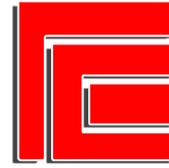


**OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN “DON PATO RESTAURANTE” MEDIANTE
PRONÓSTICO DE DEMANDA Y PROGRAMACIÓN LINEAL**

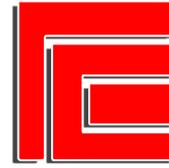
Análisis Cuantitativo de Negocios



Barrera, Ramiro - Bertolli, Albertina- Cerviño, Julieta - Meson, Catalina
Paz Pastorino, Lourdes- Paz, Julio - Potolicchio, Franco - Torres, Emiliano
Villafañe, Agustina.



Resumen	3
Introducción	4
Situación problemática:	5
Objetivo general:	6
Objetivos específicos:	6
Marco Metodológico	7
Marco Teórico	8
Herramientas a utilizar (MODELOS)	12
Pronóstico	12
Programación Lineal	12
Fuente y Captura De Datos	13
Aplicación	14
Pronóstico	14
Programación Lineal	17
Solución Programación Lineal	22
Análisis comparativo de programación lineal continua y entera	23
Análisis de Sensibilidad	24
Análisis del Informe de Respuestas	28
Conclusiones	32
Referencias Bibliográficas	33
Apéndice	34



Resumen

El análisis cuantitativo cumple un rol esencial en la interpretación de datos y en la toma de decisiones estratégicas, ya que permite convertir información histórica en herramientas útiles para proyectar escenarios futuros. A través del uso de técnicas estadísticas y modelos matemáticos, se identifican patrones de comportamiento, se estiman resultados y se optimiza el uso de los recursos. En este sentido, aplicar herramientas cuantitativas permite reducir la incertidumbre, mejorar la eficiencia operativa y tomar decisiones informadas basadas en evidencia.

En el sector gastronómico, en general es común que las empresas no realicen un análisis riguroso de la demanda, lo que limita su capacidad para planificar con precisión la producción mensual. Este es el caso de “Don Pato Restaurante”, una empresa de Tucumán dedicada a la venta de milanesas, empanadas y cortes de carne. A través de este trabajo se busca aportar información valiosa para determinar la combinación óptima de producción y ventas para el mes de junio de 2025, mediante la aplicación de herramientas de análisis cuantitativo.

El enfoque metodológico adoptado es cuantitativo, no experimental y de tipo descriptivo. La recolección de datos se realizó a partir de registros históricos de ventas y entrevistas con el propietario del restaurante. Las herramientas aplicadas fueron el pronóstico de demanda y la programación lineal, las cuales permitieron, en primer lugar, estimar la demanda futura de tres productos clave, y en segundo lugar, determinar la mezcla óptima de producción que maximice el margen de contribución bajo ciertas restricciones operativas, presupuestarias y de política interna.



Palabras claves: *Análisis de Datos – Programación Lineal – Optimización de la Producción - Pronóstico*

Introducción

En el contexto actual, donde la actividad gastronómica se encuentra en constante expansión y adaptación a nuevas dinámicas de consumo, la toma de decisiones informadas se vuelve una necesidad estratégica para las pequeñas y medianas empresas del sector. La creciente competencia, los cambios en los hábitos de los clientes y la búsqueda de eficiencia operativa obligan a las organizaciones a incorporar herramientas que les permitan optimizar sus procesos y anticiparse a la demanda con mayor precisión.

En este marco, el presente trabajo se enfoca en el caso de Don Pato Restaurante, una empresa local dedicada principalmente a la elaboración y venta de platos a base de milanesas y cortes de carne. Ubicado en una zona de alto tránsito, el local ha logrado consolidar una clientela fiel gracias a la calidad y el sabor de sus productos. Con el objetivo de ampliar su alcance y responder a la creciente demanda de servicios a domicilio, la empresa ha comenzado recientemente la apertura de una segunda sucursal.

El menú de Don Pato combina su especialidad en carnes con una propuesta variada que incluye empanadas, papas fritas, ensaladas y otros platos caseros, adaptados a las preferencias de un público amplio y diverso. Sin embargo, a pesar del crecimiento sostenido, las decisiones estratégicas continúan dependiendo en gran medida de la experiencia empírica de sus dueños, quienes, aunque cuentan con un conocimiento valioso del rubro, enfrentan desafíos a la hora de planificar con base en información objetiva y sistematizada.

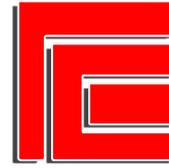


En este sentido, el presente trabajo propone la aplicación de herramientas de análisis cuantitativo, como los pronósticos de demanda y la programación lineal, con el fin de aportar fundamentos técnicos que permitan mejorar la toma de decisiones operativas. A través de la construcción de modelos que proyecten el comportamiento futuro de las ventas y optimicen la asignación de recursos, se busca brindar un aporte concreto para la planificación y gestión eficiente del negocio, promoviendo decisiones más precisas, sostenibles y alineadas con los desafíos del entorno competitivo actual.

Situación problemática:

En el sector gastronómico, es frecuente que las empresas no lleven a cabo un análisis detallado de la demanda futura, limitándose a registrar las ventas de cada mes. Esta práctica, aunque común, representa una oportunidad de mejora. En el caso de “Don Pato Restaurante”, se propone analizar la demanda proyectada con el objetivo de identificar una combinación de producción que permita incrementar la contribución marginal del negocio.

Al aplicar técnicas de pronóstico de demanda, el restaurante podrá comprender mejor los patrones y tendencias de consumo de sus productos, lo que facilitará una planificación más eficiente de su producción y una distribución más efectiva de los recursos disponibles. Anticiparse a la demanda permite minimizar tanto la falta de stock como el excedente de productos, optimizando así la operatividad, además la empresa puede ajustar sus niveles de producción de manera óptima, evitando tanto la escasez de productos como el exceso de inventario. Al maximizar la contribución



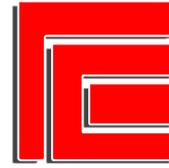
marginal, la empresa busca optimizar los ingresos generados por cada unidad adicional vendida después de cubrir los costos variables asociados con su producción. Esto implica evaluar cuánto aporta cada producto a los beneficios totales y enfocar los esfuerzos en aquellos productos que generen una mayor contribución por unidad vendida.

Presentada dicha situación problemática, se proponen las siguientes preguntas de investigación:

- 1) ¿Qué tendencias y patrones pueden observarse en las ventas históricas de los productos clave del restaurante Don Pato?
- 2) ¿Cuál es la demanda estimada para junio de 2025 y qué modelo de pronóstico ofrece la mayor precisión?
- 3) ¿Cuál es la mezcla óptima de producción mensual que ayuda a maximizar el margen de contribución de la empresa?

Objetivo general:

Brindar a los responsables de “Don Pato Restaurante” herramientas analíticas que les permitan tomar decisiones informadas sobre su producción mensual, a partir del análisis de datos históricos de ventas, el pronóstico de demanda y la optimización de la contribución marginal mediante programación lineal.



Objetivos específicos:

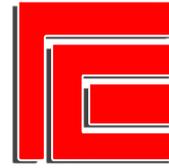
- Verificar los datos históricos de los productos claves para identificar patrones y comportamientos de consumo.
- Estimar la demanda proyectada para junio de 2025 utilizando distintos métodos de pronóstico y seleccionar el modelo más preciso según el Error Medio Absoluto.
- Determinar la combinación óptima de producción que maximice la contribución marginal para cada una de las categorías para el mes de junio de 2025 mediante un modelo de programación lineal.

Marco Metodológico

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo, ya que se centra en el análisis de datos numéricos relacionados con los productos clave de un restaurante de Tucumán. Se trata de un estudio no experimental y de carácter descriptivo, dado que no se manipulan variables, sino que se observan los fenómenos tal como se presentan en su entorno natural, con el objetivo de describir y analizar procesos reales dentro de la organización.

El tipo de investigación es aplicada, ya que busca generar conocimiento útil para la toma de decisiones empresariales mediante el uso de herramientas matemáticas y estadísticas. Se busca demostrar la utilidad de los modelos cuantitativos en la gestión de negocios, particularmente en contextos de pequeñas y medianas empresas del rubro gastronómico.

El objetivo principal del trabajo es evidenciar la funcionalidad de los modelos de pronóstico y programación lineal para optimizar la planificación y la rentabilidad. En concreto, se estudia la



contribución marginal de tres productos estratégicos del restaurante (empanadas, milanesas y picanas de asado), a partir de la demanda histórica de los últimos seis meses y de los costos variables asociados a la materia prima utilizada en su elaboración.

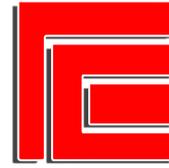
Los datos utilizados provienen de una empresa real del sector, pero fueron ajustados mínimamente para preservar la confidencialidad de la organización. Las principales variables analizadas incluyen unidades vendidas por producto, precios de venta, costos variables unitarios y cantidades máximas de producción estimadas.

Como herramientas metodológicas se emplearon el software QM for Windows y Microsoft Excel, que permiten llevar a cabo distintos tipos de análisis cuantitativo. En primer lugar, se aplicaron modelos de pronóstico, específicamente el suavizamiento exponencial simple y el promedio móvil, con el fin de estimar la demanda para el mes de junio. Luego, con base en esos resultados, se formuló un modelo de programación lineal, cuyo objetivo es maximizar la utilidad marginal bajo restricciones de producción y disponibilidad de materia prima.

Marco Teórico

Análisis Cuantitativo, Programación Lineal y Pronóstico

El **análisis cuantitativo** constituye una herramienta fundamental para la toma de decisiones en el ámbito organizacional, ya que permite convertir datos en información significativa. Tal como lo plantea Render (2012), este enfoque parte de la recopilación y procesamiento de datos reales, que luego son analizados para brindar respuestas objetivas a los problemas que enfrenta una



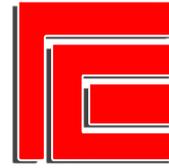
organización. El proceso incluye identificar el problema, construir un modelo representativo, recopilar la información necesaria, aplicar métodos de resolución, evaluar los resultados e implementar las conclusiones obtenidas. El uso adecuado de estas técnicas contribuye a generar soluciones eficientes, confiables, económicas y de fácil comprensión.

Una de las técnicas más utilizadas dentro del análisis cuantitativo es la **programación lineal (PL)**. Esta metodología permite resolver problemas relacionados con la asignación óptima de recursos escasos. De acuerdo con Render (2012), la programación lineal es un modelo matemático que ayuda a los gerentes en la planificación y distribución de recursos de forma eficiente. A pesar de su nombre, no se vincula directamente con la programación informática; en este contexto, el término "programar" refiere a planificar matemáticamente.

Según Hillier y Lieberman (2010), el adjetivo "lineal" hace referencia al hecho de que tanto la función objetivo como las restricciones del modelo deben expresarse mediante ecuaciones o desigualdades lineales. De este modo, la programación lineal busca encontrar la mejor solución posible —ya sea maximizar utilidades o minimizar costos— dentro de un conjunto de alternativas factibles.

Render (2012) identifica cuatro componentes esenciales en los modelos de programación lineal:

- 1. Función objetivo:** representa la meta que se desea alcanzar, como maximizar ingresos, contribución marginal o minimizar costos, y debe estar expresada matemáticamente.



2. **Restricciones:** reflejan las limitaciones reales de la empresa, como capacidad, tiempo o presupuesto, que condicionan las decisiones.
3. **Variables de decisión:** son las incógnitas que el modelo busca resolver, representando las cantidades a producir, asignar o distribuir.
4. **Relaciones matemáticas lineales:** tanto las restricciones como la función objetivo deben construirse a partir de relaciones proporcionales y aditivas.

Además, esta técnica se basa en los siguientes supuestos básicos:

- **Certeza:** se asume que los datos utilizados son conocidos con precisión y constantes durante el período de análisis.
- **Proporcionalidad:** los cambios en las variables generan efectos proporcionales en el objetivo y las restricciones.
- **Aditividad:** el efecto total es la suma de los efectos individuales.
- **Divisibilidad:** las variables pueden tomar valores fraccionarios.
- **No negatividad:** no se permiten valores negativos en las soluciones.

La programación lineal puede clasificarse, según las condiciones del problema, en continua (cuando las soluciones pueden ser fraccionarias), entera (cuando deben ser números enteros) o binaria (cuando las variables solo pueden tomar valores de 0 o 1). Render (2012) distingue tres tipos principales dentro de la programación entera: la entera pura (todas las variables son enteras), la entera mixta (algunas variables deben ser enteras y otras no), y la cero-uno, donde las decisiones son binarias.

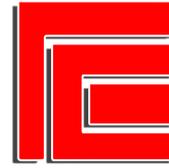


Por otro lado, el **pronóstico** es otra herramienta clave del análisis cuantitativo. Consiste en proyectar el valor futuro de una variable con base en datos históricos y actuales. Render (2012) clasifica los modelos de pronóstico en tres categorías:

- Modelos de series de tiempo: predicen el futuro basándose únicamente en el comportamiento pasado de la variable.
- Modelos causales: incorporan factores externos que influyen sobre la variable pronosticada.
- Modelos cualitativos: se fundamentan en opiniones, criterios de expertos y juicios subjetivos, útiles cuando no se dispone de información histórica suficiente.

Para llevar adelante un proceso de pronóstico riguroso, Render (2012) propone los siguientes pasos:

1. Determinar el propósito del pronóstico.
2. Identificar qué variable o cantidad será proyectada.
3. Establecer el horizonte temporal.
4. Seleccionar el modelo de pronóstico adecuado.
5. Recolectar los datos necesarios.
6. Validar el modelo con información disponible.
7. Ejecutar el pronóstico.
8. Implementar los resultados en la toma de decisiones.



Tanto la programación lineal como el pronóstico forman parte del conjunto de herramientas analíticas más importantes para mejorar la gestión, reducir la incertidumbre y optimizar la eficiencia de las operaciones en organizaciones que enfrentan escenarios complejos o recursos limitados.

Herramientas a utilizar (MODELOS)

Pronóstico

Se realizará un pronóstico con la herramienta QM para la demanda de junio 2025, de los productos más vendidos por el local gastronómico. Se seleccionaron las siguientes categorías: milanesa al plato, empanadas y tira de asado.

Se implementarán diferentes métodos de pronóstico con el objetivo de identificar aquel que presente el menor Desvío Medio Absoluto (MAD). Los resultados obtenidos servirán como base para definir las restricciones de demanda que se utilizarán en una etapa posterior, al aplicar técnicas de programación lineal.

Programación Lineal

A partir de la demanda estimada para el mes de junio, se desarrollará un modelo de programación lineal con el objetivo de maximizar el margen de contribución total de la empresa. Se llevará a cabo una programación lineal utilizando variables continuas como el precio promedio de venta, los costos promedios de fabricación y el margen específico promedio por categorías. Además, se utilizarán variables discretas para determinar las unidades promedio a producir y vender de cada



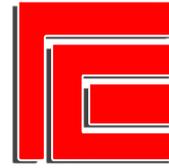
categoría. El objetivo de la programación será maximizar el margen de contribución de la empresa encontrando la mezcla óptima para producir y vender de cada categoría. Para lograr este objetivo, se definirán las restricciones y los parámetros necesarios para el modelo de programación lineal, como la capacidad de producción, las limitaciones de la demanda, las restricciones presupuestarias y políticas de la organización.

Fuente y Captura De Datos

La información utilizada en este trabajo será proporcionada por el dueño del restaurante Don Pato. Por motivos de confidencialidad, se realizarán ajustes en ciertos datos, como los precios de venta y los costos variables, a fin de resguardar la privacidad de la empresa. Además, realizaremos una entrevista con el propietario del restaurante “Don Pato”.

Tabla 1: Base De Datos “Don Pato Restaurante”

Mes	Empanadas	Milanesas	Picanas
Diciembre	13500	720	215
Enero	10200	530	155
Febrero	10600	560	165
Marzo	13800	700	210
Abril	12600	660	190
Mayo	14100	750	225
Total	74800	3920	1160
Precio Venta	\$ 1.500	\$ 28.000	\$ 21.000



CV	\$ 900	\$ 16.800	\$ 12.600
Contribución marginal	\$ 600	\$ 11.200	\$ 8.400

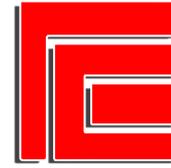
Fuente: Don Pato Restaurante + Elaboración propia

Aplicación

Pronóstico

Para poder realizar la programación lineal en busca de encontrar la mezcla de productos óptima de las categorías: empanadas, milanesa y picana que maximice el margen de contribución de cada una de ellas, primero debemos pronosticar la demanda para el mes de junio del 2025. Todos los pronósticos serán realizados con la herramienta POM-QM, un software de apoyo que contiene los métodos cuantitativos para resolver problemas de investigación operativa. Se optará por el pronóstico que minimice el DMA (Desvío medio absoluto). Para esto se utilizaron los datos históricos de la demanda desde el mes de diciembre de 2024 hasta mayo del 2025. Para el pronóstico del mes de junio 2025 se utilizaron 4 pronósticos: promedio móvil simple de 2 periodos, promedio móvil simple de 3 periodos, promedio móvil ponderado con pesos de 0.6 para el mes más reciente y 0.4 el más antiguo. Esta elección se realizó a juicio, considerando que la demanda del mes próximo está más relacionada a la del mes anterior.

Como última herramienta, se realizó el pronóstico de junio de 2025 por medio del modelo regresión lineal.



Al realizar pronósticos para cada categoría, se optará por el modelo más adecuado para cada una de ellas. A continuación, se muestran los pronósticos obtenidos y sus medidas de desempeño, junto a un análisis de los datos obtenidos.

Tabla 2: Categoría empanadas

Categoría empanadas	Modelos			
	PMS (N=2)	PMS (N=3)	PMP (N=2)	Regresión lineal
Junio	13350	13500	13500	13806,67
MAD	1487,5	1733,333	1345	1269,524

Fuente: Elaboración propia

En el caso de la categoría empanadas, se utilizará el pronóstico obtenido mediante la herramienta regresión lineal, el cual nos brinda un menor DMA que los otros métodos aplicados y nos pronostica la demanda de junio de 2025.

Demanda proyectada para junio 2025: 13.806, 67 unidades

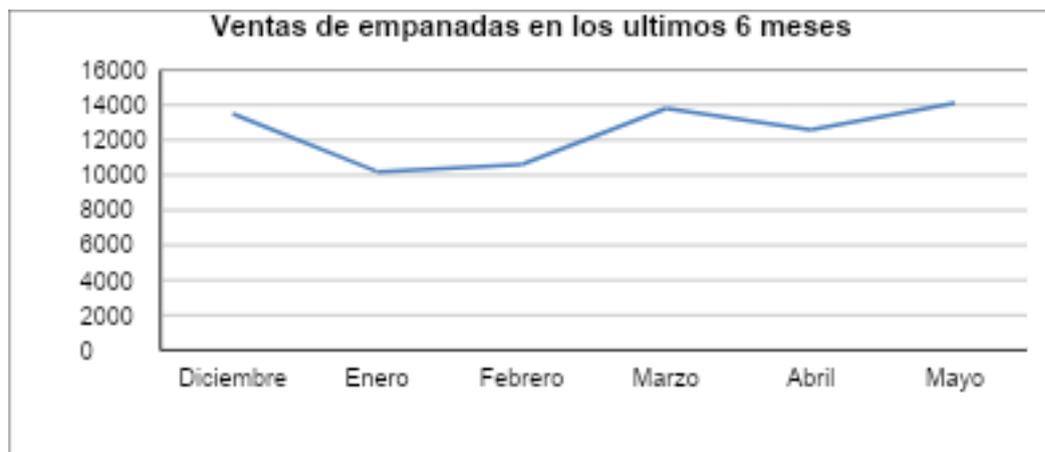
A continuación, se muestra un gráfico que representa la evolución de las ventas de empanadas durante el período de diciembre de 2024 a mayo de 2025. El gráfico revela un punto elevado en las ventas en el mes de diciembre, con un total de 13.500 unidades vendidas. Sin embargo, en enero se observa una disminución abrupta, alcanzando las 10.200 unidades, lo que representa el nivel más bajo del período analizado.



A partir de febrero, se evidencia una recuperación paulatina en las ventas. Este incremento se mantiene durante los meses siguientes, registrando 10.600 empanadas en febrero, 13.800 en marzo y 12.600 en abril. Finalmente, en mayo, las ventas alcanzan las 14.100 unidades, consolidando así una tendencia de crecimiento sostenido desde el mes de enero.

Es importante destacar que los datos representados en el gráfico corresponden exclusivamente a las ventas de empanadas y se refieren únicamente al período mencionado. Esta evolución resulta útil para realizar pronósticos de ventas para los próximos meses. Los gráficos de las restantes categorías se encuentran en el apéndice.

Figura 1 – Ventas de diciembre 2024 a Mayo 2025



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3: Categoría Milanesas



Categoría Milanesas	Modelos			
	PMS (N=2)	PMS (N=3)	PMP (N=2)	Regresión lineal
Junio	705	703,333	714	721,333
MAD	80	90	72	66,762

Fuente: Elaboración propia

En el caso de la categoría milanesa, se utilizará el pronóstico obtenido mediante la herramienta regresión lineal, el cual nos brinda un menor DMA que los otros métodos aplicados y nos pronostica la demanda de junio de 2025.

Demanda proyectada para junio 2025: 721,333 unidades

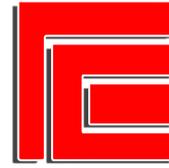
Tabla 4: Categoría Picana

Categoría Picanas	Modelos			
	PMS (N=2)	PMS (N=3)	PMP (N=2)	Regresión lineal
Junio	207,5	208,333	211	213,333
MAD	24,375	27,222	23	22,381

Fuente: Elaboración propia

Para la categoría picana, se utilizará el pronóstico para el mes de Junio de 2025 obtenido a través del modelo regresión lineal ya que nos brinda un menor DMA en comparación a los otros modelos utilizados.

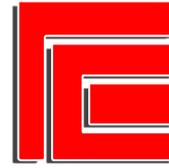
Demanda proyectada para junio 2025: 213,333 unidades



Programación Lineal

A partir de la demanda pronosticada para el mes de junio del año 2025 por categoría se procedió a realizar una Programación Lineal (PL), con el objetivo de obtener la mezcla óptima de ventas para el mes de junio 2025, que maximice el margen de contribución y poder ser utilizada como guía para los siguientes meses. Se presentan a continuación la función objetivo definida, los coeficientes objetivos y las restricciones utilizadas para el desarrollo de la PL.

- **Función objetivo:** Se definió como función objetivo Maximizar el margen de contribución para el mes de junio 2025. Donde los coeficientes objetivos representan la contribución marginal unitaria por categoría. Para la contribución marginal se utilizaron los datos brindados por la empresa ya presentados en la Tabla 1: Base de Datos “Don Pato Restaurante”.
- **Maximizar el margen de contribución marginal** = (Cantidad de empanadas * Cmg unit de Empanadas) + (Cantidad de milanesas * Cmg unit de milanesas) + (Cantidad de picana* Cmg unit).
- **FO Max Cmg total:** \$600 x cantidad de empanadas + \$11200 x cantidad de milanesas + \$8400 x cantidad de picanas
- **Restricciones:** Se definió junto a una entrevista con el dueño y un análisis de la situación actual de la empresa como restricciones, las siguientes:



Restricciones de demanda: Existe una restricción de demanda por cada categoría, obtenida a partir del pronóstico de demanda del mes. Donde para cada una de las categorías se demanda:

- Empanadas: 13806,67 unidades de empanadas
- Milanesas: 721, 333 platos de milanesas
- Picana: 213,333 platos de picana

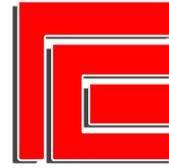
R1: Cantidad de empanadas \geq 13806,67 uds

R2: Cantidad de milanesas \geq 721,333 uds

R3: Cantidad de picana \geq 213,333 uds

Restricciones de Capacidad: De acuerdo con la información proporcionada por el dueño de la empresa, se dispone de una capacidad máxima total de 126.000 minutos destinados a la producción mensual. Esta capacidad se calcula en base a los siguientes parámetros operativos:

Se cuenta con 7 trabajadores, cada trabajador realiza 2 turnos por día, de 5 horas cada uno. El mes considerado tiene 30 días laborables. Por lo tanto, la capacidad total mensual disponible se calcula como: $7 \text{ trabajadores} \times 5 \text{ horas} \times 2 \text{ turnos} \times 30 \text{ días} \times 60 \text{ minutos} = 126.000 \text{ minutos}$



Esta capacidad debe distribuirse entre las distintas categorías de productos elaborados por la empresa. En particular, se establece que: la producción de empanadas requiere hasta 8 minutos por unidad, la producción de milanesas requiere hasta 10 minutos por unidad y la producción de picanas requiere hasta 20 minutos por unidad.

Por lo tanto, la restricción de capacidad queda definida como:

$$8 \cdot X + 10 \cdot Y + 20 \cdot Z \leq 126.000 \text{ minutos}$$

Dónde:

X representa la cantidad de empanadas producidas,

Y representa la cantidad de milanesas producidas,

Z representa la cantidad de picanas producidas.

Esta restricción asegura que el tiempo total destinado a la producción de los tres productos no supere el límite de capacidad disponible mensual, de acuerdo con los recursos humanos y el régimen de trabajo establecido por la empresa.

Restricciones de Política: Según lo establecido por la dirección de la empresa, se ha fijado una política interna de producción que busca evitar la sobreproducción, optimizar recursos y mantener el equilibrio entre oferta y demanda.

En particular, se establece que la cantidad producida de cada uno de los productos no debe superar en más de un 20% a la cantidad demandada estimada para el mes de junio.

La demanda estimada mensual para cada producto es la siguiente:



- **Empanadas:** 13.807 unidades
- **Milanesas:** 722 unidades
- **Picanas:** 214 unidades.

Por lo tanto, la restricción de política queda definida como:

$$X \leq 1,20 \times 13.806,67$$

$$Y \leq 1,20 \times 721,33$$

$$Z \leq 1,20 \times 213,332$$

Lo que equivale a:

$$X \leq 16.568 \text{ unidades de empanadas}$$

$$Y \leq 865,996 \text{ platos de milanesa}$$

$$Z \leq 255,996 \text{ platos de picana}$$

Donde:

X representa la cantidad de empanadas producidas,

Y representa la cantidad de milanesas producidas,

Z representa la cantidad de picanas producidas.

Esta restricción asegura que la producción mensual no exceda significativamente la demanda real, respetando así los lineamientos internos establecidos por la empresa.

Restricción de presupuesto: la misma está definida por un monto de presupuesto mensual de \$35.000.000 para la compra y gastos incurridos en materia prima. Por lo tanto, la restricción de presupuesto queda definida como:



$$900 X + 16800 Y + 12600 Z \leq \$35.000.00$$

Solución Programación Lineal

Se presenta a continuación la resolución propuesta en Excel al utilizar solver.

Tabla 5: Programación lineal Continua

	X	Y	Z		
VD	14028,0105	865,5996	255,996		
CO	\$ 600	\$ 11.200	\$ 8.400	\$ 20.261.888,22	
R1	1			14028,0105	>= 13806,67
R2		1		865,5996	>= 721,333
R3			1	255,996	>= 213,33
R4	8	10	20	126000	<= 126000
R5	1			14028,0105	<= 16568
R6		1		865,5996	<= 865,5996
R7			1	255,996	<= 255,996
R8	900	16800	12600	30392832,33	<= 35000000

Fuente: Elaboración propia

Conjunto Solución Propuesto: Unidades/Platos a producir y vender en el mes de junio 2025.

- **Empanadas:** 14028,0105 unidades.
- **Milanesas:** 865,5996 unidades.
- **Picana:** 255,5996 unidades.

Este conjunto solución ofrece un margen de contribución para el mes de junio 2025 a “Don Pato Restaurante” de **\$20.261.888,22**



Se utilizó también programación lineal entera con el fin de poder comparar los resultados y determinar cuál de los métodos es más adecuado para el caso bajo estudio, a continuación, se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 6: Programación Lineal Entera

	X	Y	Z			
VD	14028	865	255			
CO	\$ 600	\$ 11.200	\$ 8.400	\$ 20.246.800,00		
R1	1			14028	>=	13806,67
R2		1		865	>=	721,333
R3			1	255	>=	213,33
R4	8	10	20	125974	<=	126000
R5	1			14028	<=	16568
R6		1		865	<=	865,5996
R7			1	255	<=	255,996
R8	900	16800	12600	30370200	<=	35000000

Fuente: Elaboración Propia

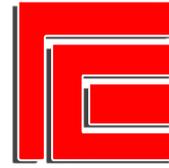
Análisis comparativo de programación lineal continua y entera

Tabla 7: Análisis comparativo entre programación lineal continua y entera

	Empanadas	Milanasas	Picana	FO
PL continua	14028,0105	865,5996	255,996	\$ 20.261.888,22
PL entera	14028	865	255	\$ 20.246.800,00
Diferencia	0,0105	0,5996	0,996	\$ 15.088,22

Fuente: Elaboración Propia

Para el presente trabajo se resolvió el modelo utilizando tanto programación lineal continua como programación lineal entera, con el objetivo de analizar las diferencias entre ambas metodologías y evaluar cuál se adapta mejor a nuestro caso.



En la programación lineal continua se obtuvieron resultados con valores decimales para las variables de decisión (por ejemplo, 14.028,0105 empanadas, 865,5996 milanesas y 255,996 picana), mientras que en la programación lineal entera se ajustaron esos valores a números enteros (14.028 empanadas, 865 milanesas y 255 picana). Como resultado, la función objetivo presentó una ligera diferencia: \$20.261.888,22 para el modelo continuo frente a \$20.246.800,00 en el modelo entero. Es decir, una diferencia de apenas \$15.088,22.

A pesar de esta mínima diferencia en el valor óptimo, se optó por trabajar con la programación lineal continua, ya que ofrece herramientas analíticas adicionales que resultan clave para este tipo de estudios. En particular, permite acceder a los informes de sensibilidad y de respuestas, los cuales brindan información fundamental para la toma de decisiones estratégicas.

Análisis de Sensibilidad

El análisis de sensibilidad se utiliza para evaluar el impacto de cambios en los parámetros de entrada en la solución óptima. Esta técnica no solo se utiliza para tratar errores en la estimación de los parámetros de entrada, sino también para realizar experimentos administrativos y evaluar posibles cambios futuros en la empresa. Después de resolver un problema de programación lineal, se puede analizar cómo afectarían ciertos cambios en los parámetros del problema a la solución óptima. Estos cambios pueden estar relacionados con los coeficientes de la función objetivo, las restricciones del problema o las variables en el modelo.



Tabla 8: Informe de Sensibilidad

Celdas de variables

Celda	Nombre	Final Valor	Reducido Coste	Objetivo Coeficiente	Permisible Aumentar	Permisible Reducir	Rango de optimalidad
\$B\$37	VD X	14028,0105	0	600	2760	600	0 3360
\$C\$37	VD Y	865,5996	0	11200	1E+30	10450	750 1E+30
\$D\$37	VD Z	255,996	0	8400	1E+30	6900	1500 1E+30

Restricciones

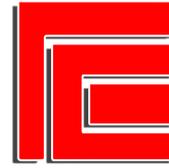
Celda	Nombre	Final Valor	Sombra Precio	Restricción Lado derecho	Permisible Aumentar	Permisible Reducir	Rango de factibilidad
\$E\$39	R1 restric de demanda	14028,0105	0	13806,67	221,3405	1E+30	-1E+30 14028,0105
\$E\$40	R2 restric de demanda	865,5996	0	721,333	144,2666	1E+30	-1E+30 865,5996
\$E\$41	R3 restric de demanda	255,996	0	213,33	42,666	1E+30	-1E+30 255,996
\$E\$42	R4 restric de capacidad	126000	75	126000	20319,948	1770,724	124229,276 146319,948
\$E\$43	R5 restric de politica	14028,0105	0	16568,004	1E+30	2539,9935	14028,0105 1E+30
\$E\$44	R6 restric de politica	865,5996	10450	865,5996	177,0724	144,2666	721,333 1042,672
\$E\$45	R7 restric de politica	255,996	6900	255,996	88,5362	42,666	213,33 344,5322
\$E\$46	R8 restric de presupuesto	30392832,33	0	35000000	1E+30	4607167,67	30392832,3 1E+30

Fuente: Elaboración Propia

Análisis de Sensibilidad de las Variables de Decisión

La información del informe de sensibilidad indica que las tres variables de decisión (empanadas, milanesas y picanas) tienen un valor positivo en la solución óptima, por lo tanto, todas forman parte activa del plan de producción óptimo. En consecuencia, el costo reducido asociado a cada una de ellas es cero, lo cual significa que no hay penalización por incluirlas en la solución y que, dado el contexto actual, todas contribuyen positivamente al valor de la función objetivo.

Además, los rangos de optimalidad para el coeficiente objetivo (contribución marginal) muestran los valores dentro de los cuales se pueden modificar la contribución marginal unitaria de



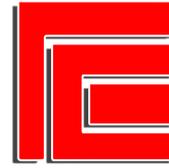
cada producto sin que cambie la solución óptima (aunque sí podría cambiar el valor total de la función objetivo):

- Para **empanadas (X)**: el coeficiente puede aumentar hasta \$3360 o reducirse hasta \$0.
- Para **milanesas (Y)**: el coeficiente puede reducirse hasta \$750 sin afectar la solución óptima. No tiene límite superior, lo que indica una **alta sensibilidad positiva a aumentos de precio**.

- Para **picanas (Z)**: puede reducirse hasta \$1.500 sin afectar la solución. Tampoco tiene límite superior.

Análisis de Sensibilidad de las Restricciones

El precio sombra es un valor importante en el Análisis de Sensibilidad de las restricciones. Se aplica únicamente a aquellas restricciones que son los puntos clave que limitan nuestra capacidad de progreso, es decir que son cuello de botella en nuestro sistema. Básicamente, nos muestra cómo cambiará el valor de la función objetivo al aumentar en una unidad el lado derecho de esa restricción en particular. En el contexto de esta empresa, el precio sombra nos indica cuánto cambiará el valor del margen de contribución marginal cuando incrementemos en una unidad la cantidad máxima de empanadas que podemos producir según nuestras políticas de producción, por ejemplo.



En resumen, el precio sombra es un indicador útil para entender cómo los cambios en las restricciones afectan la función objetivo, permitiéndonos tomar decisiones más informadas. Es importante aclarar que este valor solamente se lo puede interpretar dentro del rango de factibilidad.

En el análisis de sensibilidad del modelo de programación lineal para el restaurante, se observa que algunas restricciones actúan como cuellos de botella, lo que significa que están activas y limitan directamente el valor óptimo de la función objetivo. Estas restricciones tienen un precio sombra distinto de cero, lo que permite cuantificar cuánto cambiaría la contribución total si se modificara en una unidad el valor del lado derecho de cada restricción, dentro del rango de factibilidad.

R4: Restricción de Capacidad - Precio sombra: \$75

Un aumento de una unidad en la capacidad total incrementa el valor de la función objetivo en \$75.

Este análisis se mantiene válido mientras el valor de la capacidad se mantenga dentro del rango de factibilidad, que va desde 124.229,28 hasta 146.319,95 unidades.

R6: Restricción de Política de Producción de Milanesas – Precio sombra: \$10.450

Esta política restringe la producción de milanesas a un máximo de 865,5996 unidades. El precio sombra de \$10.450 indica que si se permite producir una unidad adicional de milanesa, el valor de la función objetivo aumentaría en ese monto, reflejando una alta rentabilidad marginal del producto.



El rango de factibilidad dentro del cual esta interpretación se mantiene válida va desde 721,333 hasta 1.042,672 unidades.

Este resultado destaca a las milanesas como una de las opciones más valiosas del menú, lo cual refuerza la necesidad de revisar esta política si se busca aumentar los márgenes de ganancia.

R7: Restricción de Política de Producción de Picana – Precio sombra: \$6.900

La política vigente limita la producción de picanas a 255,996 unidades. El precio sombra de \$6.900 señala que producir una unidad adicional de picana generaría un incremento de igual valor en la función objetivo.

El rango de factibilidad de esta restricción va desde 213,33 hasta 344,53 unidades, dentro del cual se mantiene la validez del análisis.

Esto pone en evidencia que la picana es un producto rentable y que su limitación actual impone un costo de oportunidad relevante para el restaurante.

Análisis del Informe de Respuestas

Tabla 9: Informe de Respuestas

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$E\$38	CO restriccc de presupuesto	\$ 20.200,00	\$ 20.261.888,22

Celdas de variables

Celda	Nombre	Valor original	Valor final	Entero
\$B\$37	VD X	1	14028,0105	Continuar
\$C\$37	VD Y	1	865,5996	Continuar
\$D\$37	VD Z	1	255,996	Continuar

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Demora
\$E\$39	R1 restriccc de demanda	14028,0105	\$E\$39>=\$G\$39	No vinculante	221,3405
\$E\$40	R2 restriccc de demanda	865,5996	\$E\$40>=\$G\$40	No vinculante	144,2666
\$E\$41	R3 restriccc de demanda	255,996	\$E\$41>=\$G\$41	No vinculante	42,666
\$E\$42	R4 restriccc de capacidad	126000	\$E\$42<=\$G\$42	Vinculante	0
\$E\$43	R5 restriccc de política	14028,0105	\$E\$43<=\$G\$43	No vinculante	2539,9935
\$E\$44	R6 restriccc de política	865,5996	\$E\$44<=\$G\$44	Vinculante	0
\$E\$45	R7 restriccc de política	255,996	\$E\$45<=\$G\$45	Vinculante	0
\$E\$46	R8 restriccc de presupuesto	30392832,33	\$E\$46<=\$G\$46	No vinculante	4607167,67



Fuente: Elaboración Propia

El informe de respuestas del modelo de programación lineal continua aplicado al restaurante permite interpretar los resultados obtenidos para las variables de decisión y las restricciones. Este análisis proporciona información clave para evaluar la validez de la solución óptima y detectar oportunidades de mejora operativa o estratégica.

Variables de decisión y sus valores óptimos

Las variables de decisión representan la cantidad a producir de cada uno de los productos:

X (empanadas): 14.028,0105 unidades

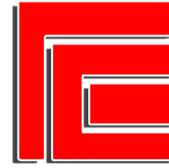
Y (milanesas): 865,5996 unidades

Z (picanas): 255,996 unidades

Estas cantidades permiten alcanzar una contribución total máxima de \$20.261.888,22, lo que constituye la solución óptima del modelo.

Dado que todas las variables tienen un costo reducido igual a cero, esto indica que todas forman parte de la solución óptima y son rentables bajo las condiciones actuales del sistema. Por lo tanto, no es necesario forzar su inclusión ni su exclusión del modelo.

Restricciones



El informe también detalla el estado de las restricciones, indicando si se encuentran vinculantes (es decir, si actúan como límites efectivos en la solución) o no vinculantes (no afectan directamente la solución actual).

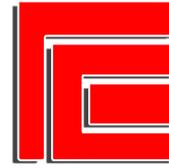
Restricciones Vinculantes

Son las restricciones que se encuentran en su límite, lo que significa que están condicionando directamente el resultado óptimo del modelo. Son los llamados “cuellos de botella” del sistema.

R4 – Restricción de Capacidad: La capacidad máxima disponible (126.000 horas) está completamente utilizada. Esto significa que no hay horas ociosas, y que aumentar esta capacidad permitiría mejorar la producción y, por lo tanto, la contribución total del restaurante.

R6 – Política de Producción de Milanesas: La cantidad producida de milanesas (865,60 unidades) alcanza exactamente el máximo permitido por la política interna. No es posible incrementar esta producción sin relajar esta restricción. Esto sugiere que las milanesas tienen una alta rentabilidad marginal, y su limitación actúa como freno al crecimiento del resultado.

R7 – Política de Producción de Picana: Se producen 255,99 unidades de picana, que es el máximo establecido por la política de producción. Al igual que con las milanesas, esta restricción es activa y representa una oportunidad de mejora si se flexibiliza.



Estas tres restricciones son las más relevantes desde el punto de vista económico, ya que su relación podría generar un impacto directo positivo en la solución del modelo.

Restricciones No Vinculantes

Las siguientes restricciones no están completamente utilizadas, lo que significa que no afectan directamente la solución actual. Existe margen suficiente como para que estas condiciones no se conviertan en obstáculos:

R1 – Demanda de empanadas

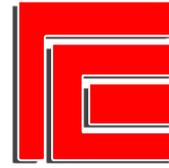
R2 – Demanda de milanesas

R3 – Demanda de picana

R5 – Política de producción de empanadas

R8 – Restricción presupuestaria

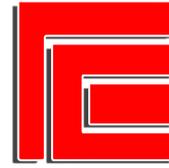
Dado que estas restricciones no están activas, se concluye que no son determinantes en el punto óptimo actual. Por ejemplo, el presupuesto no se encuentra completamente agotado, lo que podría permitir evaluar otras estrategias con costos adicionales si existieran oportunidades.



Conclusiones

La implementación de herramientas cuantitativas como el pronóstico de demanda y la programación lineal ha demostrado ser clave para transformar datos históricos en decisiones estratégicas concretas dentro de una pyme gastronómica como Don Pato Restaurante. A través del uso de modelos matemáticos, fue posible anticipar la demanda futura con mayor precisión y optimizar la combinación de productos a elaborar, maximizando así el margen de contribución en función de las restricciones reales del negocio.

Esta metodología no sólo permitió reducir la incertidumbre en la planificación operativa, sino que también ofreció un marco estructurado para asignar eficientemente los recursos disponibles, respetando las políticas internas de producción, la capacidad instalada y el presupuesto mensual para materias primas. La combinación óptima de producción sugerida ofrece una base cuantitativa para mejorar la rentabilidad y la eficiencia del restaurante, superando el enfoque tradicional basado únicamente en la intuición o la experiencia empírica.



Asimismo, se resalta la importancia de complementar estos modelos con un análisis cualitativo del contexto, lo que permite considerar variables no cuantificables que influyen en el comportamiento del mercado. La experiencia demuestra que, con datos fiables y una comprensión profunda del entorno, es posible utilizar herramientas analíticas de manera accesible y efectiva, incluso en empresas de menor escala.

Como propuesta para el futuro, se sugiere adoptar esta metodología de forma periódica, elaborando pronósticos mensuales que sirvan de base para actualizar el modelo de programación lineal. Esto implicaría recolectar información continua sobre las ventas, costos y restricciones, lo que permitiría ajustar la planificación con mayor precisión y adaptarse de forma ágil a las variaciones del mercado. A medida que se acumulen más observaciones, la exactitud de los pronósticos aumentará, consolidando un sistema de apoyo a la decisión sólido y sostenible para la gestión de la empresa.

Referencias Bibliográficas

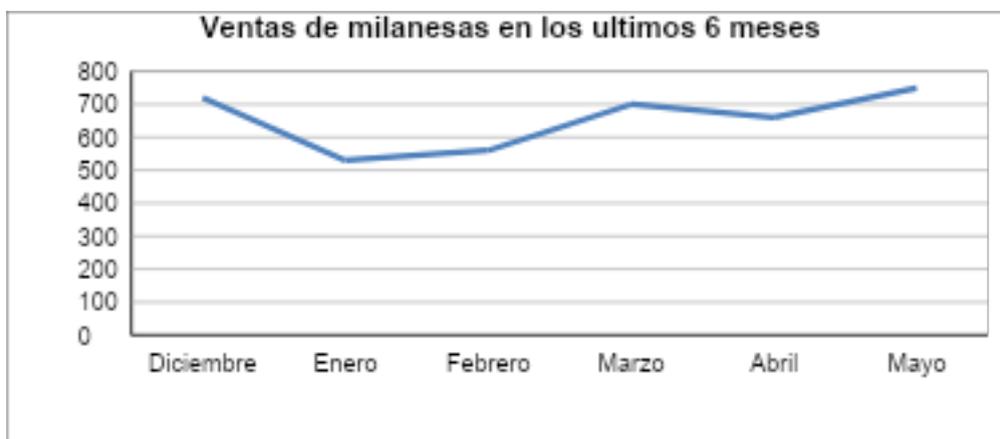
- Anderson, D. R., Sweeney, D. J., Williams, T. A., Camm, J. D., & Martin, K. (2012). *Métodos cuantitativos para los negocios*. Cengage Learning.
- Eppen, G. D. (2000). *Investigación de operaciones en la ciencia administrativa*. McGraw-Hill.
- Hanke, J. E. (2006). *Pronósticos en los negocios*. Pearson.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2010). *Introducción a la investigación de operaciones* (9.ª ed.). McGraw-Hill.
- Render, B. (2012). *Métodos cuantitativos para los negocios*. Pearson.



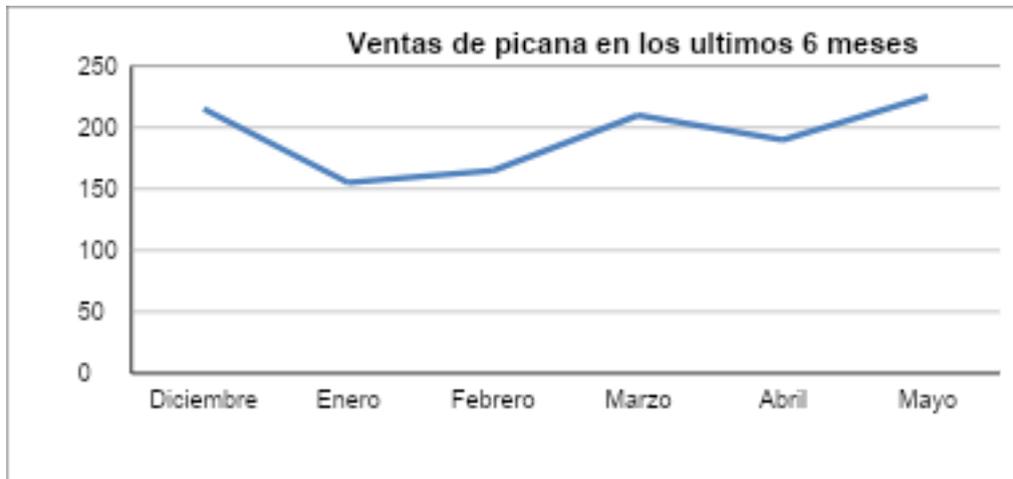
Apéndice

A continuación, se muestran los gráficos correspondientes a la evolución de ventas en cada una de las categorías, considerando el periodo de diciembre 2024 a mayo 2025:

Demanda milanesas



Demanda Picana



Seguidamente, se presentan las salidas de QM para cada método de pronóstico analizado. En primer lugar, promedio móvil simple, promediando los dos periodos más recientes. En segundo lugar, promedio móvil simple con $n=3$. En tercer lugar, promedio móvil ponderado, utilizando 0,6 para la observación más reciente y 0,4 para la más antigua. En cuarto lugar, el modelo de Regresión Lineal.

EMPANADAS

Promedio movil simple con $n=2$	
Measure	Value
Error Measures	
Bias (Mean Error)	862,5
MAD (Mean Absolute Deviation)	1487,5
MSE (Mean Squared Error)	3523125
Standard Error (denom= $n-2=2$)	2654,477
MAPE (Mean Absolute Percent Error)	11,50%
Forecast	
next period	13350

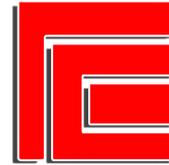
Promedio movil simple con $n=3$	
Measure	Value



Error Measures	
Bias (Mean Error)	1733,333
MAD (Mean Absolute Deviation)	1733,333
MSE (Mean Squared Error)	3286667
Standard Error (denom=n-2=1)	3140,064
MAPE (Mean Absolute Percent Error)	12,72%
Forecast	
next period	13500

Promedio móvil ponderado con n=2, con pesos de 0.6 para el mes más reciente y 0.4 el más antiguo	
Measure	Value
Error Measures	
Bias (Mean Error)	885
MAD (Mean Absolute Deviation)	1345
MSE (Mean Squared Error)	3295700
Standard Error (denom=n-2=2)	2567,372
MAPE (Mean Absolute Percent Error)	10,22%
Forecast	
next period	13500

Regresión lineal simple			
Measure	Value	Future Period	Forecast
Error Measures		7	13806,67
Bias (Mean Error)	0	8	14189,52
MAD (Mean Absolute Deviation)	1269,524	9	14572,38
MSE (Mean Squared Error)	1931366	10	14955,24
Standard Error (denom=n-2=4)	1702,072	11	15338,09
MAPE (Mean Absolute Percent Error)	10,62%	12	15720,95
Regression line		13	16103,81

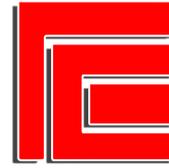


Demand(y) = 11126,67		14	16486,66
+ 382,857 * Time		15	16869,52
Statistics		16	17252,38
Correlation coefficient	0,426	17	17635,23
Coefficient of determination (r^2)	0,181	18	18018,09
Forecast		19	18400,95
x = 2	11892.38	20	18783,8

MILANESAS

Promedio movil simple con n=2	
Measure	Value
Error Measures	
Bias (Mean Error)	47,5
MAD (Mean Absolute Deviation)	80
MSE (Mean Squared Error)	8512,5
Standard Error (denom=n-2=2)	130,48
MAPE (Mean Absolute Percent Error)	11,91%
Forecast	
next period	705

Promedio movil simple con n=3



Measure	Value
Error Measures	
Bias (Mean Error)	90
MAD (Mean Absolute Deviation)	90
MSE (Mean Squared Error)	8485,182
Standard Error (denom=n-2=1)	159,548
MAPE (Mean Absolute Percent Error)	12,69%
Forecast	
next period	703,333

Promedio movil ponderado con n=2, con pesos de 0.6 para el mes mas reciente y 0.4 el mas antiguo	
Measure	Value
Error Measures	
Bias (Mean Error)	49
MAD (Mean Absolute Deviation)	72
MSE (Mean Squared Error)	7738
Standard Error (denom=n-2=2)	124,403
MAPE (Mean Absolute Percent Error)	10,56%
Forecast	
next period	714

Regresión lineal simple			
Measure	Value	Future Period	Forecast
Error Measures		7	721,333
Bias (Mean Error)	0	8	740,762
MAD (Mean Absolute Deviation)	66,762	9	760,191
MSE (Mean Squared Error)	5554,602	10	779,619
Standard Error (denom=n-2=4)	91,279	11	799,048
MAPE (Mean Absolute Percent Error)	10,63%	12	818,476
Regression line		13	837,905
Demand(y) = 585,333		14	857,334
+ 19,429 * Time(x)		15	876,762
Statistics		16	896,191
Correlation coefficient	0,407	17	915,619
Coefficient of determination (r^2)	0,165	18	935,048
		19	214,686
		20	213,343

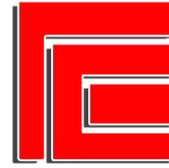
PICANA



Promedio movil simple con n=2	
Measure	Value
Error Measures	
Bias (Mean Error)	14,375
MAD (Mean Absolute Deviation)	24,375
MSE (Mean Squared Error)	882,813
Standard Error (denom=n-2=2)	42,019
MAPE (Mean Absolute Percent Error)	12,09%
Forecast	
next period	207,5

Promedio movil simple con n=3	
Measure	Value
Error Measures	
Bias (Mean Error)	27,222
MAD (Mean Absolute Deviation)	27,222
MSE (Mean Squared Error)	841,667
Standard Error (denom=n-2=1)	50,249
MAPE (Mean Absolute Percent Error)	12,80%
Forecast	
next period	208,333

Promedio movil ponderado con n=2, con pesos de 0.6 para el mes mas reciente y 0.4 el mas antiguo	
Measure	Value
Error Measures	
Bias (Mean Error)	15
MAD (Mean Absolute Deviation)	23
MSE (Mean Squared Error)	832,5
Standard Error (denom=n-2=2)	40,804
MAPE (Mean Absolute Percent Error)	11,22%
Forecast	
next period	211



Regresión lineal simple			
Measure	Value	Future Period	Forecast
Error Measures		7	213,333
Bias (Mean Error)	0	8	219,048
MAD (Mean Absolute Deviation)	22,381	9	224,762
MSE (Mean Squared Error)	576,984	10	230,476
Standard Error (denom=n-2=4)	29,419	11	236,191
MAPE (Mean Absolute Percent Error)	11,99%	12	241,905
Regression line		13	247,619
Demand(y) = 173,333		14	253,333
+ 5,714 * Time(x)		15	259,048
Statistics		16	264,762
Correlation coefficient	0,376	17	270,476
Coefficient of determination (r ²)	0,142	18	276,191
Forecast		19	281,905
x = 1	1.790.476	20	287,619