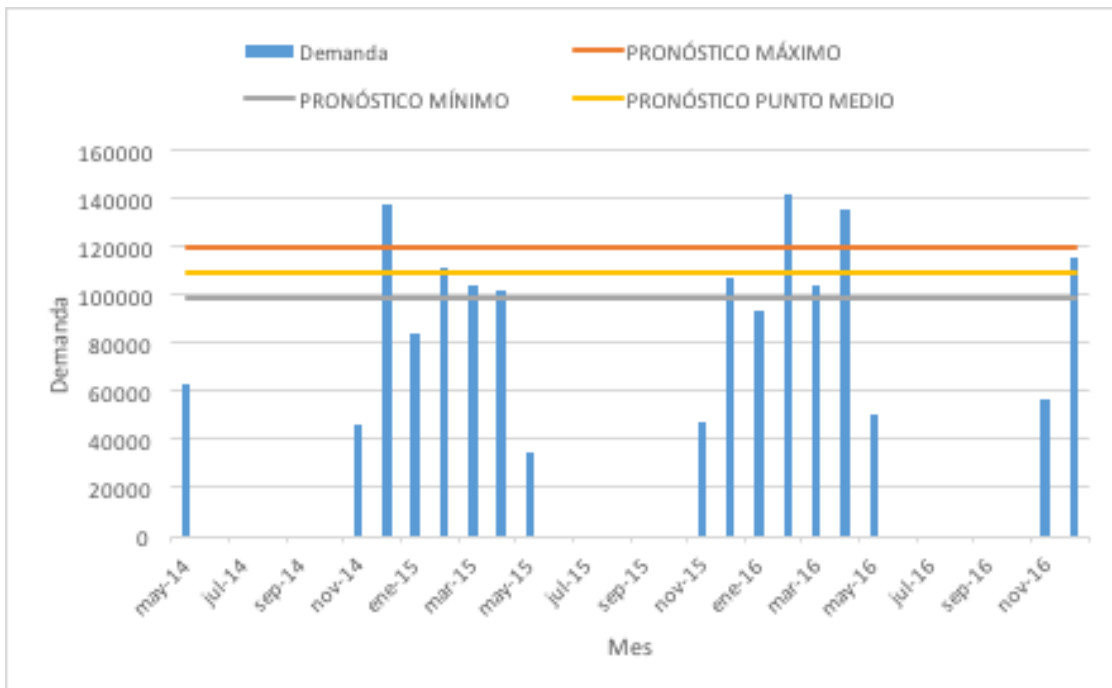


Gráfico No. 91 Modelo de distribución de frecuencias del material C.

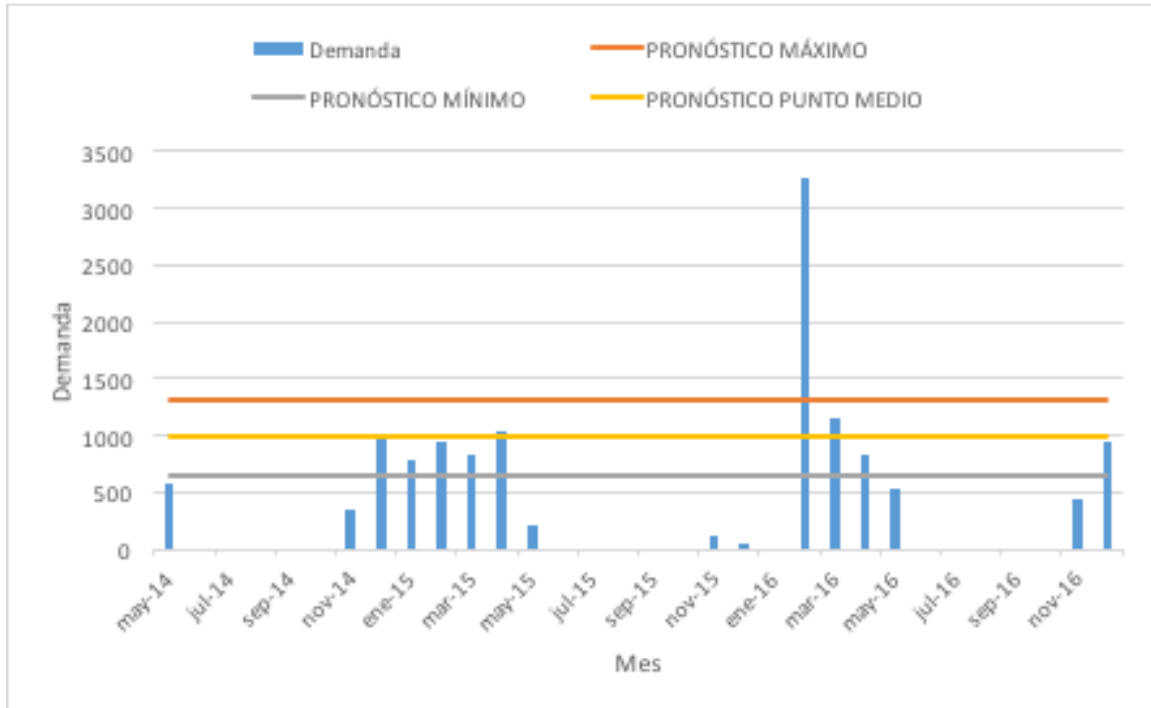


Gráfico No. 92 Modelo de distribución de frecuencias del material D.

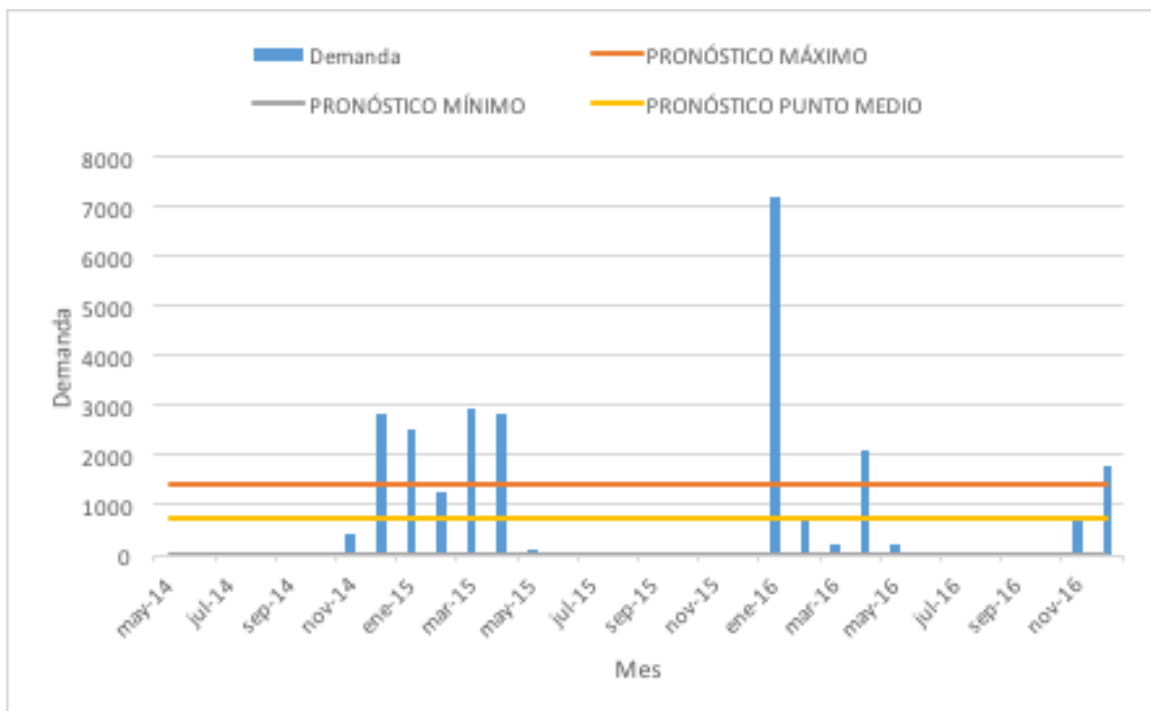
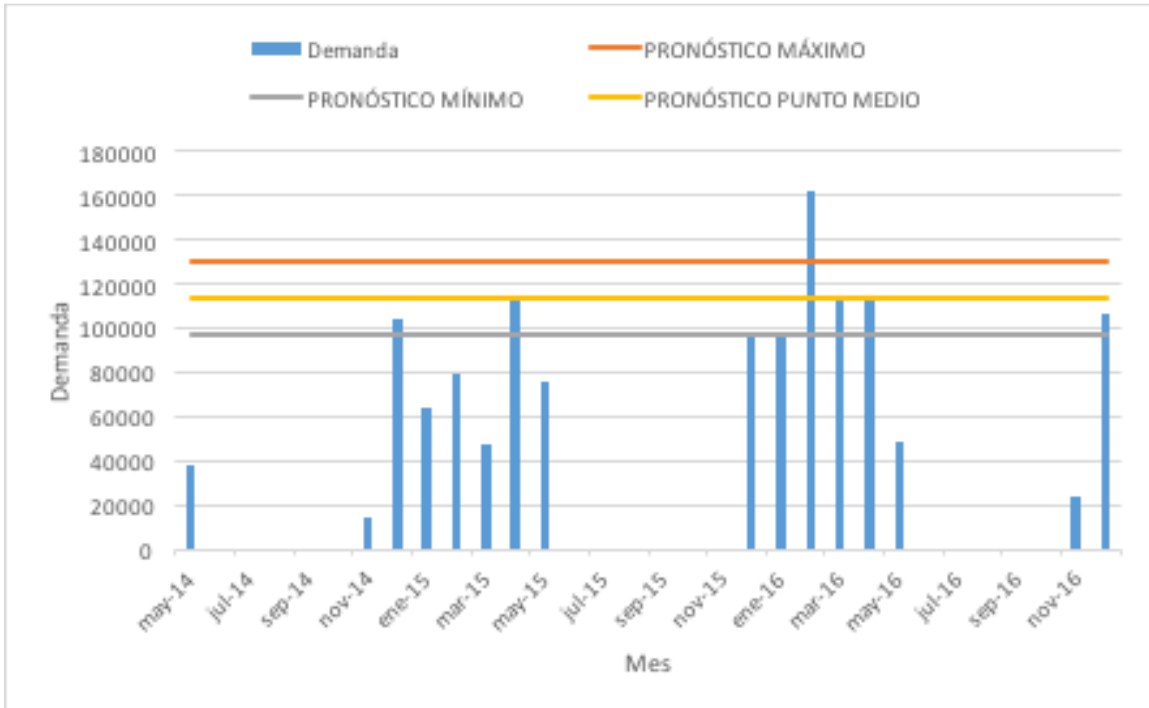


Gráfico No. 93 Modelo de distribución de frecuencias aplicado al material E.



2) Modelo de media móvil

Gráfico No.94 Modelo de media móvil con una frecuencia de 3 meses de la época de zafra del material A.

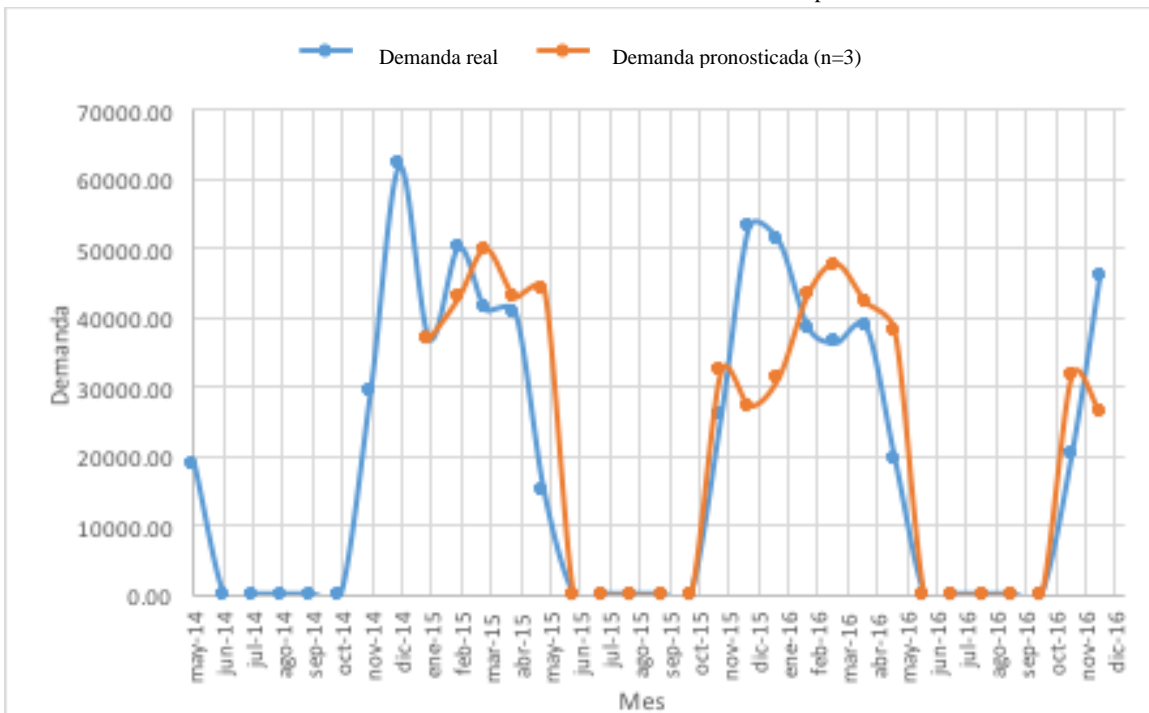


Gráfico No.95 Modelo de media móvil con una frecuencia de 3 meses de la época de zafra del material B.

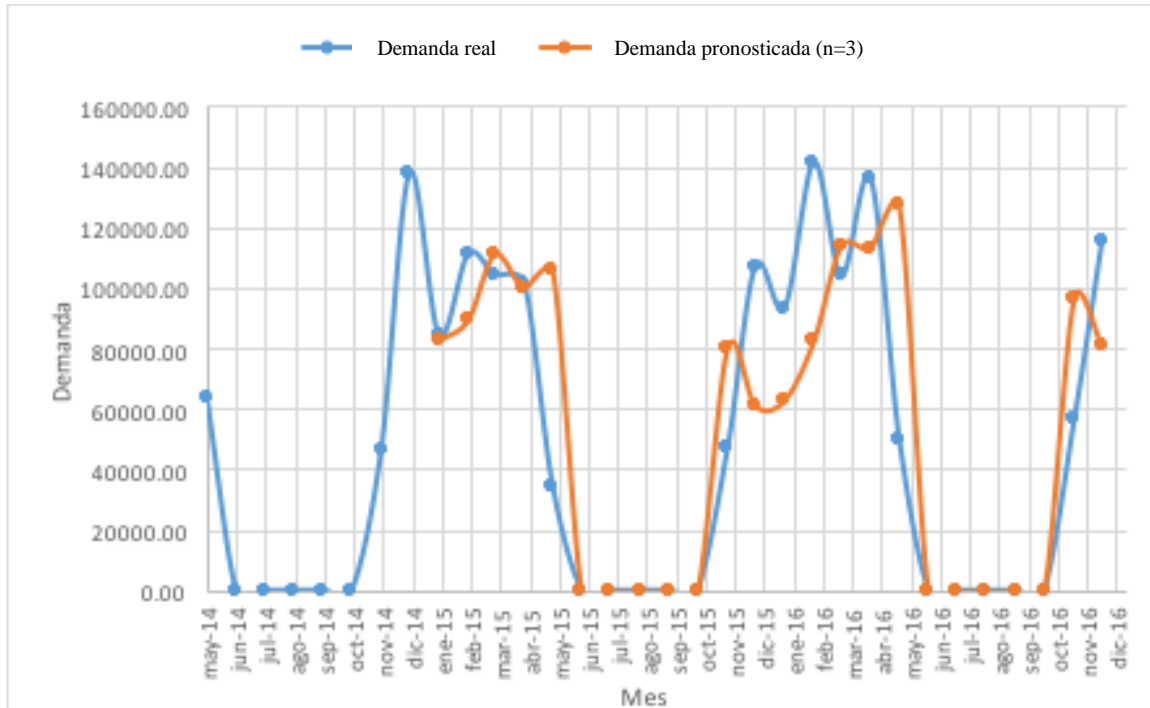


Gráfico No.96 Modelo de media móvil con una frecuencia de 3 meses de la época de zafra del material C.

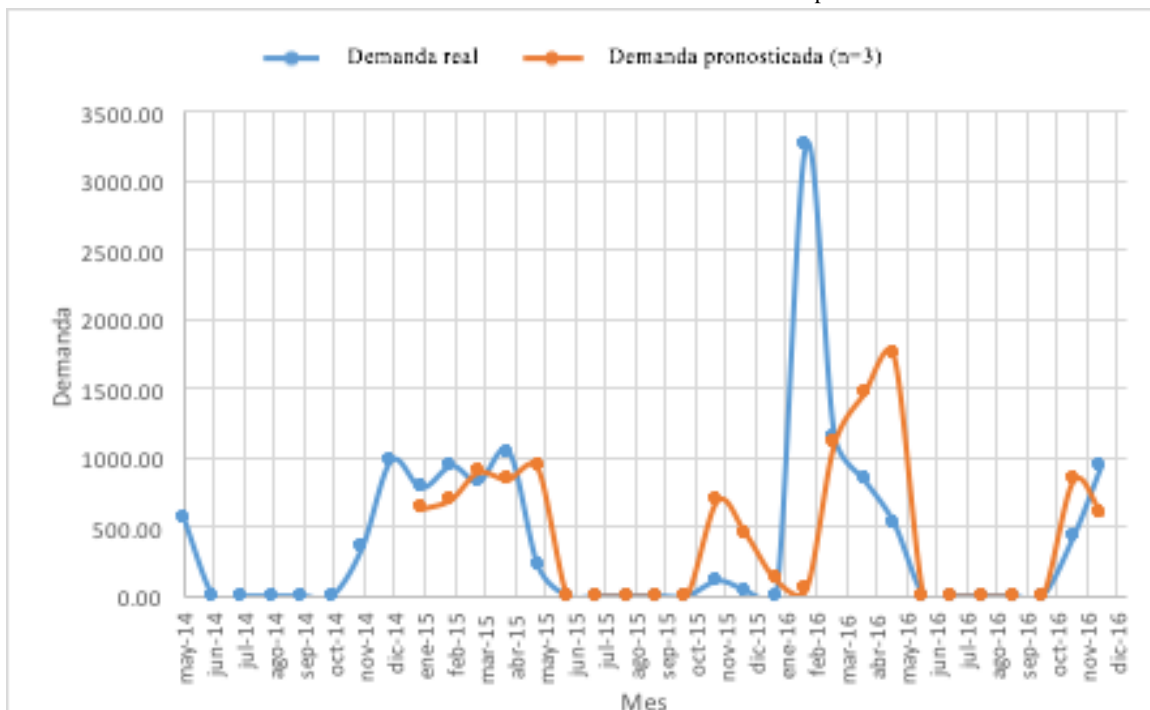


Gráfico No.97 Modelo de media móvil con una frecuencia de 3 meses de la época de zafra del material D.

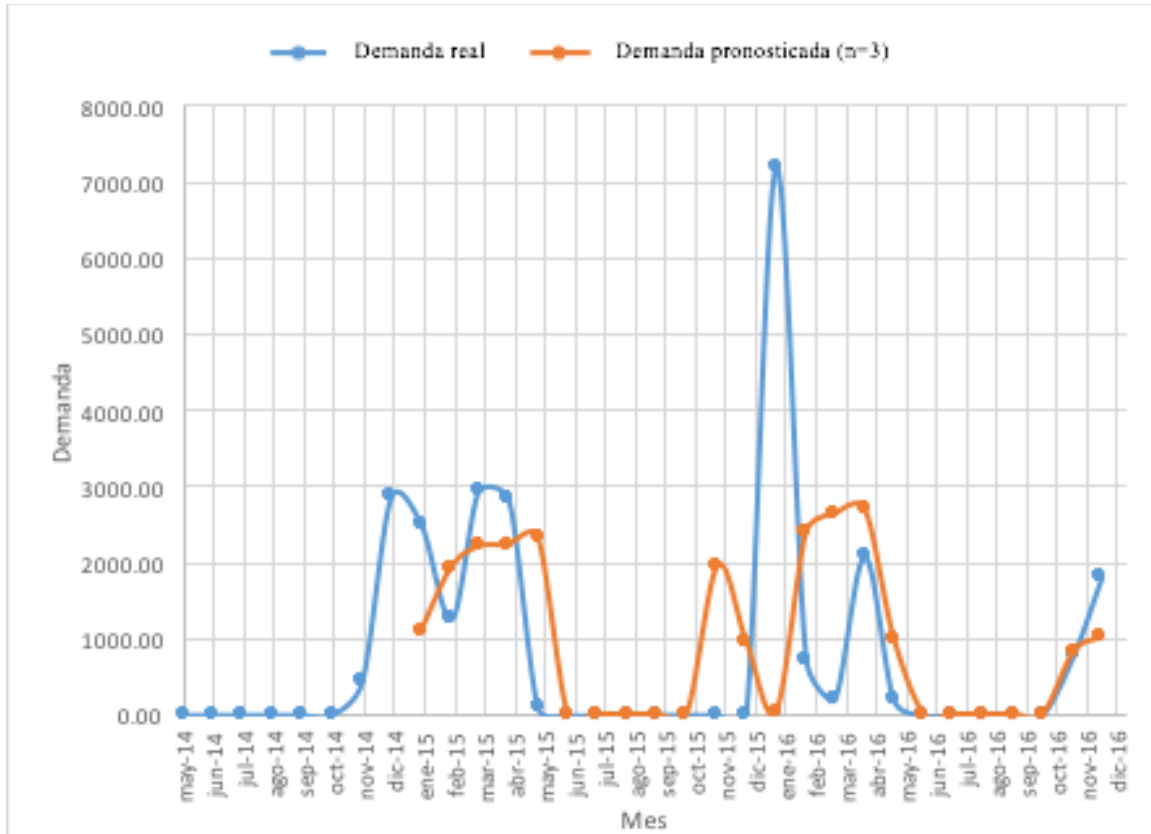
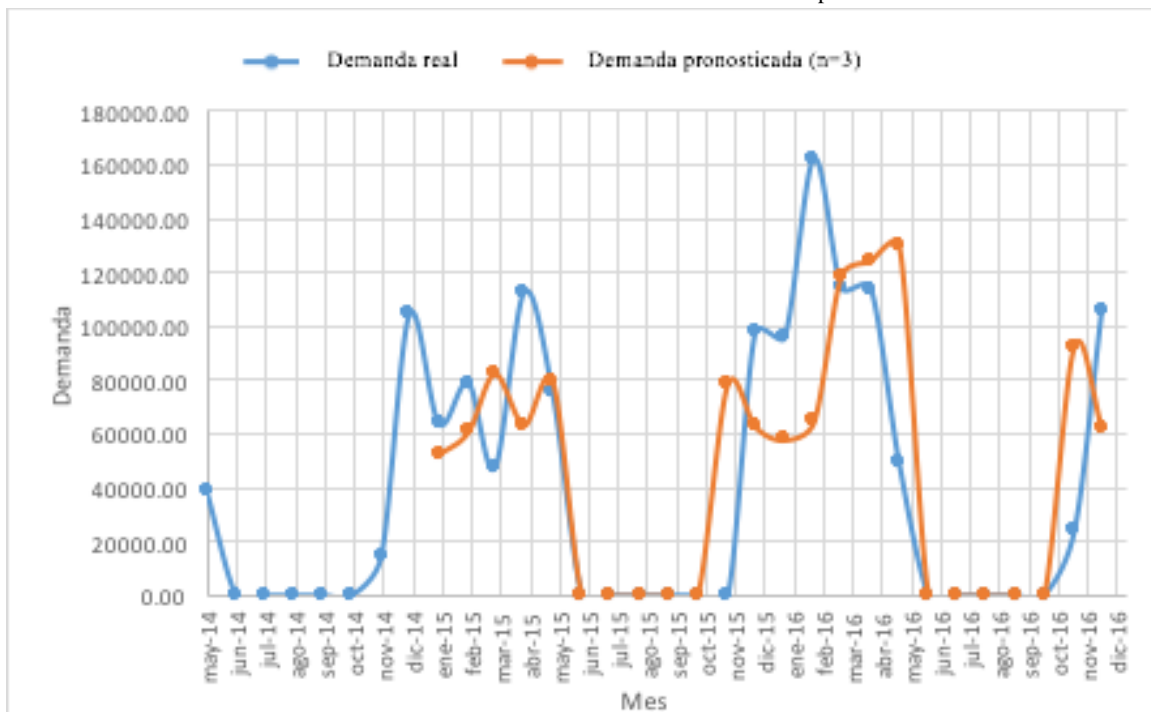


Gráfico No.98 Modelo de media móvil con una frecuencia de 3 meses de la época de zafra del material E.



3) Modelo de ajuste de curvas cuadrático

Gráfico No. 99 Modelo de ajuste de curvas lineal del material A.

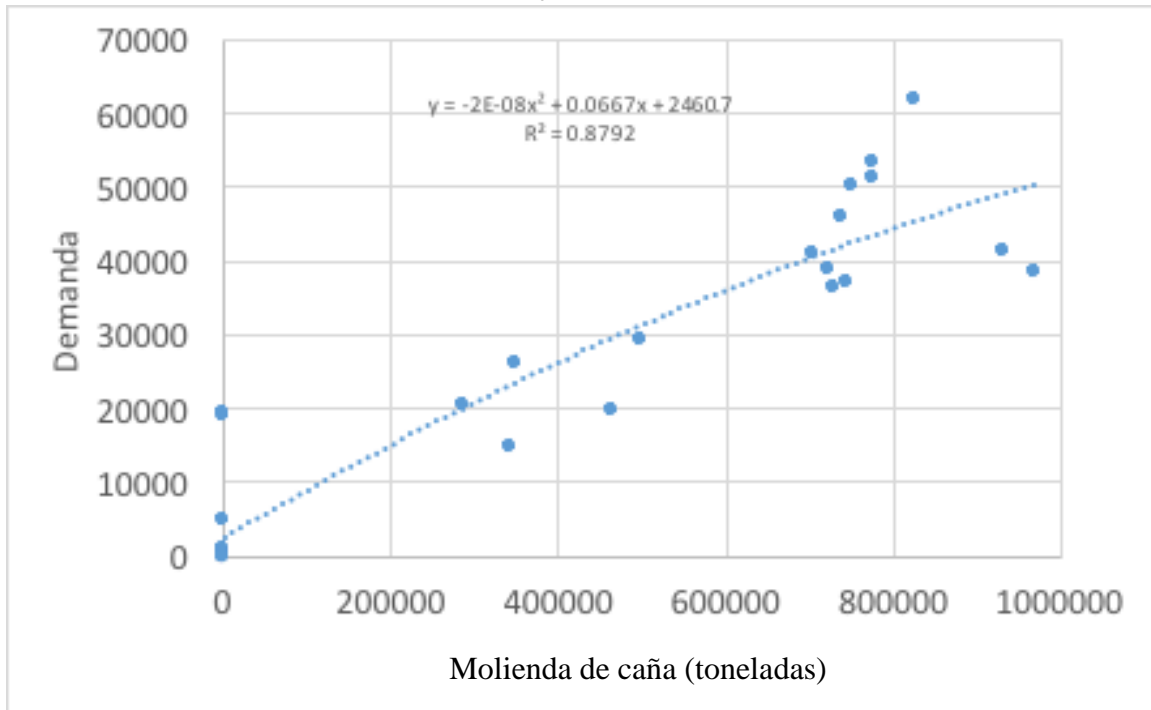


Gráfico No. 100 Modelo de ajuste de curvas lineal del material B.

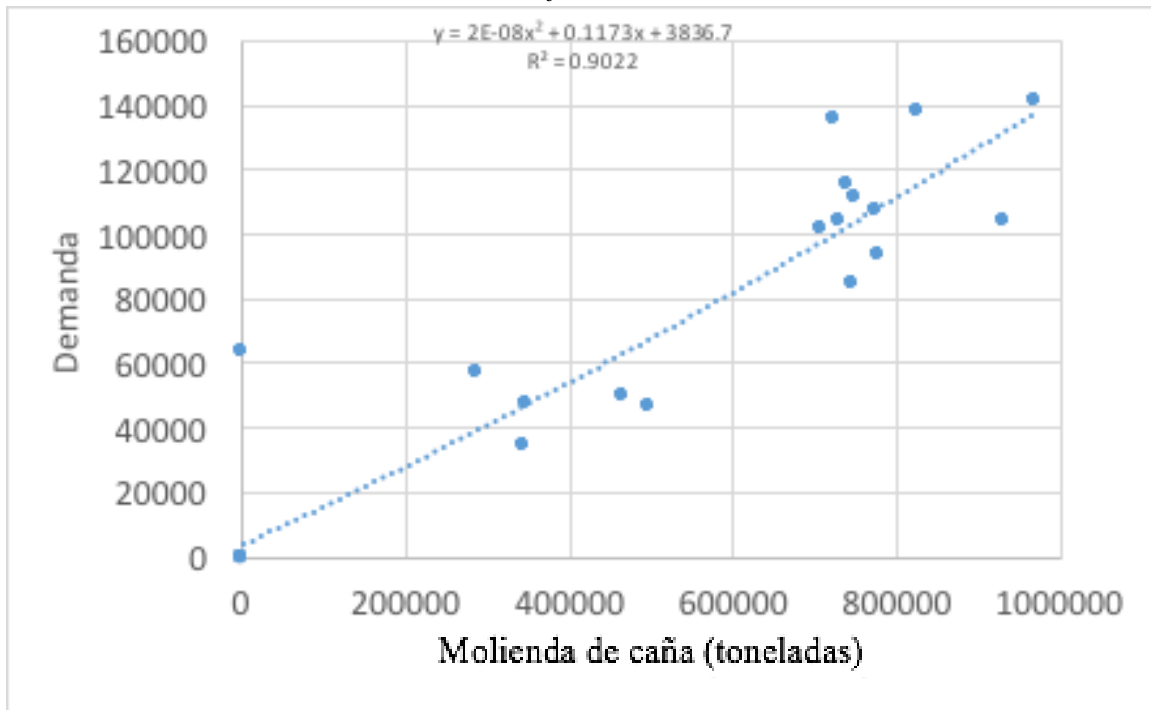


Gráfico No. 101 Modelo de ajuste de curvas lineal del material C.

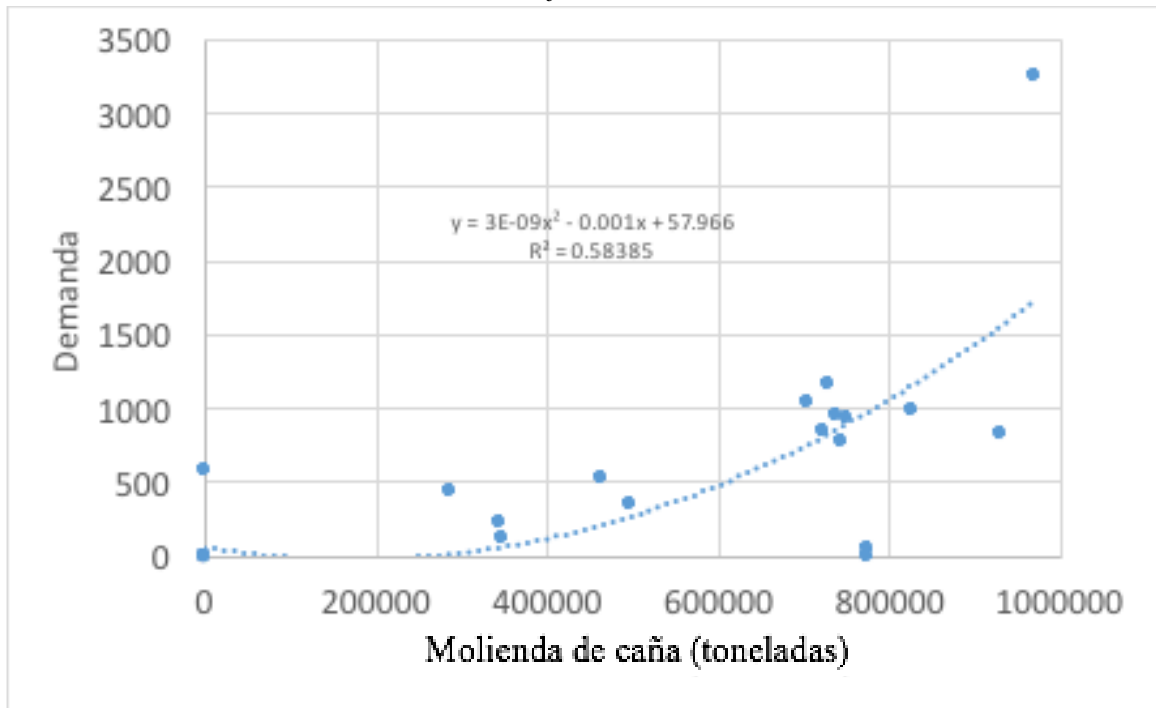


Gráfico No. 102 Modelo de ajuste de curvas lineal del material D.

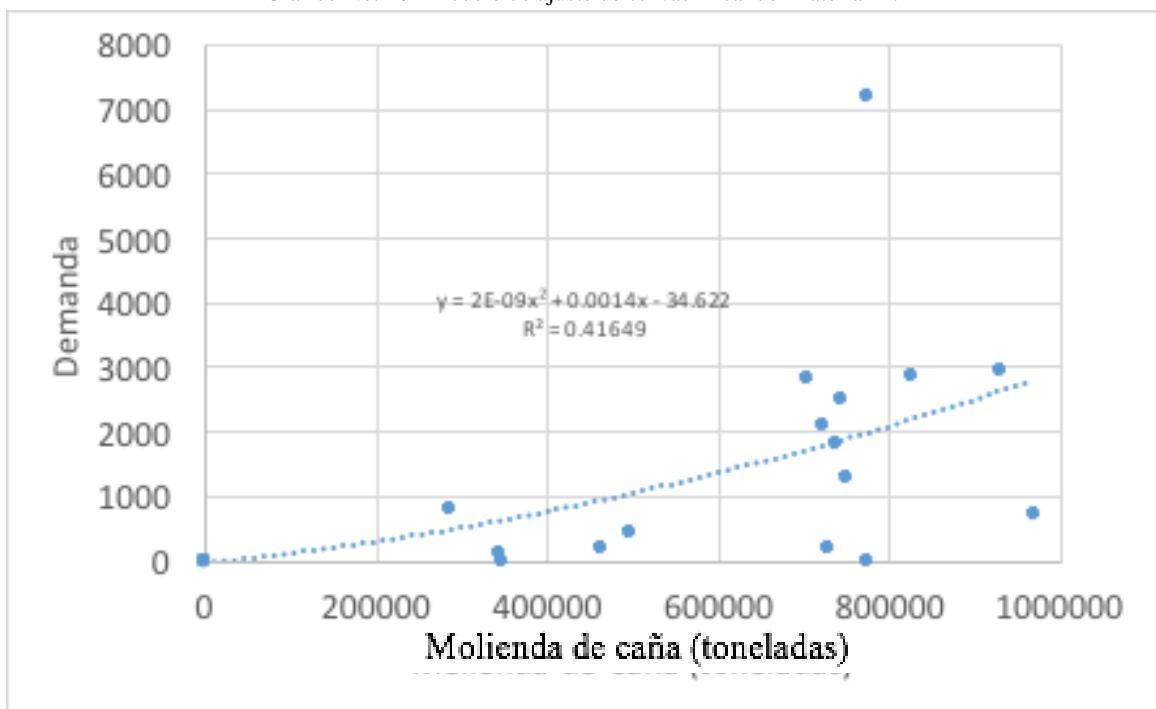
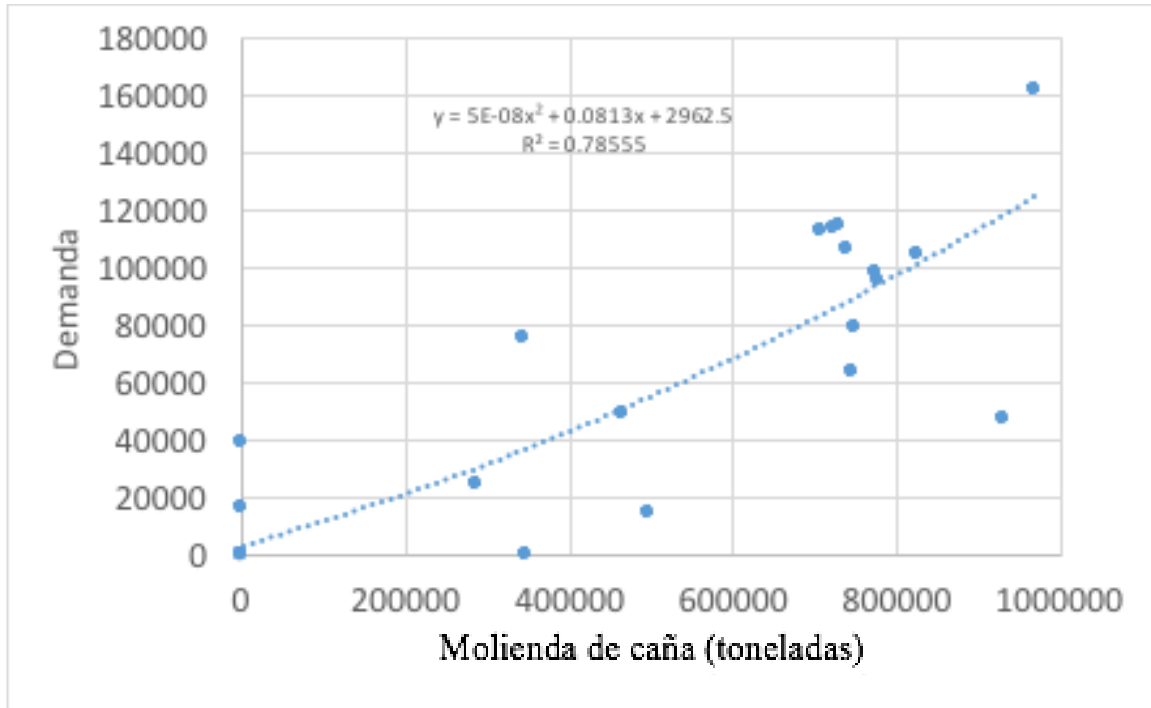


Gráfico No. 103 Modelo de ajuste de curvas lineal del material E.



4) Modelo de series cronológicas

Gráfico No. 104 Modelo de descomposición de series cronológicas del material A.

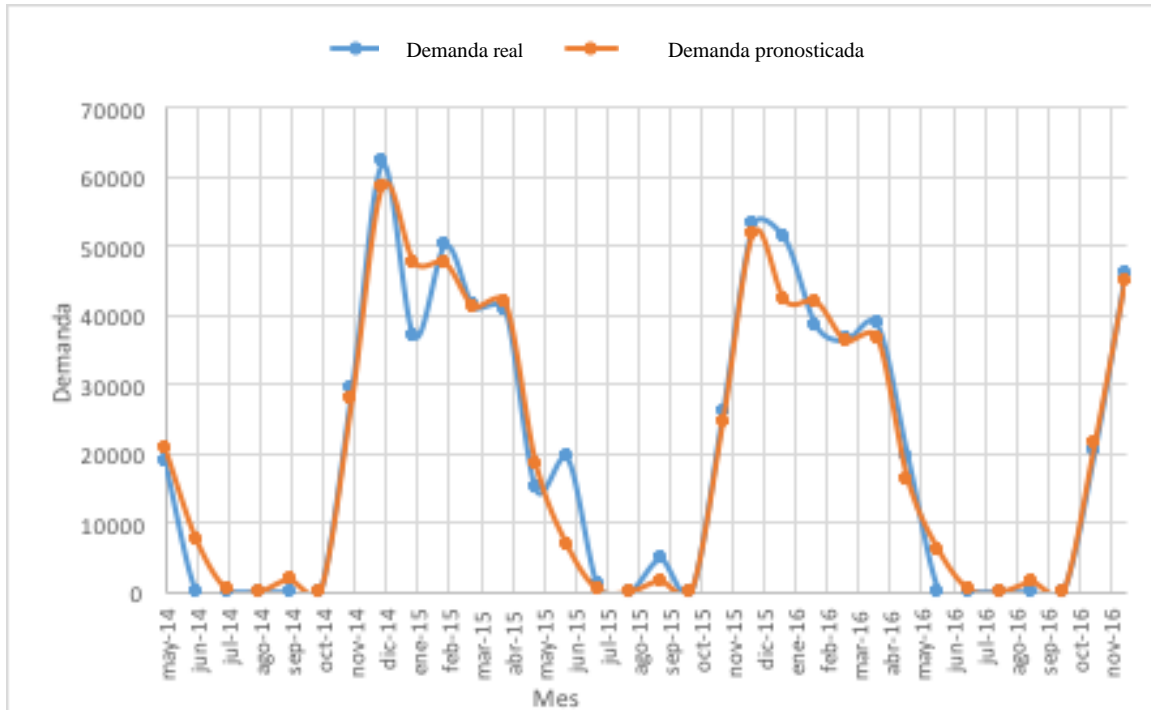


Gráfico No. 105 Modelo de descomposición de series cronológicas del material B.

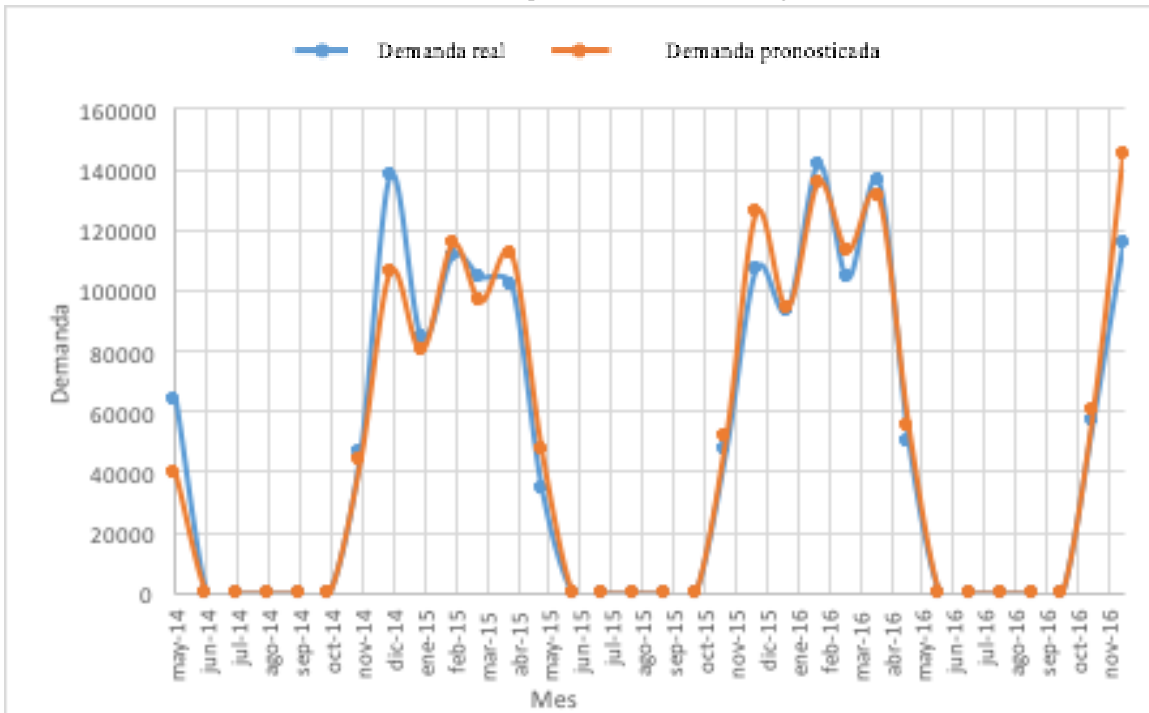


Gráfico No.106 Modelo de descomposición de series cronológicas del material C.

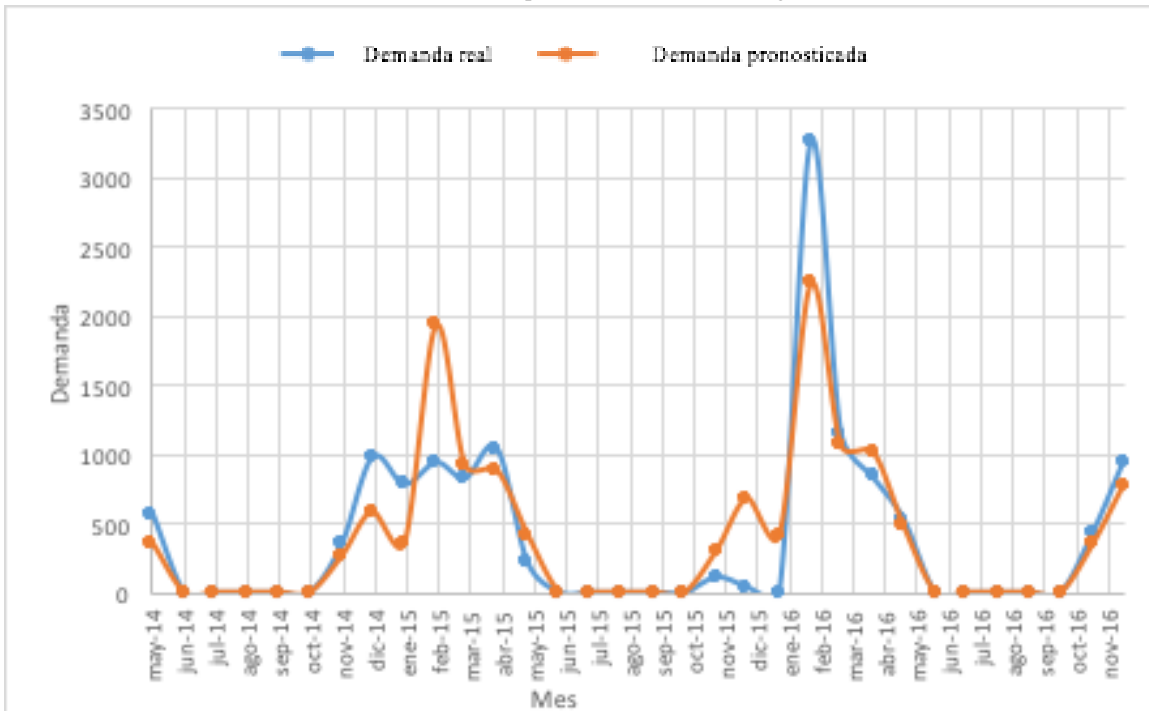


Gráfico No. 107 Modelo de descomposición de series cronológicas del material D.

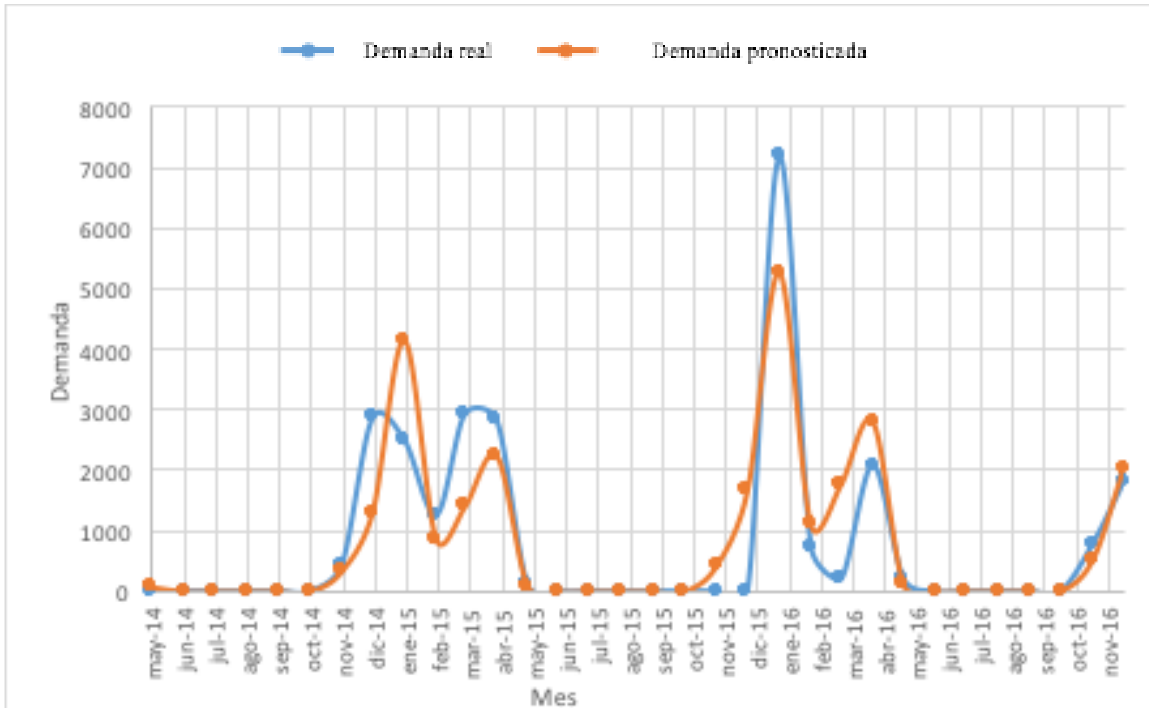
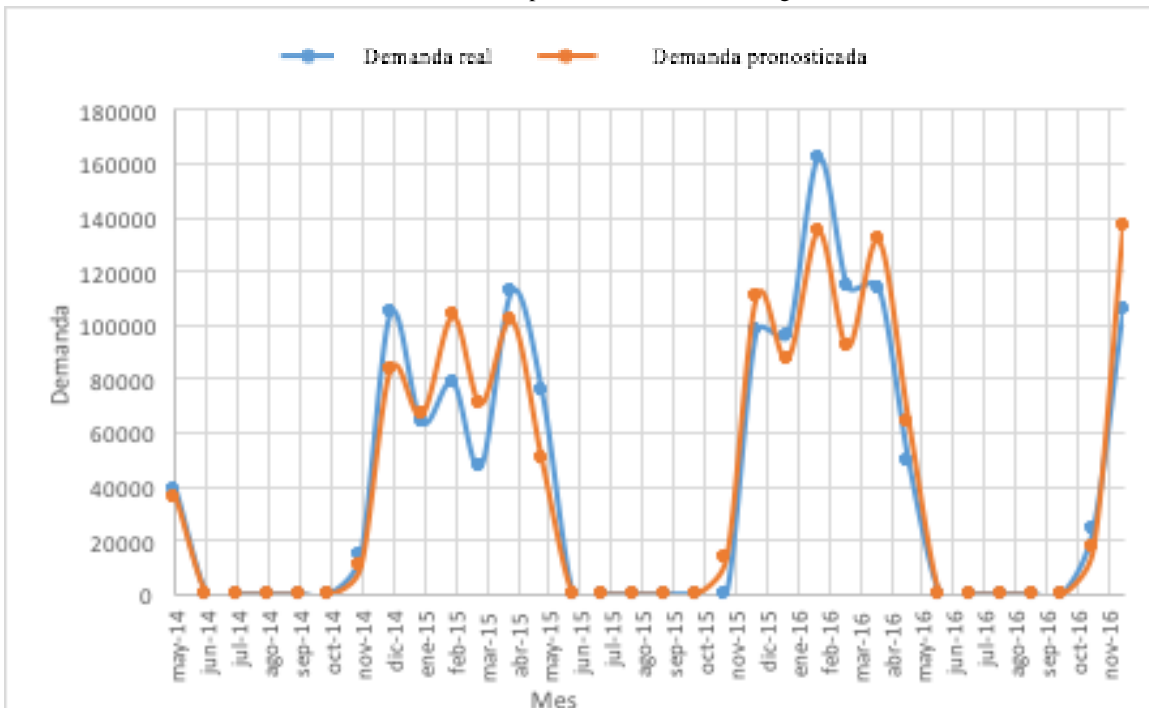


Gráfico No. 108 Modelo de descomposición de series cronológicas del material E.



5) Modelo de correlación y regresión

Gráfico No. 109 Modelo de correlación y regresión lineal del material A.

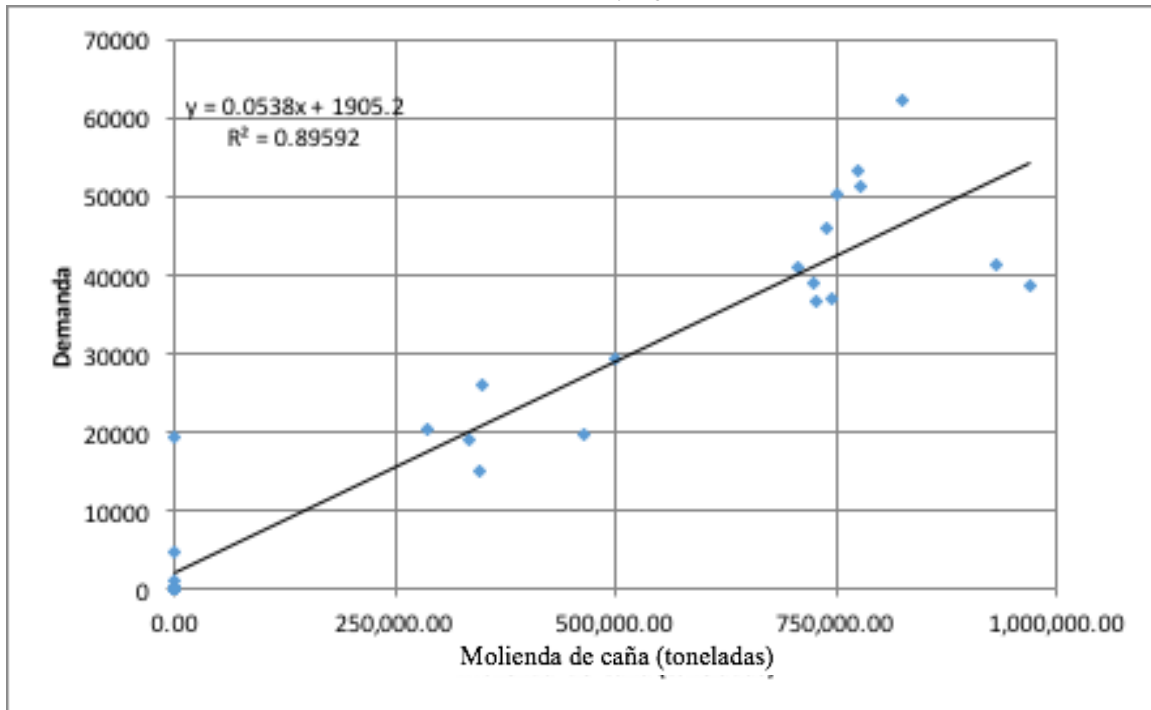


Gráfico No. 110 Modelo de correlación y regresión lineal del material B.

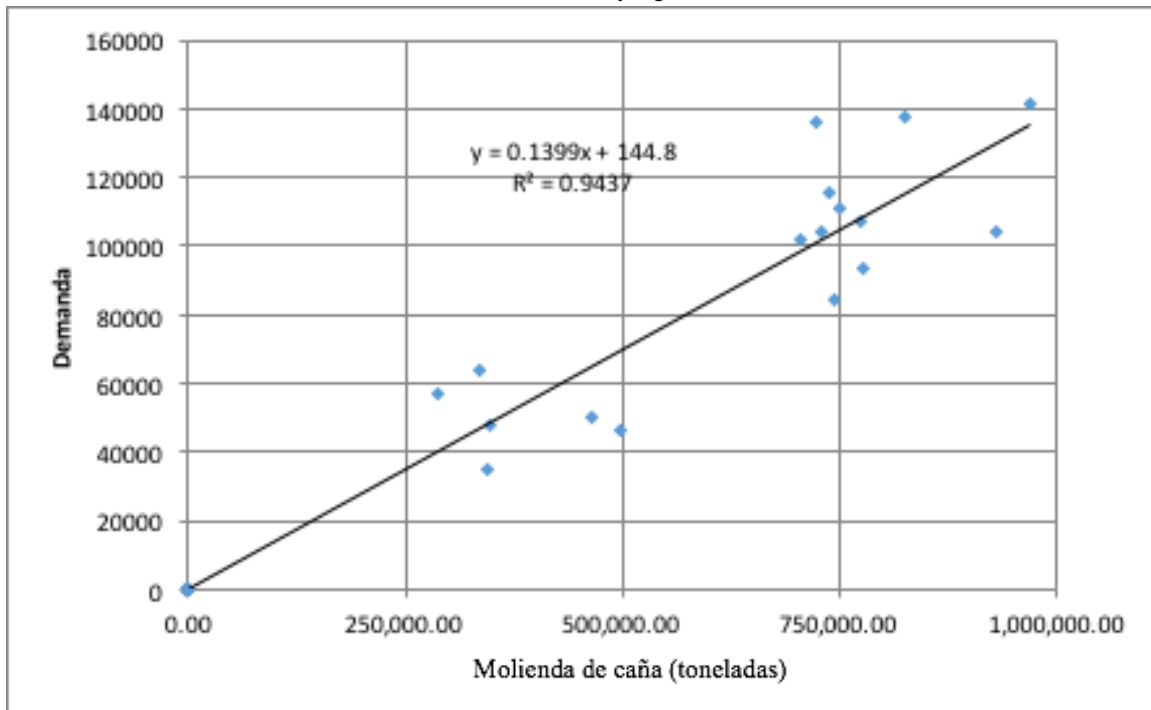


Gráfico No. 111 Modelo de correlación y regresión lineal aplicado al material C.

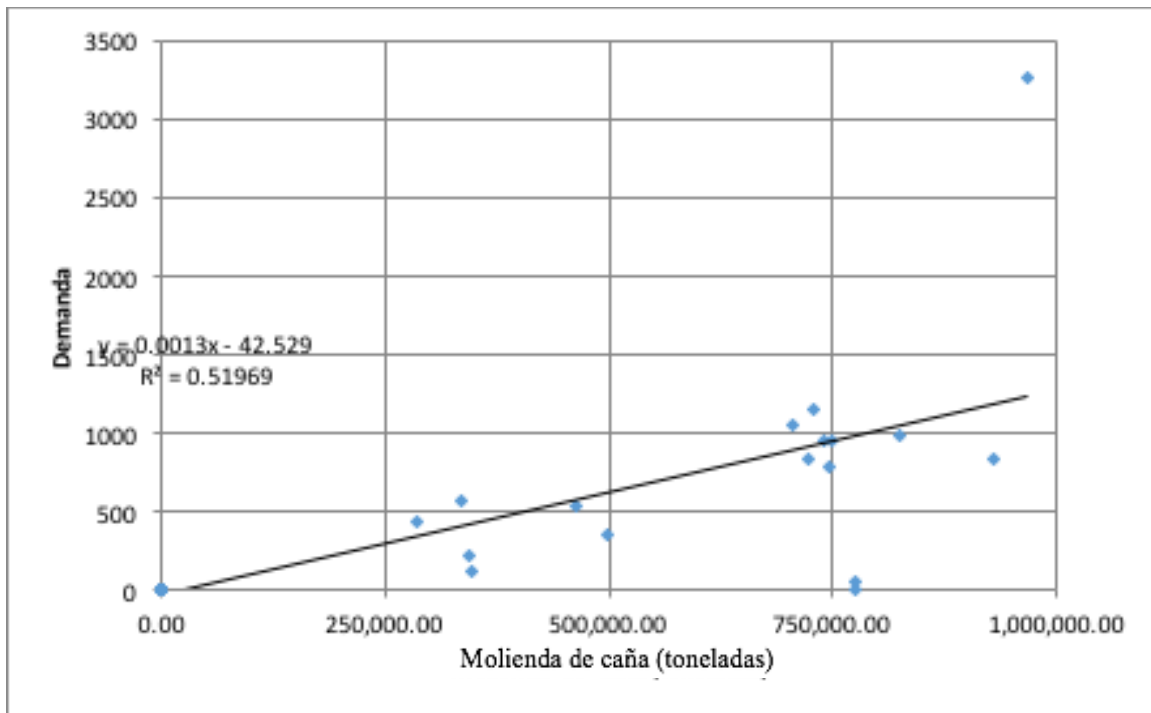


Gráfico No. 112 Modelo de correlación y regresión lineal del material D.

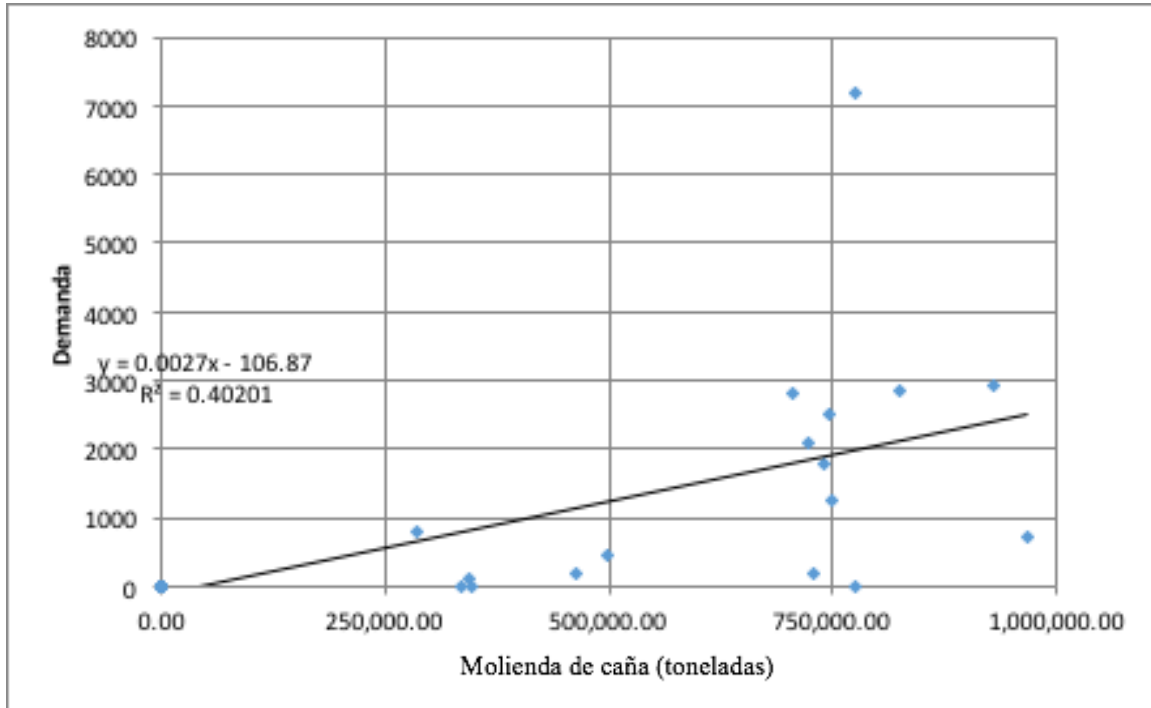
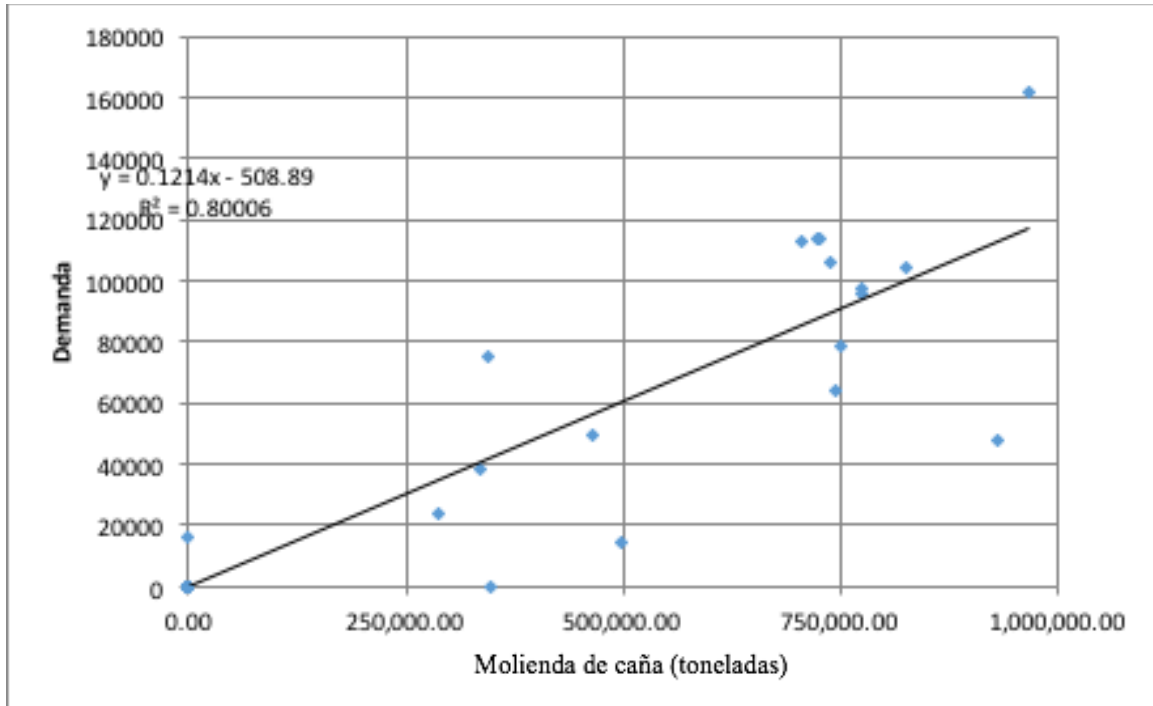


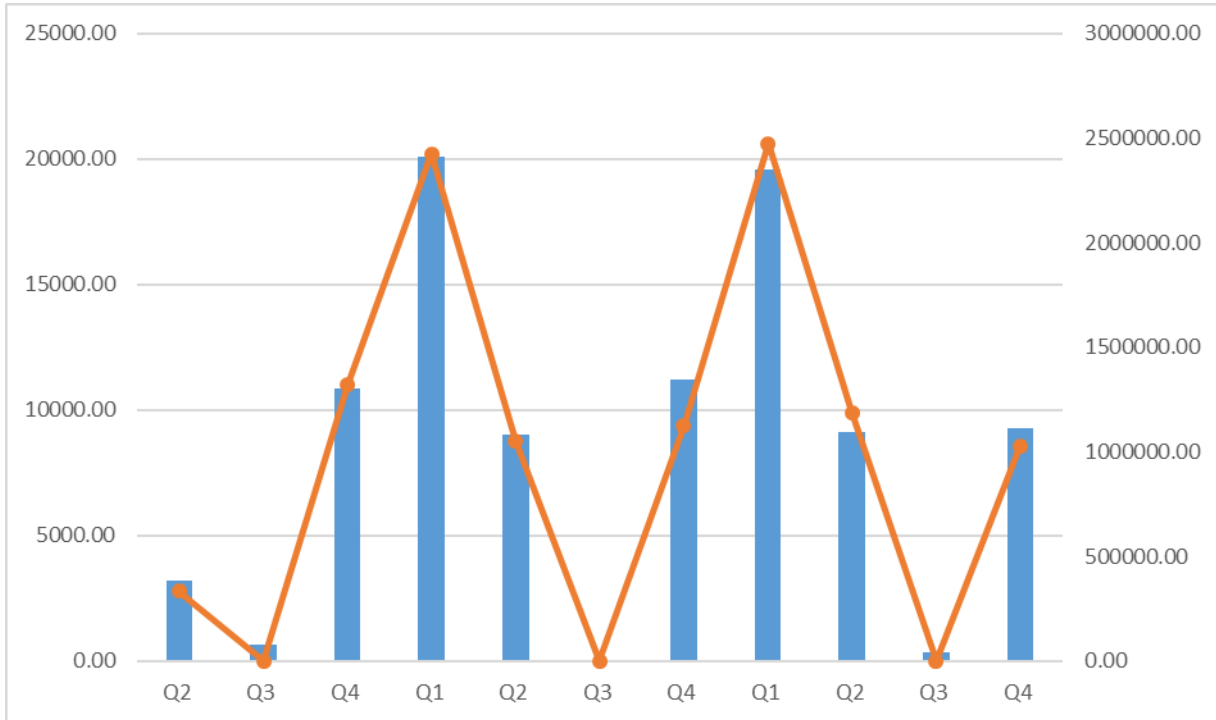
Gráfico No. 113 Modelo de correlación y regresión lineal aplicado del E.



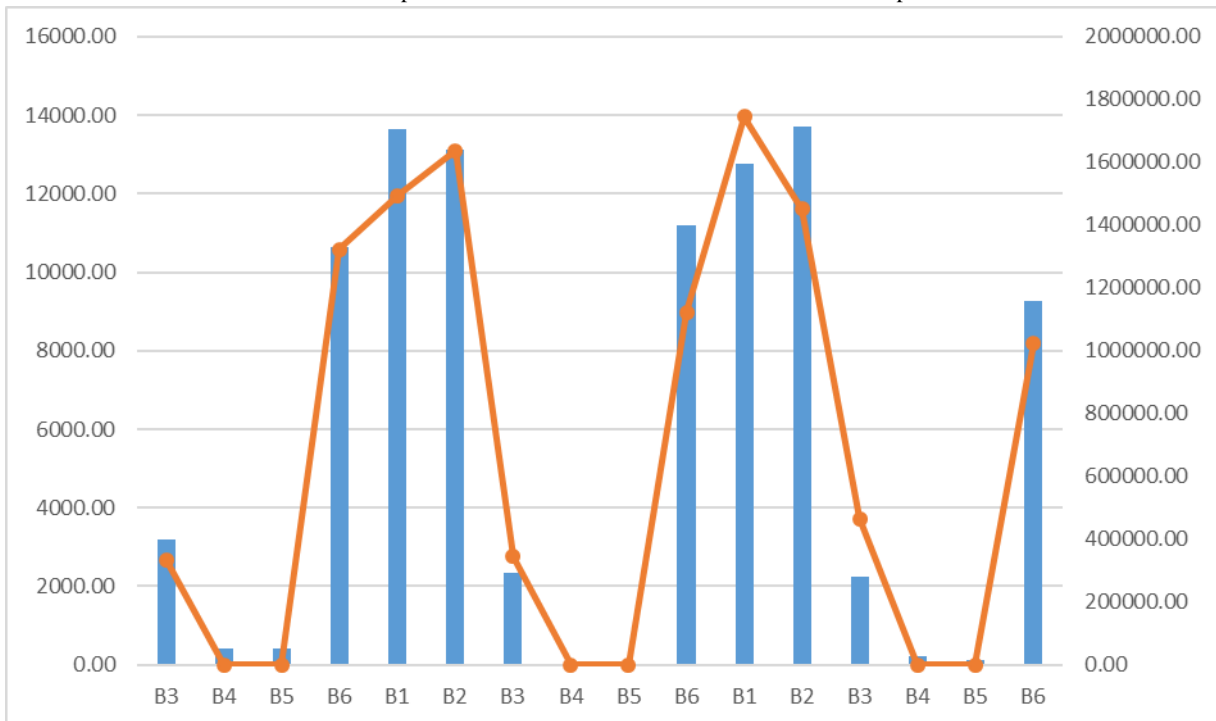
c. Recuperación de sacarosa

1) Modelo de distribución de frecuencias

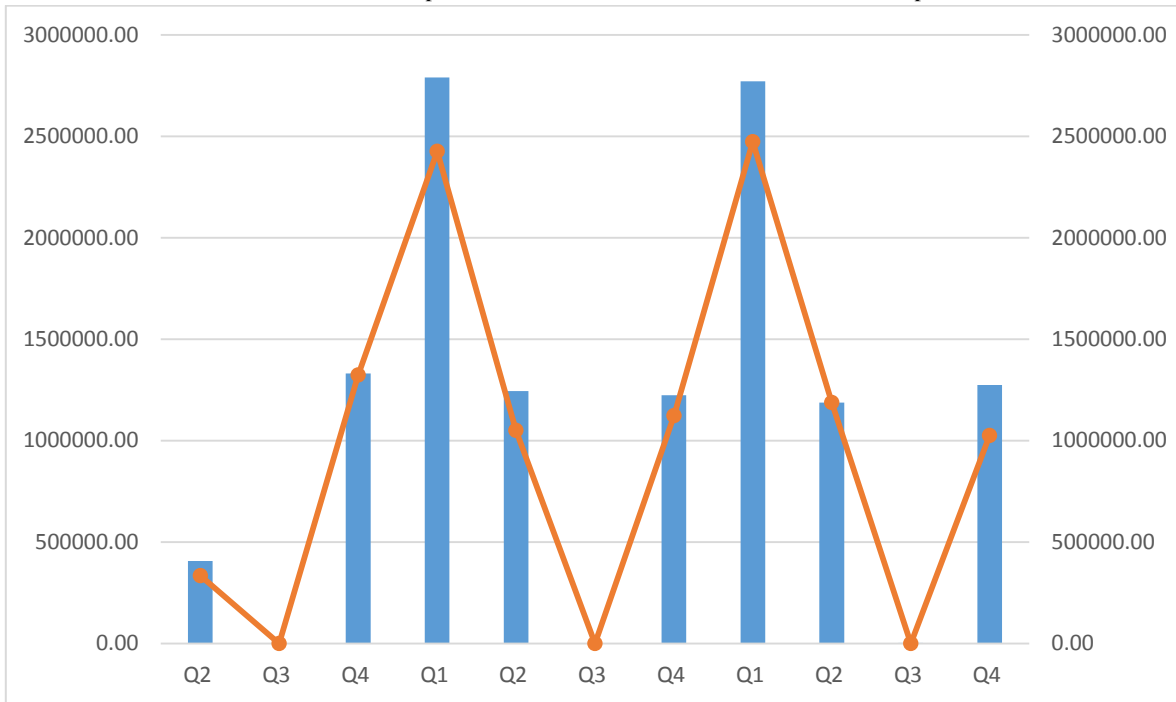
Gráfica No. 114 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia trimestral para material A



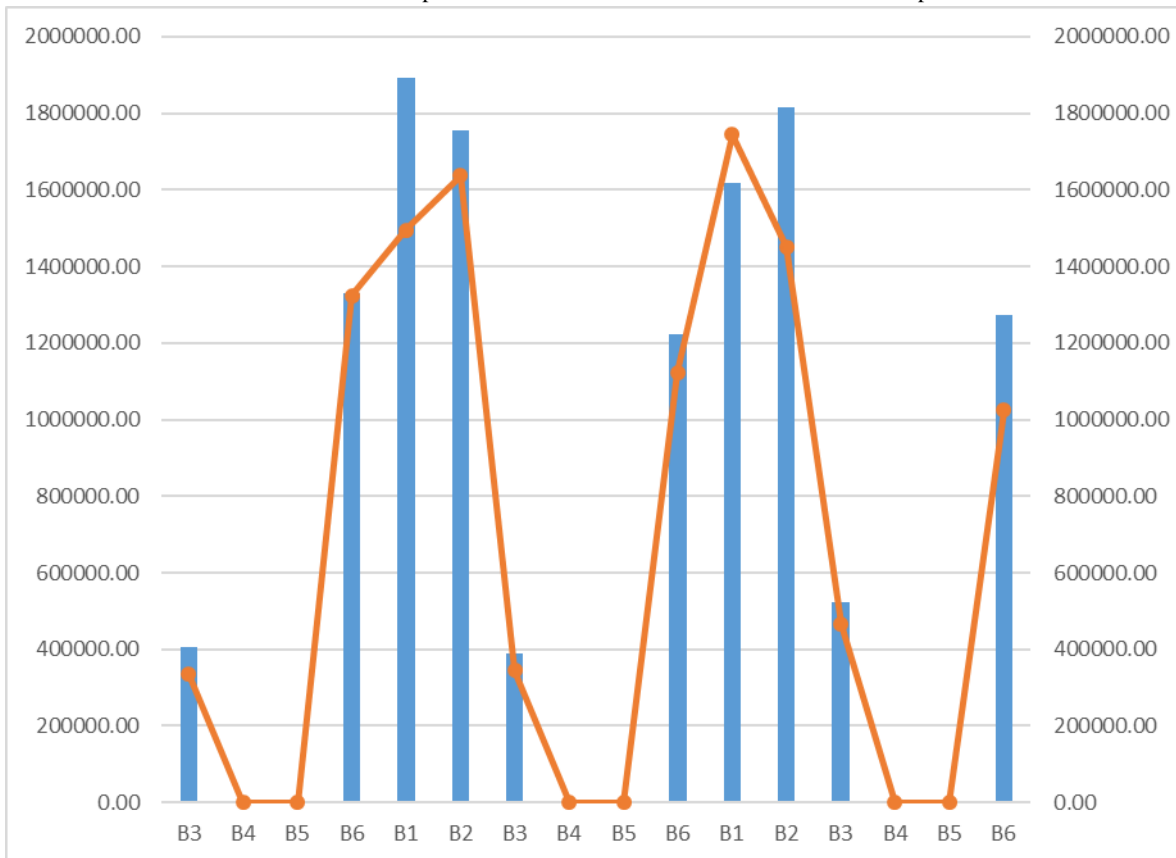
Gráfica 115 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia bimensual para material A



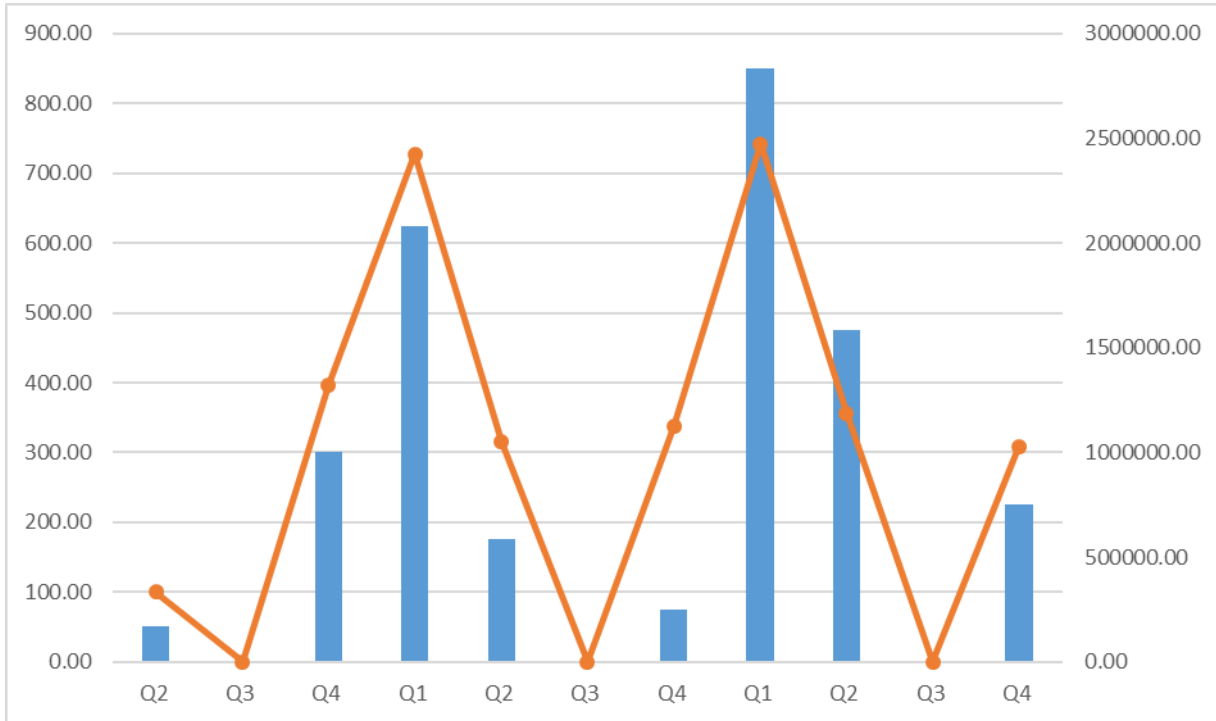
Gráfica No. 116 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia trimestral para material B



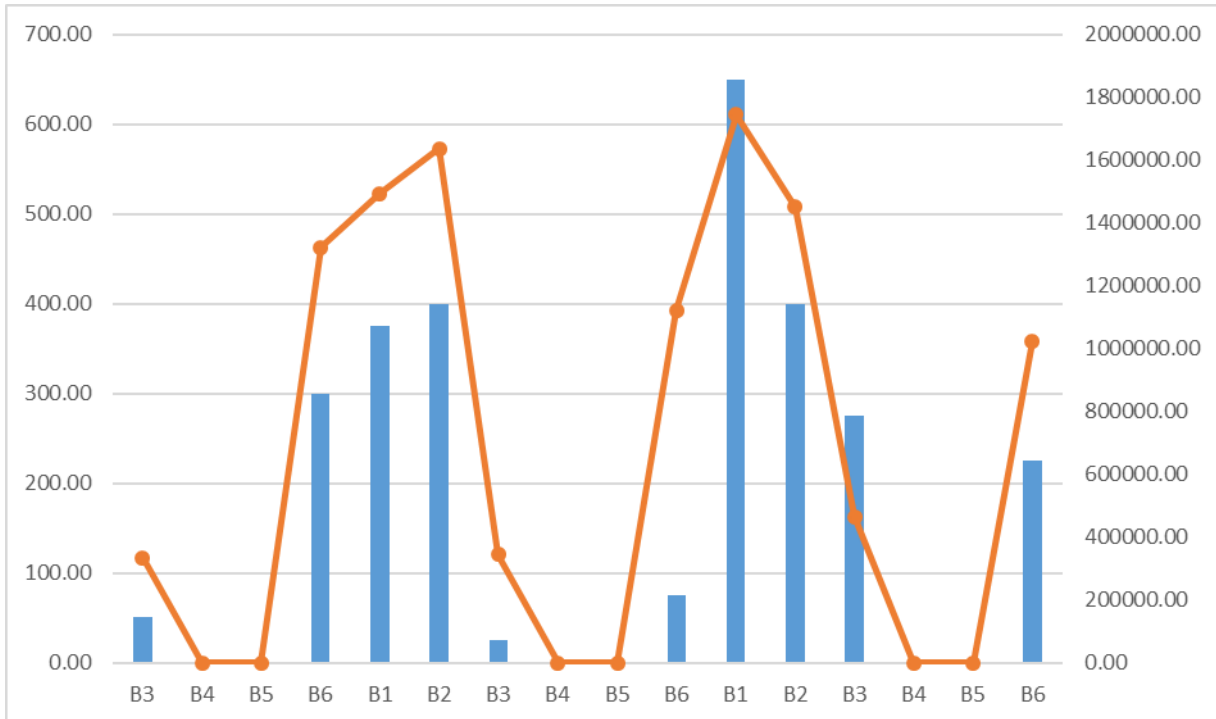
Gráfica No. 117 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia bimensual para material B



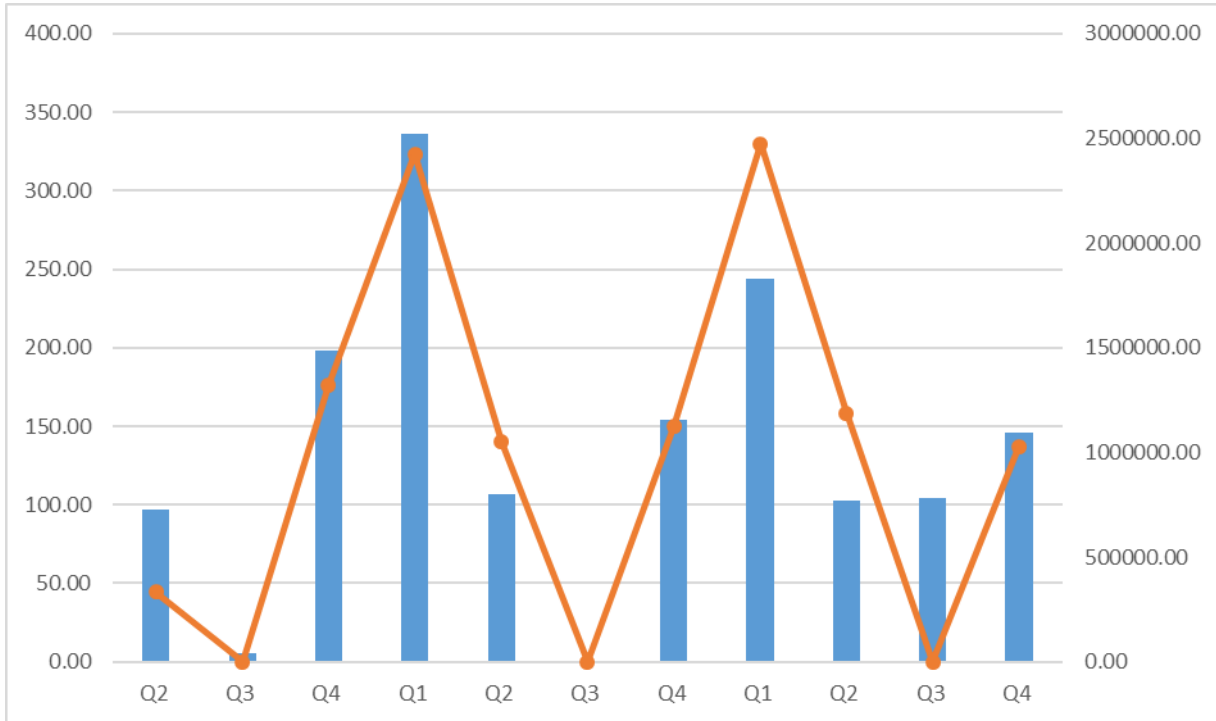
Gráfica No.118 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia trimestral para material C



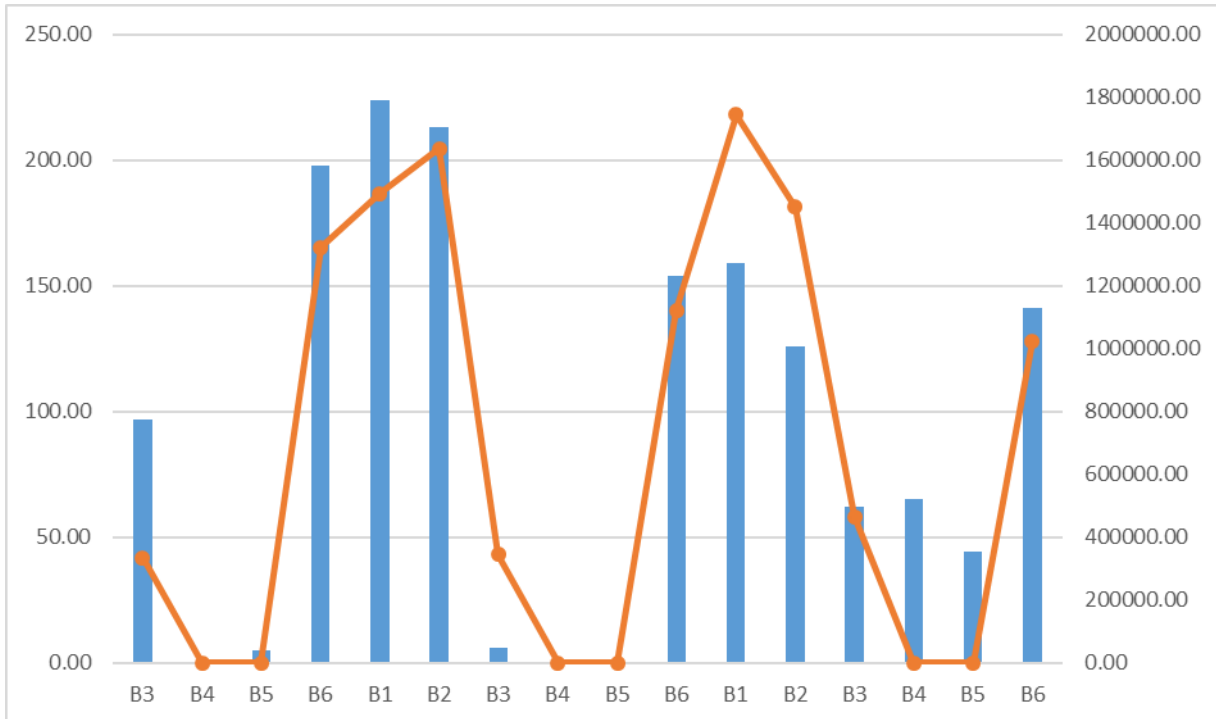
Gráfica No. 119 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia bimensual para material C



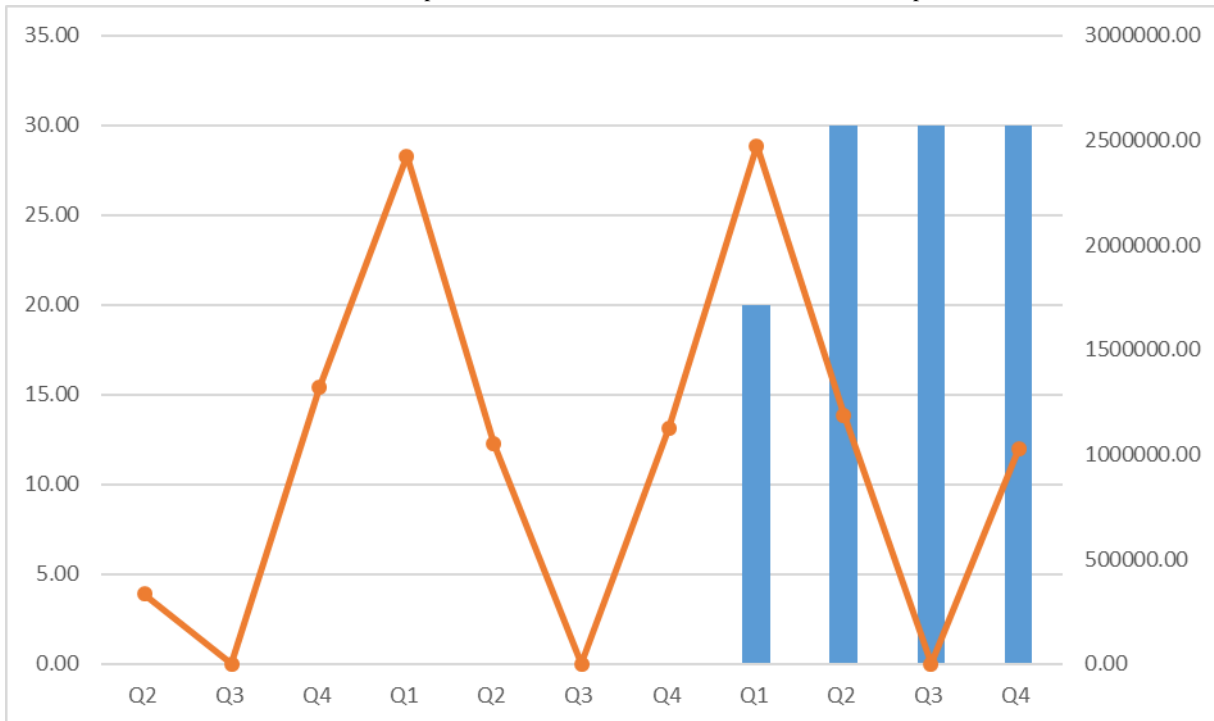
Gráfica No. 120 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia trimestral para material E



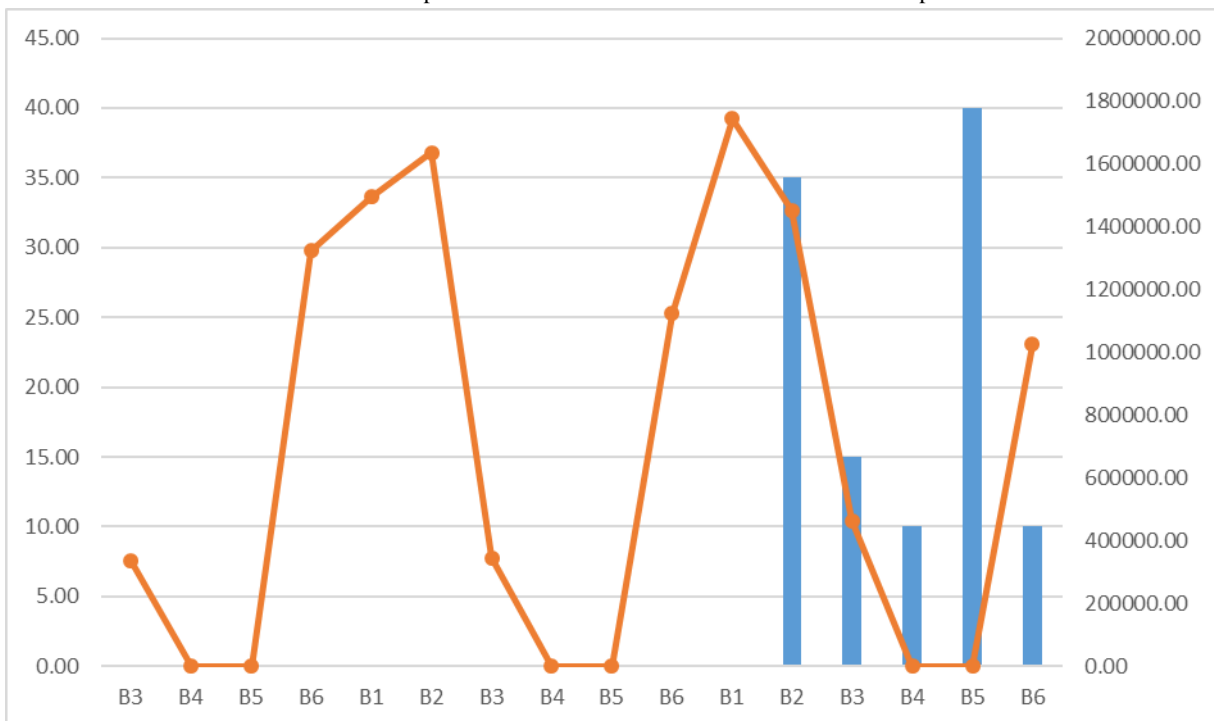
Gráfica No.121 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia bimensual para material E



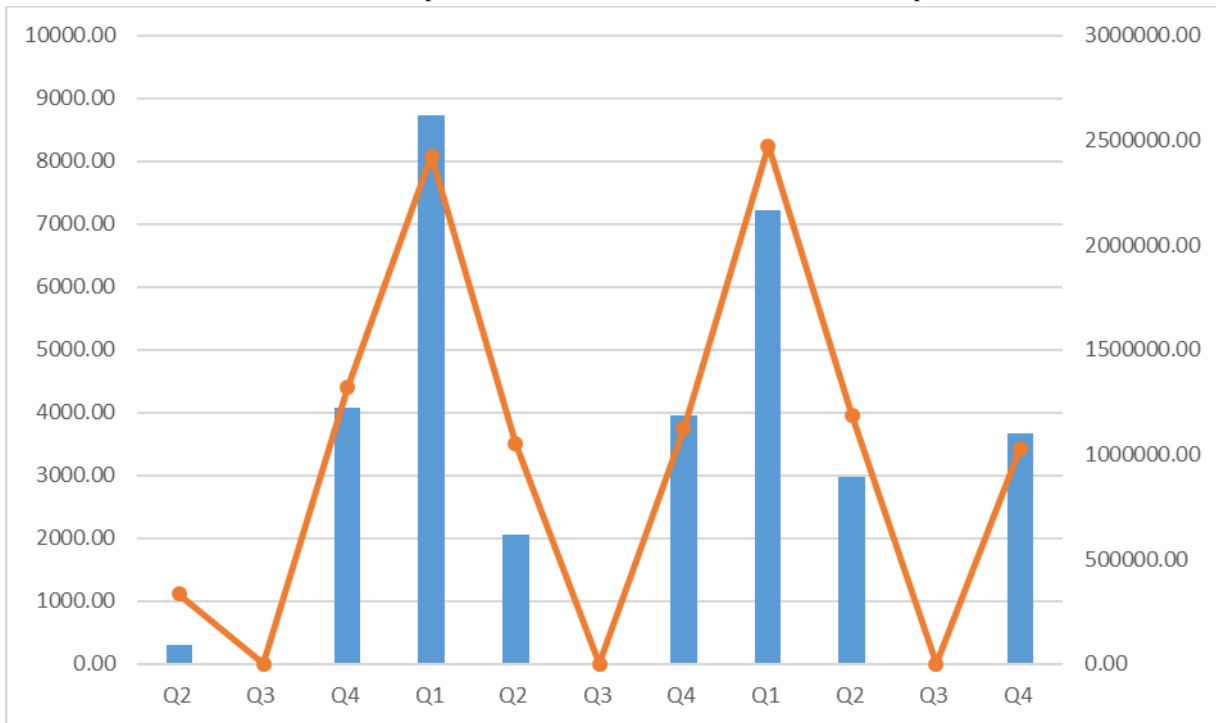
Gráfica No.122 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia trimestral para material F



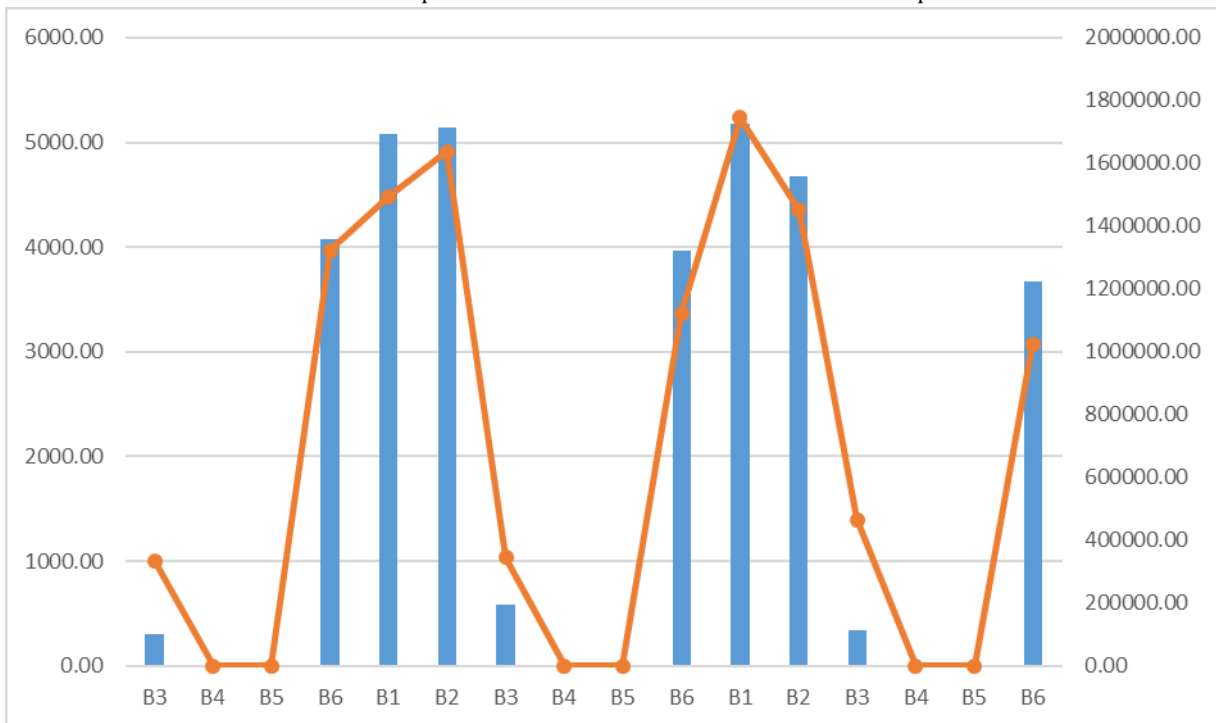
Gráfica No. 123 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia bimensual para material F



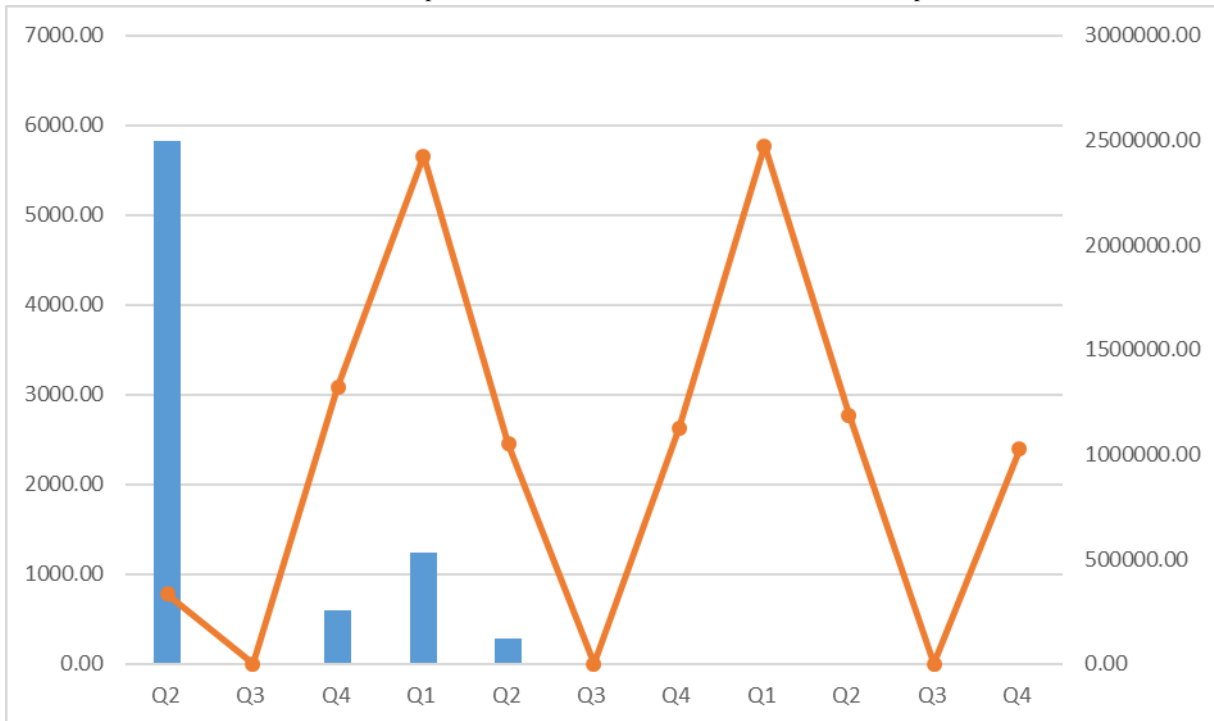
Gráfica No. 124 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia trimestral para material D



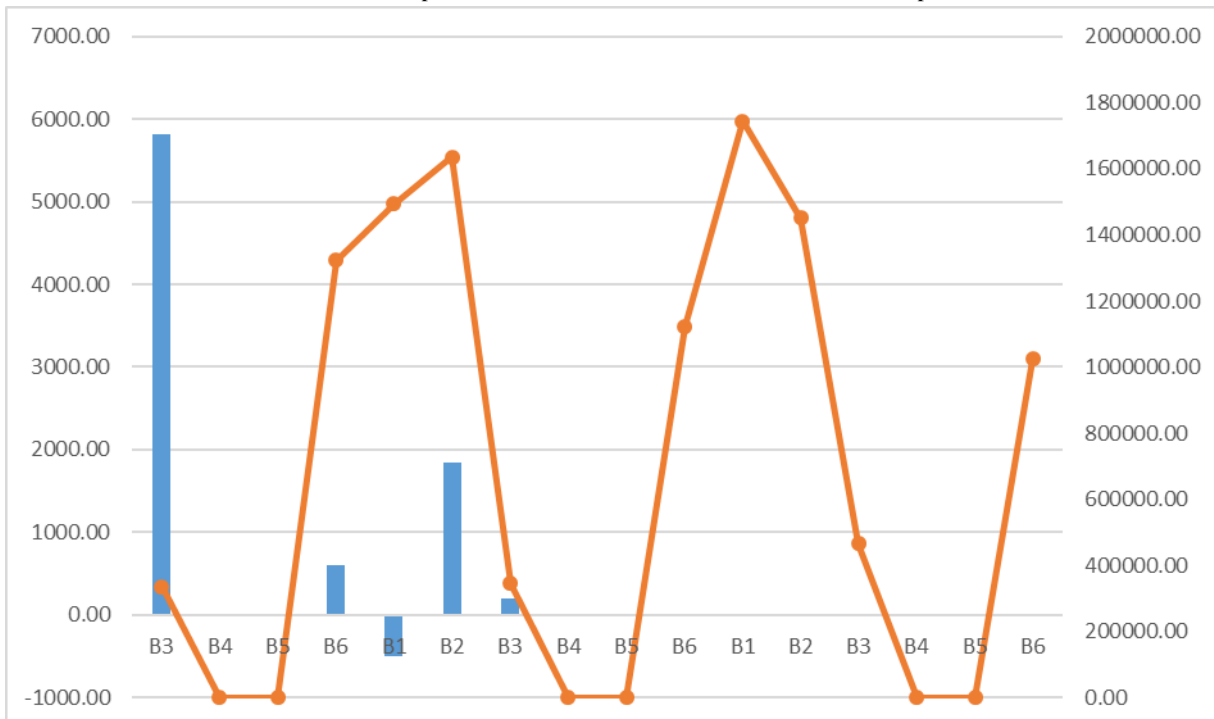
Gráfica No. 125 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia bimensual para material D



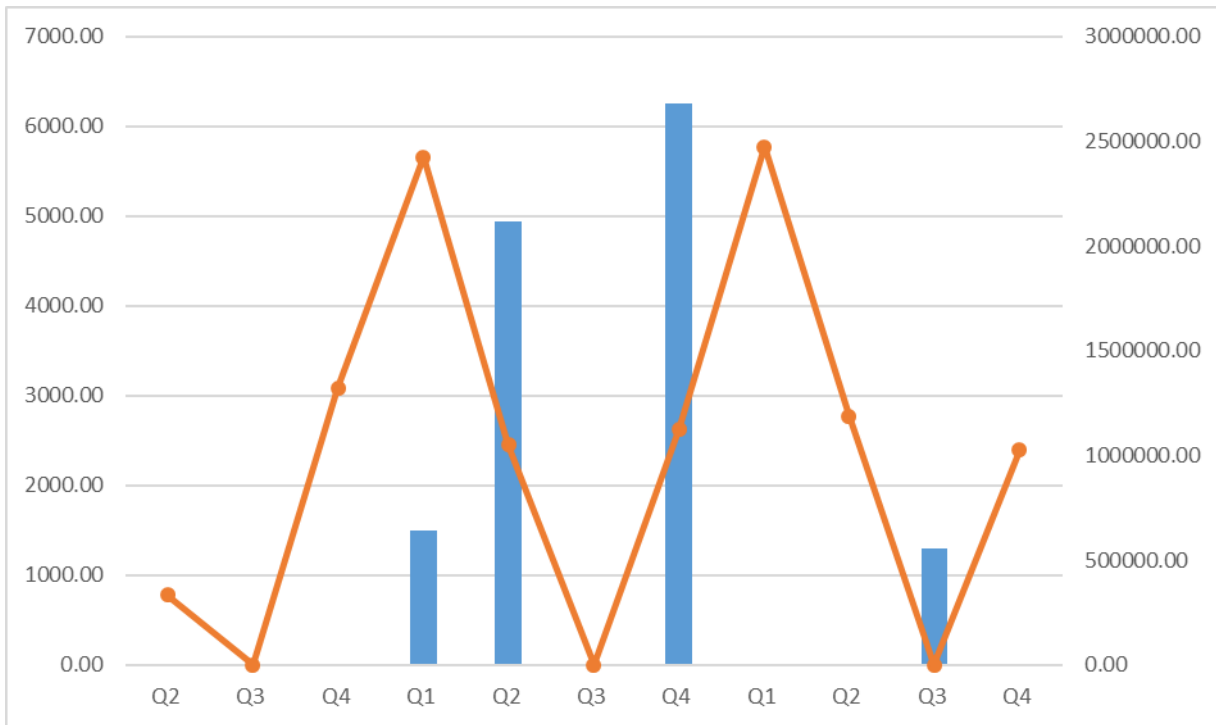
Gráfica No. 126 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia trimestral para material G



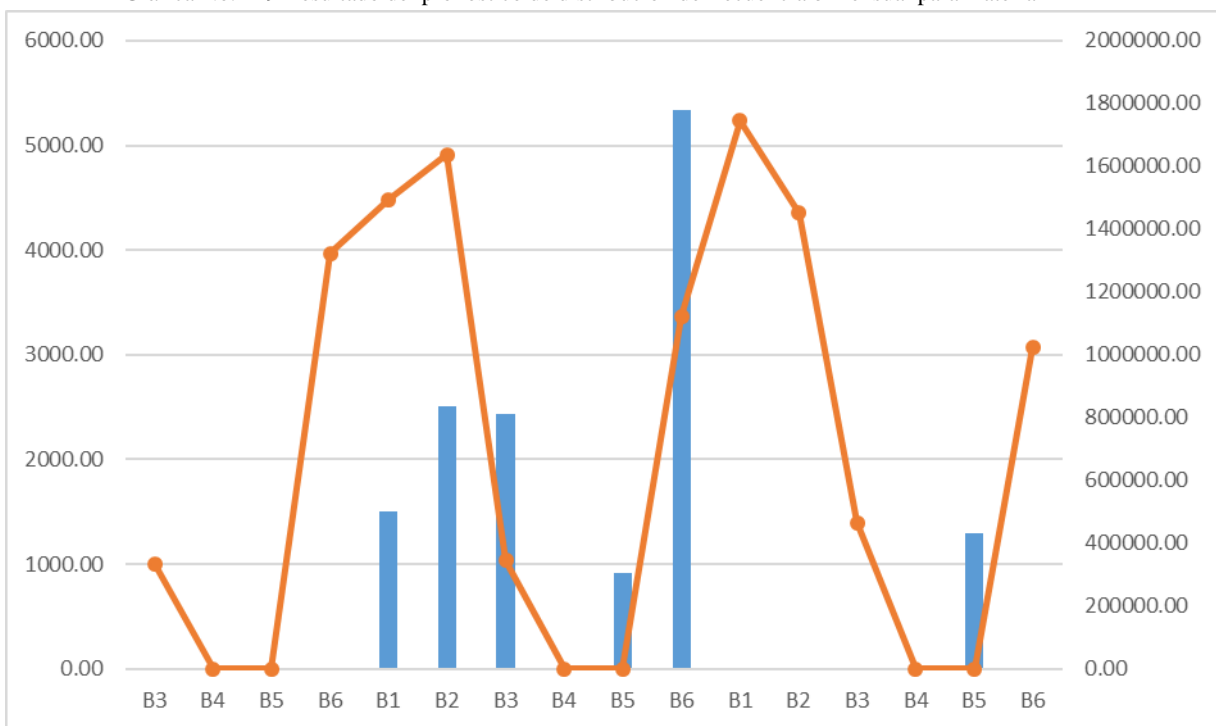
Gráfica No. 127 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia bimensual para material G



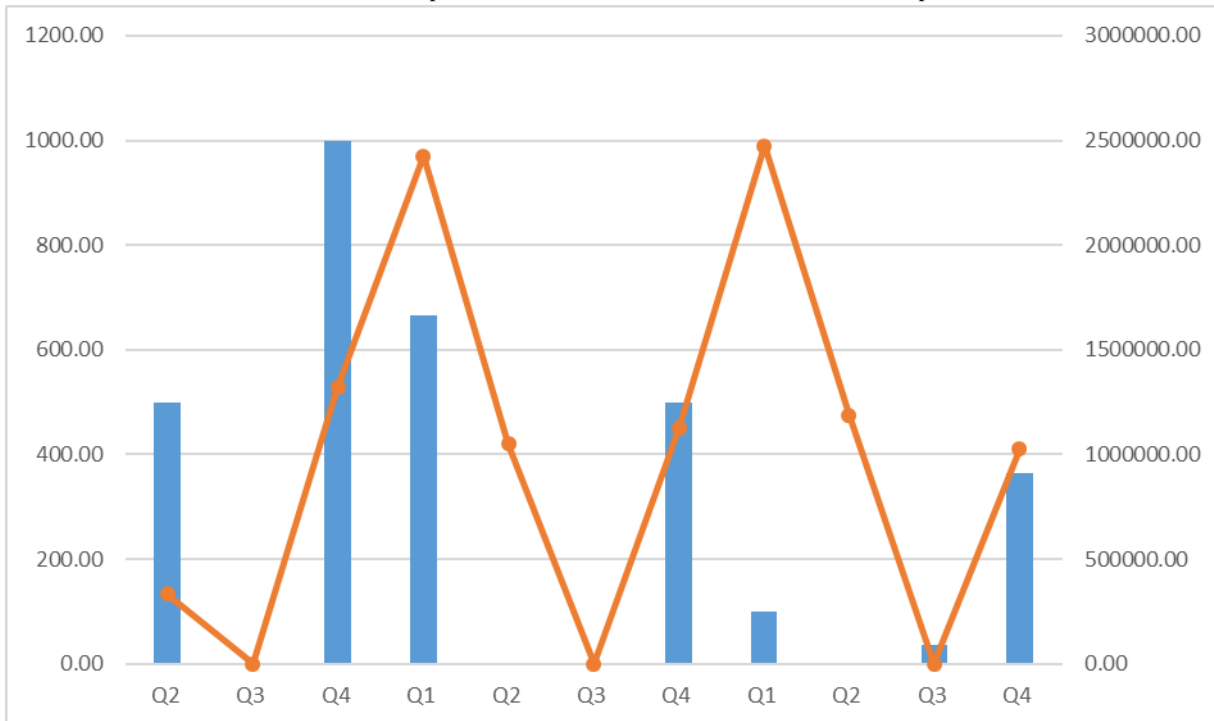
Gráfica No. 128 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia trimestral para material H



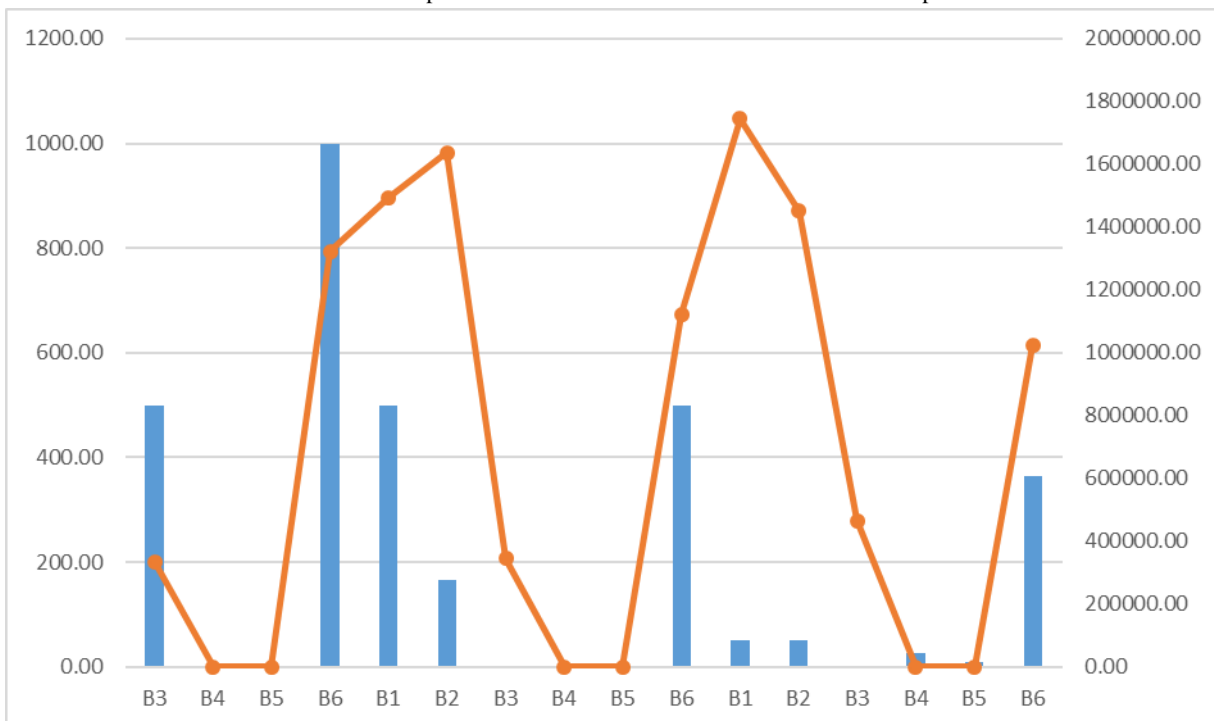
Gráfica No. 129 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia bimensual para material H



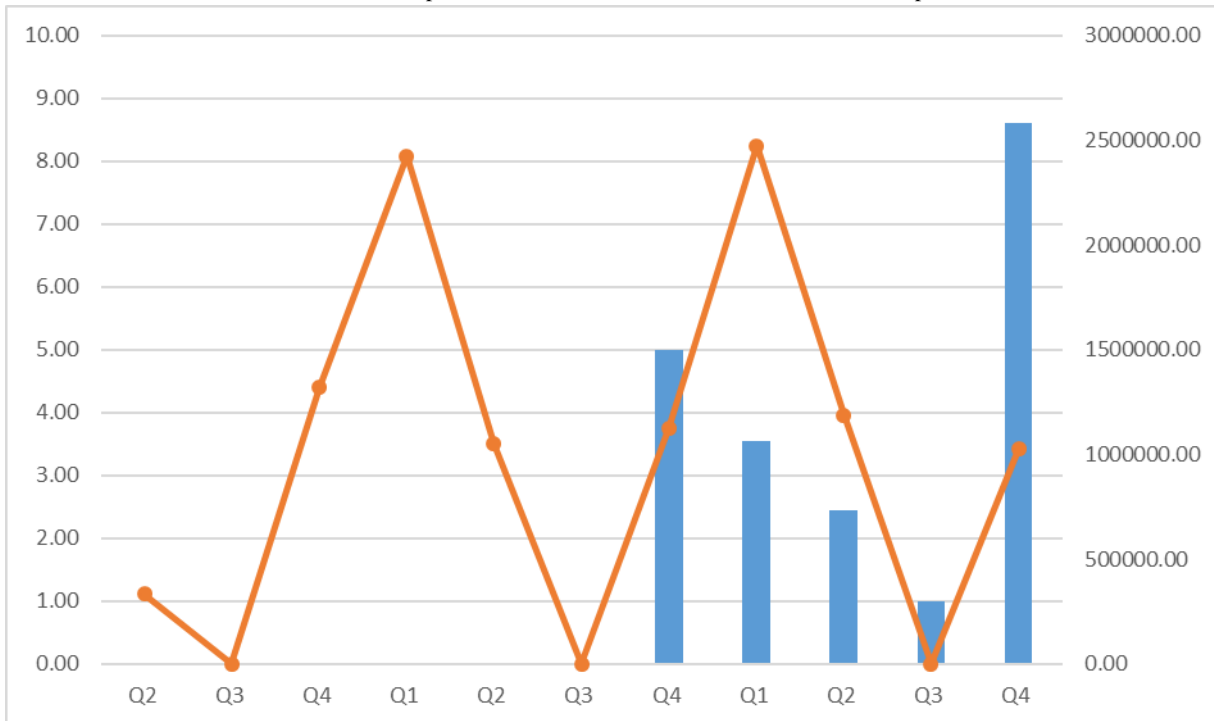
Gráfica No. 130 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia trimestral para material I



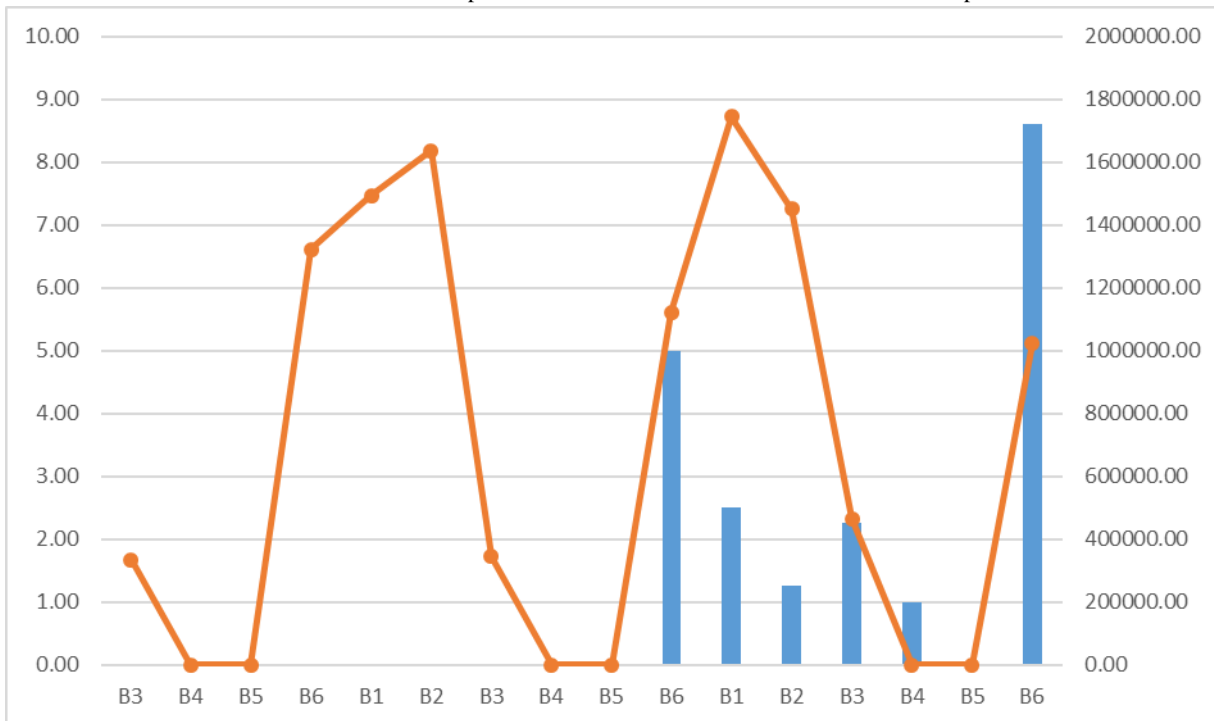
Gráfica No. 131 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia bimensual para material I



Gráfica No.132 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia trimestral para material J



Gráfica No. 133 Resultado del pronóstico de distribución de frecuencia bimensual para J



2) Modelo de media móvil

Gráfico No. 134 Resultado del pronóstico del alcohol isopropílico

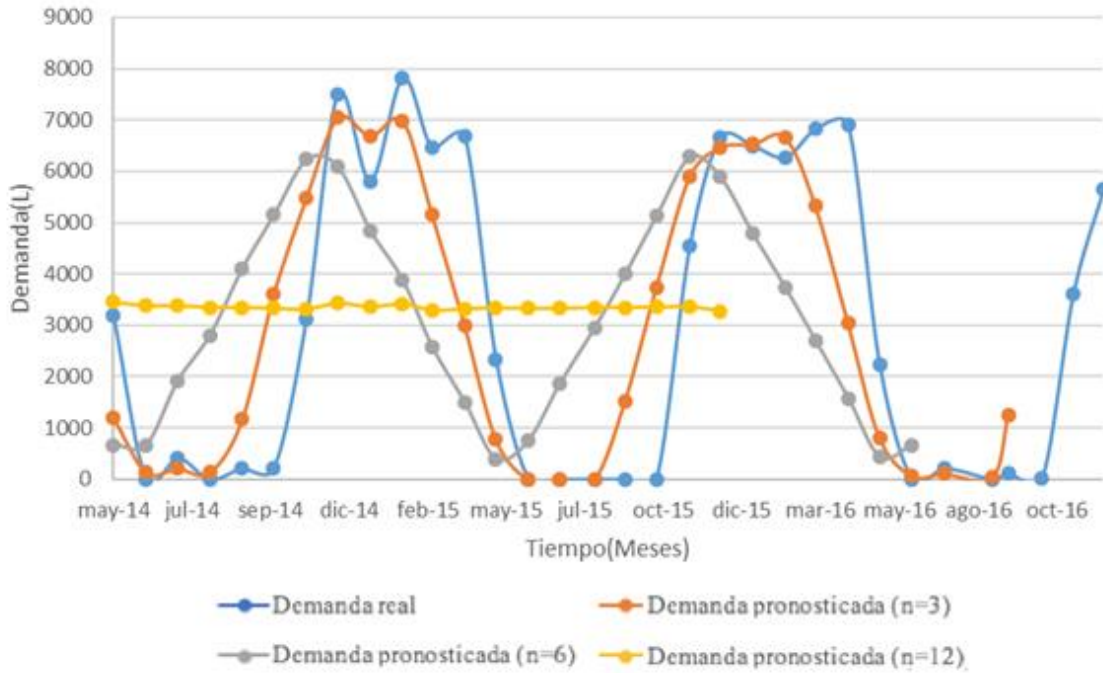
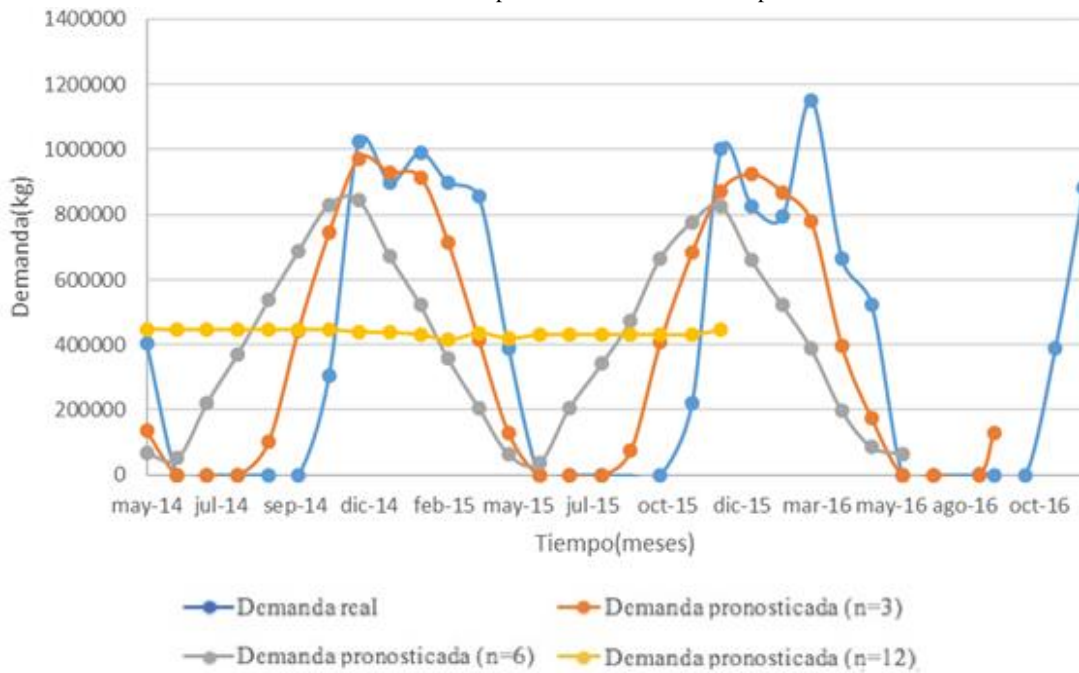


Gráfico No.135 resultado del pronóstico de media móvil para el material B



Grafica No. 136 Resultado del pronóstico de media móvil para material C

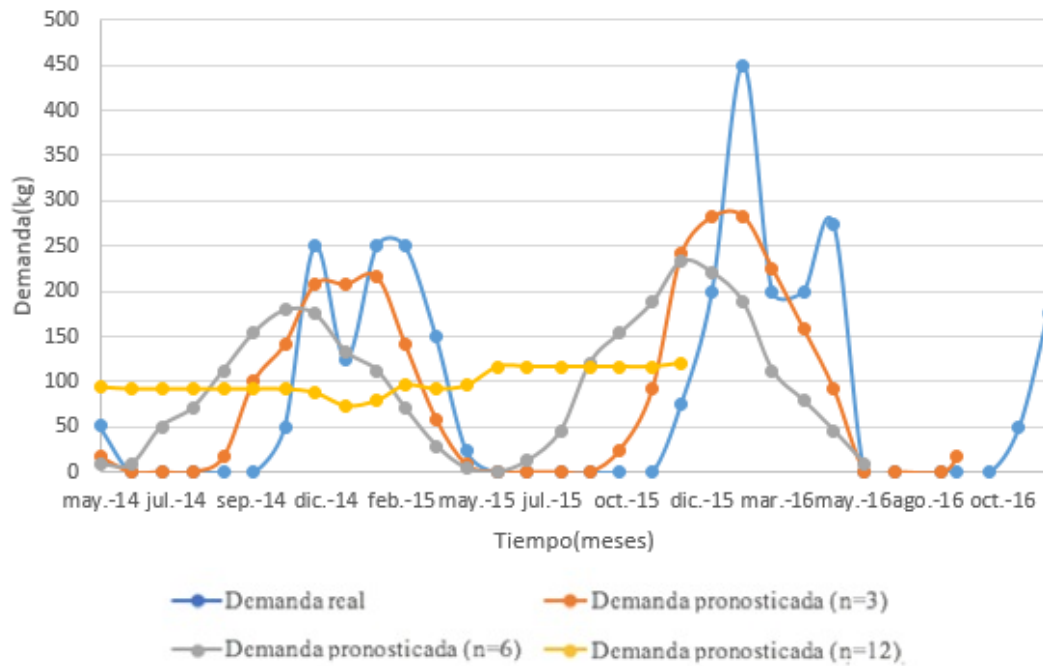


Gráfico No.137 resultado del pronóstico de media móvil para material E

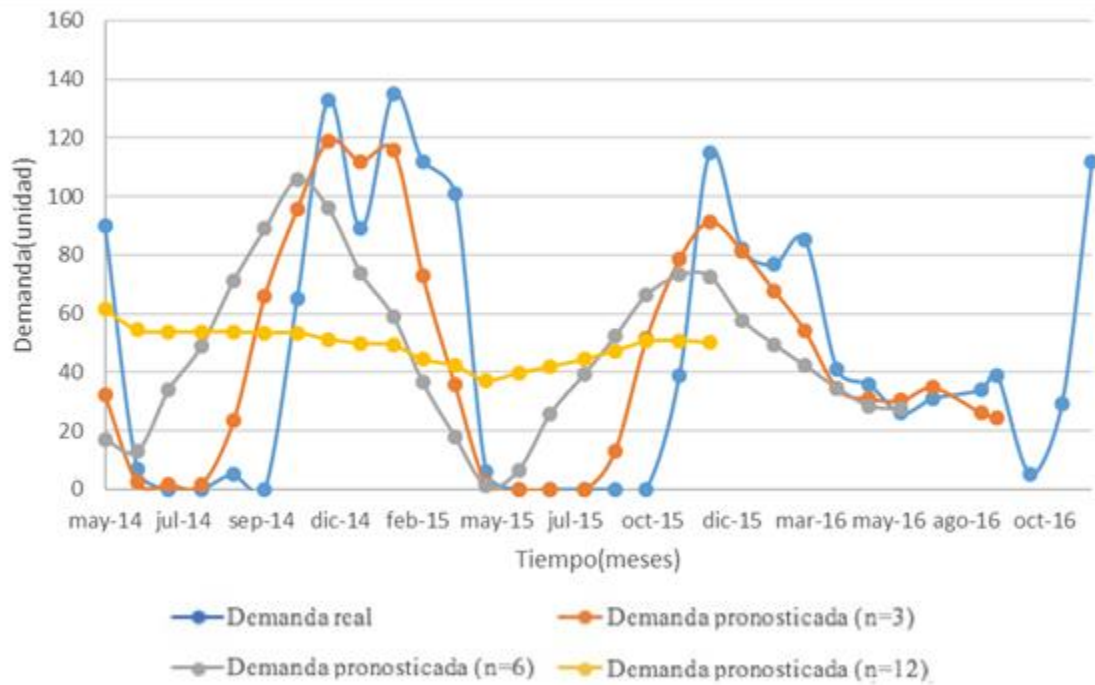


Gráfico No.138 Resultado del pronóstico de media móvil para material F

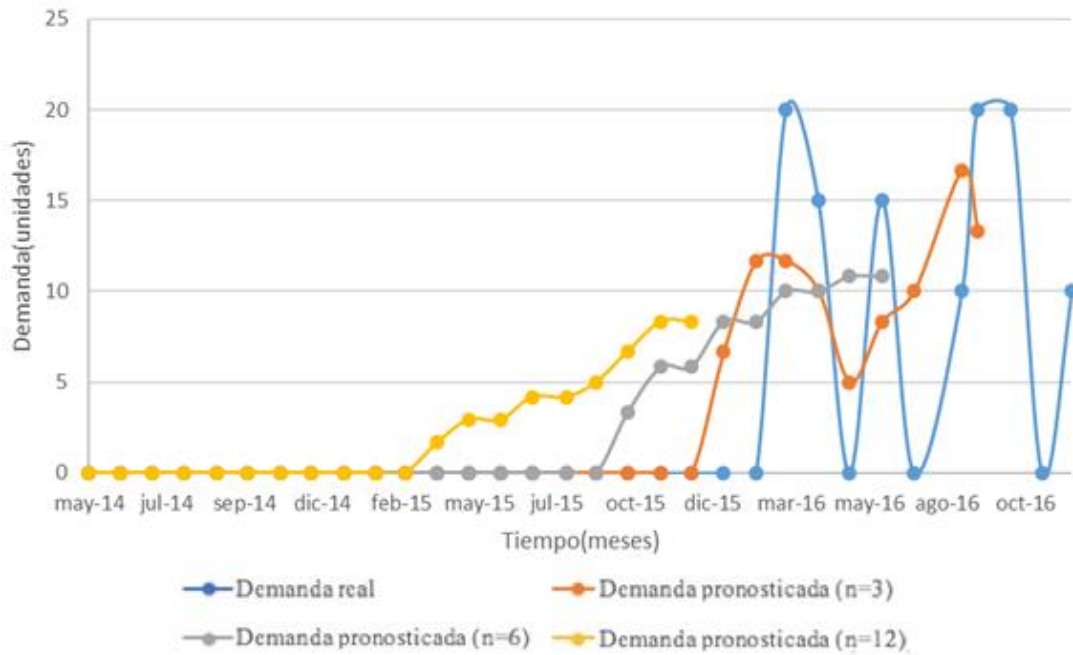


Gráfico No.139 resultado del pronóstico de media móvil para material D

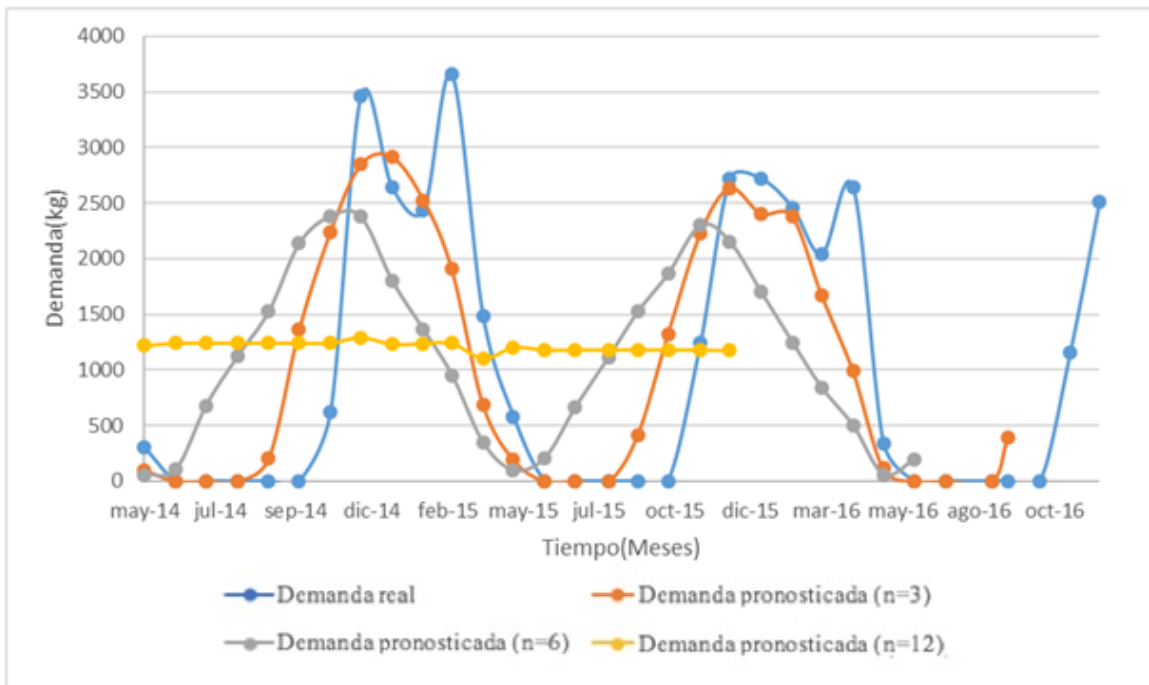


Gráfico No.140 Resultado del pronóstico de media móvil para material G

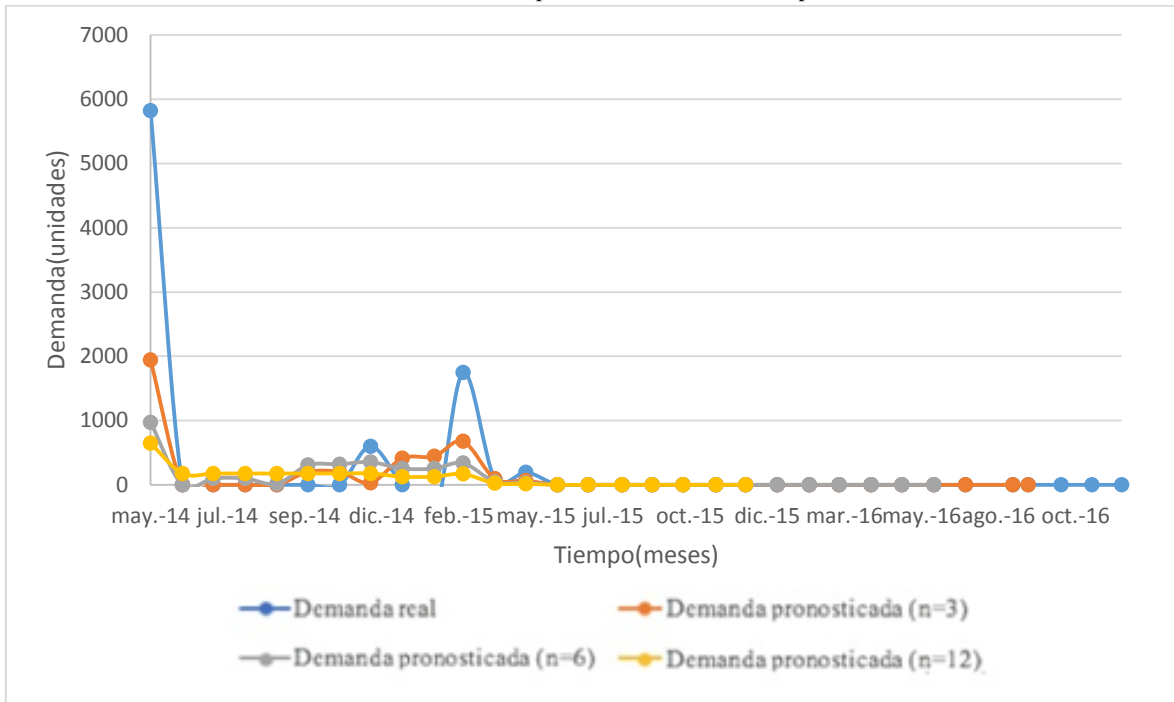
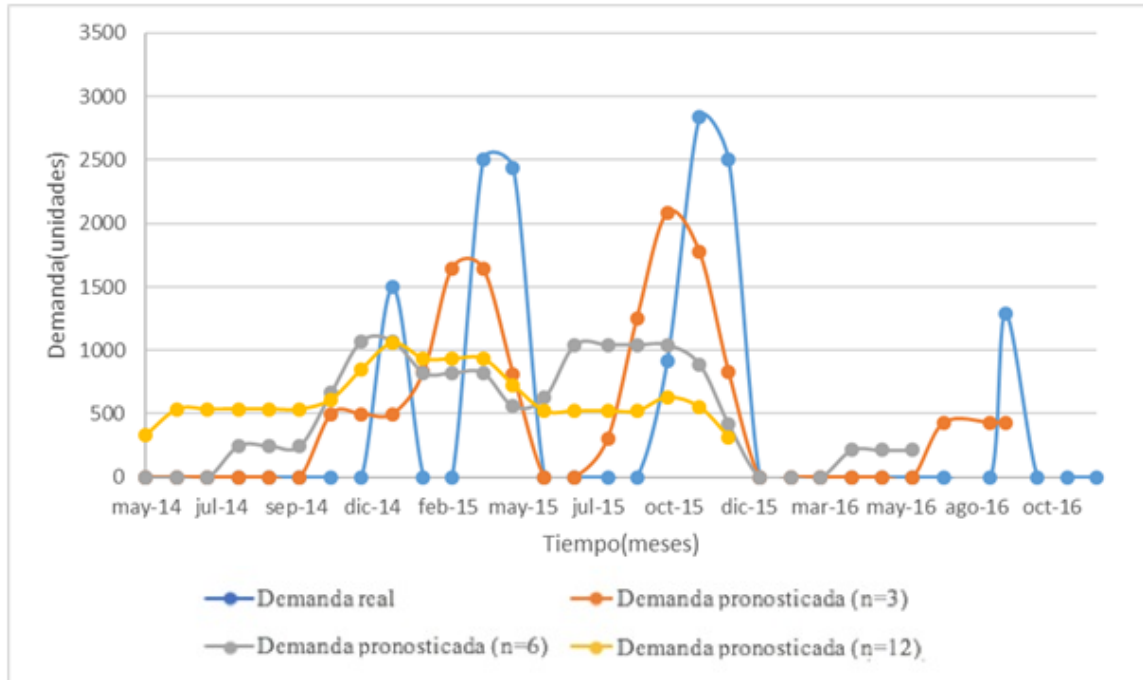
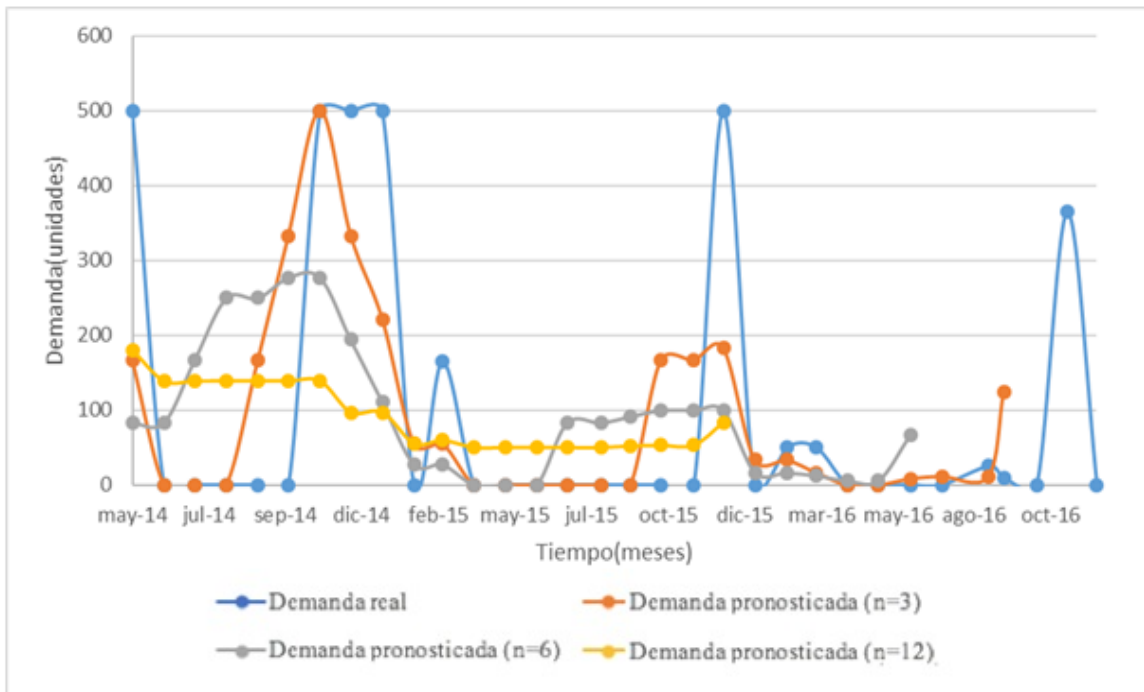


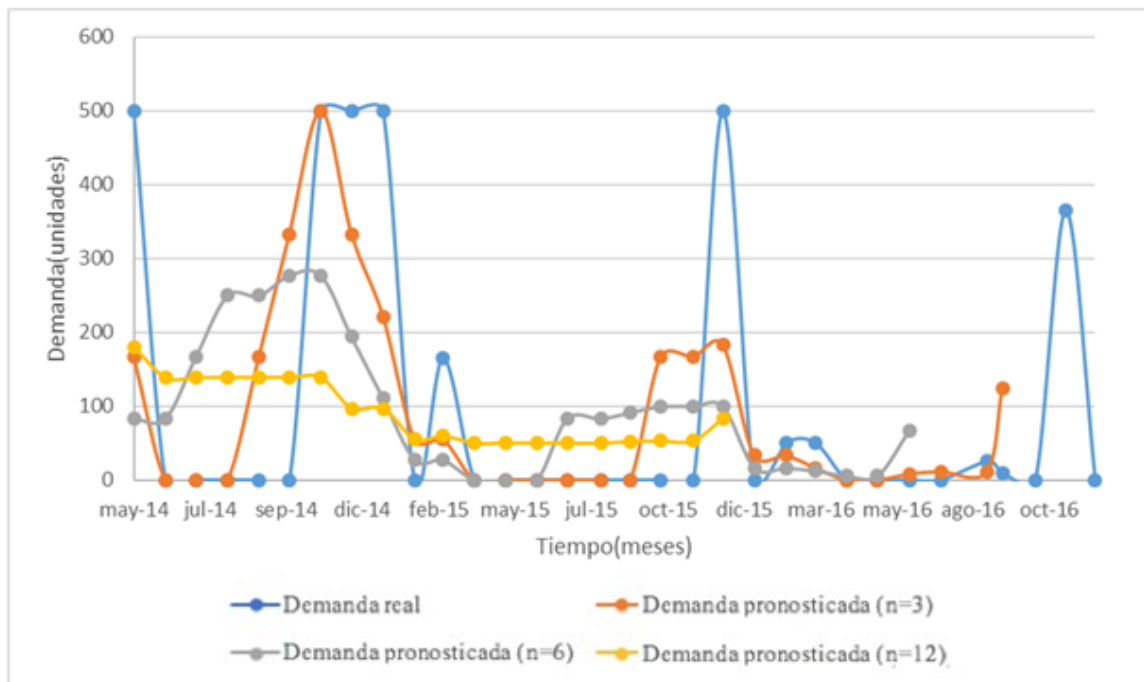
Gráfico No.141 Resultado del pronóstico de media móvil para material H



Gráfica No.142 Resultado del pronóstico de media móvil para material I

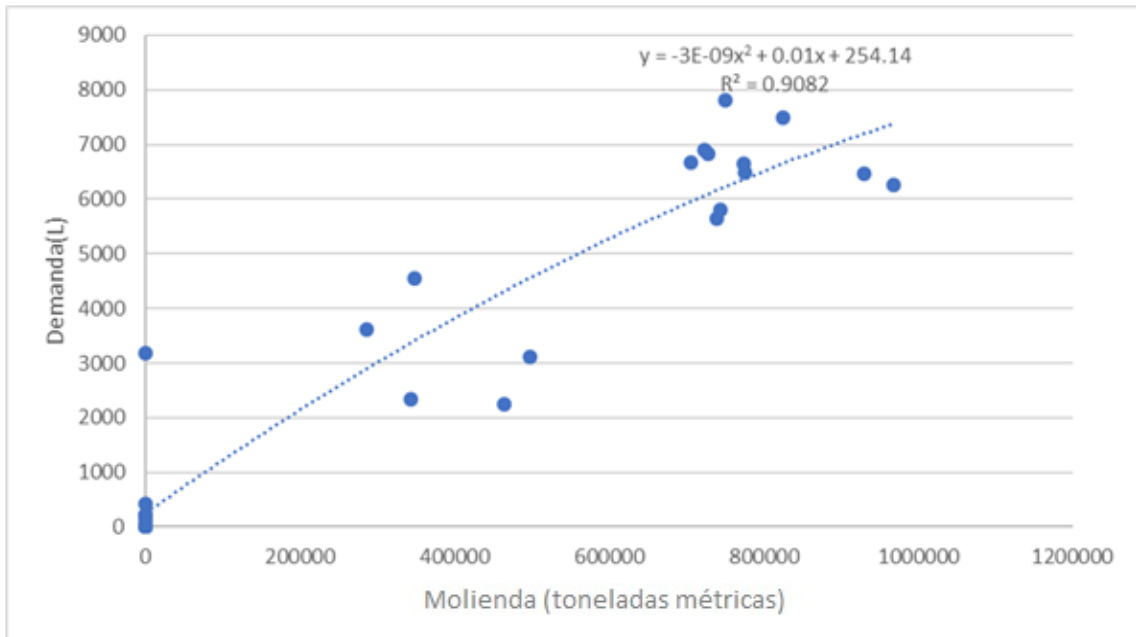


Gráfica No.143 Resultado del pronóstico de media móvil para material J

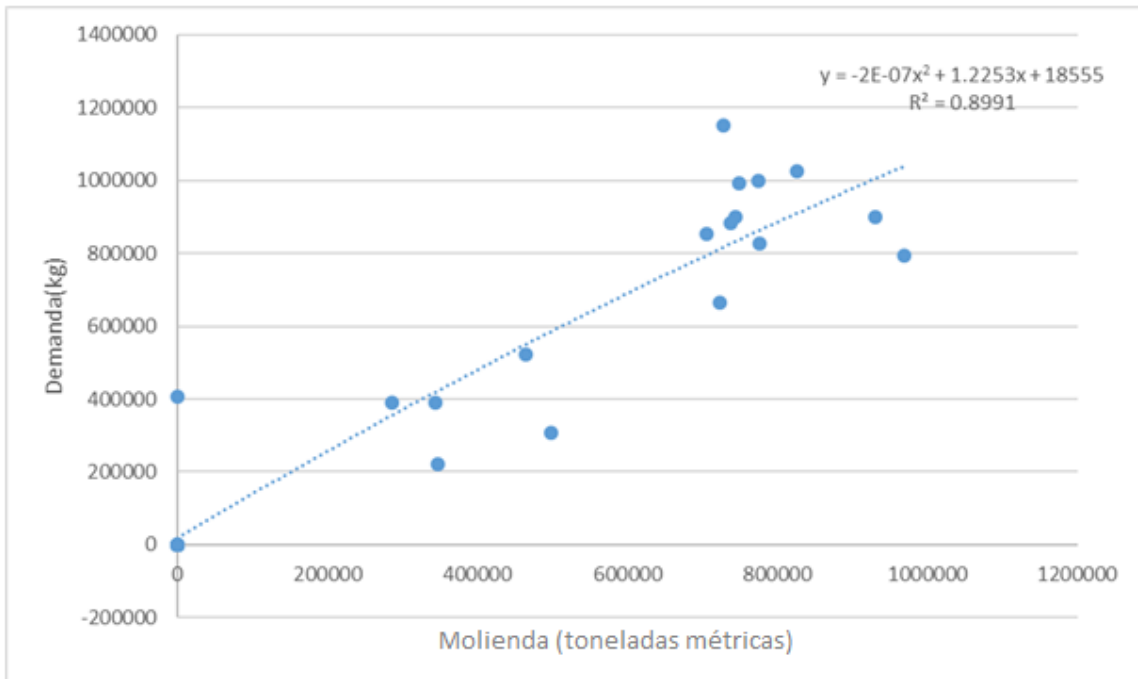


3) Modelo de ajuste de curvas cuadrático

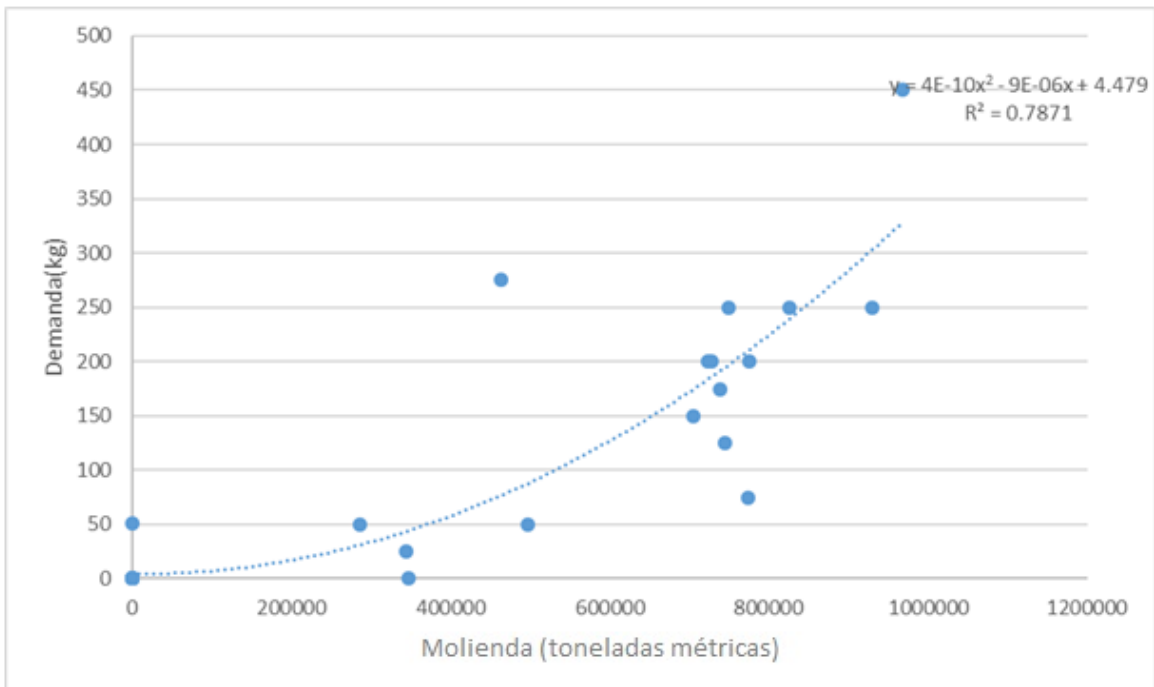
Gráfica No. 144 Resultado del pronóstico de ajuste de curva (demanda-caña molida) para material A



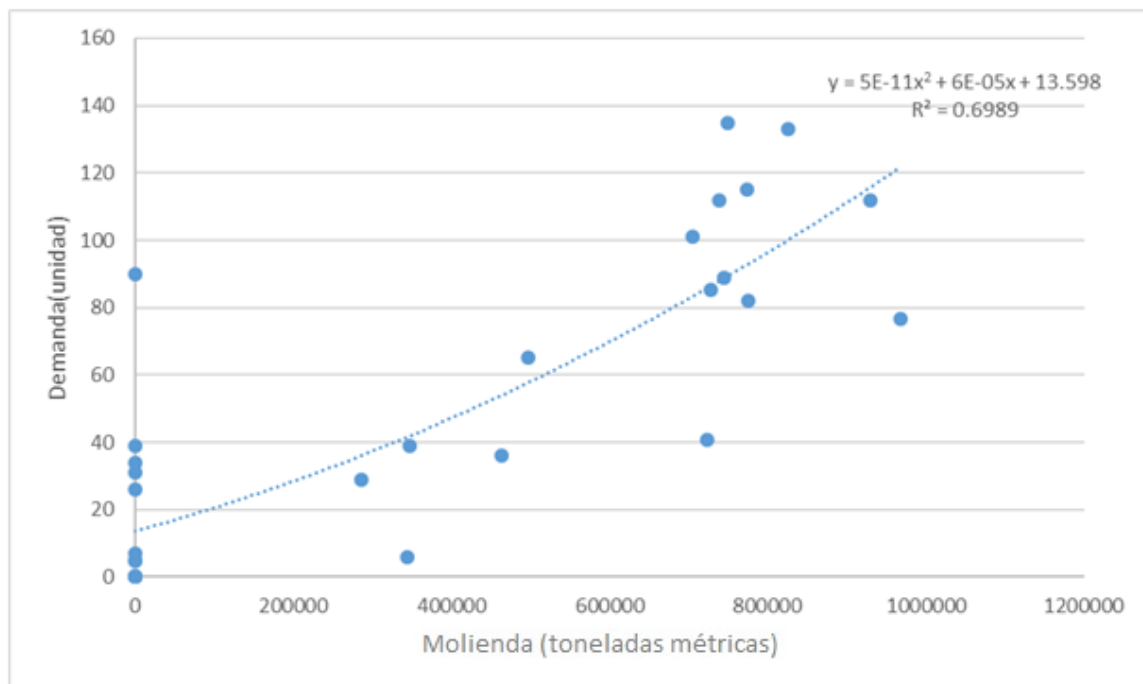
Gráfica N0. 145 Resultado del pronóstico de ajuste de curva (demanda-caña molida) para material B



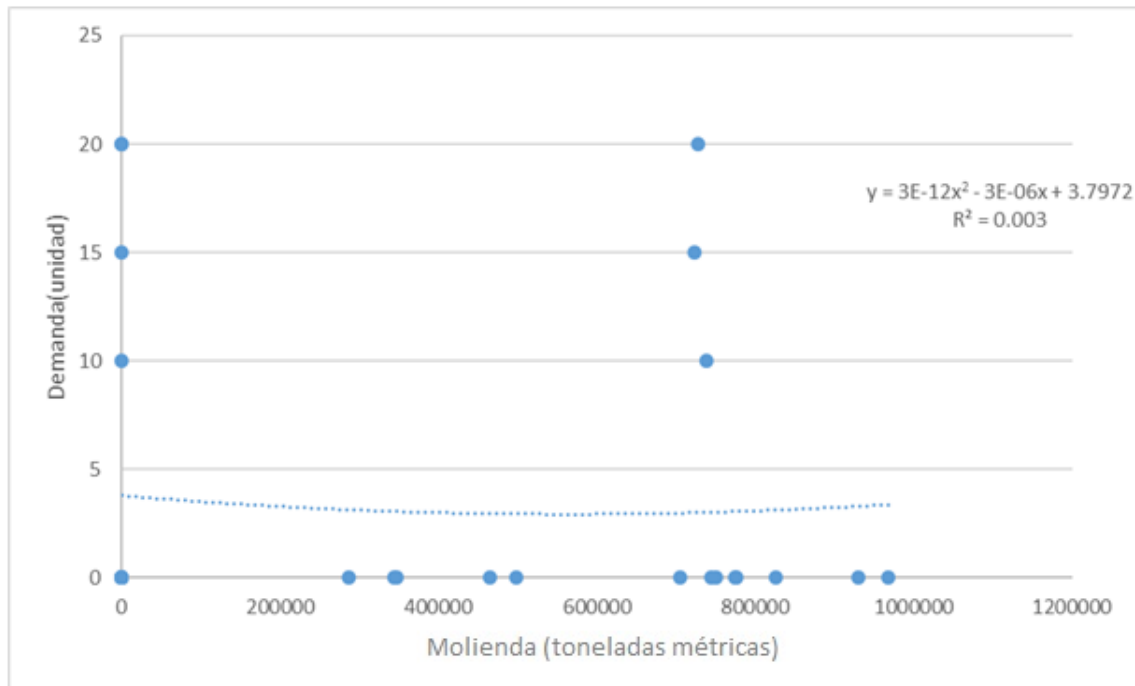
Gráfica No. 146 Resultado del pronóstico de ajuste de curva (demanda-caña molida) para material C



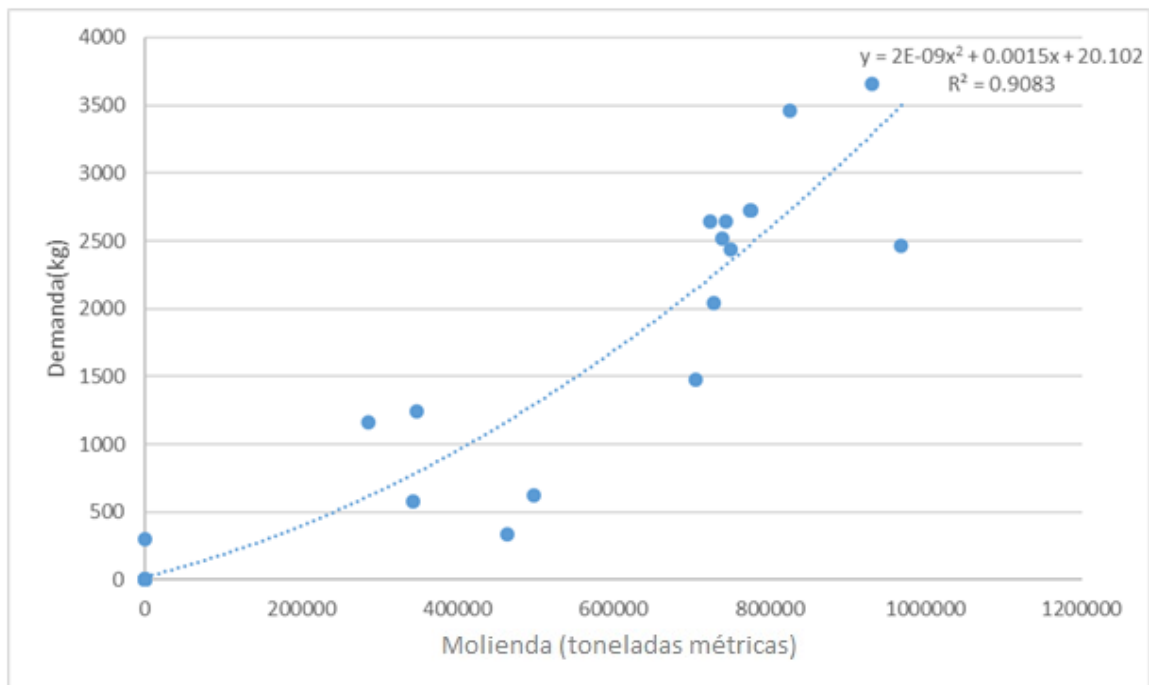
Gráfica No. 147 Resultado del pronóstico de ajuste de curva (demanda-caña molida) para material E



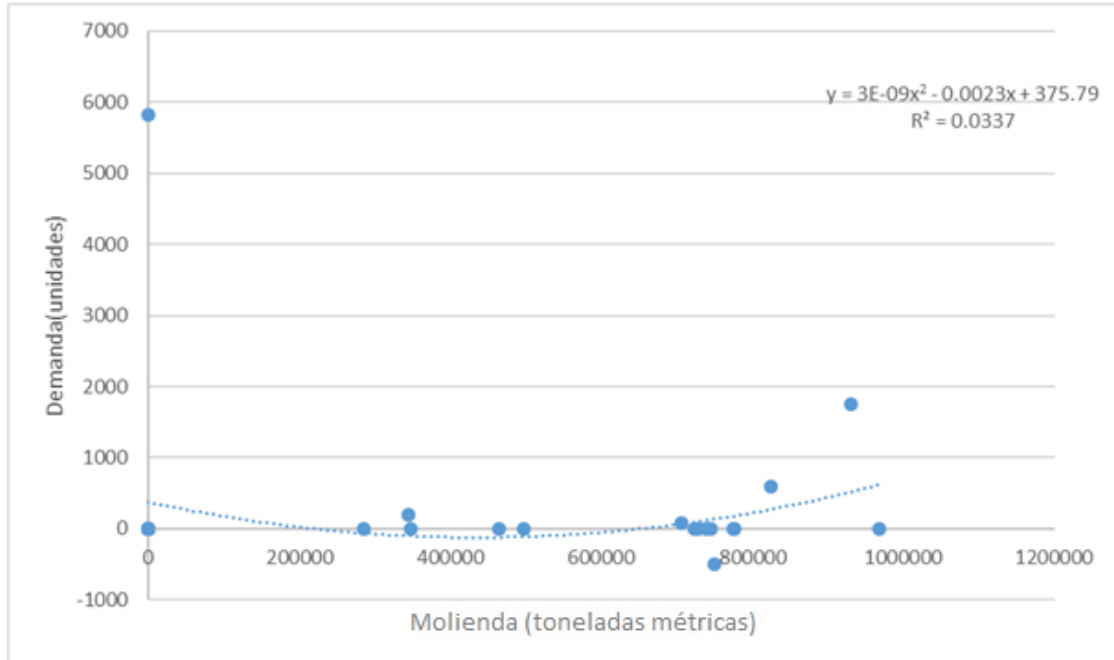
Gráfica No. 148 Resultado del pronóstico de ajuste de curva (demanda-caña molida) para material F



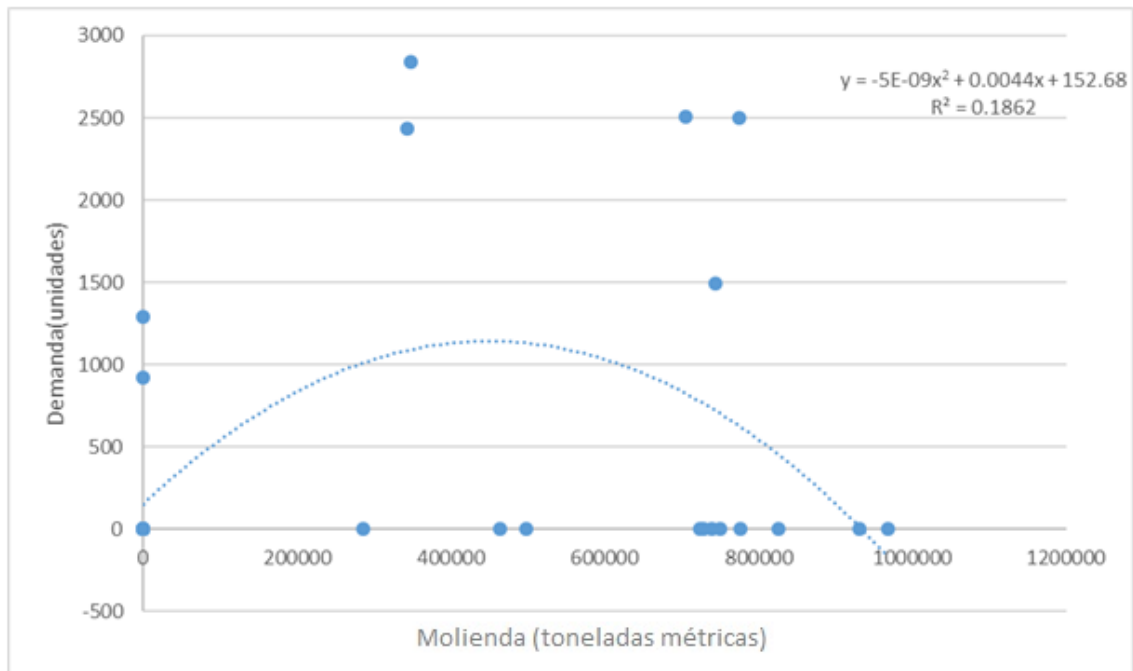
Gráfica No. 149 Resultado del pronóstico de ajuste de curva (demanda-caña molida) para material D



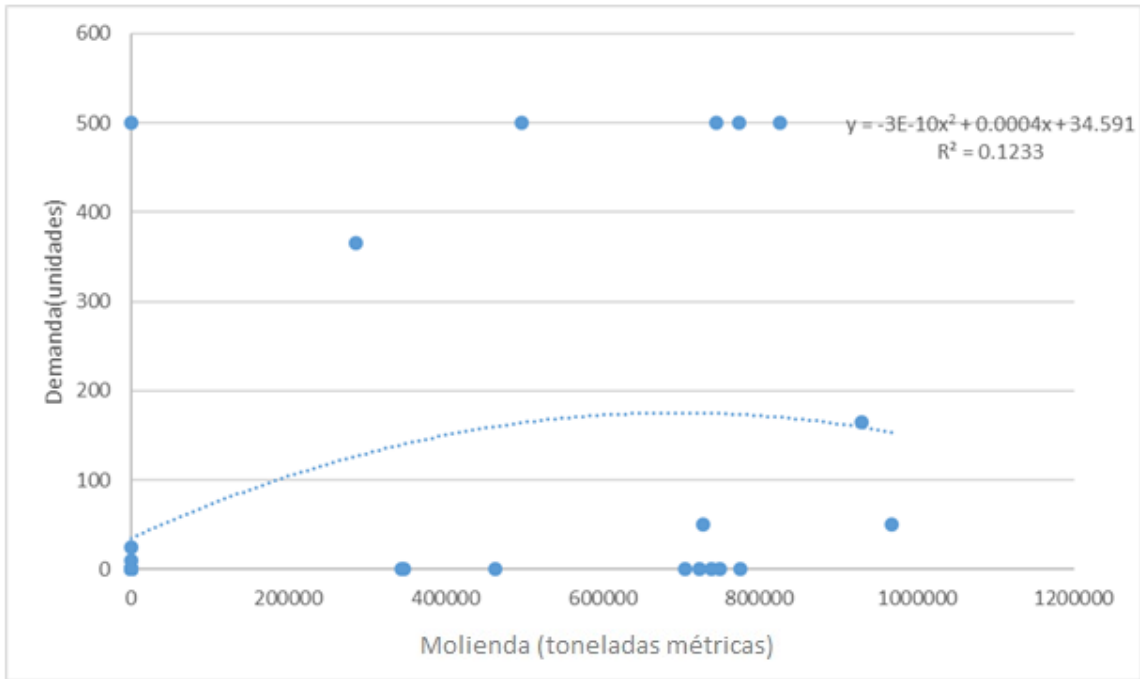
Gráfica No. 150 Resultado del pronóstico de ajuste de curva (demanda-caña molida) para material G



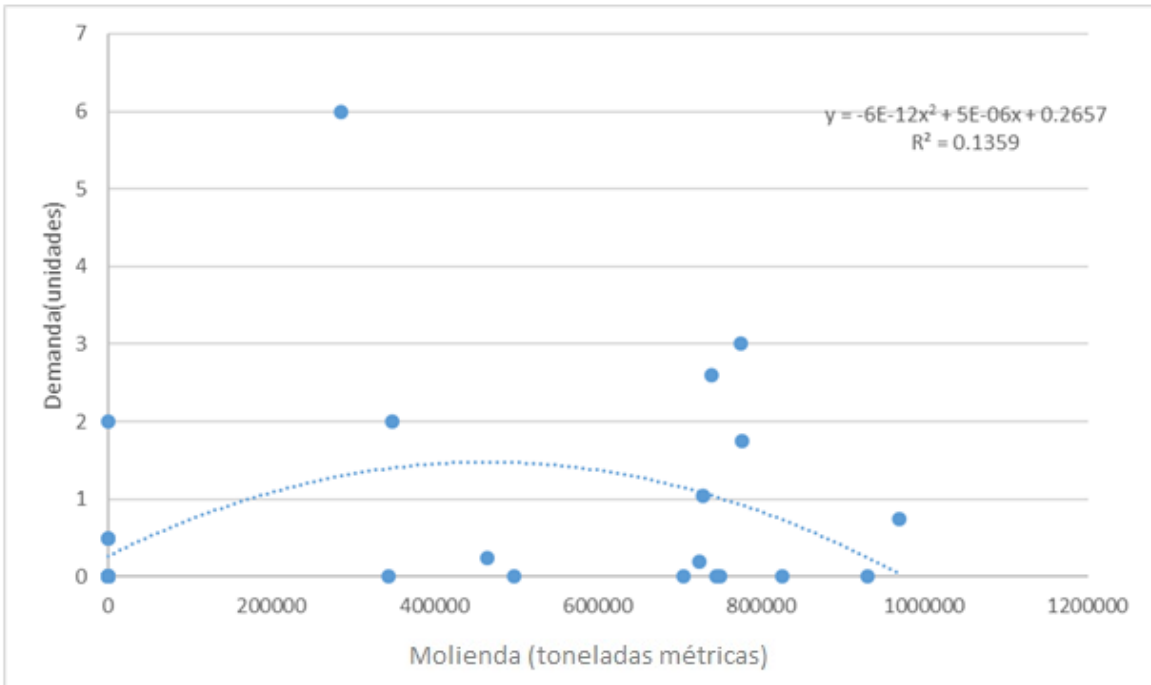
Gráfica No. 151 Resultado del pronóstico de ajuste de curva (demanda-caña molida) para material H



Gráfica No.152 Resultado del pronóstico de ajuste de curva (demanda-caña molida) para material I

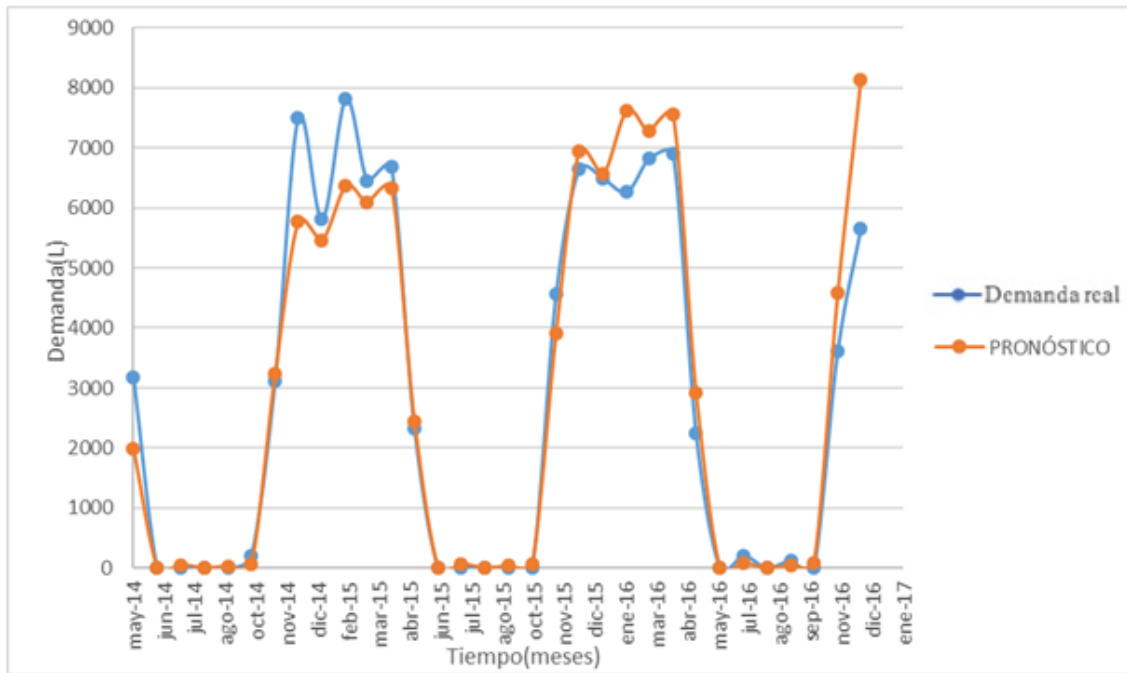


Gráfica No.153 Resultado del pronóstico de ajuste de curva (demanda-caña molida) para material J

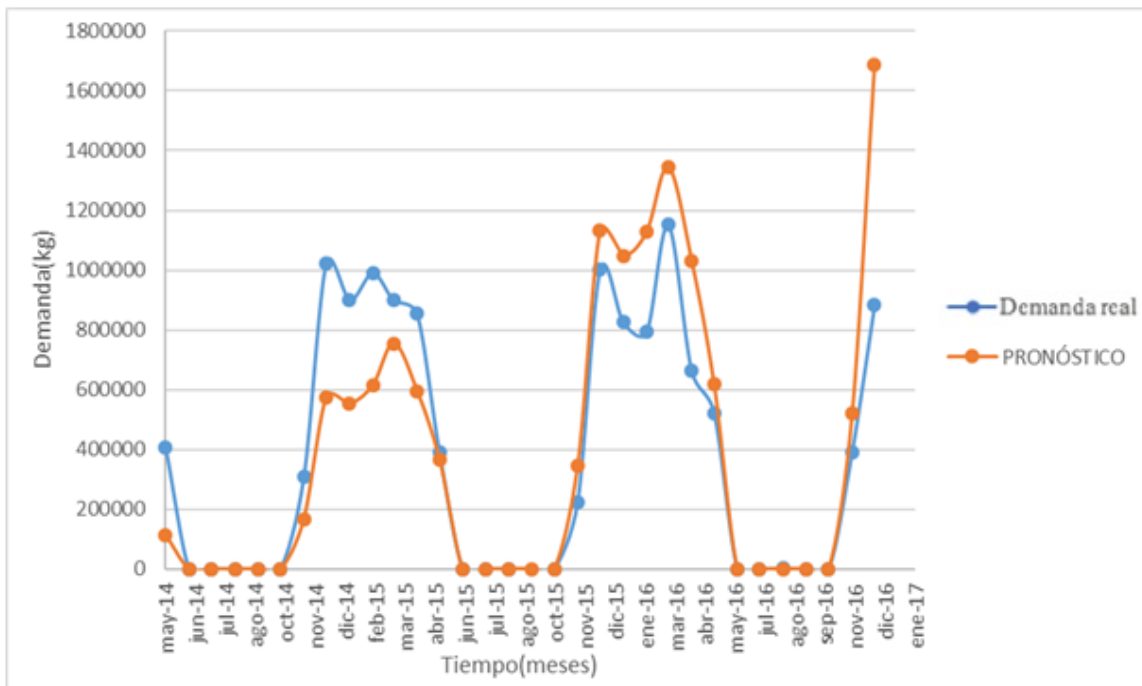


4) Modelo de series cronológicas

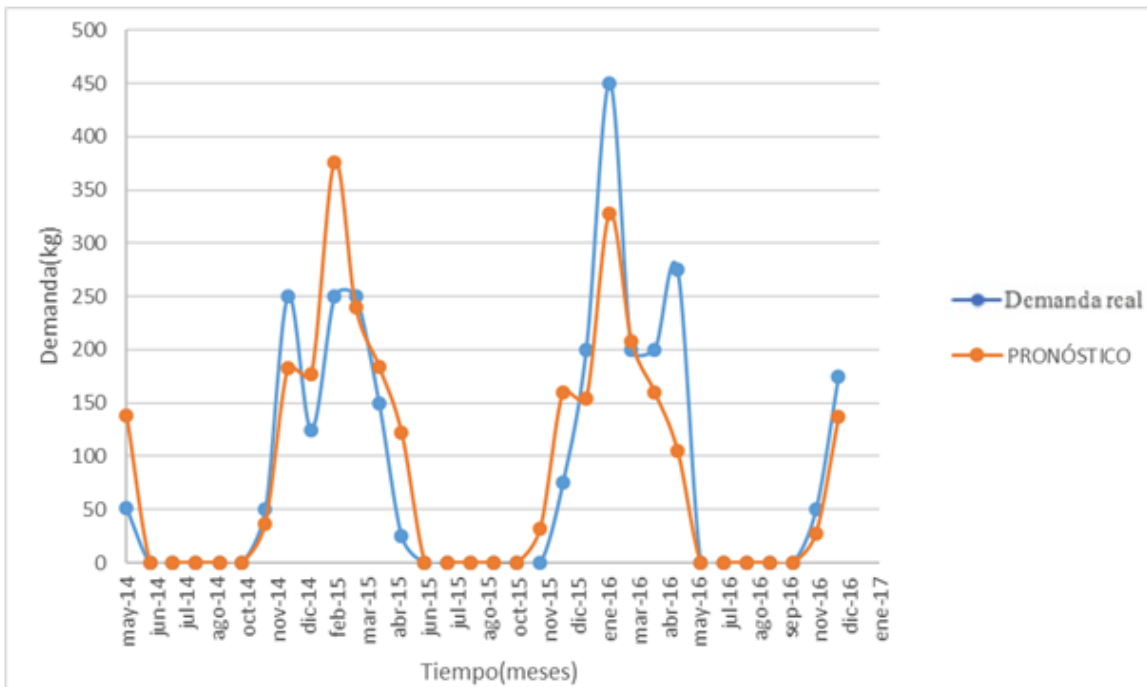
Gráfica No. 154 Resultado del pronóstico de series cronológicas para material A



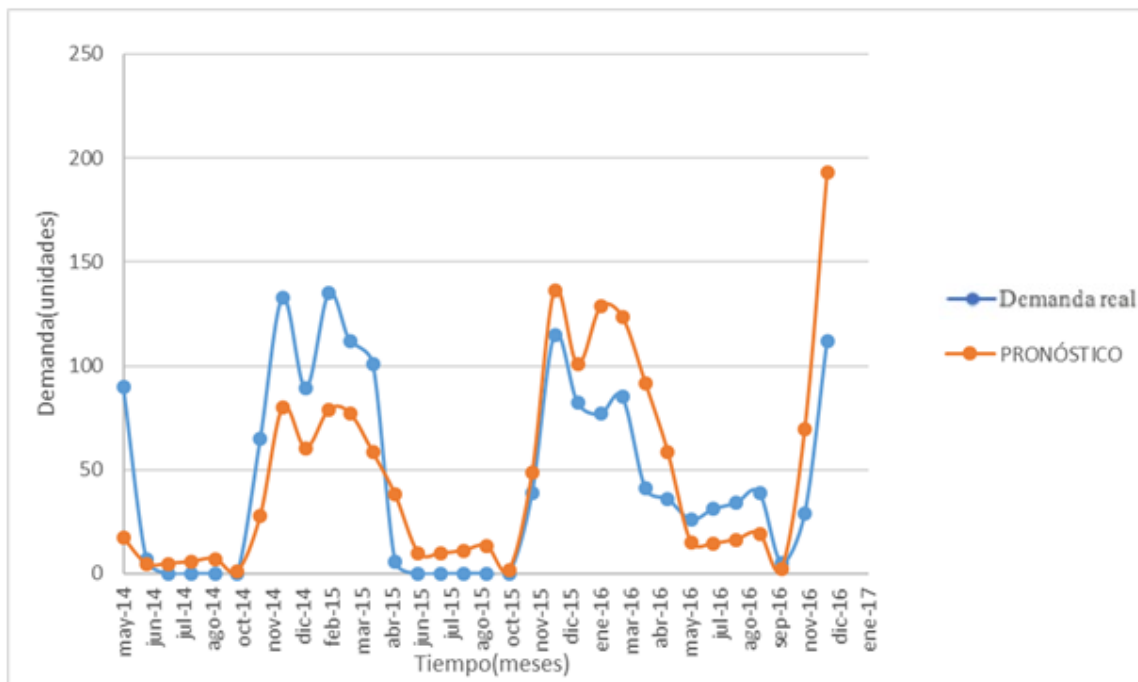
Gráfica No. 155 Resultado del pronóstico de series cronológicas para material B



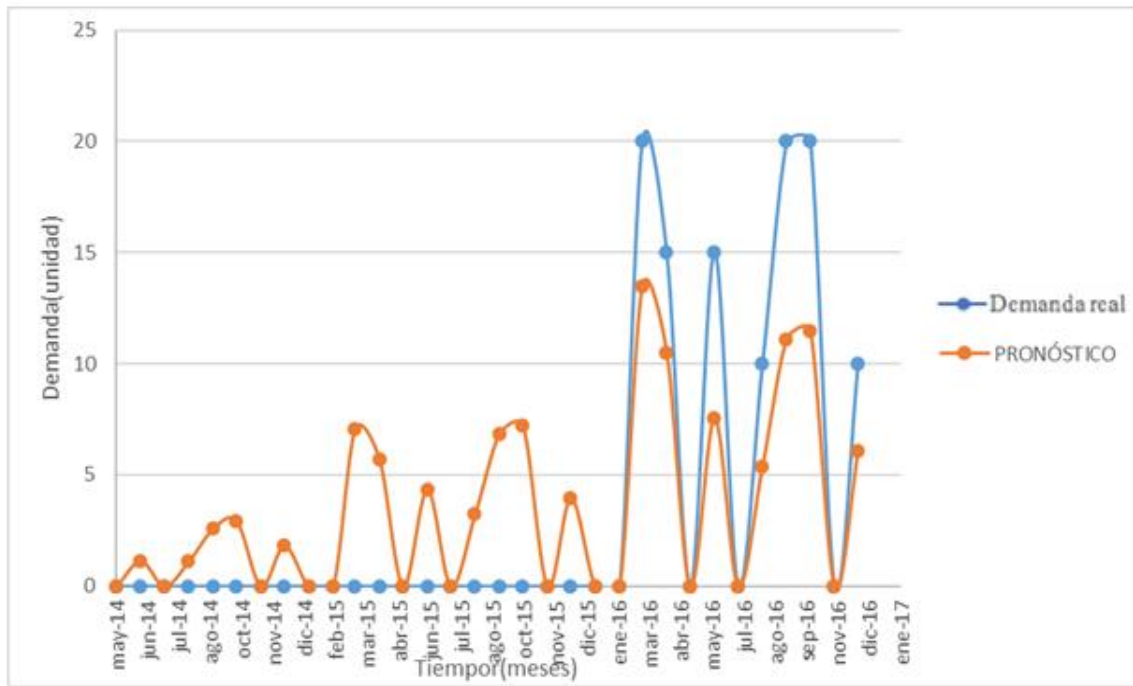
Gráfica No. 156 Resultado del pronóstico de series cronológicas para material C



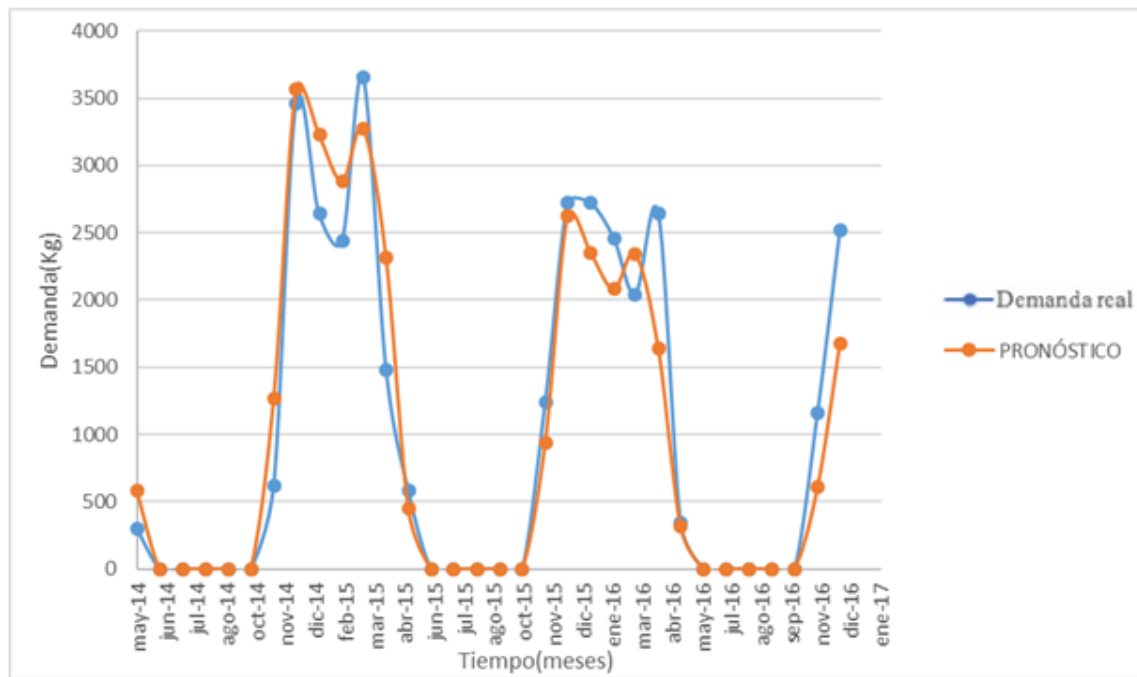
Gráfica No. 157 Resultado del pronóstico de series cronológicas para material E



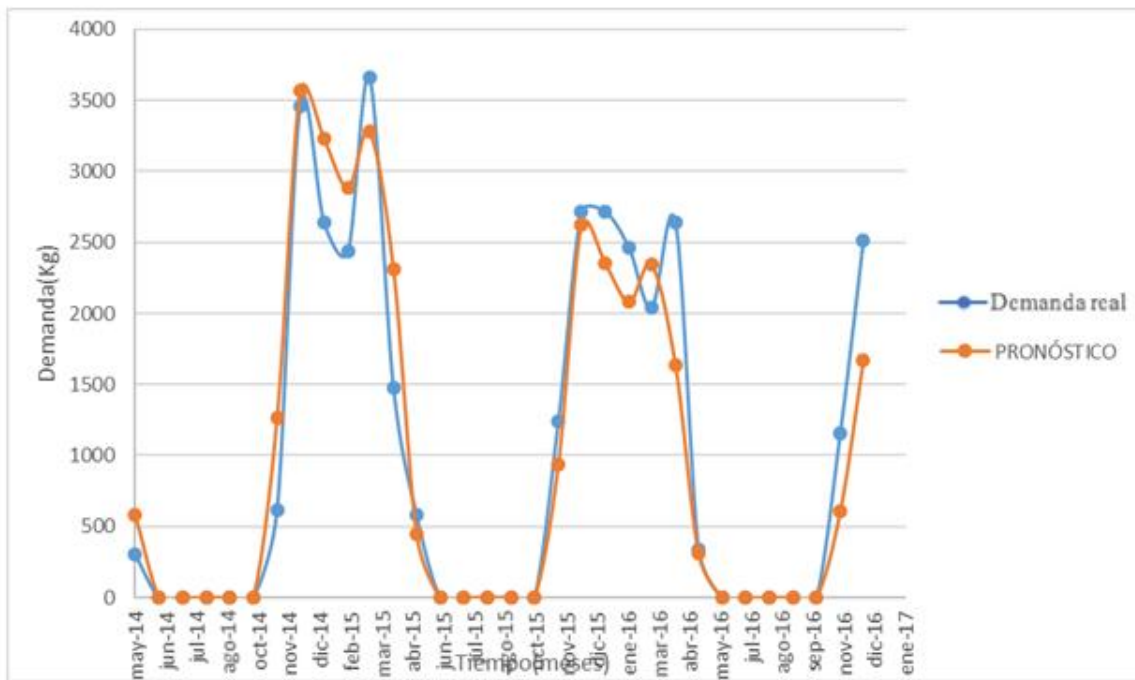
Gráfica No. 158 Resultado del pronóstico de series cronológicas para material F



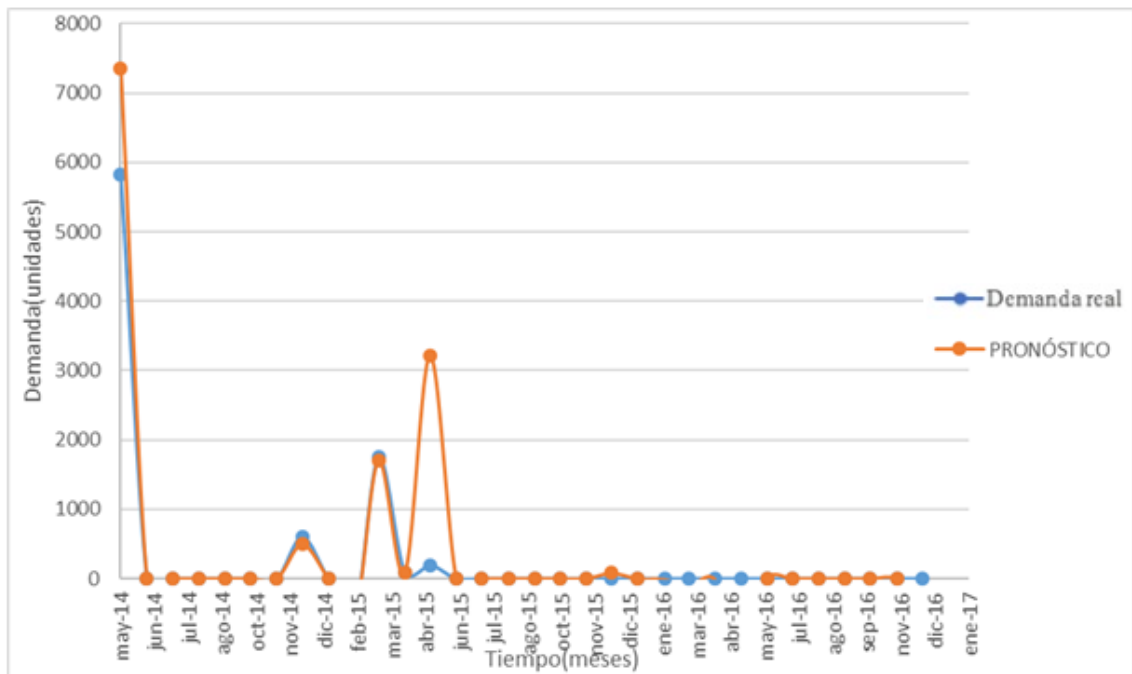
Gráfica No. 159 Resultado del pronóstico de series cronológicas para material D



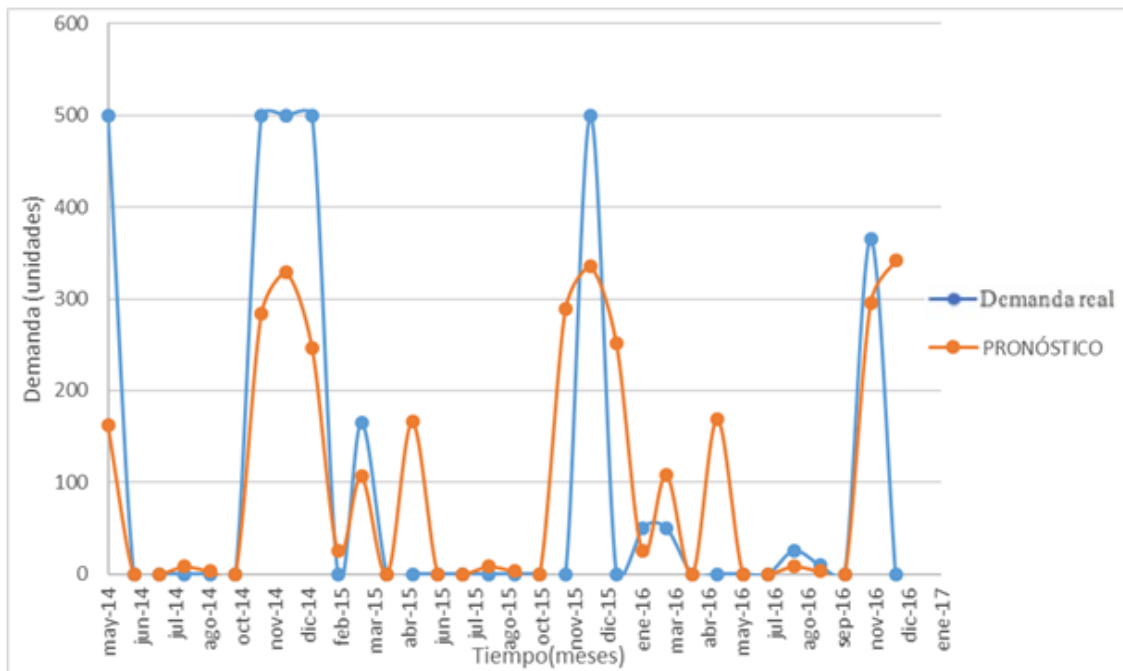
Gráfica No. 160 Resultado del pronóstico de series cronológicas para material G



Gráfica No. 161 Resultado del pronóstico de series cronológicas para material H

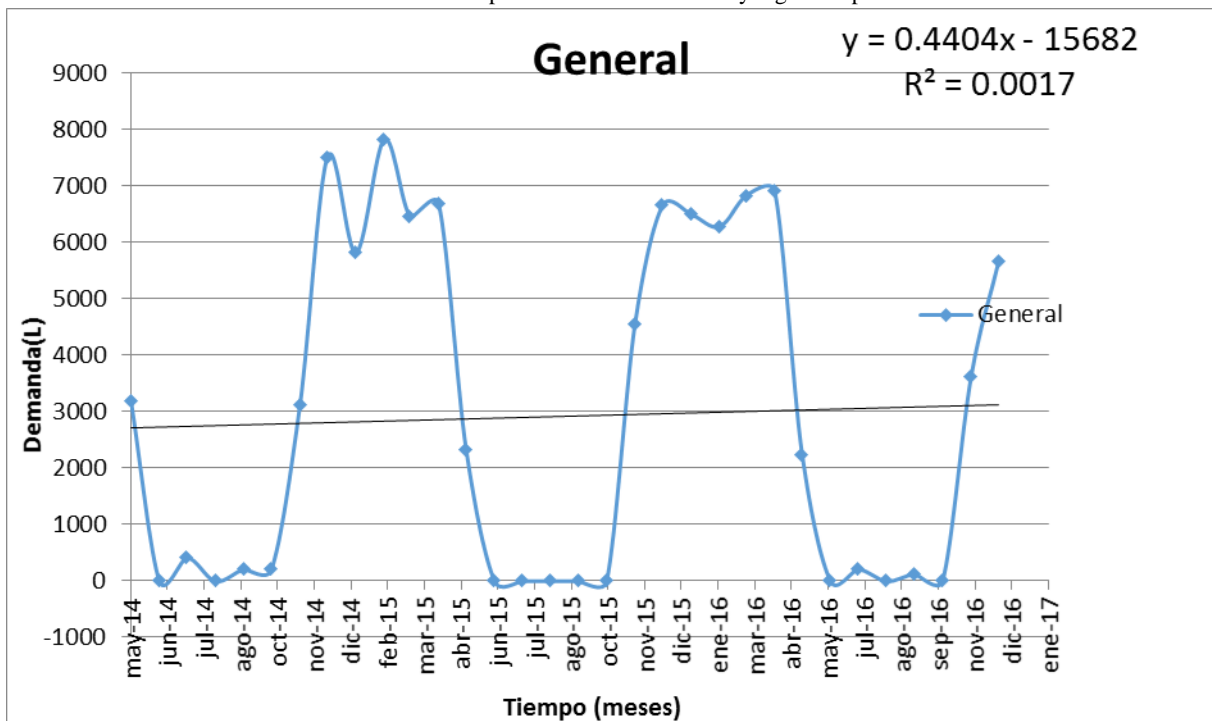


Gráfica No. 162 Resultado del pronóstico de series cronológicas para material I

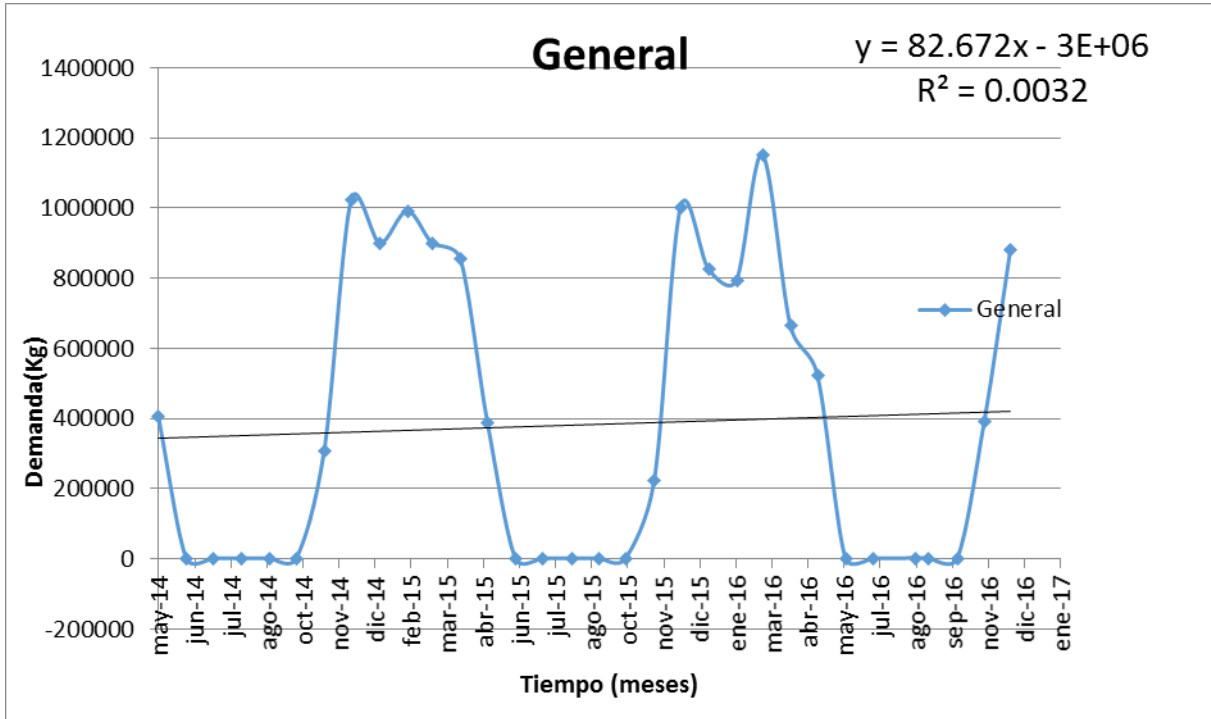


5) Modelo de correlación y regresión final

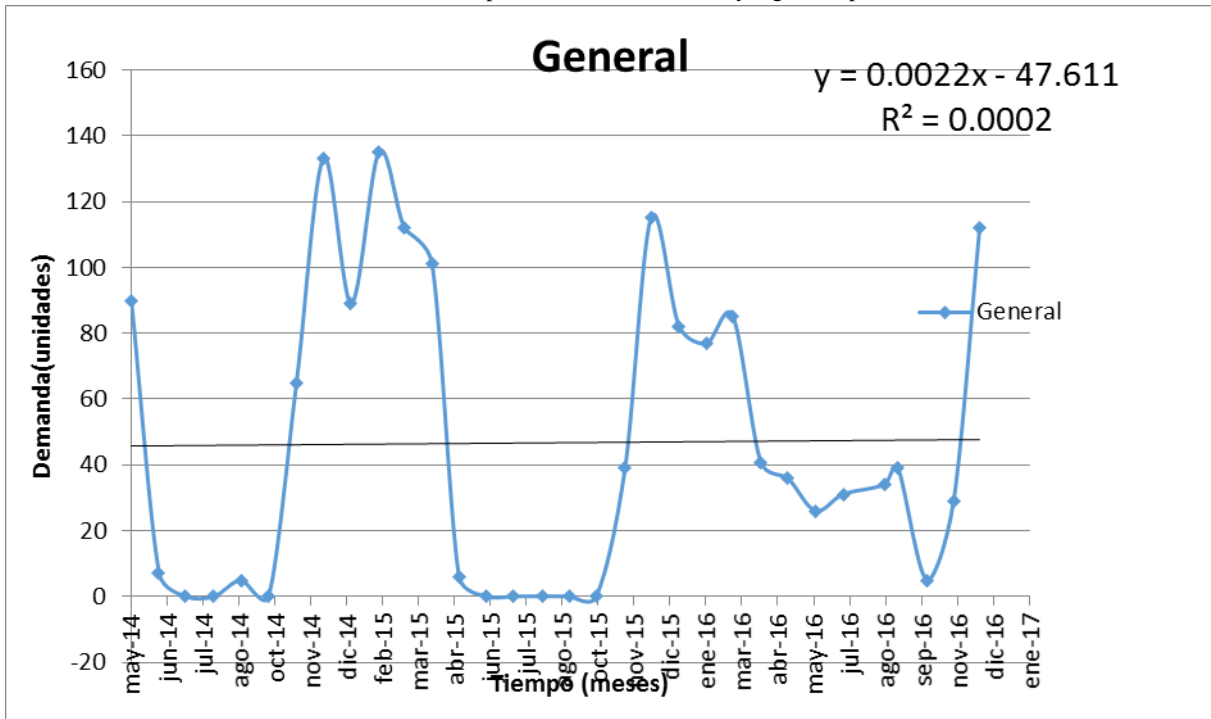
Gráfica No. 163 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material A



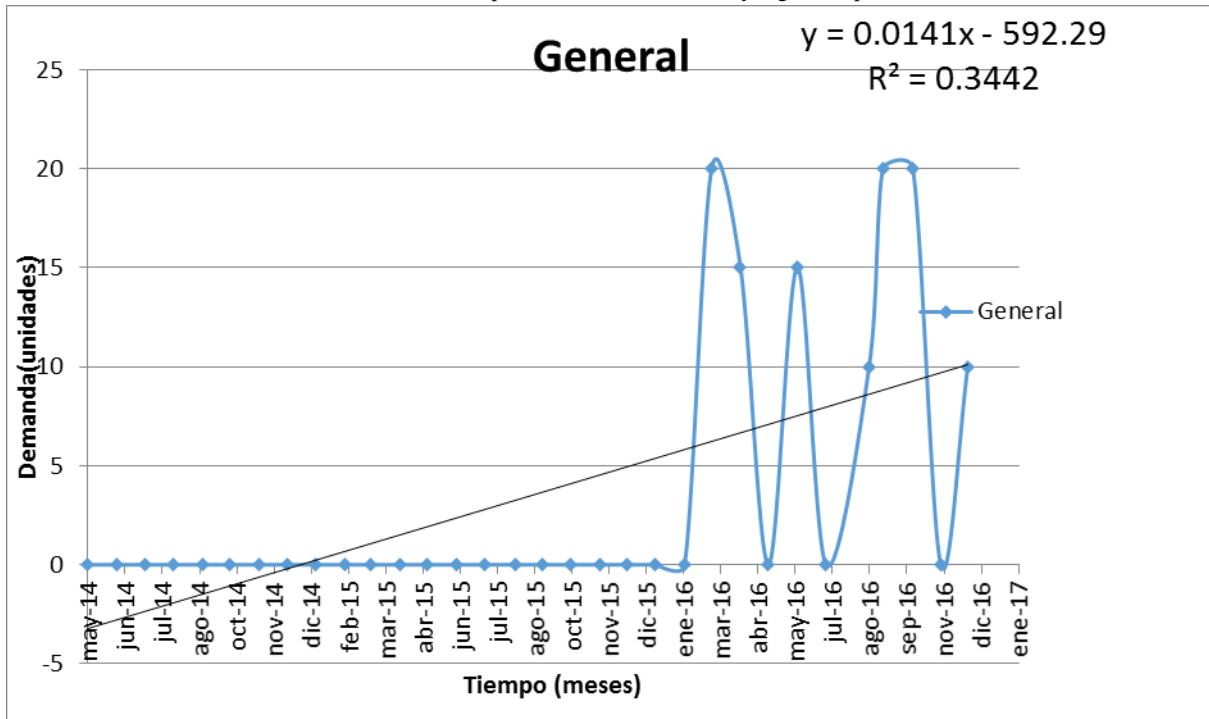
Gráfica No 164 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material C



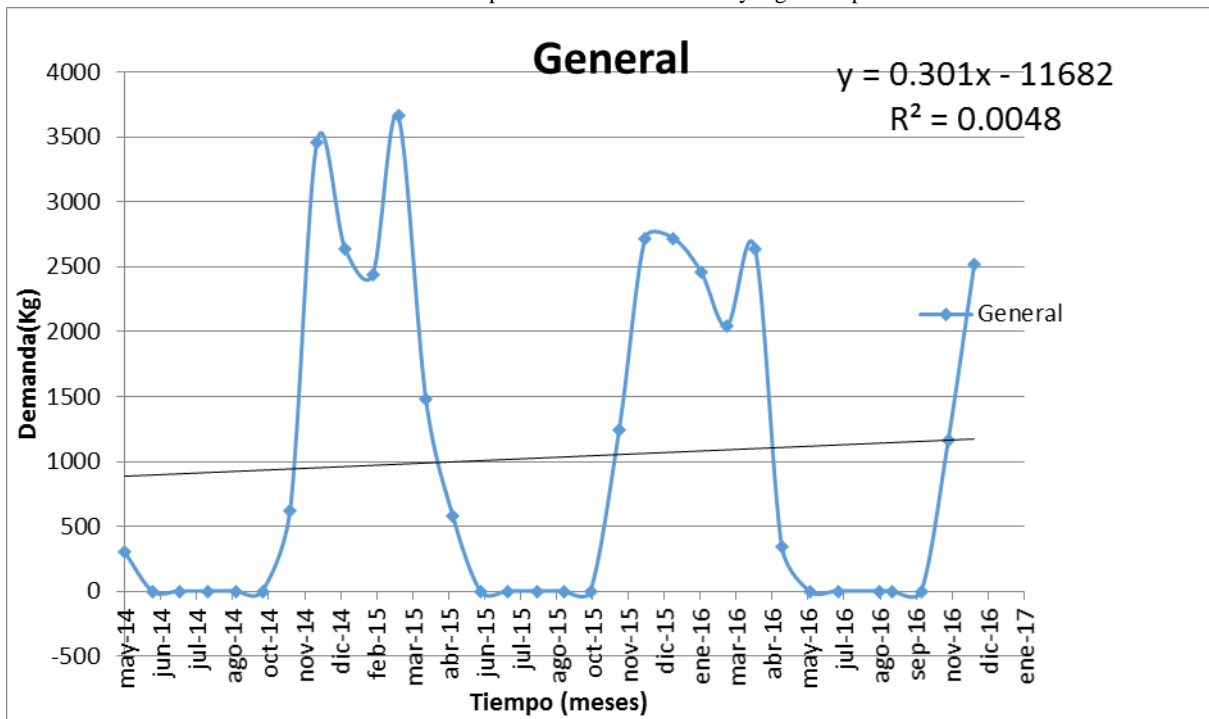
Gráfica No 165 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material E



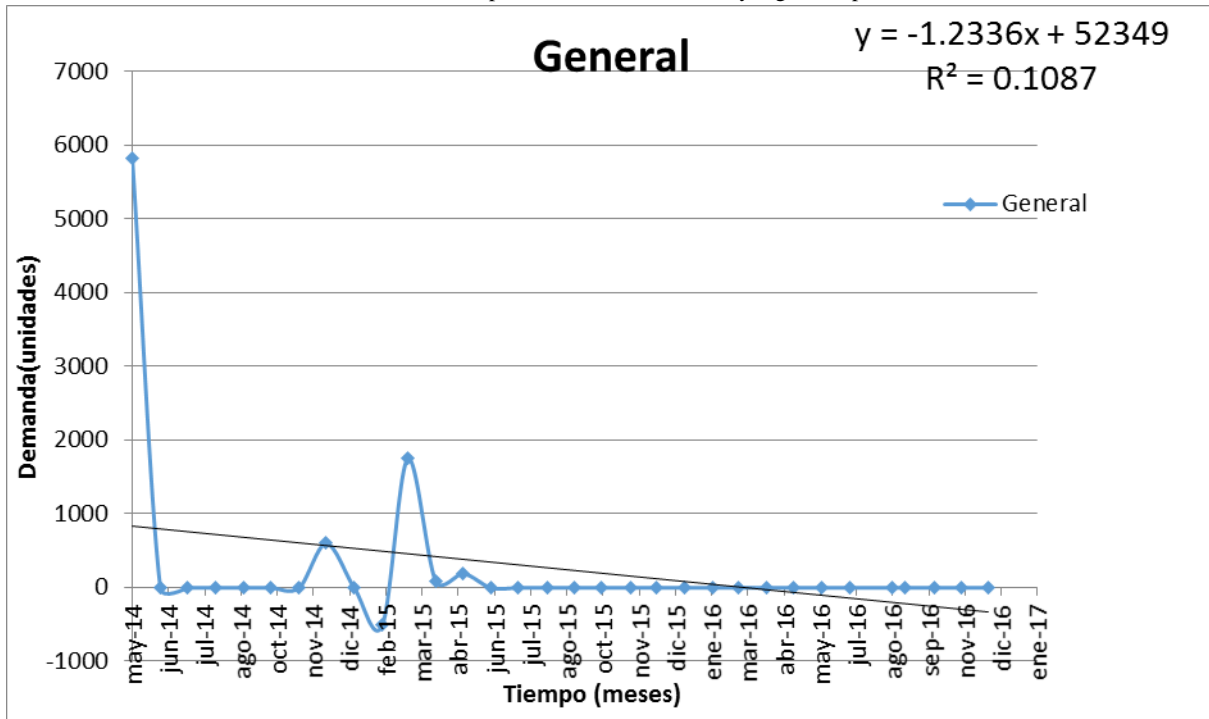
Gráfica No. 166 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material F



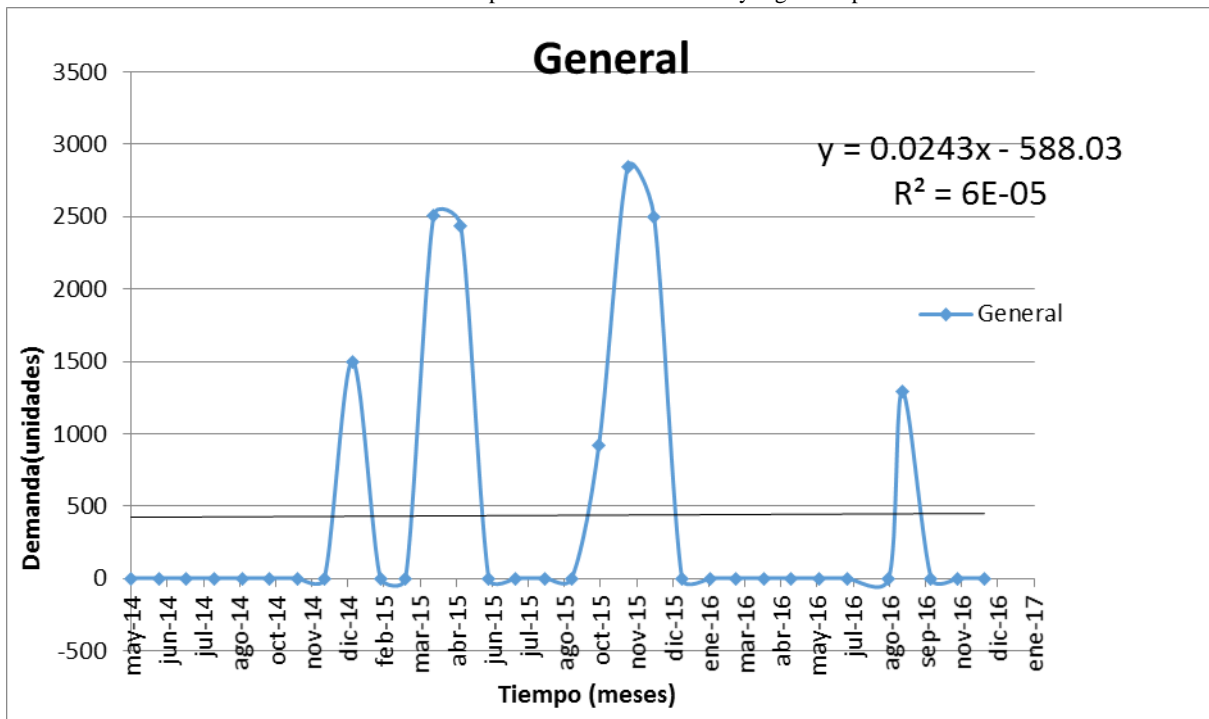
Gráfica No. 167 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material D



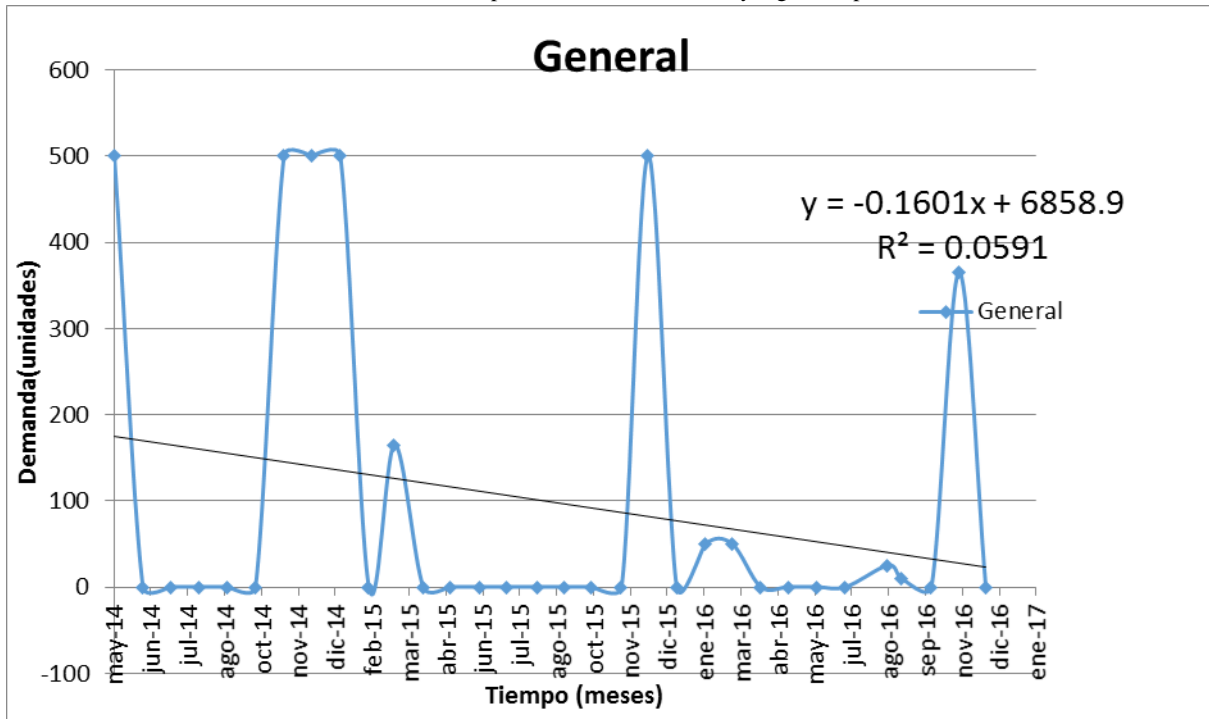
Gráfica No. 168 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material G



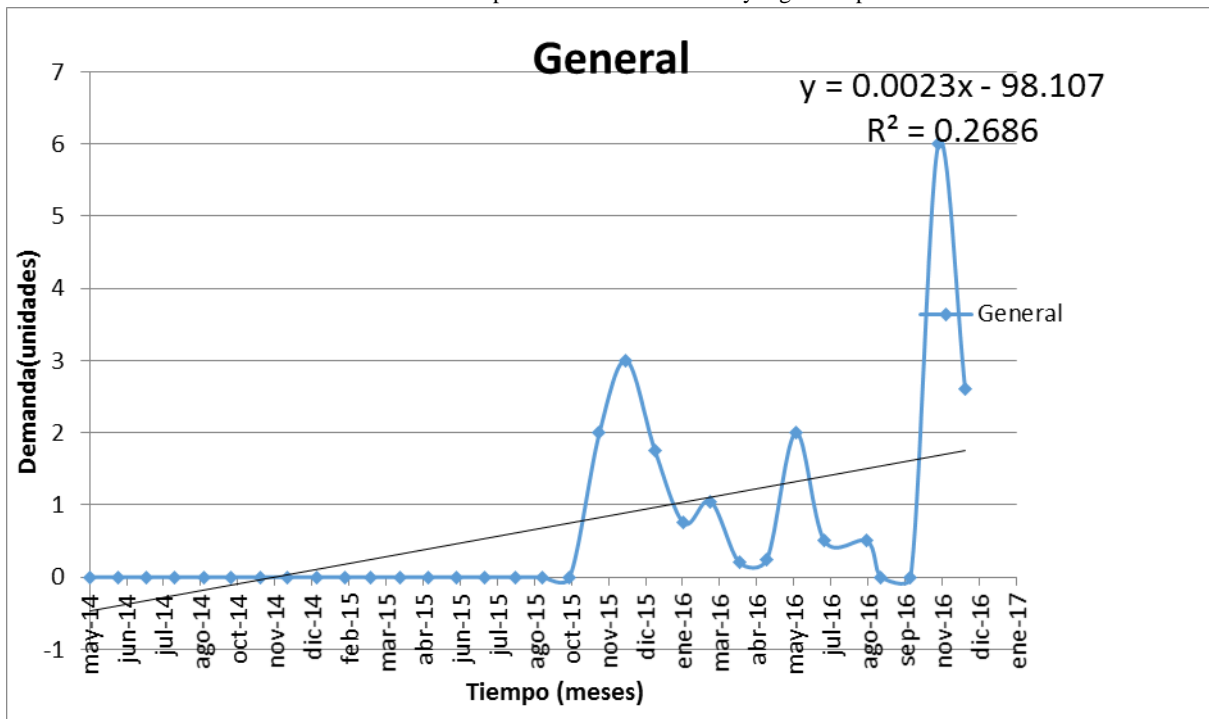
Gráfica No. 169 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material H



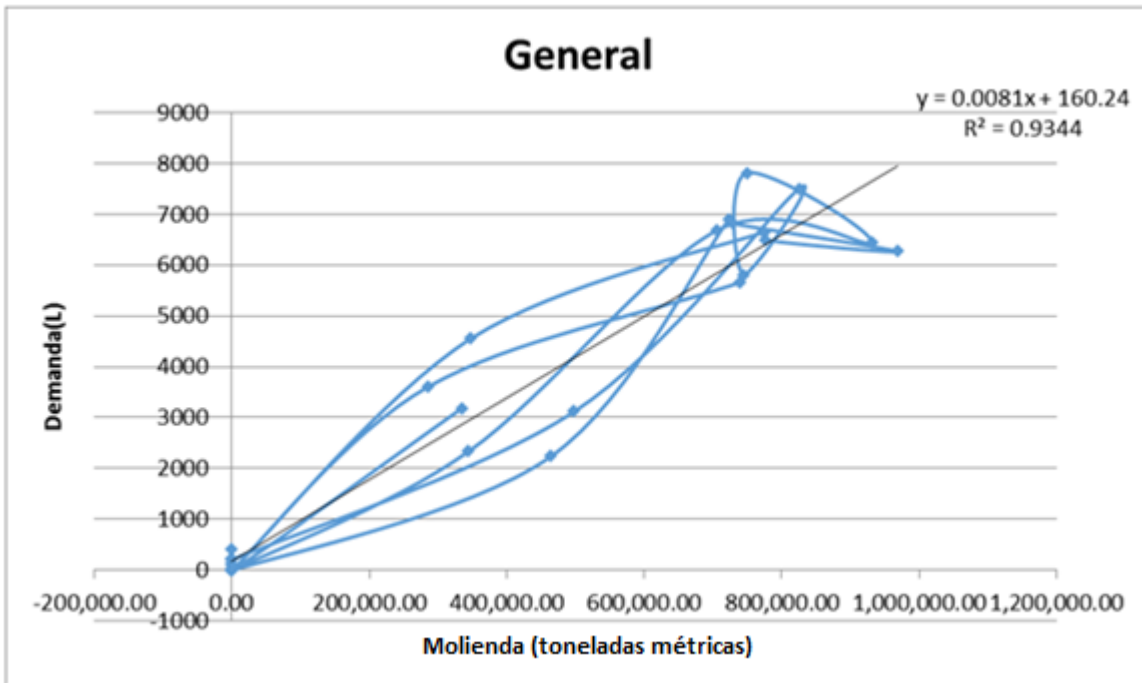
Gráfica No.170 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material I



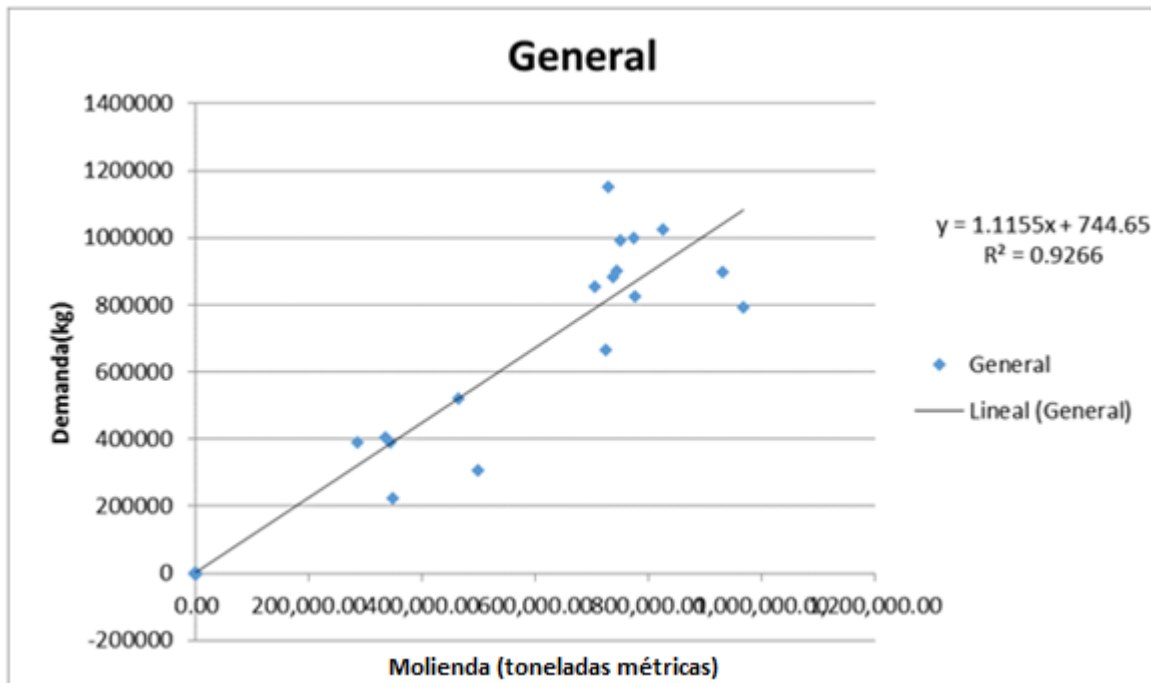
Gráfica No. 171 Resultado del pronóstico de correlación y regresión para material J



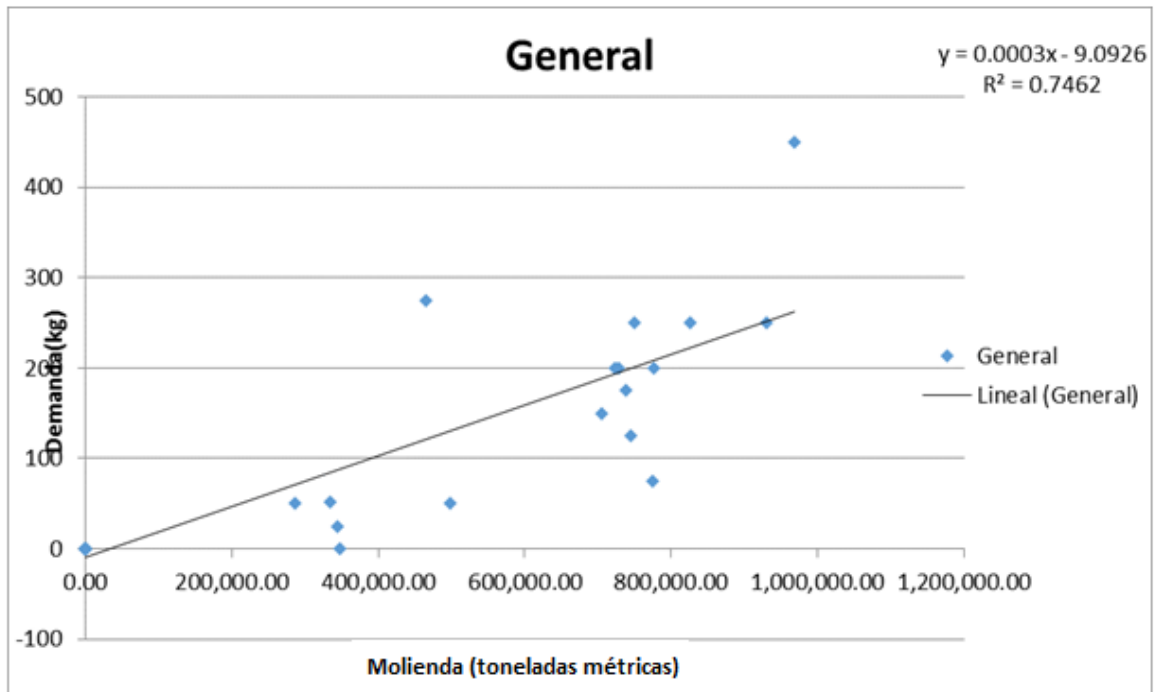
Gráfica No. 172 Resultado del pronóstico de correlación y regresión (demanda-caña molida) para material A



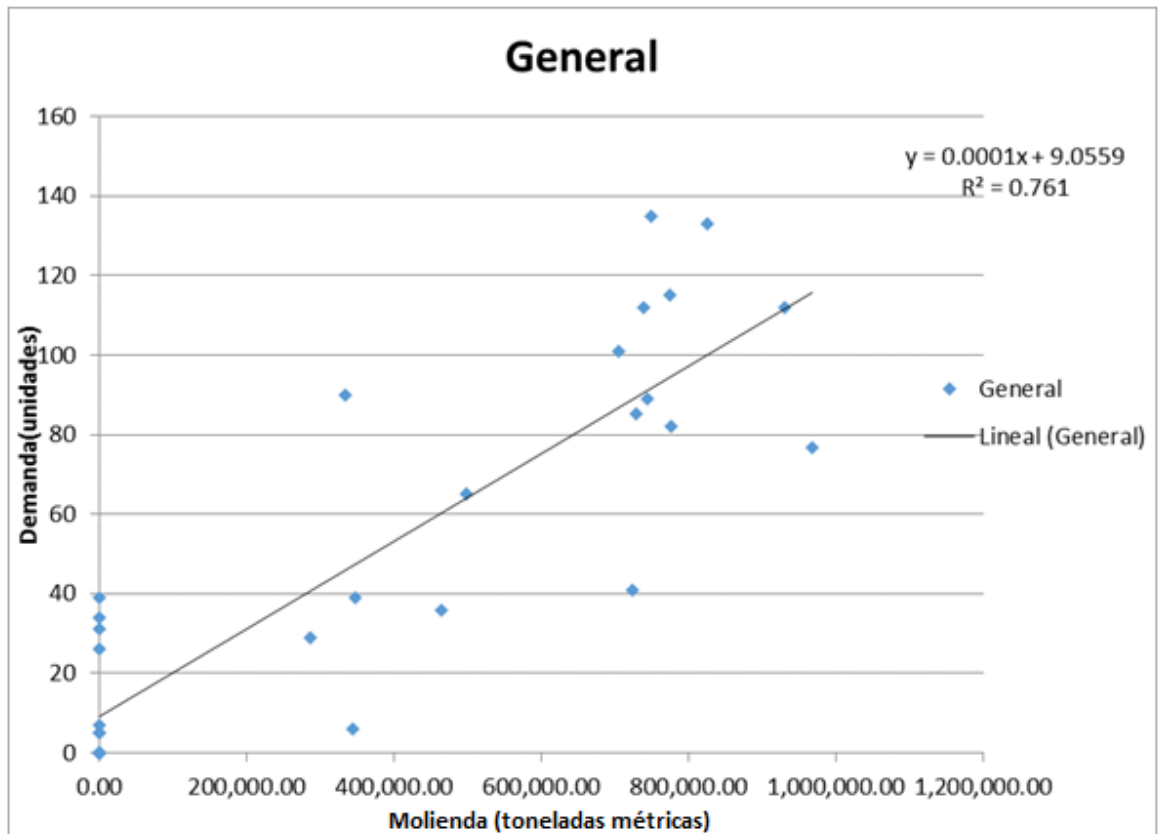
Gráfica No. 173 Resultado del pronóstico de correlación y regresión (demanda-caña molida) para material B



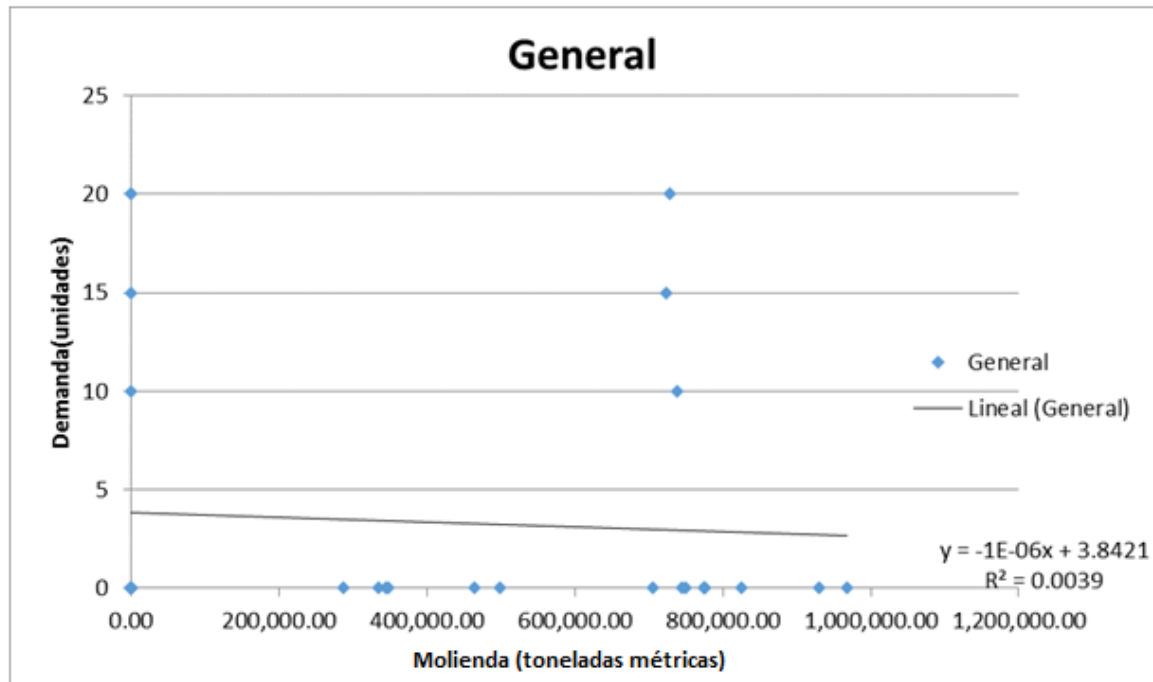
Gráfica No. 174 Resultado del pronóstico de correlación y regresión (demanda-caña molida) para material C



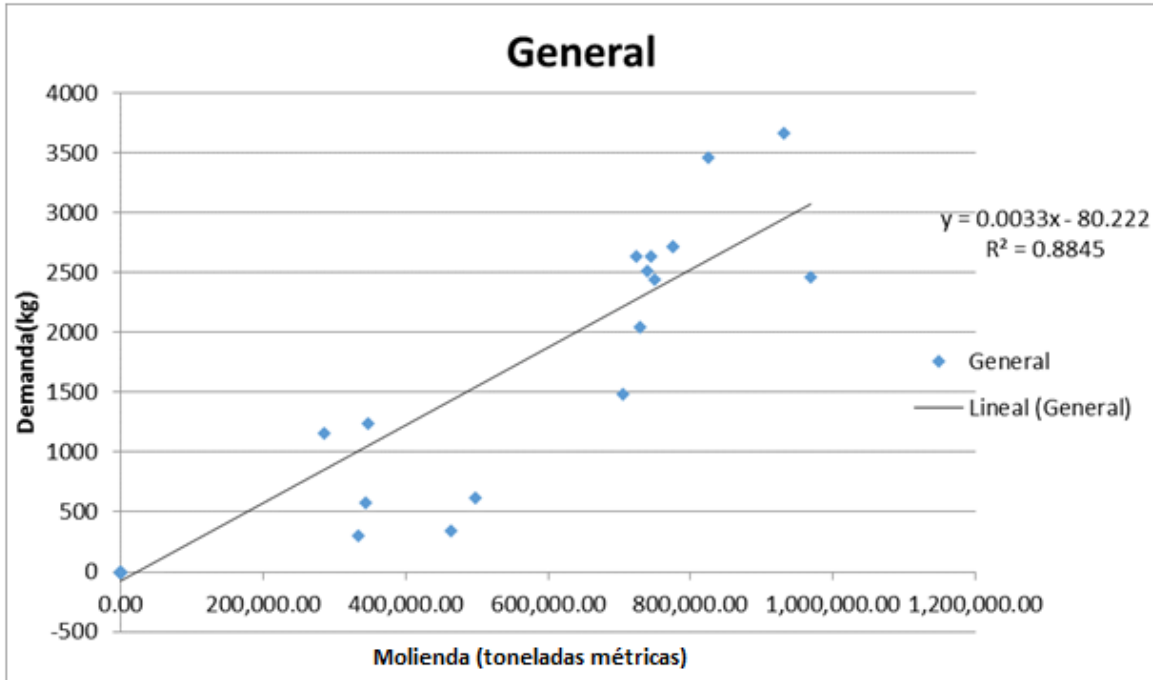
Gráfica No. 175 Resultado del pronóstico de correlación y regresión (demanda-caña molida) para material E



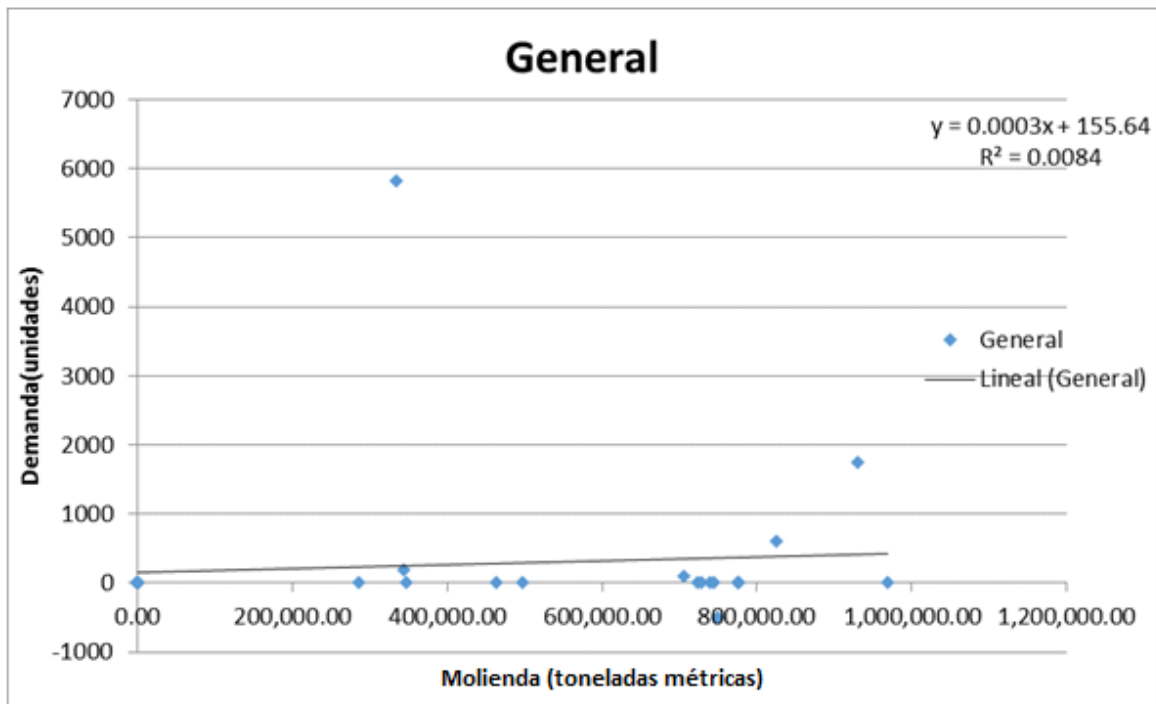
Gráfica No. 176 Resultado del pronóstico de correlación y regresión (demanda-caña molida) para material F



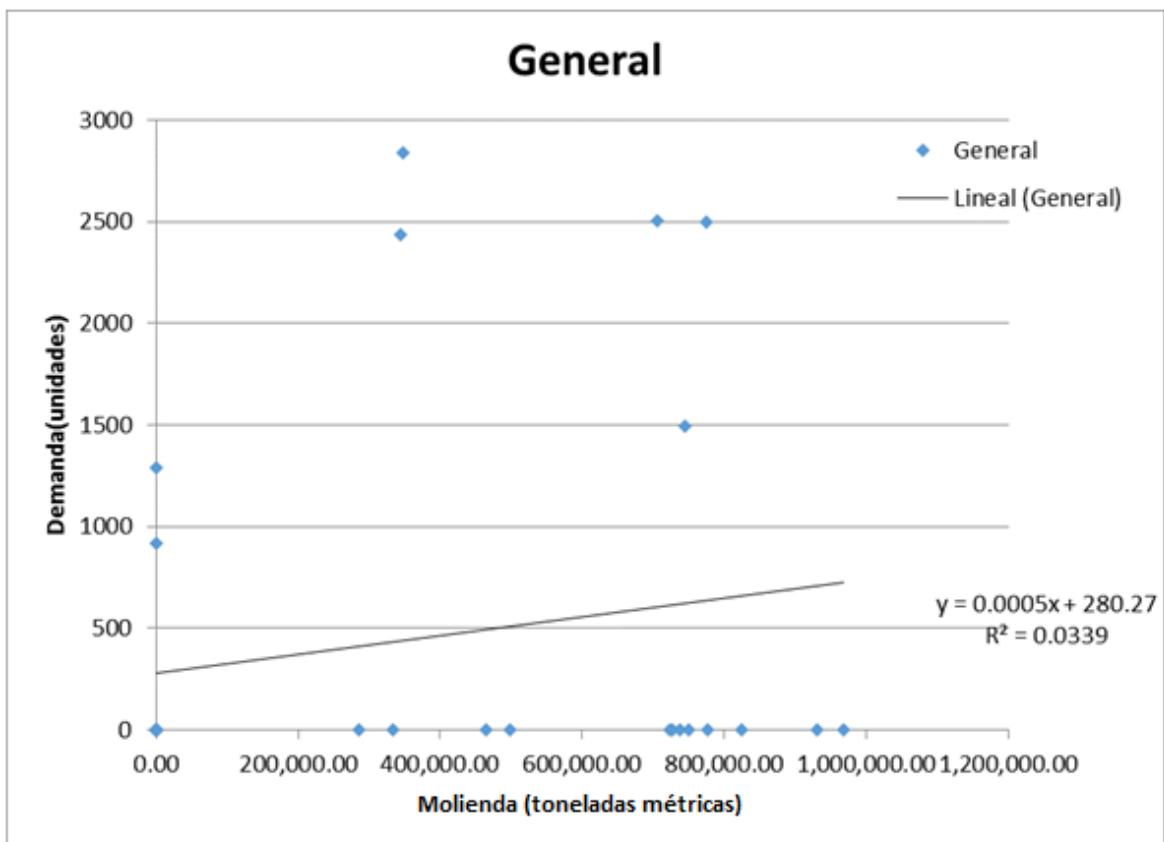
Gráfica No. 177 Resultado del pronóstico de correlación y regresión (demanda-caña molida) para material D



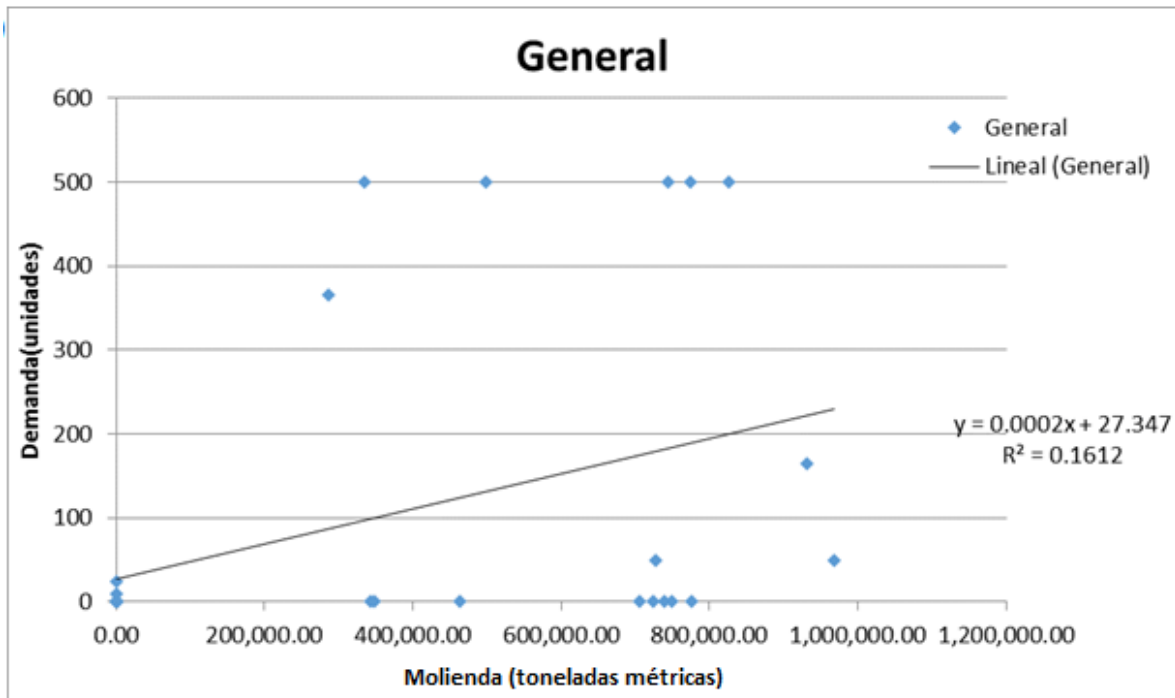
Gráfica no. 178 Resultado del pronóstico de correlación y regresión (demanda-caña molida) para material G



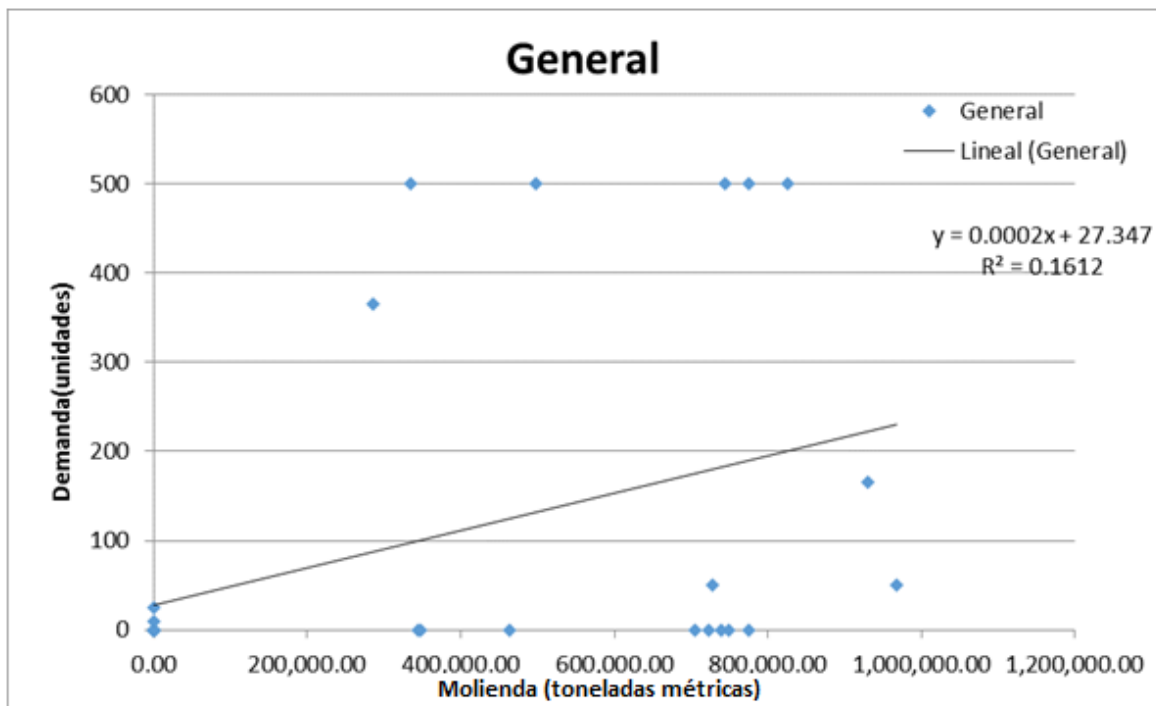
Gráfica No. 179 Resultado del pronóstico de correlación y regresión (demanda-caña molida) para material H



Gráfica No. 180 Resultado del pronóstico de correlación y regresión (demanda-caña molida) para material I



Gráfica No 181 Resultado del pronóstico de correlación y regresión (demanda-caña molida) para material J



d. Producción de energía

1) Modelo de distribución de frecuencias

Cuadro No. 36 Resultados pronóstico distribución de frecuencia para insumos A, B, C, D, E y F

Insumo	Época general de zafra			Época general de mantenimiento		
	Pronóstico máximo	Pronóstico punto medio	Pronóstico mínimo	Máximo	Medio	Mínimo
A	1	1	1	1	1	1
B	1	1	1	1	1	1
C	1	1	1	1	1	1
D	1	1	1	1	1	1
E	1	1	1	1	0	1
F	1424	0	712	1131	0	566

Gráfico No. 182 Resultado pronóstico distribución de frecuencia para época general de zafra para insumo F

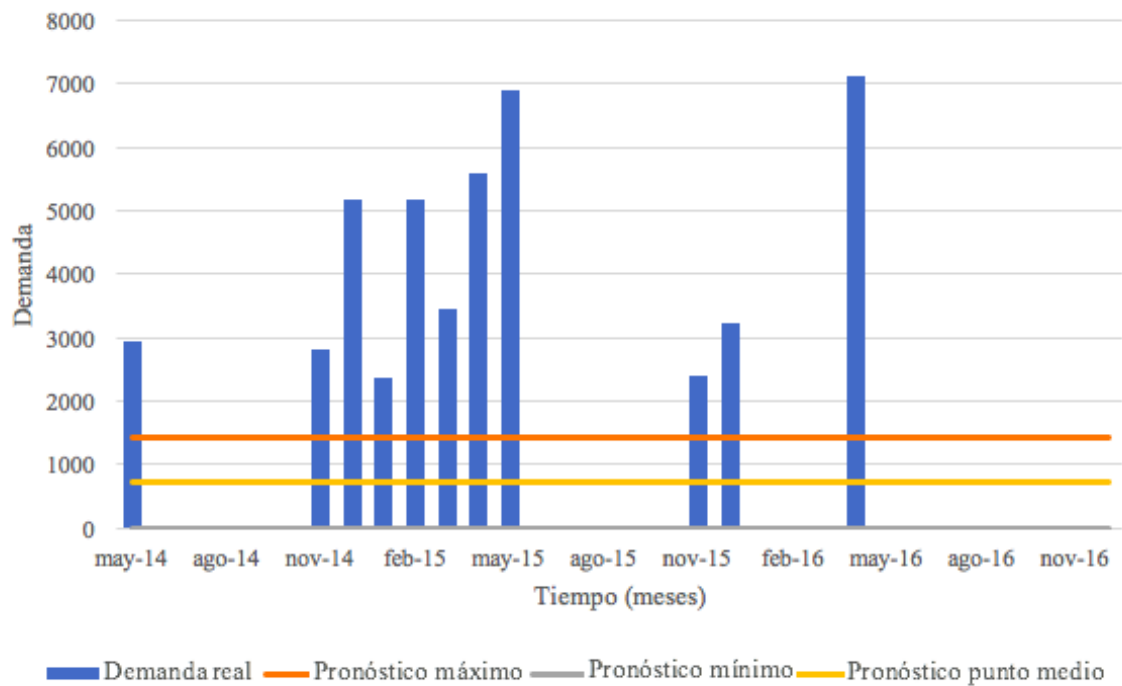
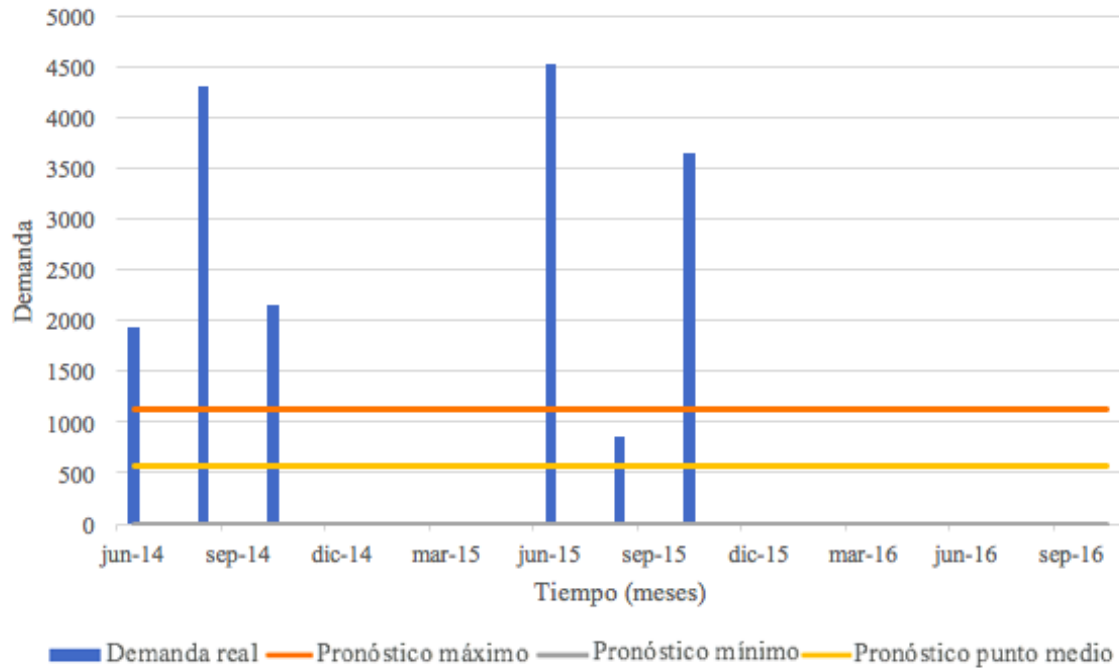


Gráfico No. 183 Resultado pronóstico distribución de frecuencia para época general de mantenimiento para insumo F



2) Modelo de media móvil

Gráfico No. 184 Resultado pronóstico media móvil para insumo A

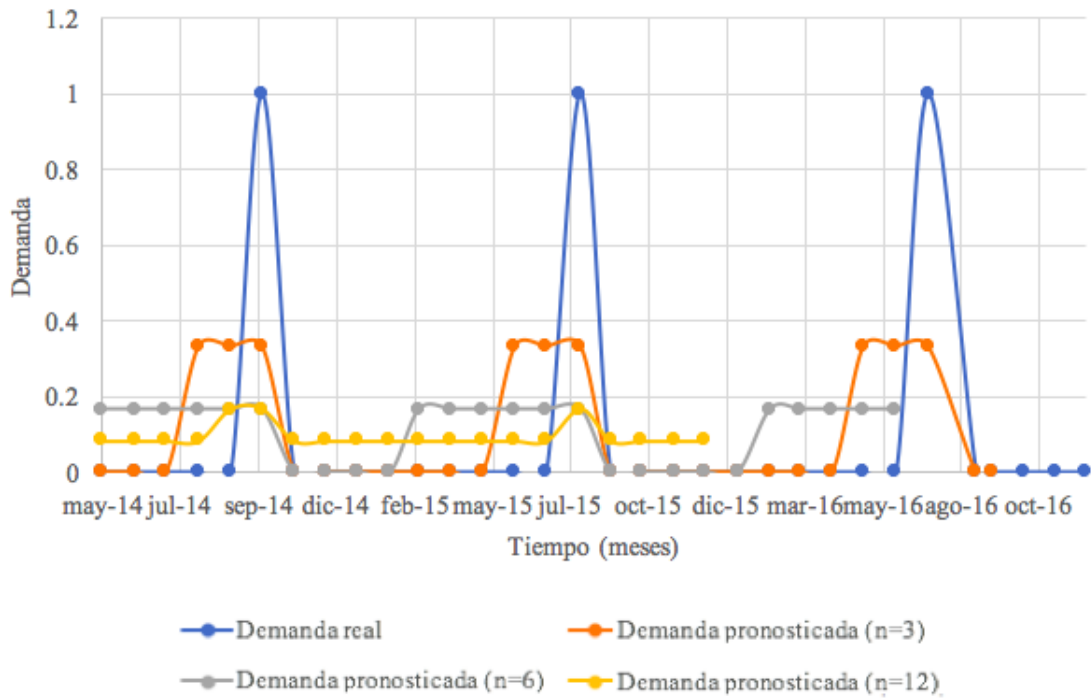


Gráfico No. 185 Resultado pronóstico media móvil para insumo B

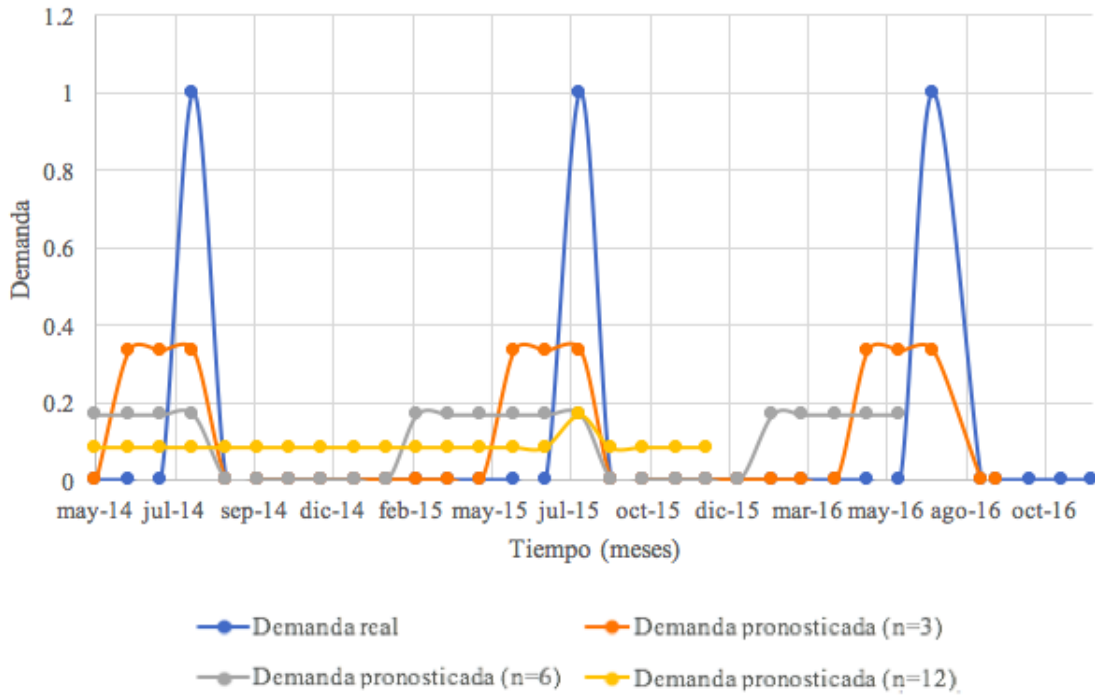


Gráfico No. 186 Resultado pronóstico media móvil para insumo C

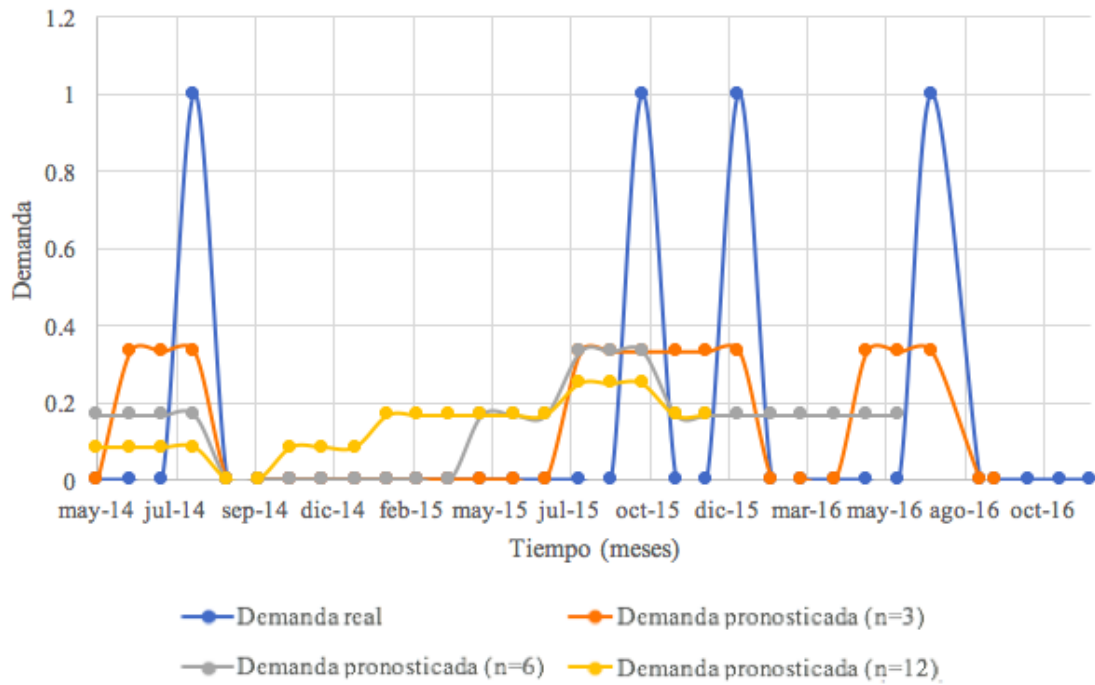


Gráfico No. 187 Resultado pronóstico media móvil para insumo D

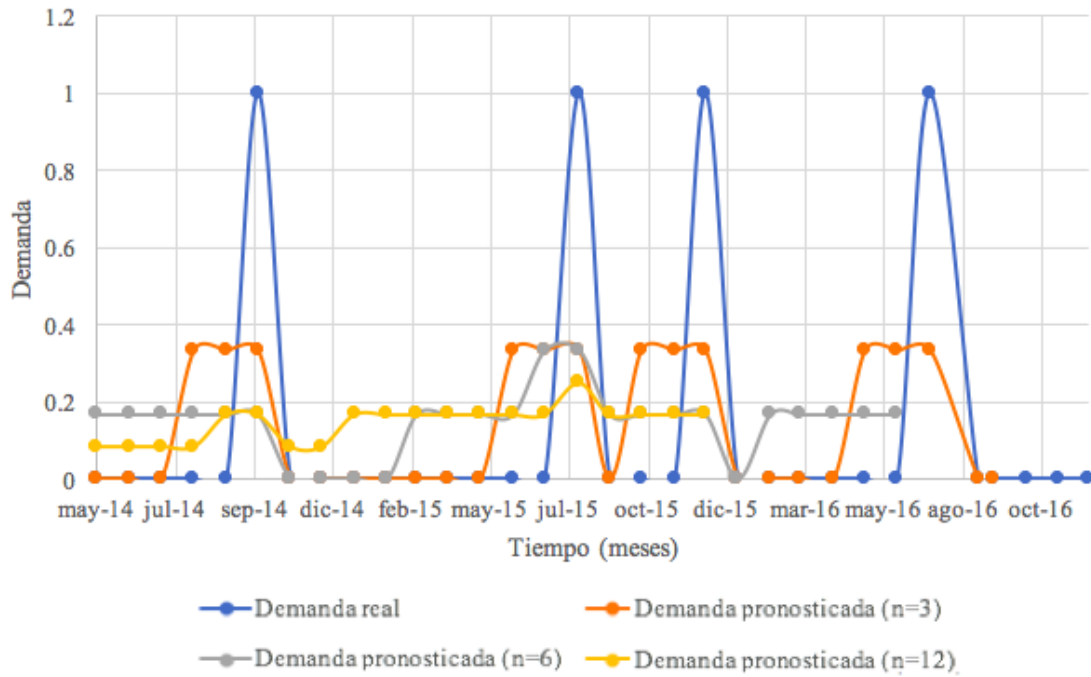


Gráfico No. 188 Resultado pronóstico media móvil para insumo E

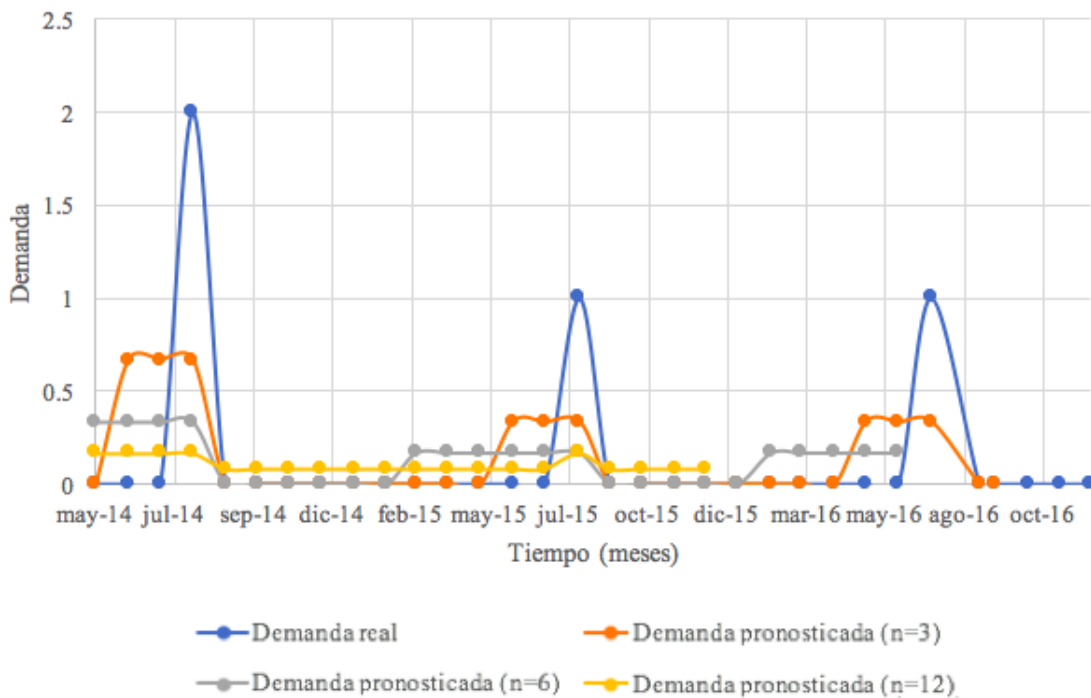
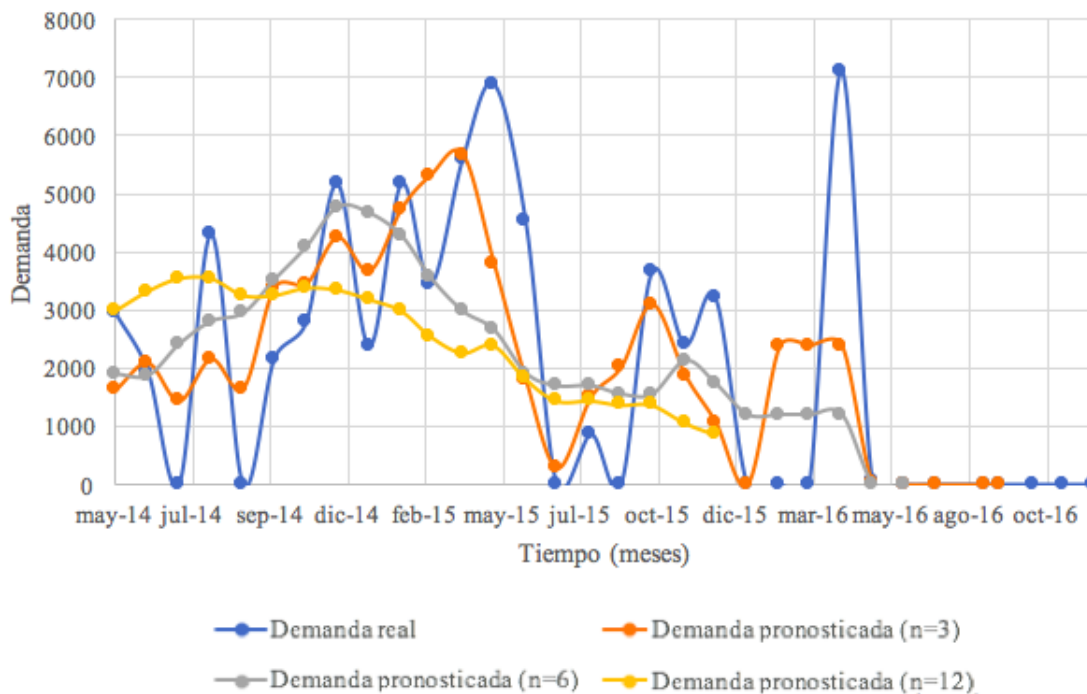


Gráfico No. 189 Resultado pronóstico media móvil para insumo F



3) Modelo de ajuste de curvas cuadrático

Cuadro No. 37 Resultados pronóstico ajuste de curvas para insumos A, B, C, D, E y F, siguiendo la ecuación $Y = a + bx + cx^2$

Insumo	Coficiente "a"	Coficiente "b"	Coficiente "c"	r ²
A	0.185	-6.33×10^{-7}	4.92×10^{-13}	0.101
B	0.185	-6.33×10^{-7}	4.92×10^{-13}	0.101
C	0.182	-5.54×10^{-7}	5.27×10^{-13}	0.033
D	0.182	-5.49×10^{-7}	5.20×10^{-13}	0.032
E	0.247	-8.44×10^{-7}	6.56×10^{-13}	0.088
F	1245.69	6.45×10^{-3}	-5.67×10^{-9}	0.122

4) Modelo de series cronológicas

Gráfico No. 190 Resultado pronóstico series cronológicas para insumo A

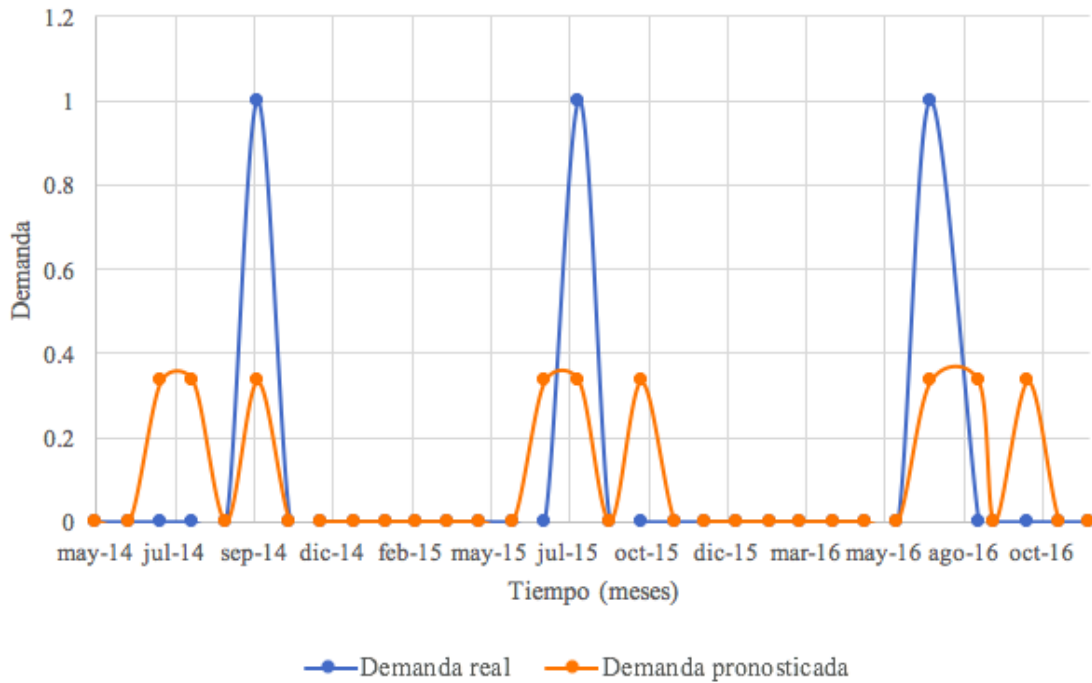


Gráfico No. 191 Resultado pronóstico series cronológicas para insumo B

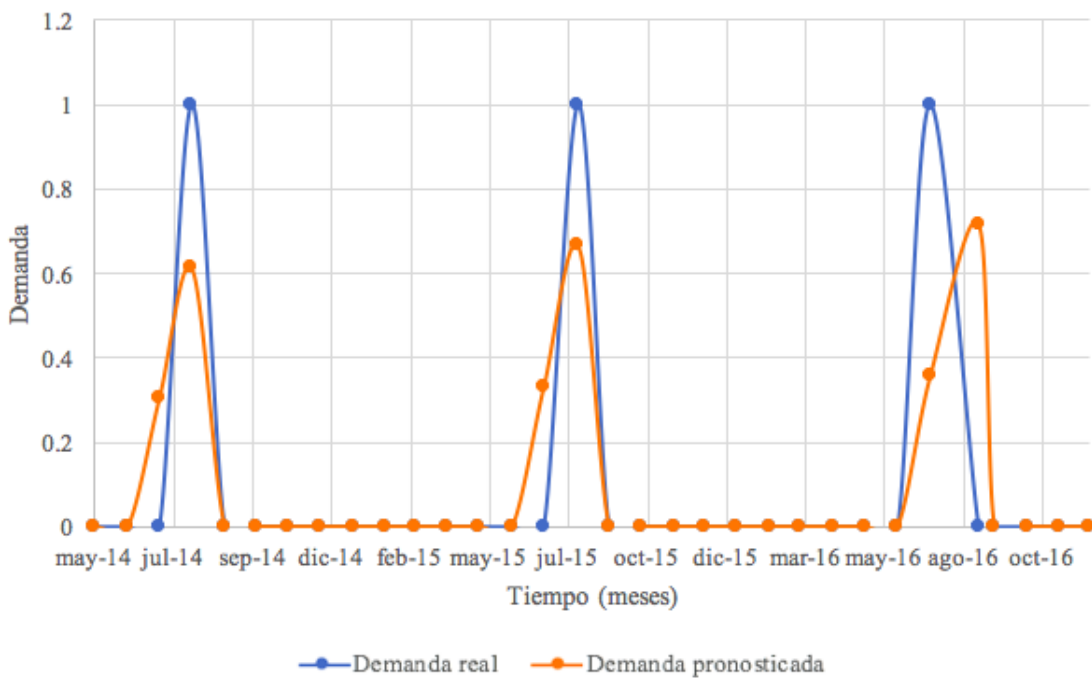


Gráfico No. 192 Resultado pronóstico series cronológicas para insumo C

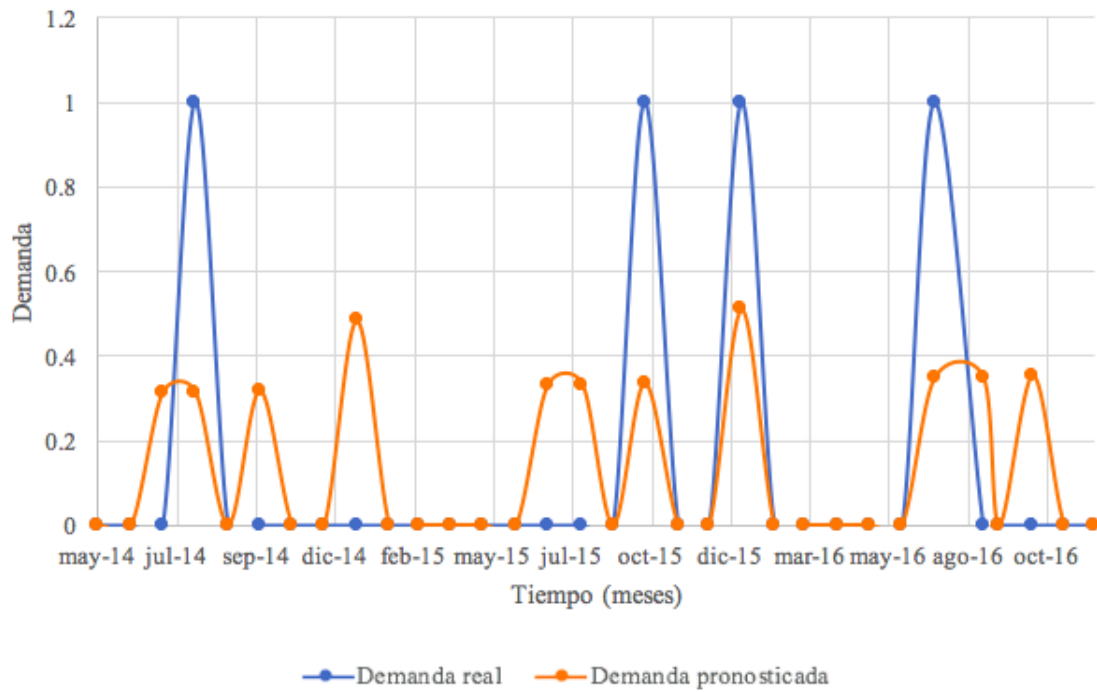


Gráfico No. 193 Resultado pronóstico series cronológicas para insumo D

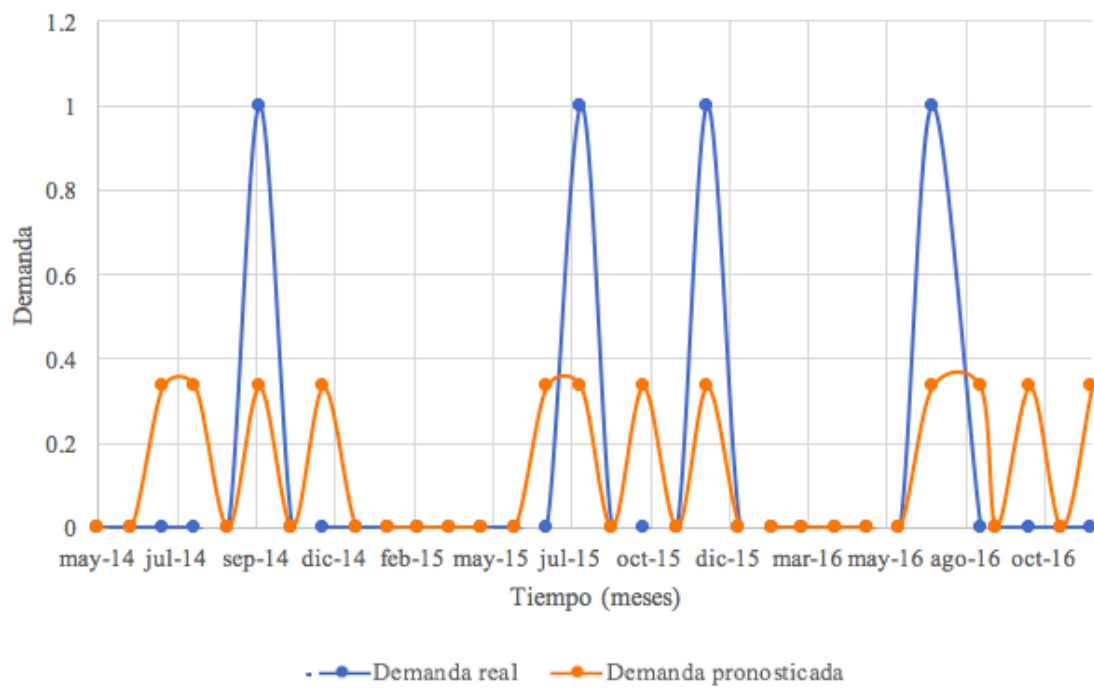


Gráfico No. 194 Resultado pronóstico series cronológicas para insumo E

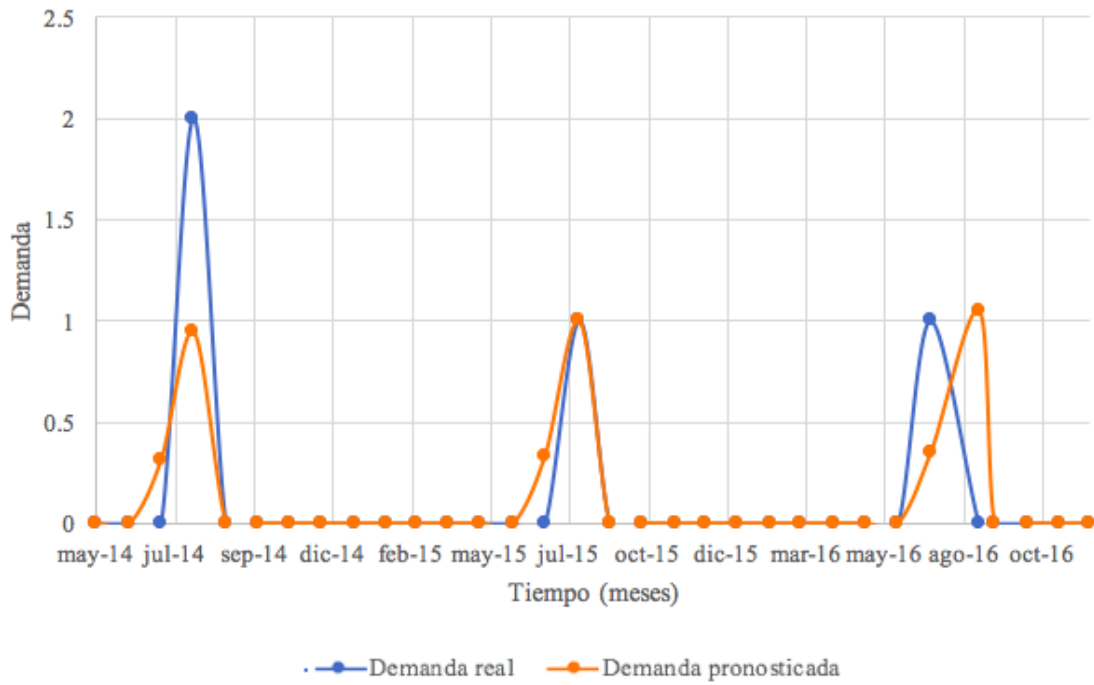
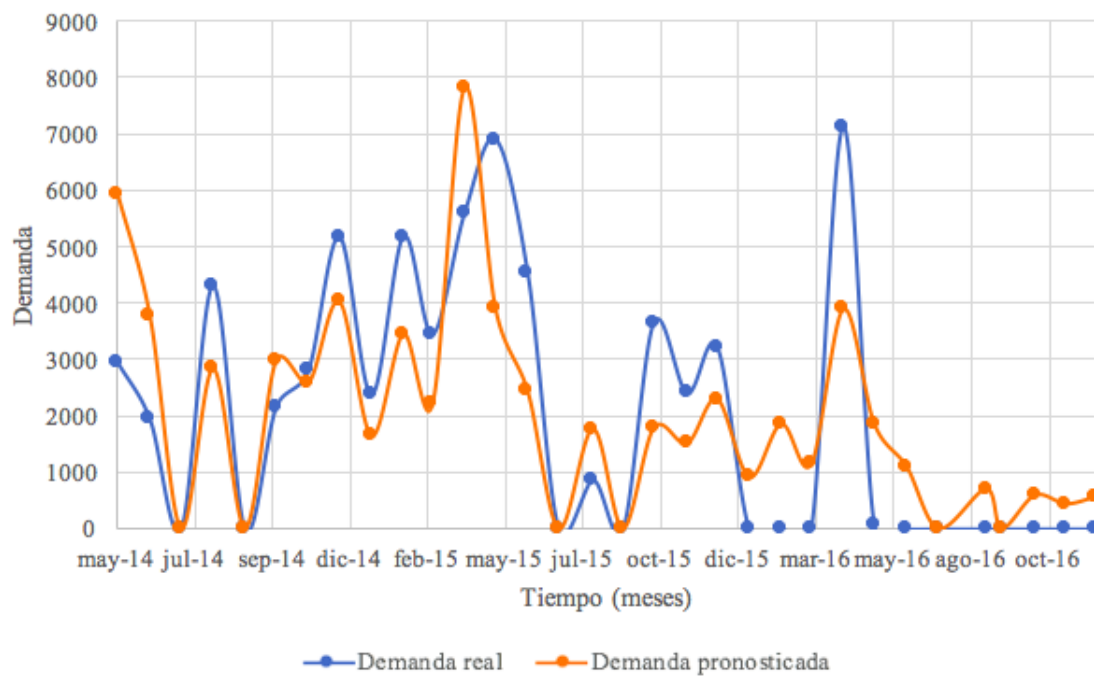


Gráfico No. 195 Resultado pronóstico series cronológicas para insumo F



i. Modelo de correlación y regresión final

Cuadro No. 38 Resultados pronóstico correlación y regresión por año para época de mantenimiento con base a tiempo para insumos A, B, C, D, E y F, siguiendo la ecuación $Y = a+bx$

Insumo	Coefficiente "a"	Coefficiente "b"	r ²
A	0.097	-1.83×10^{-4}	3.37×10^{-5}
B	0.108	-9.16×10^{-4}	8.43×10^{-4}
C	0.101	1.47×10^{-3}	1.68×10^{-3}
D	0.106	1.10×10^{-3}	9.34×10^{-4}
E	0.216	-5.50×10^{-3}	1.50×10^{-2}
F	3687.741	-1.01×10^2	1.70×10^{-1}

Cuadro No. 39 Resultados pronóstico correlación y regresión por mes para época de mantenimiento con base a tiempo para insumos A, B, C, D, E y F, siguiendo la ecuación $Y = a+bx$

Insumo	Coefficiente "a"	Coefficiente "b"	r ²
A	0.171	3.57×10^{-3}	1.49×10^{-3}
B	0.228	-3.57×10^{-3}	1.49×10^{-3}
C	0.171	3.57×10^{-3}	1.49×10^{-3}
D	0.171	3.57×10^{-3}	1.49×10^{-3}
E	0.438	-2.14×10^{-2}	2.61×10^{-2}
F	2401.426	-1.55×10^2	1.62×10^{-1}

e. Mantenimiento

1) Modelo de distribución de frecuencias

Cuadro No. 40 Pronósticos determinados para el área de mantenimiento utilizando distribución de frecuencias

Insumo	Zafra			Reparación		
	Máximo	Medio	Mínimo	Máximo	Medio	Mínimo
A	1	1	1	1	1	1
B	1	1	1	2	1	1
C	1	1	1	1	1	1
D	1	1	1	1	1	1
E	1	1	1	2	1	1

2) Modelo de media móvil

Gráfico No. 196 Resultado pronóstico para insumo A

Gráfico No. 197 Resultado pronóstico para insumo B

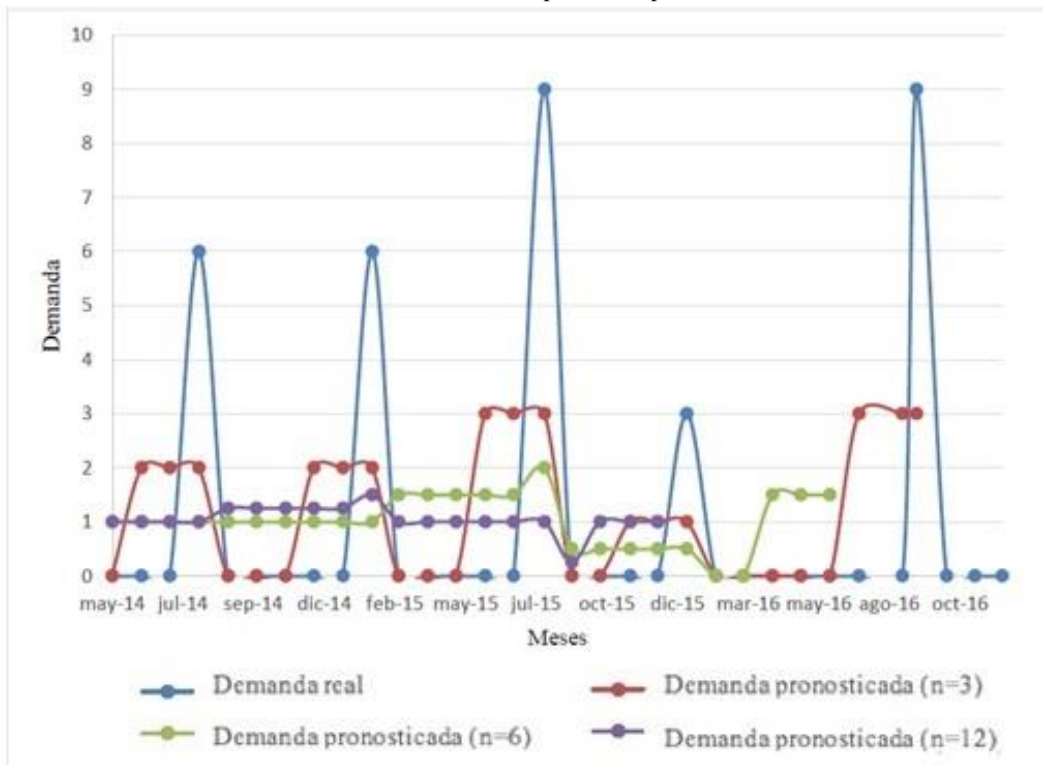


Gráfico No. 198 Resultado pronóstico para insumo C

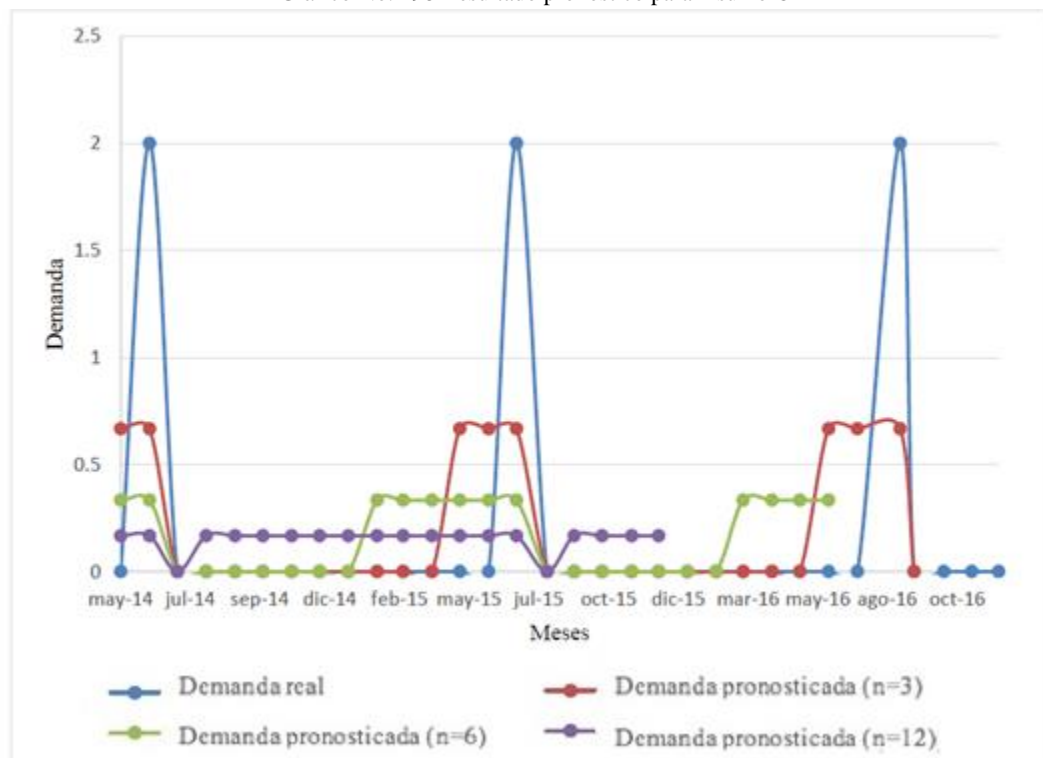


Gráfico No. 199 Resultado pronóstico para insumo D

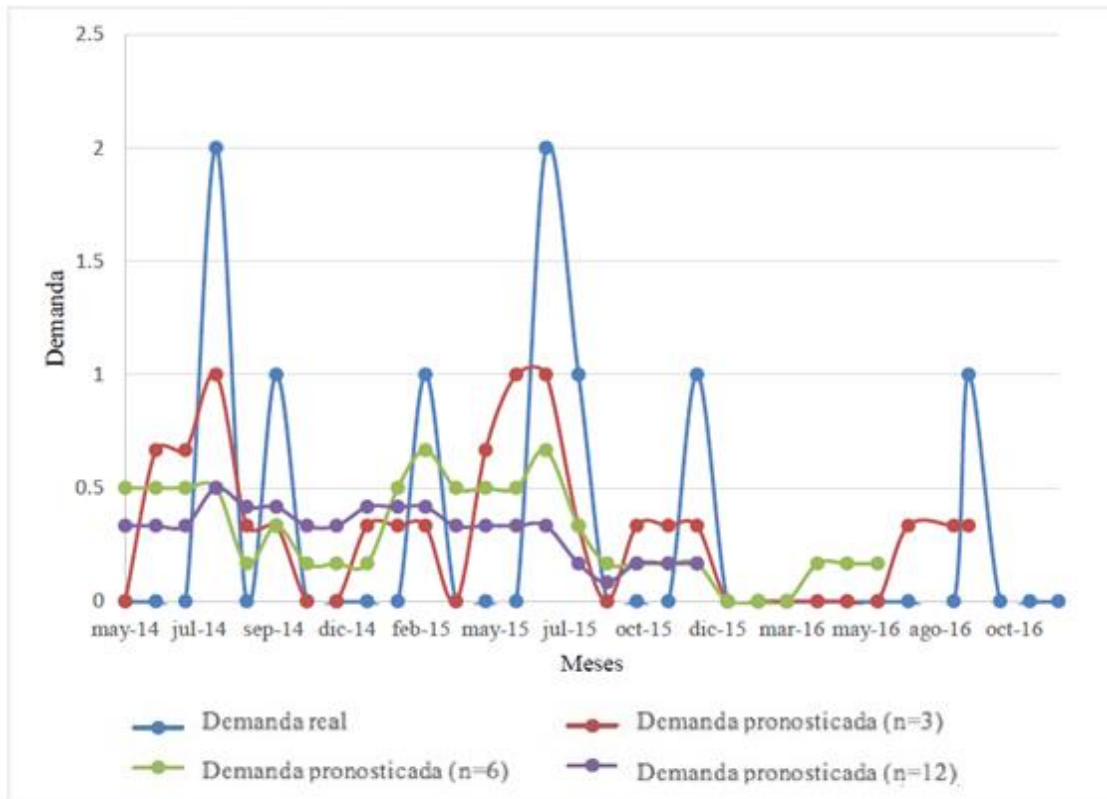
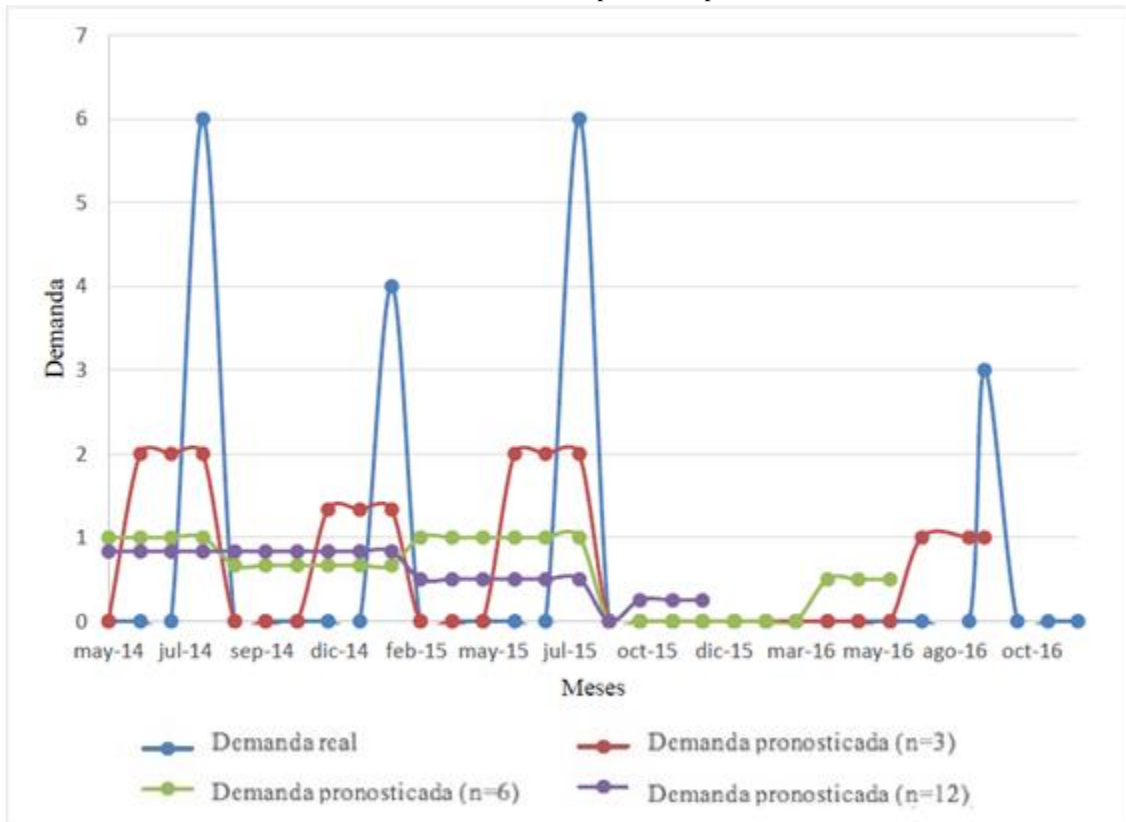


Gráfico No. 200 Resultado pronóstico para insumo E



i. Modelo de ajuste de curvas cuadrático

Gráfico No.201 Ajuste de curva polinomial para los insumos críticos del área de mantenimiento en relación a molienda de caña de azúcar

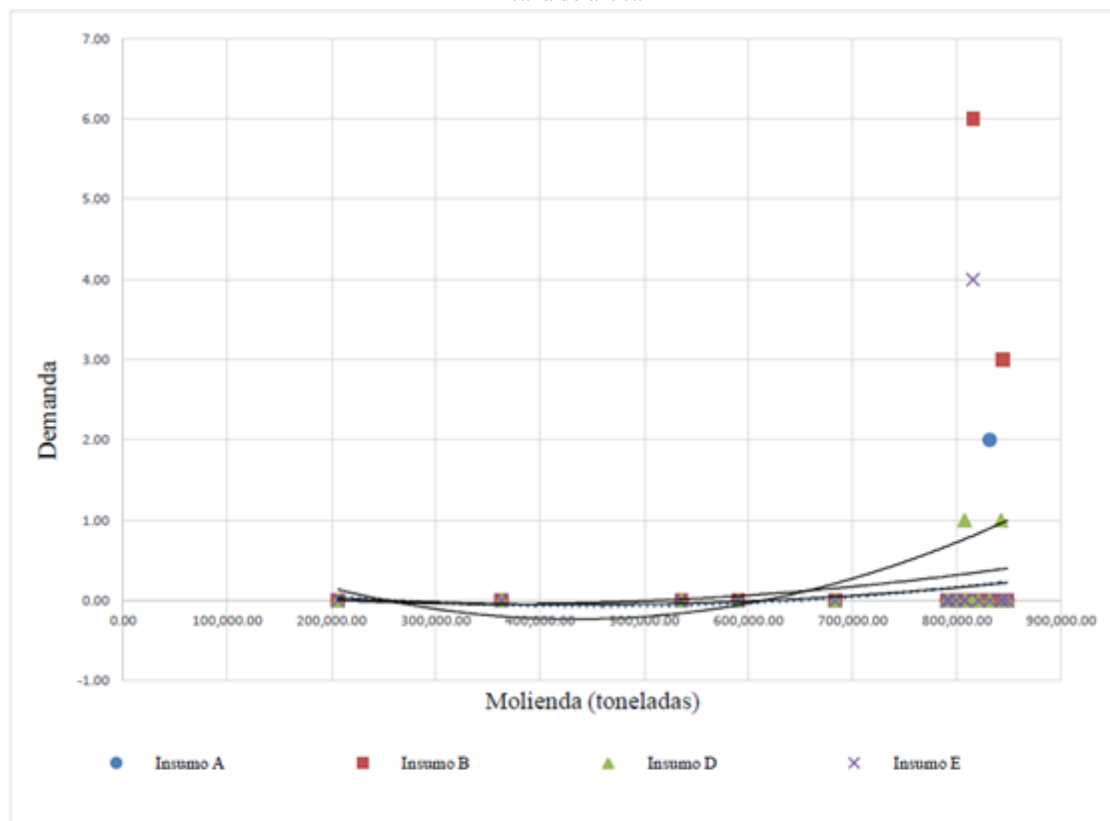
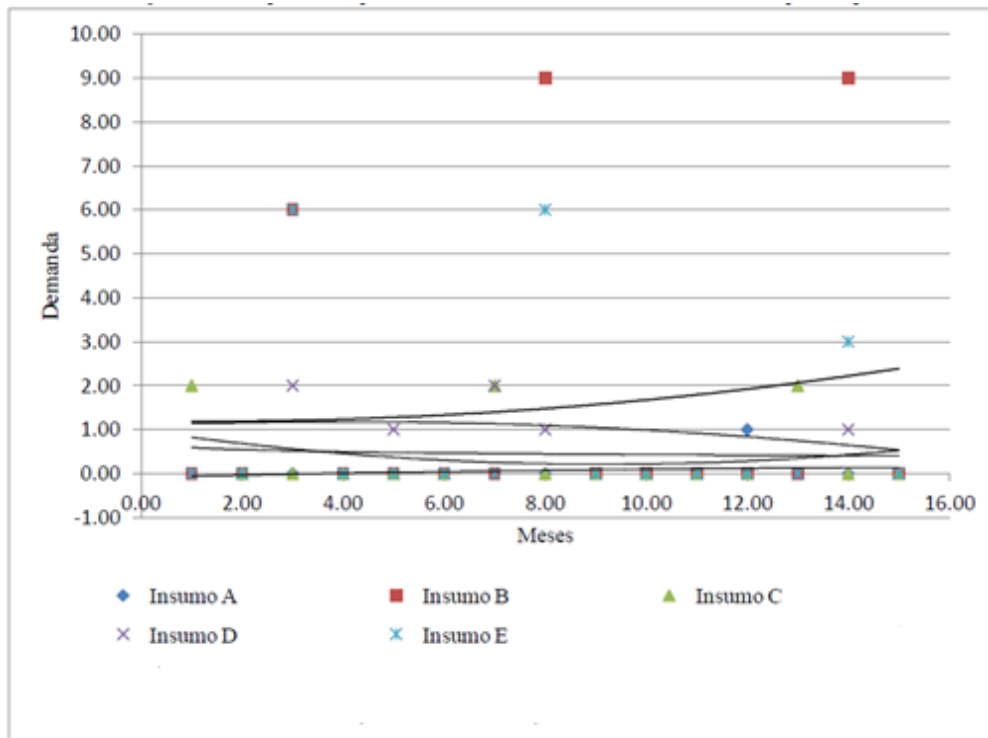
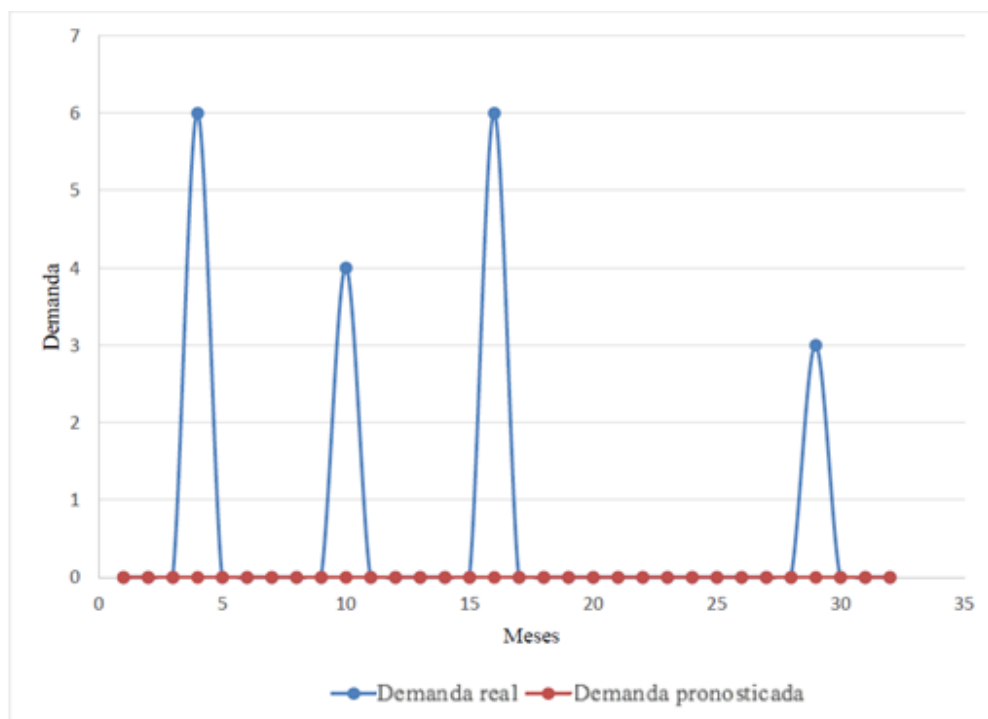


Gráfico No. 202 Ajuste de curva polinomial para los insumos críticos del área de mantenimiento por tiempo



3) Modelo de series cronológicas

Gráfico No. 203 Resultado al aplicar modelo de serie de tiempo a insumo A del área de mantenimiento



*Se tuvo el mismo comportamiento para los insumo B, C, D y E

4) Modelo de correlación y regresión final

Cuadro No. 41 Resultados de coeficiente de correlación y regresión por año obtenido para los artículos priorizados en el modelo de correlación y regresión, utilizando datos de molienda.

Insumo	Coficiente "a"	Coficiente "b"	Coficiente "r"	r ²
A	-2.0980	1.525E-06	0.8308	0.6902
B	0.0480	7.918E-07	0.1382	0.0191
C*	-	-	-	-
D	-1.0534	8.5674E-07	0.7231	0.5229
E	-0.3834	6.109E-07	0.1664	0.0277

Cuadro No. 42 Resultados de coeficiente de correlación y regresión por mes obtenido para los artículos priorizados en el modelo de correlación y regresión, utilizando datos de molienda.

Insumo	Coficiente "a"	Coficiente "b"	Coficiente "r"	r ²
A	-0.1913	4.801E-07	0.2154	0.0464
B	-0.3499	1.366E-06	0.1875	0.0352
C*	-	-	-	-
D	-0.2375	5.519E-07	0.3617	0.1308
E	-0.1258	5.611E-07	0.1259	0.0158

*El insumo C, no tuvo demanda en los meses de zafra

Cuadro No. 43 Resultados de coeficiente de correlación y regresión obtenido para mantenimiento por mes para artículos priorizados, utilizando el modelo de correlación y regresión por tiempo.

Insumo	Coficiente "a"	Coficiente "b"	Coficiente "r"	r ²
A	-0.0476	0.0143	0.2474	0.0612
B	0.9142	0.0857	0.1135	0.0129
C	0.5714	-0.0214	-0.1157	0.0134
D	0.7238	-0.0321	-0.1934	0.0374
E	1.3429	-0.0428	-0.0883	0.0078

Cuadro No. 44 Resultados de coeficiente de correlación y regresión obtenido para mantenimiento por año para artículos priorizados, utilizando el modelo de correlación y regresión por tiempo.

Insumo	Coficiente "a"	Coficiente "b"	Coficiente "r"	r ²
A	-0.6667	0.5	0.8660	0.75
B	5	1.5	0.8660	0.75
C**	-	-	-	-
D	4.3333	-1	-0.8660	0.75
E	8	1.5	-0.8660	0.75

**El insumo C no tuvo resultados utilizando un período de Mantenimiento anual

5) Modelo de Suavizamiento exponencial

Gráfico No. 204 Resultado de pronóstico para insumo crítico A, utilizando suavización exponencial

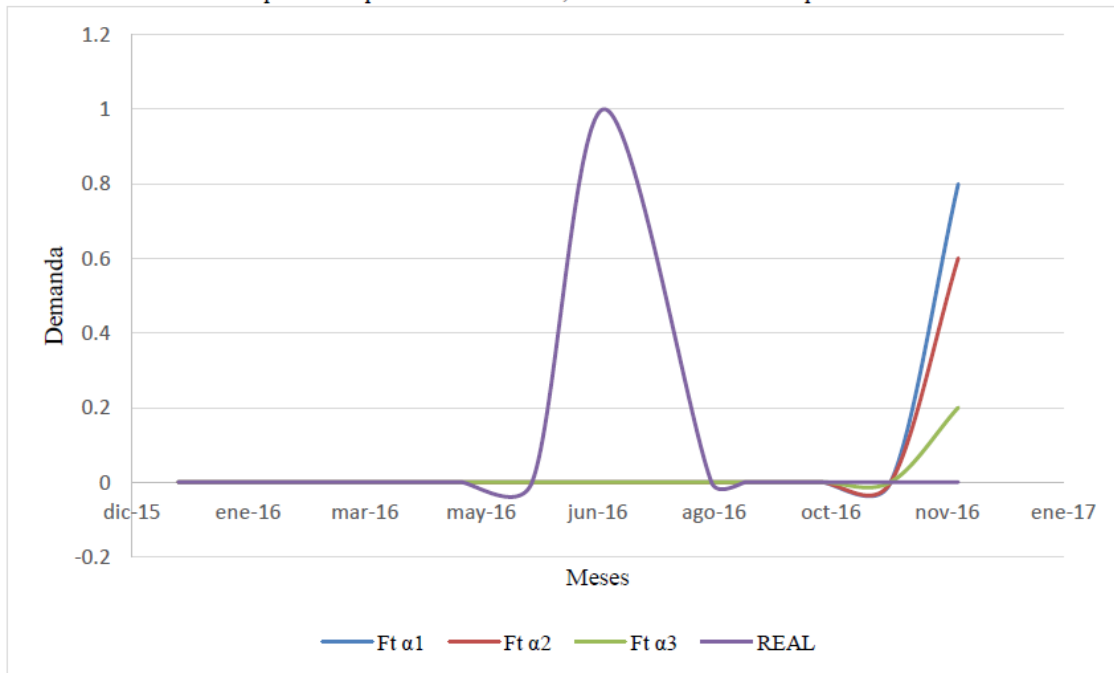


Gráfico No. 205 Resultado de pronóstico para insumo crítico B, utilizando suavización exponencial

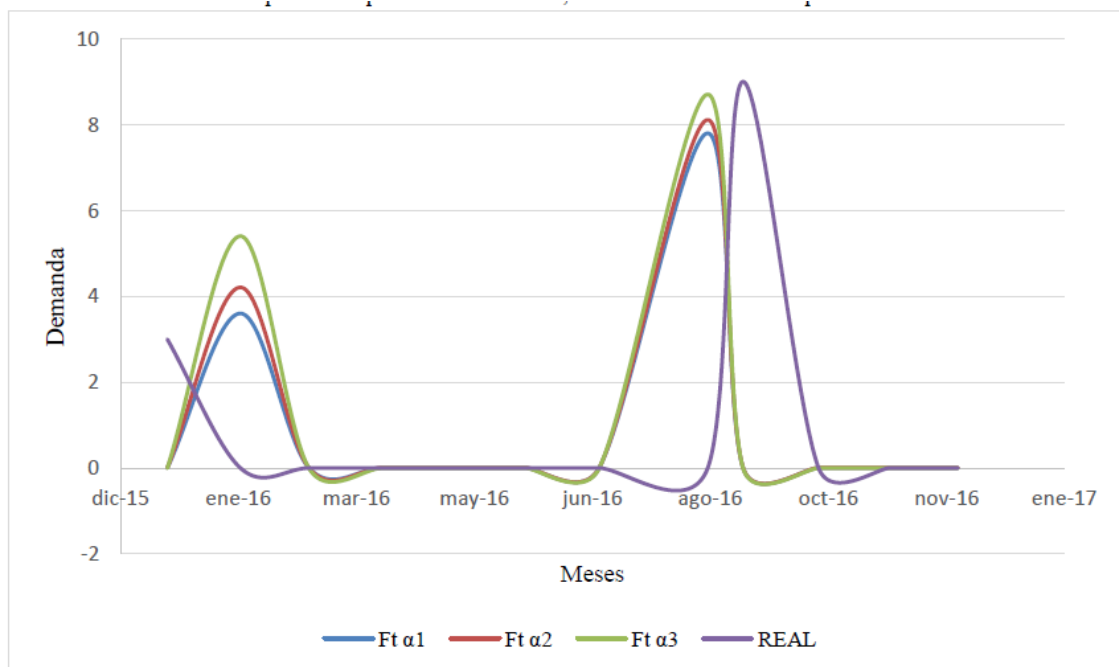


Gráfico No. 206 Resultado de pronóstico para insumo crítico C, utilizando suavización exponencial

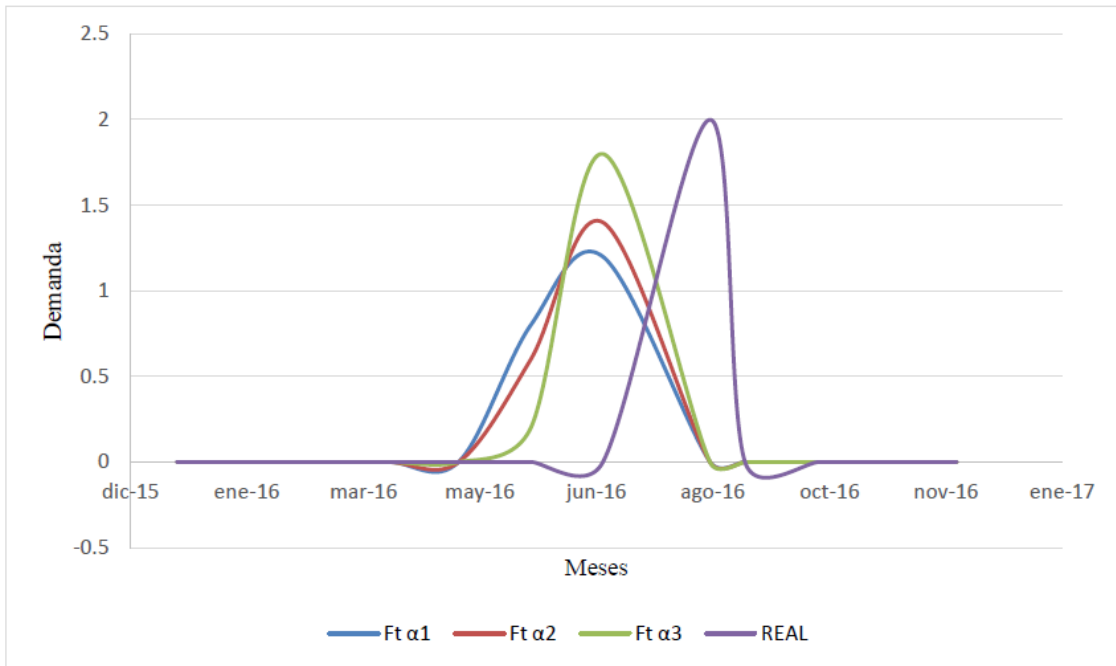


Gráfico No. 207 Resultado de pronóstico para insumo crítico D, utilizando suavización exponencial

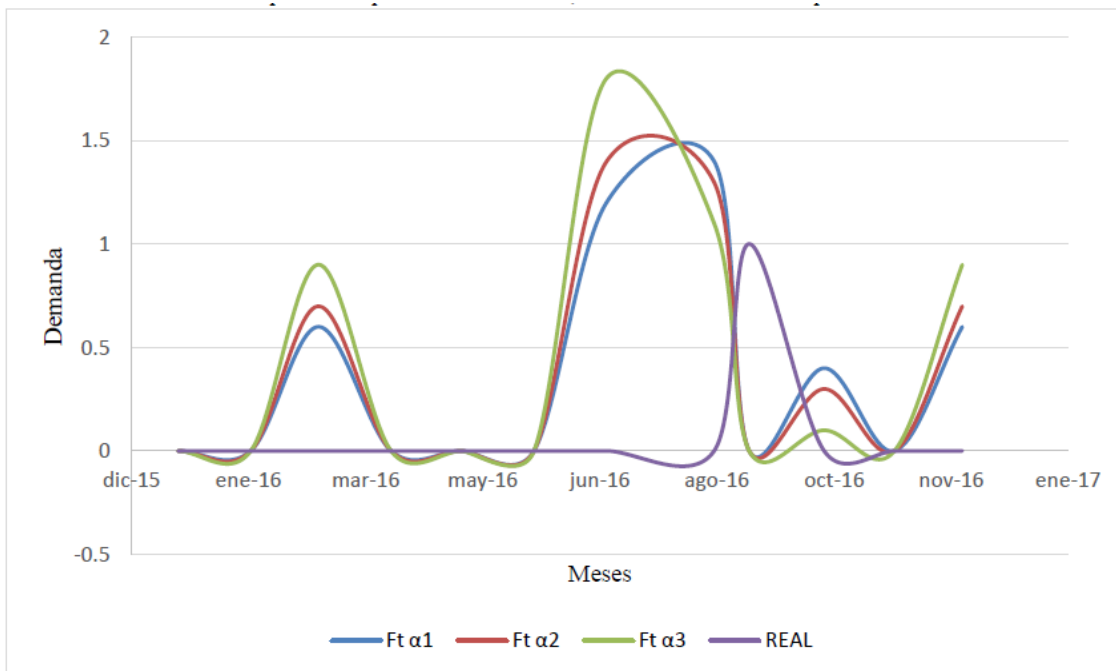
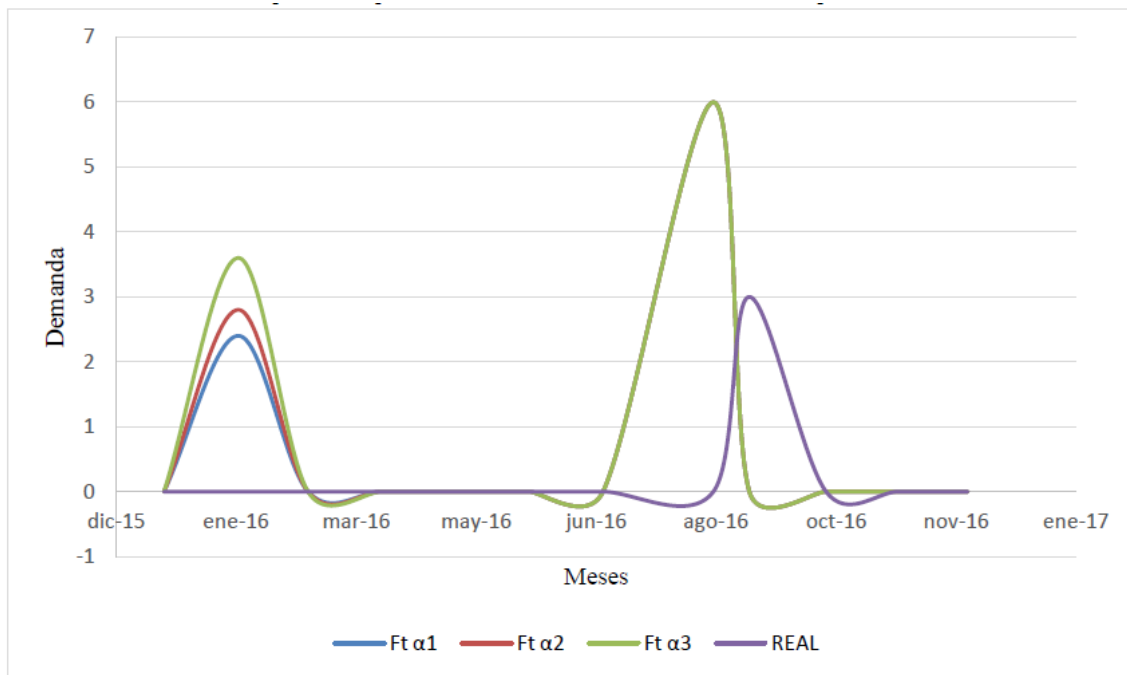


Gráfico No. 208 Resultado de pronóstico para insumo crítico E, utilizando suavización exponencial



D. Análisis de error

Cálculo 22. Determinación de la desviación absoluta media (MAD): El cálculo se realizó para el insumo F con base a agosto de 2014. Se utilizó la Ecuación No. 1:

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n}$$

Donde:

t= Número de período

A=Demanda real para el período

F= Demanda pronosticada para el período

n= Número de períodos

$$MAD = \frac{4818.08 + (4310.40 - 2873.57)}{4} = 1258.38$$

Cálculo 23. Determinación del error cuadrático medio (MSE): El cálculo se realizó para el insumo F con base a agosto de 2014. Se utilizó la Ecuación No. 3:

$$MSE = \frac{\sum(\text{Erroresdepronóstico})^2}{n}$$

Donde:

n= Número de períodos

$$MSE = \frac{(4310.40 - 2873.57)^2}{4} = 543046.12$$

Cálculo 24. Determinación del error porcentual absoluta medio (MAPE): El cálculo se realizó para el insumo F con base a agosto de 2014. Se utilizó la Ecuación No. 3:

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n 100 * |Real_i - Pronóstico_i| / Real_i}{n}$$

Donde:

n= Número de períodos

$$MAPE = \frac{100 * (4310.40 - 2873.57)/4310.40}{4} = 8.5\%$$

E. Sistema colaborativo de flujo de información

Anexo 1. Datos obtenidos para el análisis y evaluación de métodos de pronóstico de demanda

Cuadro No. 45 Cantidad de solicitudes realizadas por área de fabricación

Área de fabricación	Cantidad de solicitudes analizadas
Extracción de jugo	3650
Producción de energía	2732
Tratamiento de jugo	1425
Recuperación de azúcar	1024
Mantenimiento	2426

Anexo 2. Información obtenida para la realización de pronósticos

Cuadro No. 46 Porcentaje de las solicitudes analizadas con los datos requeridos

Datos Requeridos	Porcentaje de solicitudes con los datos dividido por área					
	Extracción de Jugo	Producción de Energía	Tratamiento de Jugo	Recuperación de Azúcar	Mantenimiento	PROMEDIO
No. Requerimiento	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Código SAP	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Descripción de Material	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Cantidad Total	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	71.00%	94.20%
Unidad de Medida	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	64.00%	92.80%
No. de solicitud	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	95.00%	99.00%
Época del año	100.00%	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	60.00%
Área que lo solicita	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Solicitante	100.00%	100.00%	100.00%	99.84%	99.90%	99.95%
Fecha de Solicitud	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	98.10%	99.62%
Fecha de utilización	25.68%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	5.14%
Existencias en Bodega	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Proveedor Recomendado	55.70%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	11.14%
Rango de costo del material solicitado	98.44%	100.00%	49.90%	100.00%	65.40%	82.75%
No. Pedido	74.60%	100.00%	100.00%	0.00%	97.30%	74.38%
Local / Exterior	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	99.80%	19.96%
Proveedor	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	94.90%	38.98%
Fecha de compra	0.00%	93.93%	95.93%	0.00%	0.00%	37.97%
Fecha de recepción	28.65%	100.00%	100.00%	100.00%	0.00%	65.73%
Cantidad recibida	0.00%	100.00%	100.00%	0.00%	0.00%	40.00%
Fecha de despacho	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Cantidad despachada	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Uso	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	78.40%	35.68%
Descripción	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	30.00%	26.00%
Tiempo entre Solicitud → Compra	0.00%	100.00%	100.00%	0.00%	0.00%	40.00%
Tiempo entre Compra → Recepción en bodega	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	20.00%
Tiempo entre Recepción en bodega → Despacho	0.00%	100.00%	100.00%	0.00%	0.00%	40.00%
LEAD TIME	42.52%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	88.50%
PROMEDIO	50.91%	60.50%	62.35%	53.57%	53.35%	56.14%

*Detalles de las solicitudes analizadas y la descripción de los requerimientos en Anexo 1, página 30

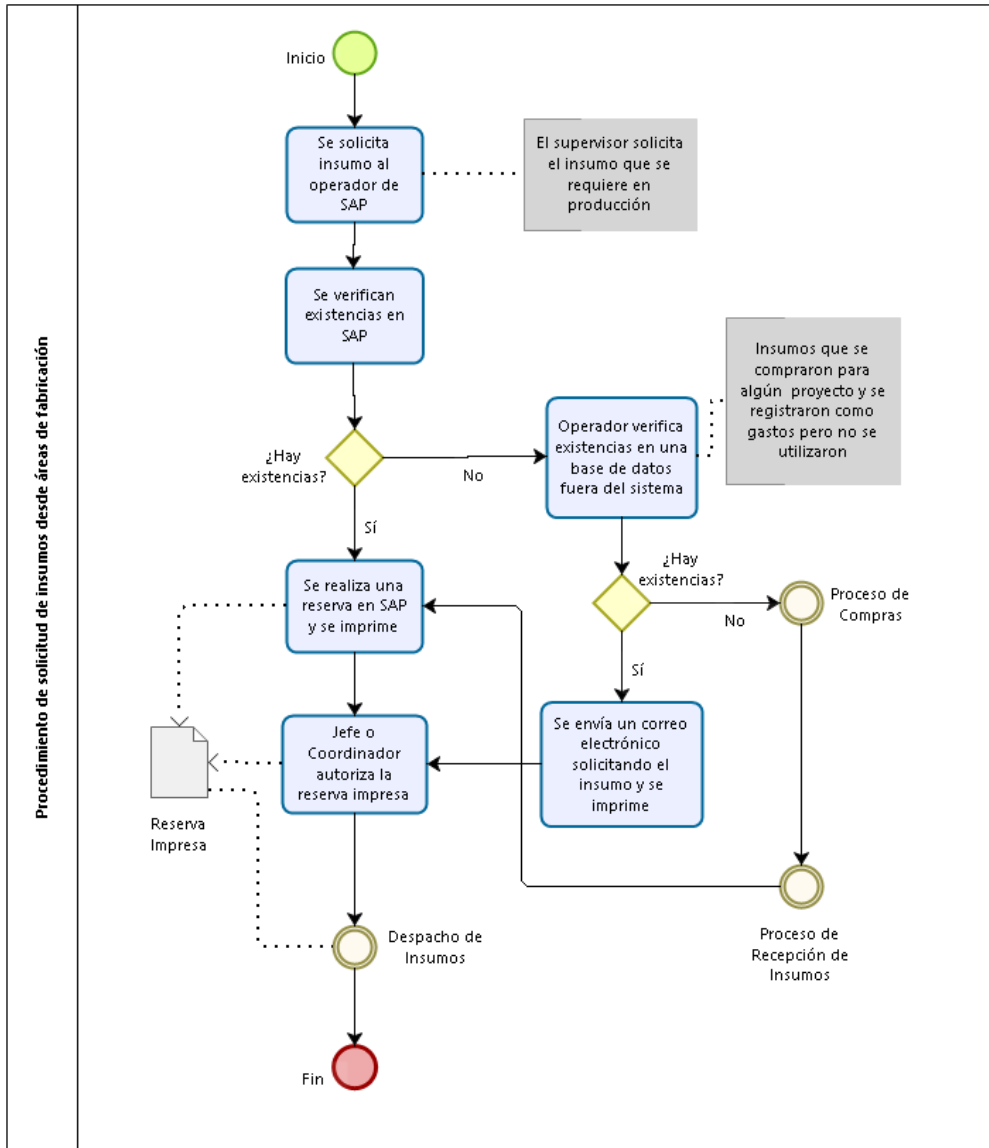
Anexo 3. Información requerida para el sistema colaborativo de flujo de información

Cuadro No.47 Información requerida para el sistema colaborativo de flujo de información

Descripción General	Descripción Detallada	Valor
REQUERIMIENTO	No. Requerimiento	Correlativo específico del requerimiento del insumo.
	Código SAP	Código SAP correspondiente al insumo.
	Descripción de material	Nombre del insumo requerido.
	Cantidad total	Cantidad solicitada del insumo.
	Unidad de medida	Tamaño de referencia del insumo.
SOLICITUD	No. de solicitud	Correlativo específico de la solicitud del insumo.
	Época del año	Zafra o Reparación con su año correspondiente.
	Área que lo solicita	Área de fabricación que solicita el insumo.
	Solicitante	Nombre de la persona que solicita el insumo.
	Fecha de solicitud	Fecha de solicitud del insumo.
	Fecha de utilización	Fecha que se utilizó el insumo.
	Existencias en bodega	Cantidad de insumo en bodega al momento de hacer la solicitud.
	Proveedor recomendado	Proveedor recomendado para realizar la compra del insumo.
	Último costo del material solicitado	Costo unitario del insumo.
COMPRAS	No. Pedido	Correlativo específico de la compra del insumo.
	Local / Exterior	Localización del Proveedor
	Proveedor	Nombre del Proveedor
	Fecha de compra	Fecha que se realizó la compra del insumo
	Costo de adquisición	Precio al que se compró el insumo
BODEGA	Fecha de recepción	Fecha de recepción en bodega del insumo.
	Cantidad recibida	Cantidad recibida del insumo en bodega.
	Fecha de despacho	Fecha de despacho del insumo en bodega.
	Cantidad despachada	Cantidad despacha del insumo.
FÁBRICA	Uso	Equipo en el cual se va a utilizar el material.
	Descripción	Descripción del uso del insumo.
TIEMPO (DÍAS)	Solicitud de compra → Autorización de compra	Tiempo desde que se realiza la solicitud hasta que se autoriza
	Autorización de compra → Emisión de orden de compra	Tiempo desde que se autoriza una compra hasta que se realiza un pedido respaldado con un orden de compra.
	Reserva de insumo → Despacho	Tiempo desde que se reserva el insumo en bodega hasta que se despacha.
	LEAD TIME	Tiempo desde que se realiza el pedido hasta que se recibe en bodega.

Anexo 4. Pasos Generales para la solicitud de insumos.

Figura No. 8 Diagrama de pasos generales para la solicitud de insumos desde áreas de fabricación



Anexo 5. Procedimiento realizado por cada área de fabricación

Figura No. 9 Diagrama de procedimiento de solicitud de insumos realizado por el área de extracción de jugo

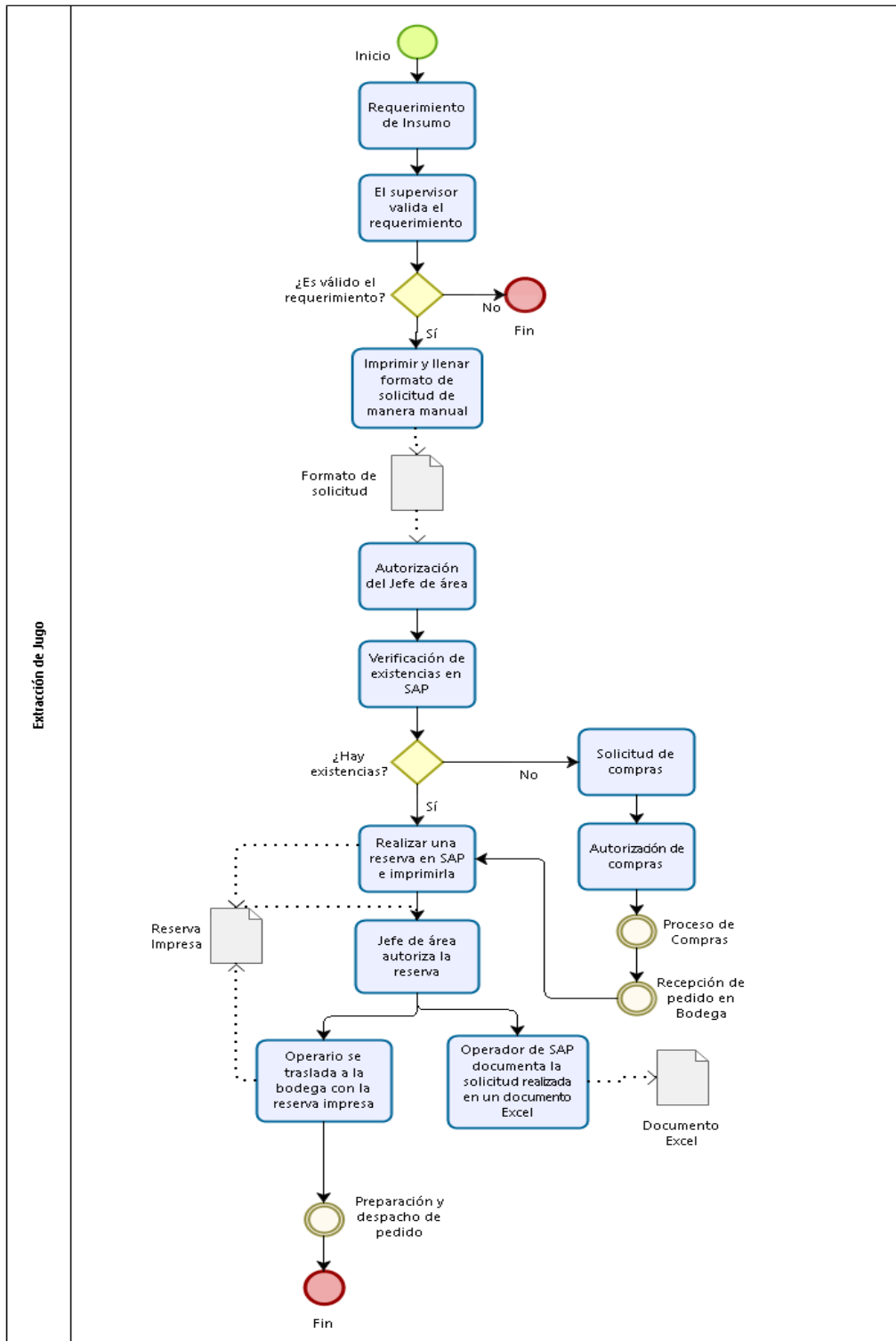


Figura No. 10 Diagrama de procedimiento de solicitud de insumos realizado por el área de tratamiento de jugo

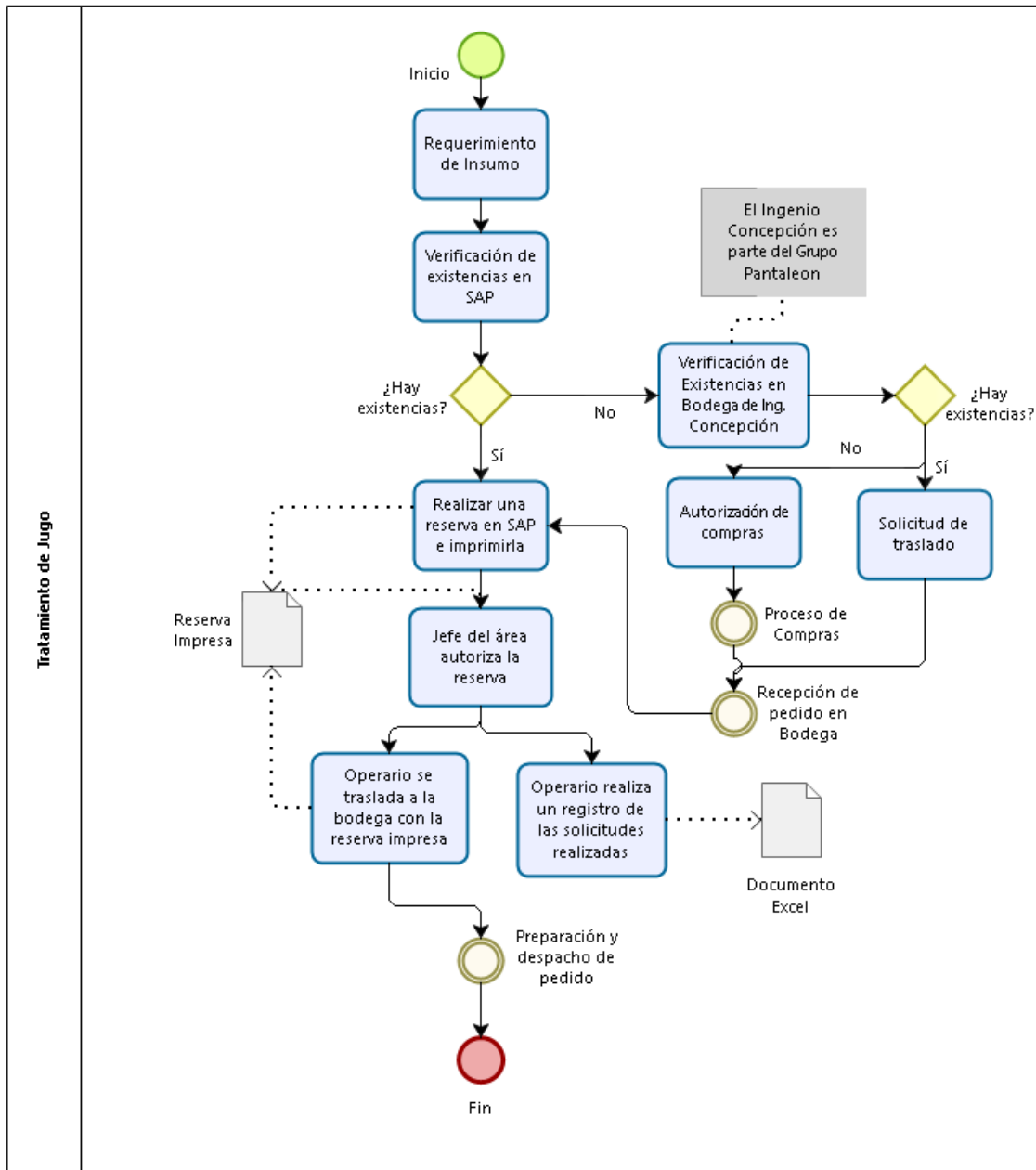


Figura No. 11 Diagrama de procedimiento de solicitud de insumos realizado por las áreas de producción de energía y recuperación de azúcar

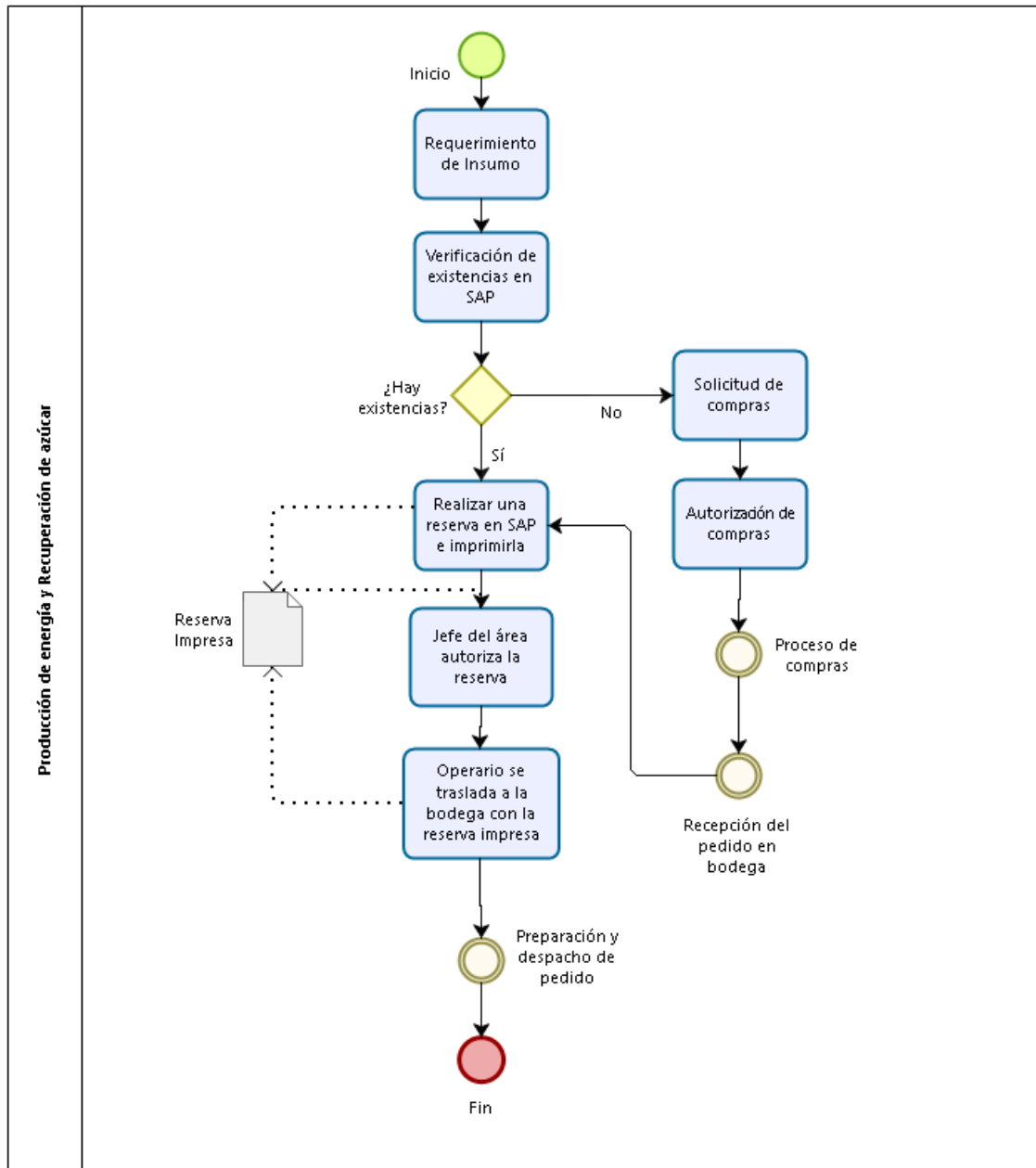
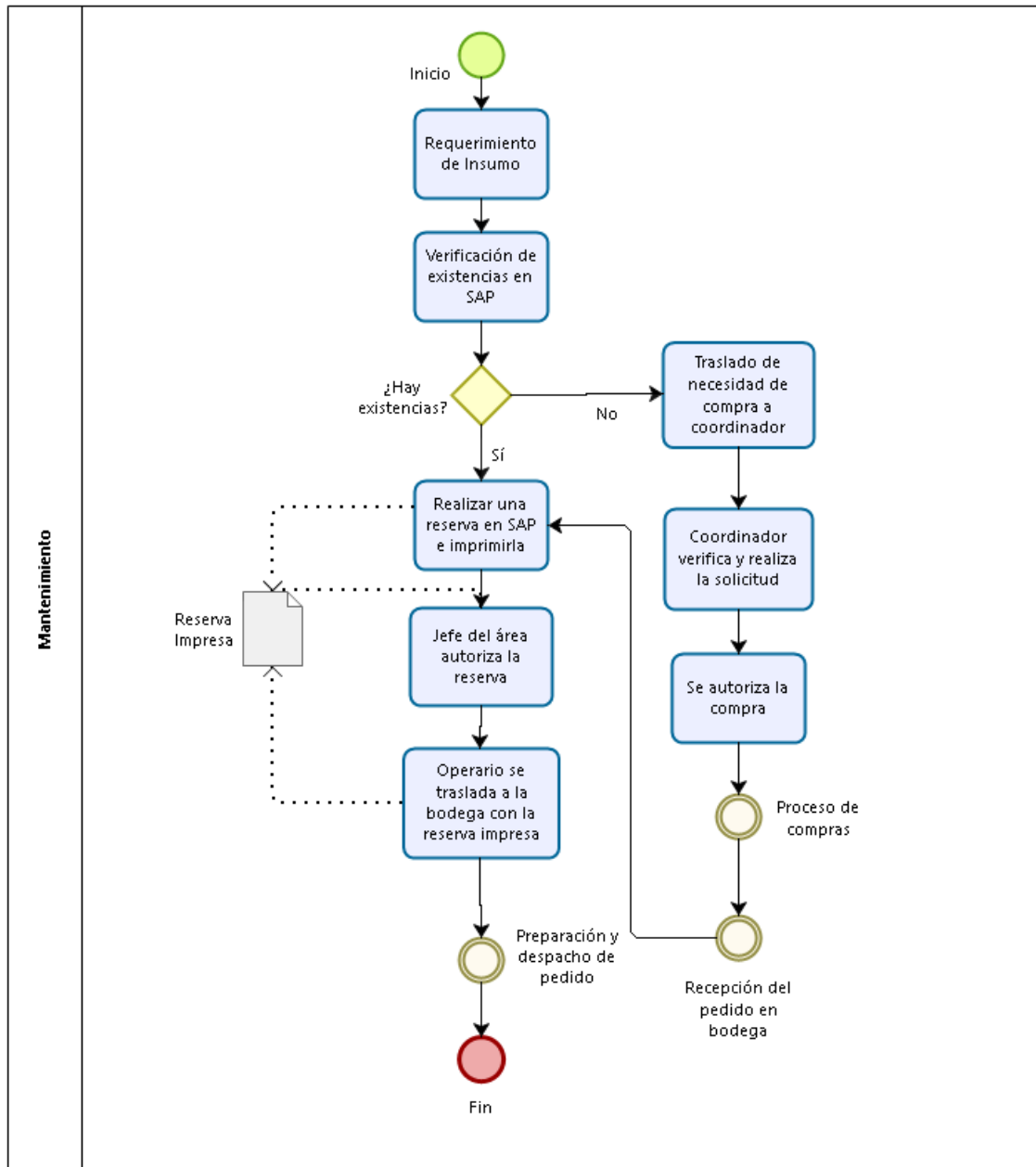
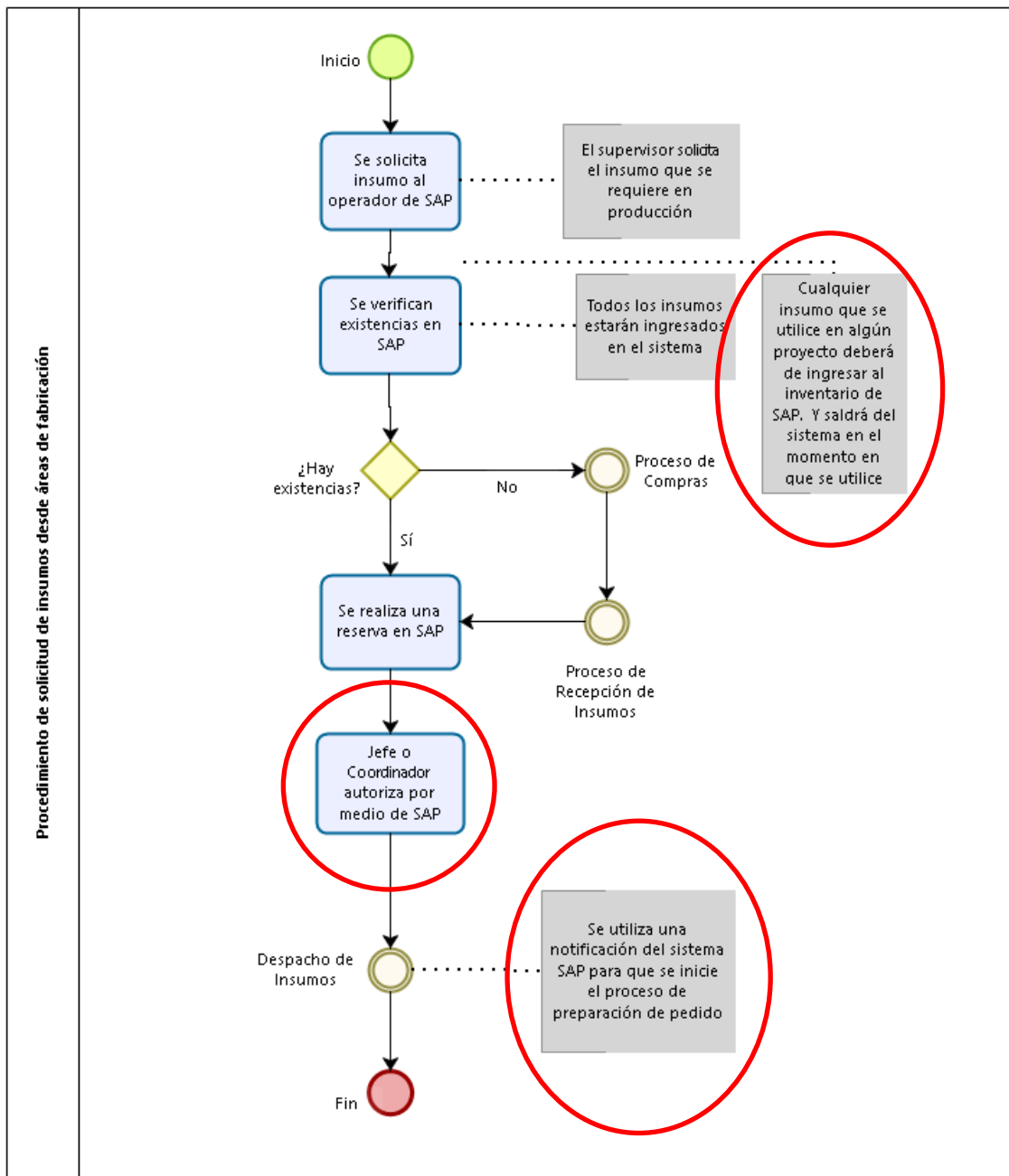


Figura No. 12 Diagrama de procedimiento de solicitud de insumos realizado por el área de mantenimiento



Anexo 6. Propuesta de mejora en procedimiento de solicitud de insumos

Figura No.13 Diagrama de propuesta de mejora en el procedimiento de solicitud de insumos



Anexo 7. Pasos actuales y propuesta de mejora en el proceso de compras

Figura No.14 Diagrama del proceso de compras

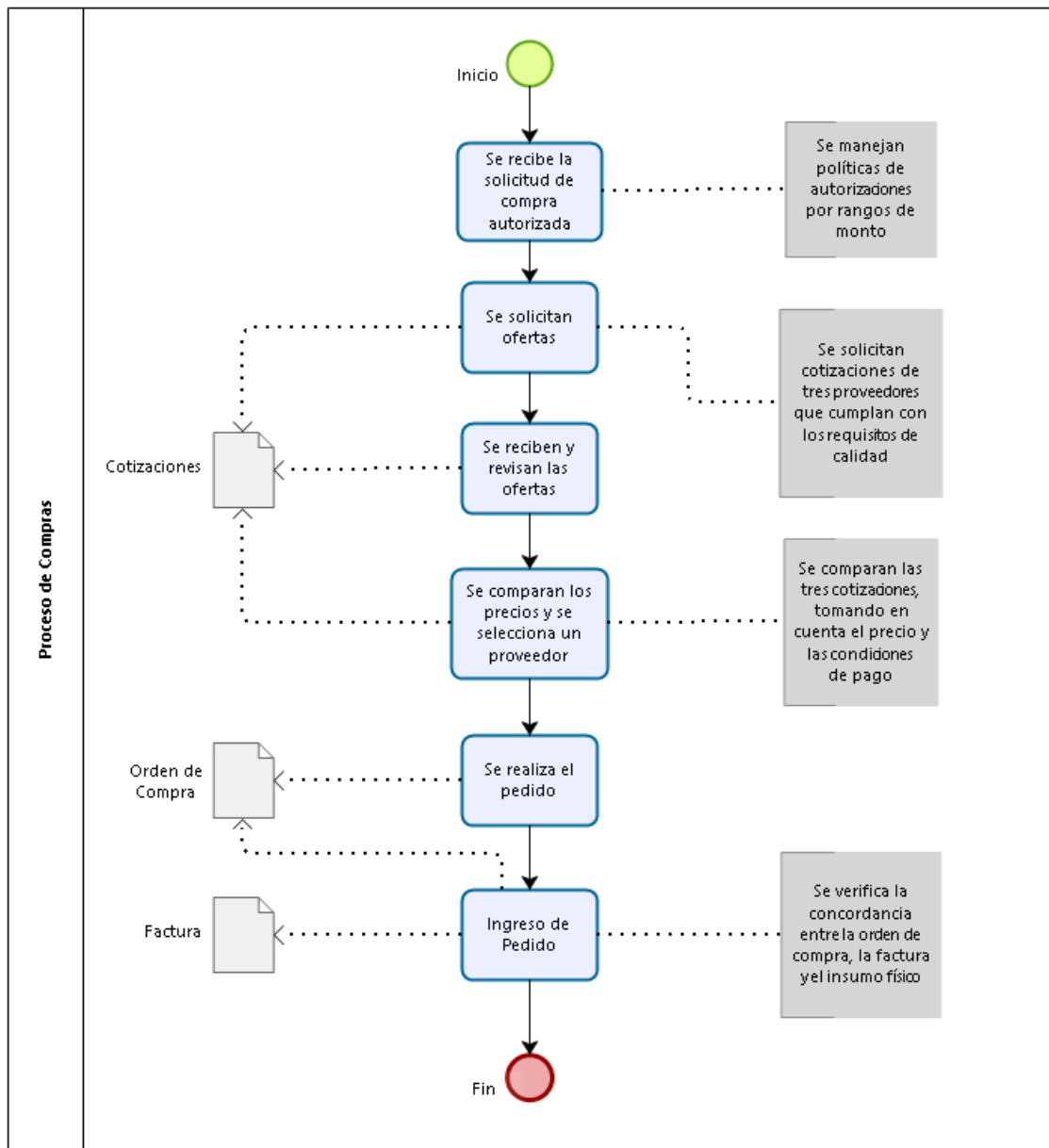
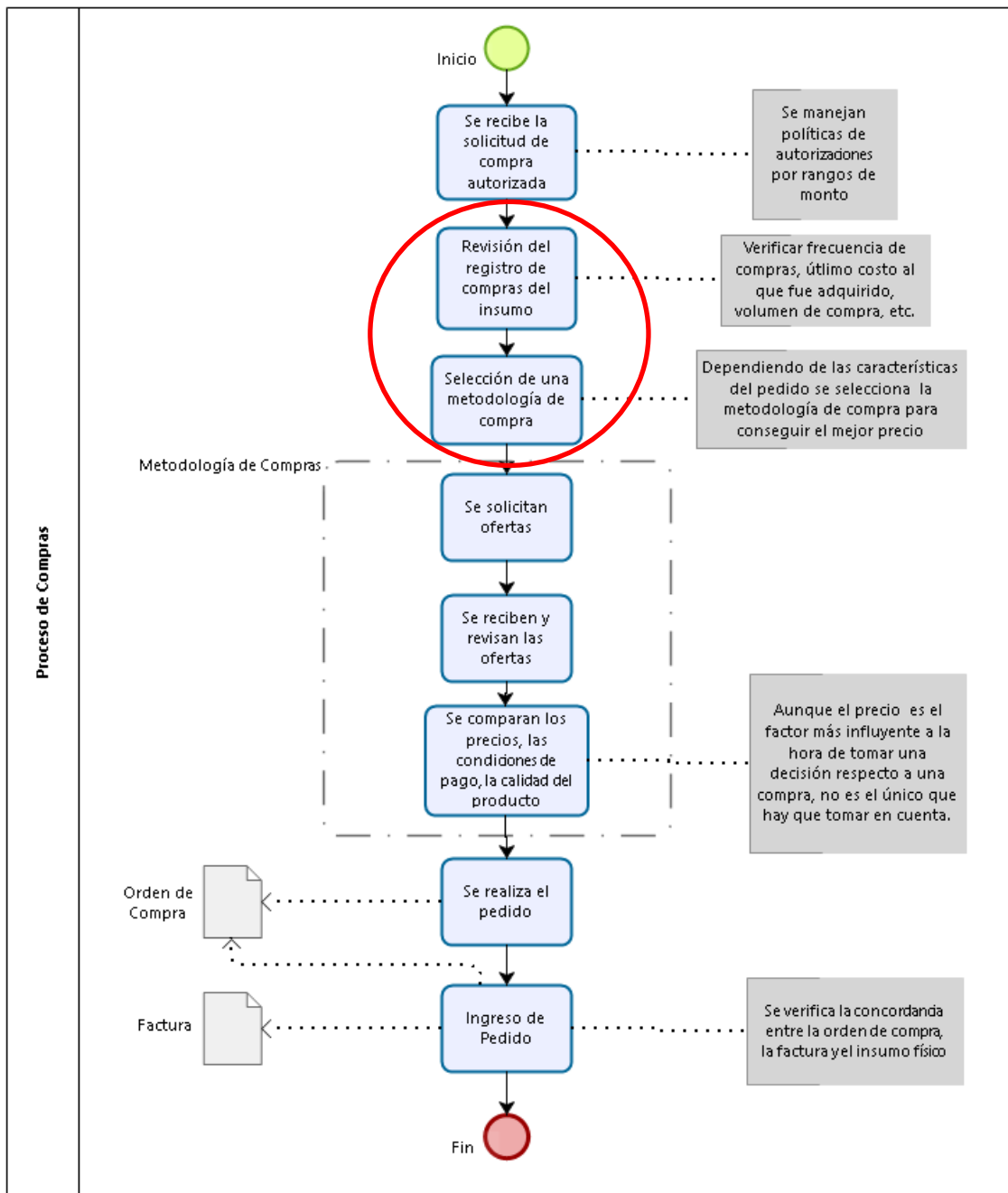


Figura No.15 Diagrama de propuesta de mejora del proceso de compras



Anexo 8. Pasos actuales y propuesta de mejora en los procesos de recepción y despacho de insumos

Figura No.16 Diagrama de proceso de recepción actual

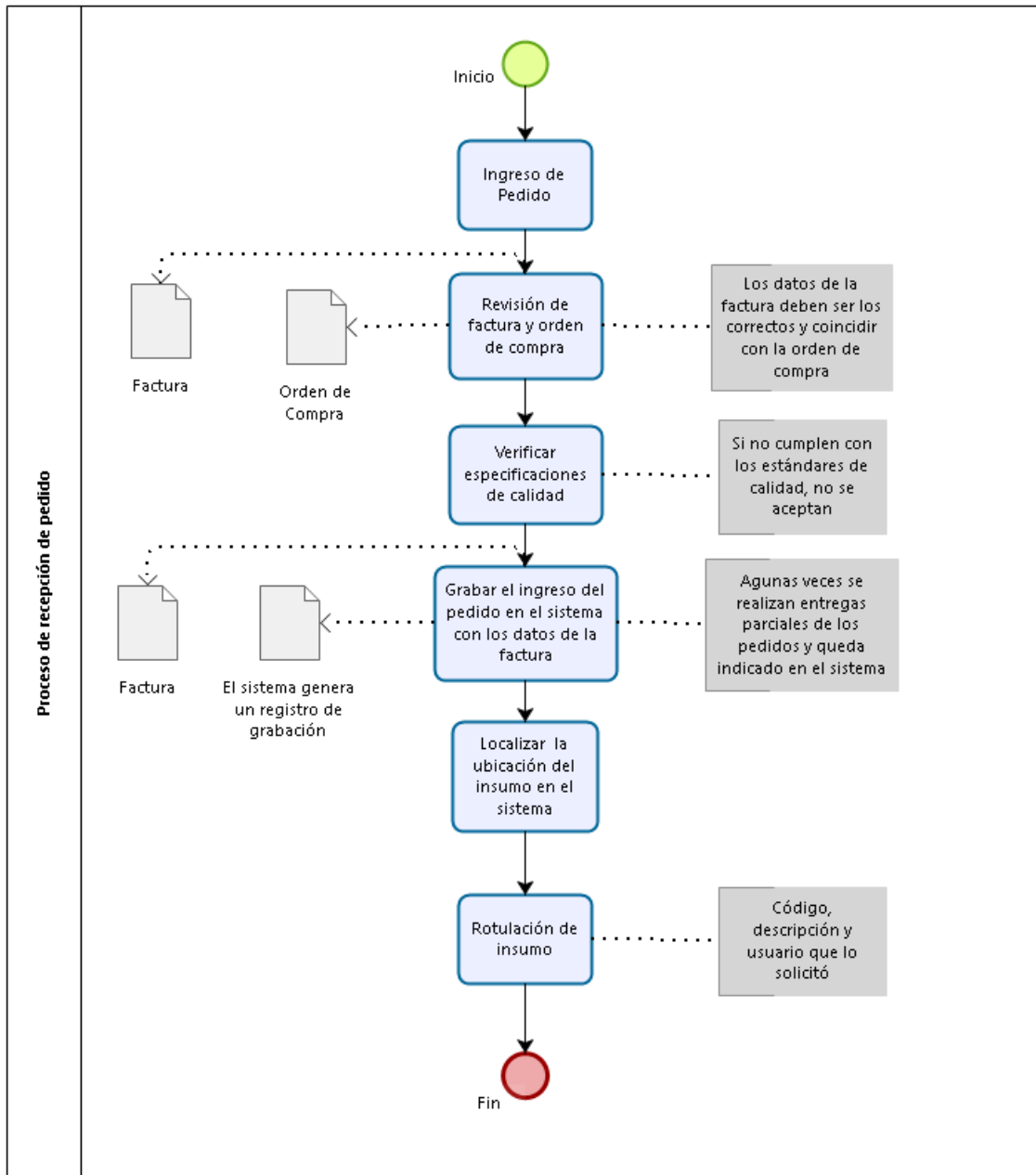


Figura No.17 Diagrama de propuesta de mejora del proceso de recepción actual

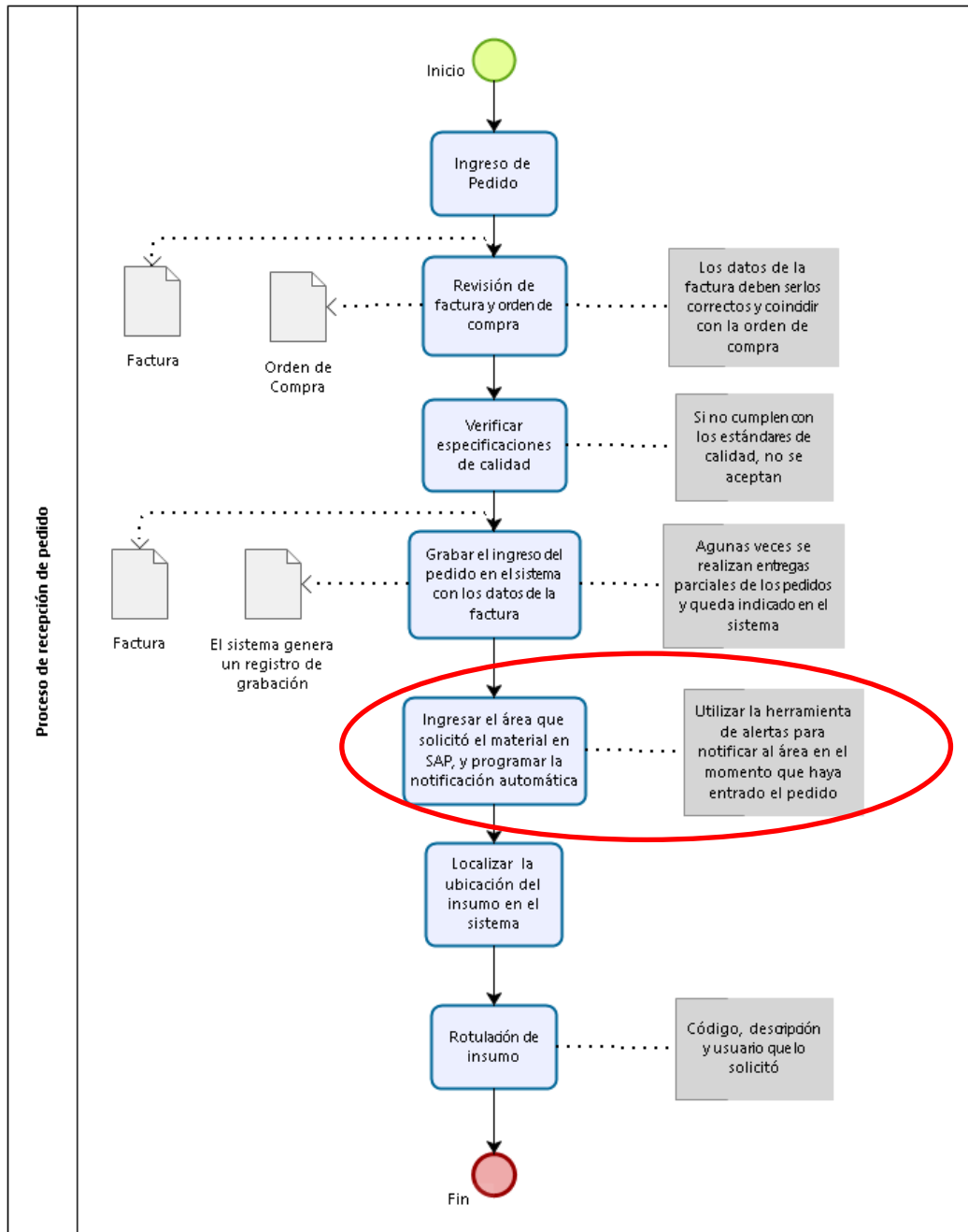


Figura No. 18 Diagrama del proceso de despacho de insumos actual

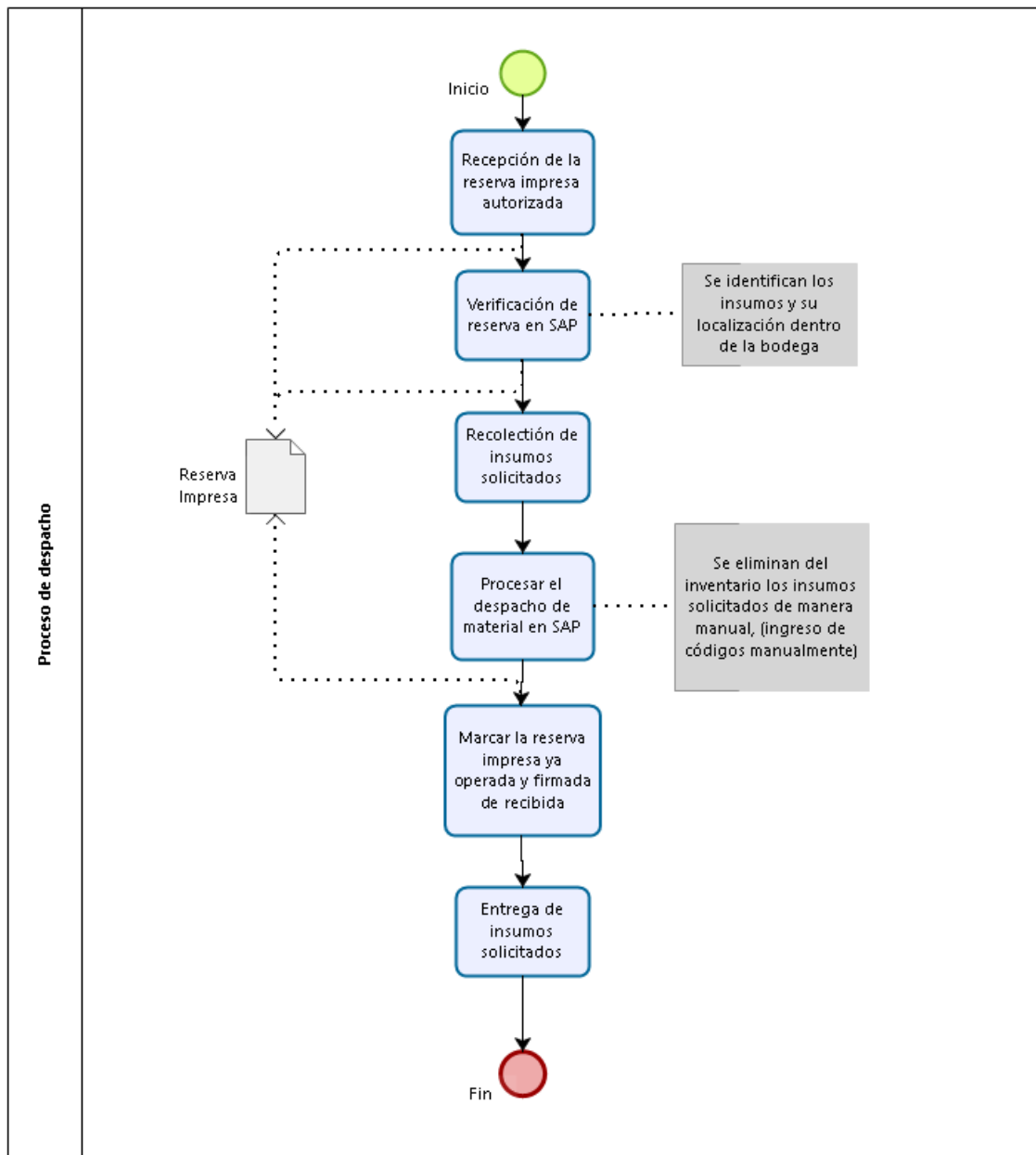
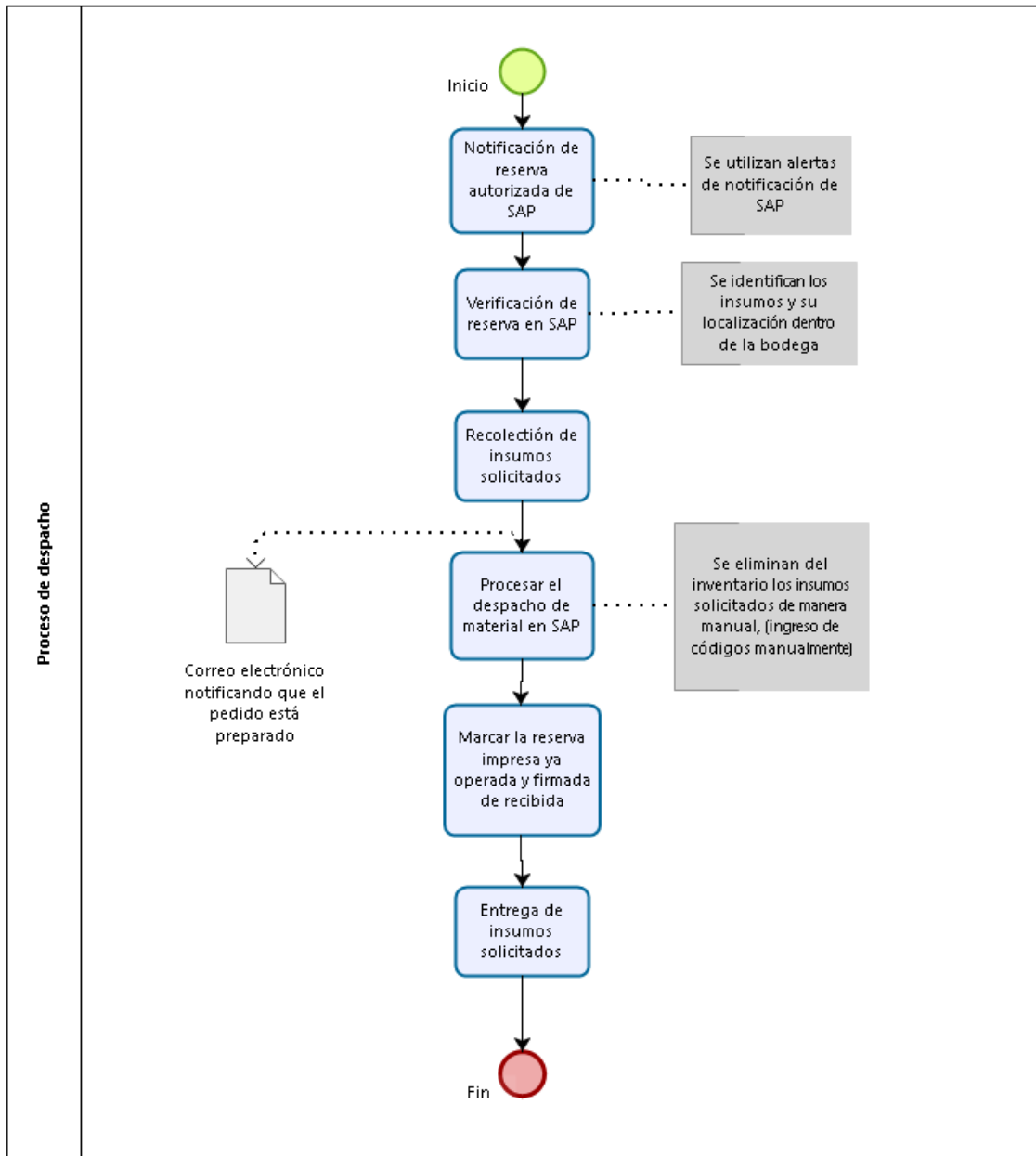


Figura No.19 Diagrama de propuesta de mejora del proceso de despacho de insumos



F. Glosario

1. **Lead time:** Se define como el tiempo en días en se solicita un insumo en el área de fabricación y se recibe en bodega.
2. **SKU:** Es un código único que consiste en letras y números que identifican características de cada producto, su propósito es ayudar a las compañías a contar cada pieza de su inventario de manera correcta y más rápidamente.
3. **MAD:** Deviación absoluta media (MAD) se utiliza para determinar el error promedio en los pronósticos. Se calcula utilizando la ecuación no. 1.
4. **MSE:** Es el error cuadrático medio, es otra variante de calcular el error de un pronóstico y se hace utilizando el promedio al cuadrado de los errores o desviaciones obtenidos. Esto se puede observar en la ecuación No. 3
5. **Señal de control:** Es una variable en el análisis saber si los valores pronosticados son menores o mayores que el valor real. Se calcula con base a la ecuación No. 2.
6. **Metodología 5'S:** Es un grupo de actividades que tiene como fin crear condiciones de trabajo que permitan la ejecución de labores de forma organizada, con base a 5 pilares (clasificación, orden, limpieza, estandarización y mantener la disciplina)
7. **Pronósticos cuantitativos:** Pronósticos que utilizan uno o más modelos matemáticos basados en datos históricos y en variables causales para pronosticar la demanda.
8. **Pronósticos cualitativos:** Pronósticos que involucran la intuición, emociones o experiencias personales.
9. **Modelo de series de tiempo:** Técnica de pronóstico que usa una serie de datos puntuales del pasado para realizar un pronóstico.
10. **Modelo asociativo:** Son aquellos que incorporan variables o los factores que pueden influir en la cantidad a pronosticar.
11. **Tendencia:** Movimiento gradual, hacia arriba o hacia debajo de los datos en el tiempo.
12. **Estacionalidad:** Se define como un patrón de datos que se repite después de un período de tiempo.

