

Production planning model to improve the efficiency of the bagging process in a fertilizer company

Tania Rojas¹, Silvio Garcia-Pazmiño¹, Ana Aroca-Ramos¹, Nadia Mendieta-Villalba¹

¹Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador trojas@ups.edu.ec, sgarciap2@est.ups.edu.ec

¹Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador aaocar@est.ups.edu.ec, nmendieta@ups.edu.ec

Abstract–

In recent years, our country has shown a remarkable growth at the industrial level, especially since the productive matrix began to be promoted, this has caused the need to improve knowledge in the field of labor administration and production processes in order to remain at the forefront of new technologies and to achieve the best level of competitiveness in a dynamic fertilizers market. The present study carried out in the fertilizer processing company is intended to suggest a methodological alternative to improve the resources management by applying a forecasting model for a seasonal demand with a trend and, this is based on

the business turn and the company shareholders vision and growth purposes. The analysis focuses on identifying the representative causes that affect the current efficiency of the production system, evaluating the historical production data, classifying products, and proposing a forecast model which would serves as the basis for structuring a production planning system, considering that no forecasting method is accurate and that the model must be adjusted according to the company reality until the proposed system is stabilized.

Keywords: *Seasonal demand, forecasting, planning, production, efficiency.*

Modelo de planificación de la producción para mejorar la eficiencia del proceso de ensacado en una empresa de fertilizantes

Tania Rojas¹, Silvio Garcia-Pazmiño¹, Ana Aroca-Ramo¹, Nadia Mendieta-Villalba¹

¹Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador trojas@ups.edu.ec, sgarciap2@est.ups.edu.ec

¹Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador aaocar@est.ups.edu.ec, nmendieta@ups.edu.ec

Resumen En los últimos años nuestro país ha mostrado un notable crecimiento a nivel industrial sobre todo desde que se empezó a impulsar el cambio de la matriz productiva, esto ha generado la necesidad de mejorar los conocimientos en el ámbito de la administración del trabajo y los procesos productivos para poder mantenerse a la vanguardia de nuevas tecnologías y alcanzar el mejor nivel de competitividad en un mercado tan dinámico como es el caso de los fertilizantes. El presente estudio realizado en la empresa procesadora de fertilizantes tiene el fin de plantear una alternativa metodológica para mejorar la administración de los recursos aplicando un modelo de pronóstico a una demanda estacional con tendencia, esto debido a la naturaleza de su giro de negocio y a la visión de crecimiento que tienen los accionistas. El análisis se enfoca en identificar las causas representativas que afectan la eficiencia actual del sistema productivo, evaluar los datos históricos de la producción, clasificar los productos y plantear un modelo de pronóstico, el cual sirve de base para estructurar un sistema de planificación de la producción, considerando que ningún método de pronóstico es exacto y que se debe ir ajustando el modelo a la realidad de la empresa hasta que se logre estabilizar el sistema propuesto.

Palabras claves.- Demanda estacional, pronóstico, planificación, producción, eficiencia.

I. INTRODUCCIÓN

El servicio de procesamiento de fertilizantes consiste en: recepción, almacenamiento, producción y despacho de producto. Es necesario aclarar que las características de estos fertilizantes procesados en planta son: sólidos, inorgánicos, de origen mineral o sintético y de aplicación edáfica. La recepción de las materias primas puede ser al granel, en big bag o en sacos de diferentes presentaciones, estas materias primas son de propiedad del cliente y es quien se encarga de importarlas desde otros países y entregarlas en las instalaciones de la empresa para su almacenamiento.

Es decir, la coordinación logística y el costo del transporte, seguridad, resguardo y cualquier evento que afecte la calidad de la materia prima en el trayecto hasta la entrega en planta corre por cuenta del cliente. El proceso de producción consiste en transformar la materia prima en producto terminado, esto es, colocar el fertilizante dentro de los sacos y coserlo, considerando las especificaciones dadas por el cliente, como: ingredientes, proporciones, presentación, identificación, trazabilidad, etc. El proceso de ensacado del fertilizante se ha dividido en dos tipos por la característica del contenido de materias primas:

- Simples: consiste en el ensacado de un solo ingrediente.
- Compuestos (mezcla física): consiste en combinar mecánicamente dos o más ingredientes, según la receta del cliente.

El empaque y las etiquetas de identificación son de propiedad del cliente, las características técnicas y la planificación del abastecimiento para asegurar la disponibilidad de los materiales en la producción. Luego de transformar la materia prima en producto terminado este se almacena en las bodegas de producto terminado hasta que el cliente se encargue de coordinar la logística y contratar la flota de transporte para retirar el producto en planta y comercializarlo a través de sus puntos de venta a nivel nacional e internacional o entrega directa a sus clientes. Desde mediados del año 2020 una de las empresas principales en el Ecuador tiene la visión de seguir creciendo en el mercado de fertilizantes a nivel nacional, en tal razón ha decidido invertir en la mejora y crecimiento de la empresa.

El objetivo de seguir exportando fertilizantes a otros países de América del Sur y crecer a nivel regional desde 2020 hasta la fecha la producción de fertilizantes alcanza aproximadamente más de 140 mil toneladas desde una de las instalaciones en la ciudad de Guayaquil de lo cual el 97% de ese volumen se entrega a una sola empresa y el 3% restante se divide entre varios clientes esporádicos. Por tal razón, el presente estudio se enfoca en diseñar un modelo de planificación de la producción aplicando métodos estadísticos de pronóstico para la mejora de la eficiencia del proceso de ensacado de los productos de mayor demanda.

II. OPTIMIZACIÓN DE PRODUCCIÓN

La optimización de procesos de producción es un área crucial en la gestión industrial, orientada a mejorar la eficiencia, reducir costos y maximizar la calidad del producto final. En el contexto de la industria de fertilizantes, estas mejoras impactan directamente en la sostenibilidad y competitividad del sector.

En la planificación de la producción se enfoca en organizar y coordinar los recursos, actividades y cronogramas para garantizar que los productos se fabriquen de manera eficiente, cumpliendo con los estándares de calidad y los plazos establecidos [1]. Esta planificación abarca desde la programación de la producción hasta la gestión de inventarios y la asignación de recursos.

Existen varios modelos de planificación de la producción, que incluyendo el Plan Maestro de Producción (MPS), el Material Requirements Planning (MRP) y el Lista de materiales (BOM), cada uno con enfoques específicos para mejorar la eficiencia y reducir desperdicios [2].

Plan maestro de producción (MPS) conocido como plan detallado o desagregado, es el resultado de dividir el plan agregado para períodos de tiempo de corto plazo, por ejemplo: diario, semanal, mensual, etc., esto depende de los procesos de cada sistema productivo en función de los tamaños de lotes, cantidad de productos, etc [3].

Planificación de recursos materiales (MRP) conocido por sus siglas en inglés como MRP (Material Resource Planning), es un sistema generalmente asociado a un software el cual ayuda en la planificación de la producción y el control de inventarios, debe permitir responder las interrogantes ¿qué? ¿cuánto? y ¿cuándo?, se debe abastecer para producir, generalmente al hacer la explosión de materiales del plan maestro de producción, que no es otra cosa que obtener el detalle de los ingredientes a utilizar de las órdenes a producir. Para ello se debe contar con la lista de materiales y sus respectivas características [4].

Lista de materiales (BOM) detalla todos los ingredientes o componentes a utilizar en la fabricación de los productos terminados enmarcados en el plan maestro de producción. Deben estar codificados, con el respectivo detalle, unidad de medida, etc., [5].

El pronóstico consiste en el análisis de series de tiempo con métodos estadísticos y modelos matemáticos que se basan en datos históricos para inferir el comportamiento futuro y reconocer tendencias, patrones de estacionalidad, temporalidad, cíclicos y variación aleatoria. Existen varios softwares de uso libre o con licencia que sirven para la estimación de pronósticos como Microsoft Excel, R, Python, SPSS, entre otros [6] (Monsalve G. P., 2018). Sin embargo, al momento de seleccionar un software de simulación es importante considerar el nivel de conocimiento de la herramienta a utilizar, el modelo matemático que se va a aplicar y sobre todo el tamaño y la complejidad de los datos que se van a analizar y simular [7].

Los modelos de pronóstico son herramientas estadísticas utilizadas para predecir la demanda futura de productos, facilitando una planificación más precisa y eficiente [8]. Entre los modelos más utilizados se encuentran:

A. *Promedio aritmético simple:*

Es un promedio que toma datos del pasado de un número de periodos de interés, se suman sin agregar ningún peso y se divide para el número de periodos considerados. Este modelo sirve para atenuar fluctuaciones aleatorias en la serie de tiempos, es muy útil en pronósticos para productos de consumo masivo que tienen estabilidad de demanda.

B. *Promedio ponderado:*

Modelo similar al promedio simple con la característica que se le agrega un peso cualquiera a los períodos de interés

siempre y cuando la suma total de los pesos sea (1) o 100 %.

C. *Promedio móvil simple:*

No considera la media de todos los datos, toma los últimos periodos, sin agregar un peso, para calcular la media que sería el promedio móvil para el pronóstico de demanda del siguiente periodo

D. *Promedio móvil ponderado:*

No considera la media de todos los datos, toma los últimos periodos, pero agrega un peso a cada periodo considerando cualquier característica especial considerando que la suma de los pesos sea (1) o 100%.

E. *Suavizamiento exponencial:*

Este modelo considera la media de un periodo establecido y les asigna mayor ponderación a los periodos más recientes y considera el error del pronóstico actual para calcular el pronóstico del siguiente período.

La precisión en los pronósticos permite reducir costos de inventario, optimizar la utilización de recursos y mejorar el nivel de servicio al cliente [9]. En la industria de fertilizantes, la planificación de la producción y los modelos de pronóstico son fundamentales para gestionar la estacionalidad de la demanda y la variabilidad en la disponibilidad de materias primas [10-12]. La integración de estas herramientas contribuye a la toma de decisiones estratégicas, mejorando la eficiencia operativa y la rentabilidad de la empresa.

El modelo estacional con tendencia es un tipo de pronóstico que utiliza series temporales que presentan tanto un comportamiento cíclico repetitivo (estacionalidad) como una evolución a largo plazo (tendencia). Lo que permite descomponer la serie de datos que se emplea comúnmente en la planificación de la producción, ventas o demanda en industrias con patrones periódicos. Por lo tanto, la combinación de la tendencia con la estacionalidad proporciona una representación más realista, mejorando la precisión del pronóstico [13-14].

En la empresa de fertilizantes de esta investigación se ha detectado que la planificación de producción no está alineada al proceso operativo, partiendo del hecho que ingresan requerimientos de despacho para ser entregados el mismo día y según los registros estadísticos del plan de despacho se evidencia que más del 50% del volumen de sacos solicitados deben ser producidos el mismo día de su entrega como se muestra en Fig.1. Estos requerimientos de última hora afectan a la planificación de producción establecida inicialmente, generando una serie de problemas en la organización.

Se pudo evaluar en la Tabla I que del total de sacos solicitados para el despacho diario el 59,64% debe ser producido el mismo día porque no se encontraba disponible en el inventario de producto terminado y apenas el 40,36% del volumen de sacos solicitados diariamente se despacha del stock de la bodega de producto terminado.

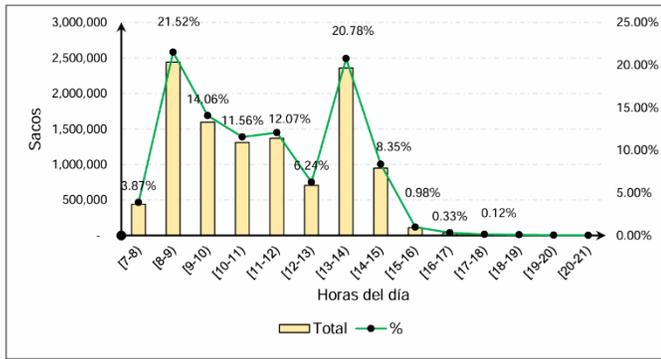


Fig. 1 Pedidos de sacos por hora

TABLA I
Despacho - Producción vs. Stock

Año	2021	2022	2023	2024	Total
Producción	1'297,726	1'605,888	1'983,812	1'880,926	6'768,352
Stock	750,123	852,588	1'196,207	1'782,011	4'580,929
Despacho	2'047,849	2'458,476	3'180,019	3'662,937	11'349,281
% de Producción	63.37	65.32	62.38	51.35	59.64
% de Stock	36.63	34.68	37.62	48.65	40.36

III. METODOLOGÍA

En el presente estudio se aplicó el método analítico, desde la revisión bibliográfica se recopilaron los artículos y textos que orientaran hacia modelos de planificación de la producción aplicados a procesos similares al de ensacado de fertilizantes, por lo que recolectaron los datos de la producción de los años 2019 al 2024 los cuales fueron sometidos al análisis mediante técnicas estadísticas.

Basada en la revisión bibliográfica se escoge el modelo matemático con el método adecuado para pronosticar y finalmente obtener una herramienta para elaborar el plan de producción con el cual se puede programar las operaciones de forma más eficiente.

Para el análisis de la información se tomó como muestra todos los datos de la producción del ensacado de fertilizantes del año 2019 al 2024 debido a que permitirán identificar el comportamiento de la demanda y aplicar el modelo de pronóstico estacional con tendencia como se puede observar en Tabla II que detalla el tiempo disponible por cada año, así el tiempo no trabajado en feriado, fin de semanas y turnos no programados.

TABLA II

DETALLE	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Tiempo total	52,560	52,704	52,560	52,560	52,560	52,704
Feriatos no trabajados	1,728	984	1,728	1,008	1,488	1,344
Fin de semana no trabajado	13,344	13,152	14,784	12,576	14,472	14,856
Turnos no trabajados	22,149	25,555	27,348	30,296	29,789	29,324
Tiempo no disponible	37,221	39,691	43,860	43,880	45,749	45,524
Tiempo disponible (horas)	15,339	13,013	8,700	8,680	6,811	7,180

Horas disponibles de las Líneas de Producción

Por ende, de los registros de tiempos de parada de las líneas de producción se analiza el detalle de los tiempos perdidos por las diferentes situaciones de la operación como son: los días y turnos no trabajados, los tiempos de parada dentro de las jornadas laborales. De estos reportes también se logra obtener información del volumen de producción por línea, mes y año.

En la Tabla III se muestra el porcentaje de utilización de las líneas de producción es decir el porcentaje del tiempo disponible para utilizar en los horarios de trabajo programados, el cual se obtiene entre el tiempo disponible y el tiempo total de las líneas de producción.

TABLA III
Porcentaje de utilización de líneas de Producción

Detalle	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total
Tiempo total (horas)	52.560	52.560	52.560	52.560	52.704	65.664	52.560
Tiempo disponible (horas)	15.339	13.013	8.700	8.680	6.811	7.180	15.339
Utilización	29,18%	24,76%	16,55%	16,51%	12,92%	10,93%	18,17%

La Tabla IV muestra los datos analizados de la producción 2019-2024 en la cual se detalla el porcentaje de sacos de fertilizantes que han sido ensacados en la planta de procesamiento por cliente y por año.

TABLA IV
Porcentaje de producto por cliente

Clientes	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Cliente A	48.81%	57.88%	76.07%	73.32%	96.63%	98.99%
Cliente B	48.53%	37.17%	13.86%	22.67%	1.73%	0.00%
Cliente C	2.66%	4.94%	10.07%	4.01%	1.64%	0.90%
Otros	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.11%
Total	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

TABLA V
Productos pronosticables

Nº	Código	Descripción	Total	%	FR	FRA
1	PTT001	Urea fina	3'372.513	23,59	29,64%	29,64%
2	PTT002	Urea gruesa	2'038.159	14,25	17,91%	47,55%
3	PTT013	Nitrato de amonio	1'593.079	11,14	14,00%	61,55%
4	PTT007	MOP granulado	1'196.624	8,37	10,52%	72,06%
5	PTT003	Mezcla 8-20-20	643.231	4,50	5,65%	77,72%
6	PTT006	DAP	642.284	4,49	5,64%	83,36%
7	PTT004	Mezcla 10-30-10	509.773	3,56	4,48%	87,84%
8	PTT008	Maiz mix pas 1	353.750	2,47	3,11%	90,95%
9	PTT436	Nitropas	328.511	2,30	2,89%	93,84%
10	PTT026	Cacao producción	207.620	1,45	1,82%	95,66%
11	PTT022	Papa siembra	148.660	1,04	1,31%	96,97%
12	PTT005	Mezcla 15-15-15	134.370	0,94	1,18%	98,15%
13	PTT464	Papa aporque	89.522	0,63	0,79%	98,93%
14	PTT474	Mezcla Sulpomag	76.337	0,53	0,67%	99,60%
15	PTT434	Urea verde granular	44.999	0,31	0,40%	100,00%
Total pronosticable			11'379.432	79,58	100%	

Al realizar la revisión de los datos de producción del Cliente 1 se determinó que en el lapso de ese período se han elaborado 878 artículos diferentes, con un total de 14'299.386

sacos. De estos productos se detectó que apenas 15 tipos de productos son los que se pueden pronosticar por ser de venta frecuente y que generalmente se producen para mantener un stock de seguridad. En Tabla V, se muestran los 15 productos que son pronosticables y representan la mayor cantidad de ingresos para la empresa.

De acuerdo con lo revisado en la literatura de los diferentes métodos de pronósticos, se ha escogido en esta aplicación el modelo estacional con tendencia porque proporciona una representación más realista, mejorando la precisión del pronóstico, por lo tanto, se aplica de acuerdo con los datos de la siguiente forma.

A. Desarrollo de modelo estacional

Se ordenan los datos por mes y año en una tabla para cada artículo, se calcula el promedio de los seis años de estudio para cada uno de los meses del año, se calcula el promedio general de todos los meses del 2019 al 2024, con estos valores se calcula el factor estacional dividiendo el promedio de cada mes para el promedio general, para lo cual se utiliza un hoja en Excel que se muestra en la Fig. 2 para calcular el pronóstico desestacional con la función “Pronóstico. Lineal”.

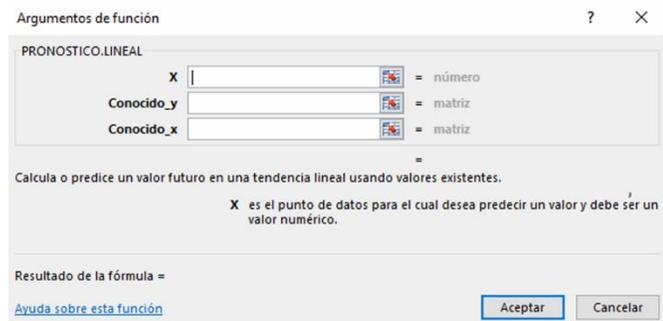


Fig. 2 Pronóstico lineal en Excel

Los datos se alimentan de la siguiente manera: En X se selecciona la celda del mes-año a pronosticar. En Conocido_X se selecciona el rango de celdas de la producción desestacionalizada, luego se multiplica el valor del pronóstico desestacional, calculado con la función “Pronóstico.lineal”. de Excel, por el factor estacional correspondiente a cada mes, los valores obtenidos son el pronóstico desestacional de los siguientes 12 meses del año 2025.

TABLA VI
PRONOSTICO UREA FINA

Mes	Promedio 2019-2024	Factor estacional	Mes pronosticado	Pronóstico Desestacional	Pronóstico 2025
Enero	129.293	2,76	ene	70.848	195.561
Febrero	89.757	1,92	feb	71.517	137.043
Marzo	46.762	1,00	mar	72.122	72.001
Abril	11.114	0,24	abr	72.792	17.272
Mayo	17.685	0,38	may	73.439	27.728
Junio	36.234	0,77	jun	74.109	57.328
Julio	31.557	0,67	jul	74.757	50.364
Agosto	23.784	0,51	ago	75.426	38.299
Septiembre	27.068	0,58	sep	76.096	43.974
Octubre	28.506	0,61	oct	76.743	46.705
Noviembre	45.343	0,97	nov	77.413	74.938
Diciembre	74.983	1,60	dic	78.061	124.961
General	46.840	12	Total	893.322	886.172

En el tratamiento de la información se ordenaron y clasificaron los datos obtenidos de los registros de producción en una tabla independiente para cada artículo colocando los meses en cada fila y años en las cabeceras de las columnas. Se elaboraron 15 tablas para cada artículo pronosticables. En Tablas VI al VIII y Figuras 3 al 5 se muestra los pronósticos realizados para los tres productos pronosticables más representativos.

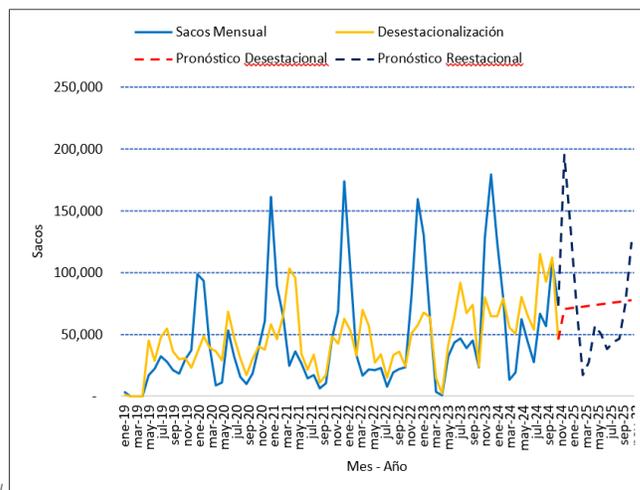


Fig. 3 Pronóstico de Urea fina

TABLA VII
PRONOSTICO UREA GRUESA

Mes	Promedio 2019-2024	Factor estacional	Mes pronosticado	Pronóstico Desestacional	Pronóstico 2025
Enero	50.098	1,77	ene	23.087	40.858
Febrero	38.009	1,34	feb	22.941	30.803
Marzo	29.401	1,04	mar	22.809	23.691
Abril	20.216	0,71	abr	22.664	16.186
Mayo	20.500	0,72	may	22.523	16.311
Junio	42.065	1,49	jun	22.377	33.253
Julio	30.255	1,07	jul	22.237	23.766
-Agosto	34.111	1,21	ago	22.091	26.620
Septiembre	14.005	0,49	sep	21.945	10.858
Octubre	15.653	0,55	oct	21.804	12.057
Noviembre	25.068	0,89	nov	21.659	19.180
Diciembre	20.312	0,72	dic	21.518	15.440
General	28.308	12	Total	267.655	269.020

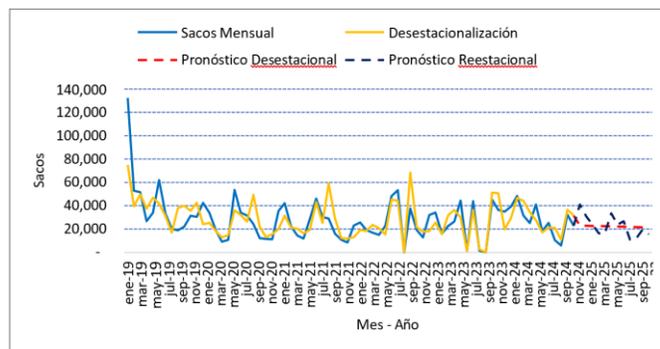


Fig. 4 Pronóstico de Urea gruesa

TABLA VIII
PRONOSTICO NITRATO DE AMONIO

Mes	Promedio 2019-2024	Factor estacional	Mes pronosticado	Pronóstico Desestacional	Pronóstico 2025
Enero	20.264	0,92	ene	35.971	32.943
Febrero	15.015	0,68	feb	36.357	24.671
Marzo	20.444	0,92	mar	36.706	33.915
Abril	14.454	0,65	abr	37.092	24.231
Mayo	18.661	0,84	may	37.465	31.598
Junio	21.955	0,99	jun	37.851	37.559
Julio	20.437	0,92	jul	38.225	35.307
Agosto	25.293	1,14	ago	38.611	44.137
Septiembre	28.473	1,29	sep	38.997	50.184
Octubre	29.870	1,35	oct	39.371	53.150
Noviembre	26.362	1,19	nov	39.757	47.367
Diciembre	24.286	1,10	dic	40.130	44.048
General	22.126	12	Total	456.532	459.110

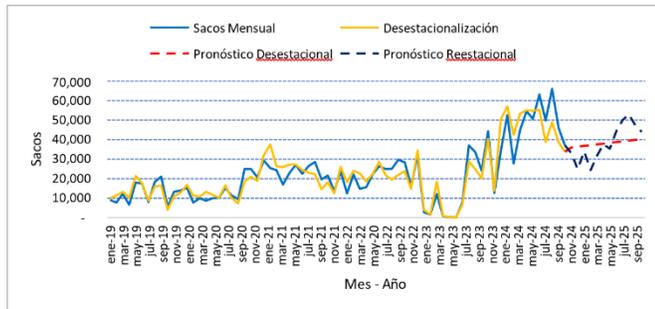


Fig. 5 Pronóstico de Nitrato de amonio

B. Plan de producción

Para elaborar el plan de producción semanal se consideran los siguientes elementos:

- 1) El inventario inicial de sacos por artículo con el que se inicia la semana que es igual al inventario final de la semana anterior.
- 2) El pronóstico que es la cantidad proyectada para cada mes y distribuida equitativamente para el número de semanas que contiene el mes seleccionado como se muestra en la Tabla IX el resumen de los productos pronosticables para el año 2025.
- 3) El pedido el cual no es otra cosa que la demanda real solicitada de cada semana. La precisión del pronóstico se puede evaluar comparando la variación entre el pedido y el pronóstico.
- 4) El stock de seguridad en días que es la cantidad de sacos que se debe mantener en stock para satisfacer la demanda de un día sin que exista quiebre de inventario.
- 5) El stock de seguridad en unidades corresponde a la cantidad de sacos que se debe mantener en stock en este caso se calcula dividiendo la cantidad pronosticada de cada mes y artículo para la cantidad de días considerados laborables por semana.

La producción o plan maestro de producción (MPS) es la cantidad que se debe producir para satisfacer el valor más elevado entre la demanda o el pronóstico, se muestra el resumen del primer trimestre en la Tabla X. El Inventario final resulta

del inventario inicial la producción el valor más alto entre el pronóstico y el pedido.

TABLA IX
RESUMEN PRONOSTICOS 2025

Código	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
PTT001	195.561	137.643	72.001	17.272	27.228	57.328	50.364	38.289	43.974	46.705	74.938	124.961	886.172
PTT002	40.858	30.803	23.491	16.186	16.311	35.253	23.766	26.620	10.858	12.657	19.180	15.440	269.020
PTT003	17.543	7.583	5.243	4.217	11.859	16.377	8.650	6.962	5.539	3.713	4.894	20.352	112.032
PTT004	13.236	6.970	5.355	6.216	8.174	9.483	5.016	5.779	6.381	4.964	5.417	15.666	92.617
PTT005	3.095	2.767	1.914	2.071	1.924	2.537	2.107	2.298	2.207	2.030	1.991	2.477	27.518
PTT006	15.442	11.741	11.234	6.872	6.831	10.862	12.951	13.660	10.452	9.308	7.830	15.430	133.622
PTT007	43.446	29.059	25.980	18.674	14.486	27.157	24.651	26.677	21.947	25.075	21.405	31.081	310.768
PTT008	33.665	3.003	586	277	1.398	1.621	608	801	1.161	429	3.031	23.246	69.865
PTT013	32.943	24.671	33.915	24.231	31.598	37.559	35.307	44.137	50.184	53.150	47.367	44.048	459.110
PTT022	2.778	2.519	2.252	1.889	1.770	2.260	2.268	2.255	2.387	2.773	3.314	2.473	28.916
PTT026	6.080	3.341	2.658	4.076	4.885	3.314	2.100	1.639	2.609	1.842	3.205	4.441	40.134
PTT434	877	932	689	507	959	578	637	1.203	781	661	1.242	825	9.893
PTT436	11.467	2.538	769	825	1.120	2.361	3.204	1.945	1.400	1.328	3.404	7.276	37.636
PTT464	1.864	1.663	1.590	1.701	1.512	1.526	1.470	2.331	2.468	3.096	3.476	1.893,22	24.590
PTT474	3.548	2.103	898	715	856	1.047	1.038	1.721	1.007	1.014	1.343	3.761	19.650
Global NP	77.865	56.841	58.262	42.604	58.740	62.946	66.030	76.341	61.811	57.668	78.922	88.130	786.160
Total	590.216	324.578	247.015	148.325	190.149	270.288	240.288	251.767	225.263	226.715	281.269	401.450	3.307.103

TABLA X
PLAN MAESTRO DE PRODUCCION 1ER TRIMESTRE 2025

Meses	Enero			Febrero			Marzo						
Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Cantidad de líneas de simple	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2
Días programados / semana	6,0	6,0	6,0	6,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Horas - día / línea	11,60	9,50	9,50	9,50	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Capacidad nominal líneas de Simple	142.560	121.120	121.120	121.120	86.400	86.400	86.400	86.400	86.400	86.400	86.400	86.400	86.400
Capacidad Efectiva (65%)	92.664	80.028	80.028	80.028	56.160	56.160	56.160	56.160	56.160	56.160	56.160	56.160	56.160
PMP de Simples	98.700	82.200	82.050	82.200	53.700	58.800	58.350	58.950	20.700	33.300	33.450	33.450	33.300
Capacidad disponible simples	-6.036	-2.172	-2.022	-2.172	2.460	-2.640	-2.190	-2.790	7.740	4.140	3.990	3.990	4.140
Cantidad de líneas de mezcla	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Días programados / semana	6,0	6,0	6,0	6,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Horas - día / línea	9,5	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Capacidad nominal líneas de mezcla	85.500	72.000	72.000	72.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000
Capacidad Efectiva (65%)	55.575	46.800	46.800	46.800	39.000	39.000	39.000	39.000	39.000	39.000	39.000	39.000	39.000
PMP de mezcla	39.100	33.700	33.100	33.700	6.000	7.500	8.400	8.850	3.600	4.500	1.500	1.900	1.500
PMP de No Pronosticables	19.467	19.467	19.467	19.467	14.211	14.211	14.211	14.211	11.653	11.653	11.653	11.653	11.653
PMP de Simples (excedente)	6.036	2.172	2.022	2.172	-	2.640	2.190	2.790	-	-	-	-	-
Capacidad disponible mezcla	972	1.461	2.211	1.461	18.789	14.649	14.189	13.149	23.747	22.847	22.847	22.847	22.847
Capacidad disponible (holgura)	972	1.461	2.211	1.461	21.249	14.649	14.189	13.149	31.487	26.987	26.837	27.437	26.987
Capacidad total	695.520	695.520	695.520	695.520	695.520	695.520	695.520	695.520	695.520	695.520	695.520	695.520	695.520
Capacidad efectiva programada	147.267	125.367	124.617	125.367	73.911	80.511	80.961	82.011	44.953	49.453	49.603	49.003	49.453
Utilización programada	21,17%	18,02%	17,92%	18,02%	10,63%	11,58%	11,64%	11,79%	6,46%	7,11%	7,13%	7,06%	7,11%

Finalmente se hace la simulación del plan maestro de producción para determinar la asignación de los recursos para satisfacer el pronóstico de la demanda, herramienta que es de gran utilidad para la empresa en la toma de decisiones.

IV. RESULTADOS

Mediante el análisis de los tiempos de parada en Tabla XI se muestra la determinación de la eficiencia de las líneas de producción durante los años 2019 - 2024, como resultado se obtuvo que la línea Yargus es la que tiene el mayor nivel de eficiencia alcanzando el 51,03% en promedio de los seis años de estudio.

TABLA XI
EFICIENCIA POR LINEA DE PRODUCCION

Línea	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Promedio
Yargus	46,24%	50,88%	46,96%	47,77%	56,04%	60,84%	51,03%
Sackett	45,53%	48,93%	47,15%	48,16%	56,20%	61,13%	50,50%
Doyle	44,76%	46,40%	47,01%	48,17%	56,41%	61,49%	49,85%
Simple 1	33,40%	38,43%	47,85%	42,00%	57,74%	72,05%	47,19%
Simple 2	37,36%	41,65%	48,94%	49,17%	54,74%	58,95%	46,10%
Simple 3	27,73%	40,46%	59,59%	41,62%	55,42%	64,04%	42,53%

En Tabla XII se puede observar que se determina que la línea de producción con mayor tiempo de utilización fue la línea Sackett con 14.029 horas, esto representa el 25,64% respecto al tiempo de utilización de las otras líneas de producción.

TABLA XII
TIEMPO DE UTILIZACION POR LINEA DE PRODUCCION

Línea	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total	FR
Sackett	2.626	2.885	2.480	2.094	1.841	2.104	14.029	25,64%
Yargus	2.639	2.447	2.252	1.862	1.500	1.850	12.549	22,94%
Simple 2	2.929	2.586	1.369	1.697	1.603	1.099	11.283	20,62%
Simple 1	2.786	722	1.780	2.236	1.464	1.597	10.586	19,35%
Simple 3	1.420	2.056	525	302	402	530	5.234	9,57%
Doyle	0	248	295	489	0	0	1.032	1,89%
Total horas	12.399	10.943	8.700	8.680	6.811	7.180	54.714	100,00%

También se determinó que la utilización de la capacidad total de planta para el pronóstico del año 2025 es del 9,19% con una producción planificada de 3'324.193 sacos. En el año 2024 la utilización fue de 10,93% con una producción de 3'306.760, es decir, con el modelo propuesto para la planificación de la producción se logra mejorar la eficiencia y la utilización de los recursos productivos. En la Tabla XIII se muestra el resumen de los resultados de la simulación aplicada.

TABLA XIII
RESULTADOS DE APLICACION DE SIMULACION

Descripción	Total	Promedio
Cantidad líneas de simples		2,23
Días programados / año	264,00	
Horas - día / línea		8,22
Horas total / año	4.931,00	
Capacidad Efectiva (65%)	2.307.708,00	
Cantidad líneas de mezcla		2,00
Días programados / año	264,00	
Horas - día / línea		8,15
Horas total / año	4.307,00	
Capacidad Efectiva (65%)	2.099.662,50	
Capacidad disponible (subutilización)	1.083.178	
Capacidad total	36.167.040	
Capacidad efectiva programada	3.324.193	
Utilización programada		9,19%

Con la simulación se demostró que se puede satisfacer la demanda pronosticada para el año 2025 utilizando los siguientes recursos:

- Dos líneas de compuestos o mezclas durante todo el año.
- Dos líneas de simples durante los meses de febrero a noviembre y solo se necesita contratar personal adicional para habilitar la tercera línea de simples durante los meses de enero y diciembre.
- Las dos líneas de compuestos en los meses de enero y diciembre deben trabajar los sábados y horario extendido de lunes a viernes. Los meses de febrero a noviembre no necesitan trabajar jornadas extras.
- Las tres líneas de simples en los meses de enero y diciembre deben trabajar los sábados y horario extendido

de lunes a viernes. Los meses de febrero a noviembre las dos líneas de simples no necesitan trabajar jornadas extras.

Además, se determina que la utilización de la capacidad total de planta para el pronóstico del año 2025 es del 9,19% con una producción planificada de 3'324.193 sacos. En el año 2024 la utilización fue de 10,93% con una producción de 3'306.760, es decir, con el modelo propuesto para la planificación de la producción se logra mejorar la eficiencia y la utilización de los recursos productivos.

V. CONCLUSIONES

Luego del análisis de datos e información se puede concluir lo siguiente: Se diseñó un modelo de planificación de la producción aplicando métodos estadísticos de pronóstico estacional con tendencia con la finalidad de mejorar la eficiencia de las líneas de ensacado de fertilizantes.

En el modelo de planificación de producción para mejorar la eficiencia en líneas de ensacado de fertilizantes, se ha identificado que la falta de orden de producción representa el 22,29% del tiempo disponible.

Se estimó una demanda de 3,307,103 sacos para 2025 y se puede plantear el diseño de un plan maestro de producción semanal y con esta simulación se puede tomar decisiones estratégicas para administrar recursos de manera eficiente. El modelo propuesto a la mejora de la programación de la producción evitando el uso de cantidades supuestas además de anticiparse a los picos y caídas de demanda con mejor precisión en los meses de invierno y una baja demanda en los meses de verano, con un ligero repunte en los meses de junio y julio por los sembríos de ciclo corto.

Cabe mencionar que el modelo estacional permite adaptarse a cada línea de producción reforzando una estrategia de proyección más robusta debido a la dinámica de la demanda, lo que lo diferencia del MPS, MRP y BOM que se utilizan para planificar y gestionar la producción a partir de una demanda ya estimada. Dado que la tendencia puede variar en función del tipo de producto, fases del cultivo, estudios de suelo, precios y escasez de los fertilizantes, tipos de invierno, factores políticos, etc.

VI. RECOMENDACIONES

Se puede hacer revisiones y actualizaciones trimestrales del modelo debido a la alta sensibilidad de la demanda dada por los factores climáticos, económicos o políticos, para poder afinar con mayor precisión las proyecciones así lograr mejorar la capacidad del modelo.

AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

Esta investigación se llevó a cabo gracias a la participación de los estudiantes de la Maestría en Producción y Operaciones Industriales y docentes de la Universidad Politécnica Salesiana UPS de Ingeniería Industrial, sede Guayaquil, pertenecientes al Grupo de Investigación Interdisciplinaria en Matemática Aplicada GIIMA que aportaron al desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] J. Heizer y B. Render, *Principios de administración de operaciones*, 10.ª ed., México: Pearson, 2014
- [2] S. Chopra y P. Meindl, *Gestión de la cadena de suministro: Estrategia, planificación y operación*, 6.ª ed., Madrid: Pearson, 2016
- [3] Control Group, Plan maestro de producción, como planificar. Recuperado el 26 de julio de 2021, de <https://blog.controlgroup.es/plan-maestro-de-produccion-planificar>, 2021.
- [4] M.I. Escalona, Planeación integral agregada e interrelación de los sistemas intermitentes con el MRP y filosofía JIT, kanban, reingeniería, 2009. <https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/ereader/bibliotecaups/28993?page=7>
- [5] Wed And Macros. Definición del MRP - plan de necesidades de materiales, 2021. <https://www.webandmacros.com/MRPconceptos.html>.
- [6] F.G. Monsalve, *Planificación de operaciones de manufactura y servicios*. Instituto Tecnológico Metropolitano, 2018. Obtenido de <https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/ereader/bibliotecaups/105644?page=19>
- [7] D. Himmelblau, *Análisis y simulación de procesos*, 2021. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books>.
- [8] M. Makridakis, S. Wheelwright y R. Hyndman, *Pronóstico: Métodos y aplicaciones*, 3.ª ed., New Jersey: Wiley, 1998.
- [9] G. E. P. Box, G. M. Jenkins y G. C. Reinsel, *Time Series Analysis: Forecasting and Control*, 5.ª ed., Nueva Jersey: Wiley, 2015.
- [10] D. Montgomery, E. Peck y G. Vining, *Introducción al análisis de regresión lineal*, 5.ª ed., México: Limusa, 2012
- [11] H. A. Linstone y M. Turoff, *The Delphi Method: Techniques and Applications*, Reading: Addison-Wesley, 1975
- [12] J. T. Mentzer y M. B. Moon, *Sales Forecasting Management: A Demand Management Approach*, 2.ª ed., Thousand Oaks: Sage Publications, 2004.
- [13] K. F. McLaughlin, *Optimización de procesos en la industria de fertilizantes*, Buenos Aires: Ediciones Industriales, 2019.
- [14] R. H. Shumway and D. S. Stoffer, *Time Series Analysis and Its Applications: With R Examples*, 4th ed. New York, NY, USA: Springer, 2017