

05

Pronósticos estadísticos para el estudio de mermas en la comercialización de la UEB Frutas Selectas

Statistical forecasts in the study of losses in the marketing of the UEB Frutas Selectas

Andy-Gleen Cueto Herrera¹

E. Mail: glenn80@nauta.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8793-8154>

Manuel E. Cortés Cortés²

E. Mail: mcortes@ucf.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9903-3907>

¹ UEB Frutas Selectas, Cienfuegos, Cuba.

² Universidad Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Cueto Herrera, A. G. y Cortés Cortés, M. E. (2024). Pronósticos estadísticos para el estudio de mermas en la comercialización de la UEB Frutas Selectas. *Revista Científica Agroecosistemas*, 12(1), 42-51. <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index/aes>

RESUMEN

La Unidad Empresarial de Base (UEB) Frutas Selectas Cienfuegos experimentó, en los últimos 18 meses, un incremento en la comercialización a lo largo de todo el país, interactuando con diferentes actores económicos que han emergido como parte del ordenamiento económico realizado en Cuba y la apertura de nuevos negocios que ha permitido generar más ingresos al país por este concepto.

Con el incremento de los planes de producción se ha concebido un mayor movimiento de productos agropecuarios, que generan un porcentaje de mermas, que, aunque estén dentro del índice permisible se deben estudiar y controlar para lograr una eficaz gestión de estas y una eficiencia acorde a los indicadores económicos de la entidad, permitiendo una mayor efectividad en el proceso de comercialización, reflejándose en las utilidades del proceso productivo en el trimestre correspondiente.

El objetivo del presente trabajo de investigación es pronosticar de manera sistemática el comportamiento de las mermas en el proceso de comercialización que se desarrolla en la entidad, aplicando modelos estadísticos basados en métodos predictivos cuantitativos, para lograr la toma de decisión rápida y certera en cuanto a reducir al mínimo las pérdidas por calidad de productos agropecuarios.

Palabras clave:

Agricultura, Modelos predictivos, Turismo, Estadística.

ABSTRACT

The Frutas Selectas Cienfuegos Base Business Unit (UEB) has experienced, in the last 18 months, an increase in marketing throughout the country, interacting with different economic actors that have emerged as part of the economic ordering carried out in Cuba and the opening of new businesses that has allowed the country to generate more income from this concept.

With the increase in production plans, a greater movement of agricultural products has been conceived, which generates a percentage of losses, which although they are within the permissible index, must be studied and controlled to achieve effective management of these and efficiency in accordance with the economic indicators of the entity, allowing greater effectiveness in the marketing process, reflected in the profits of the production process in the corresponding quarter.

The objective of this research work is to systematically forecast the behavior of losses in the marketing process that is developed in the entity by applying statistical models based on quantitative predictive methods, to achieve rapid and accurate decision making in terms of reducing to minimize losses due to the quality of agricultural products.

Keywords:

Agriculture, Predictive models, Tourism, Statistics.

Introducción

El ser humano desde sus inicios en el planeta tierra ha presentado necesidades básicas, comida, sustento, abrigo y morada, esto sin duda movió al hombre a la búsqueda de mejoras en sus condiciones de vida, estas estaban ligadas para ese entonces a la funcionalidad que pudiesen brindar. Con el pasar de los siglos el hombre y sus descubrimientos permitieron conocer y desarrollar más y mejores técnicas que desencadenaron un auge en la manera de cómo elaborar productos, que bajo la creciente explosión demográfica que sufría el planeta para esas épocas resultaba necesario mejorar los métodos artesanales de producción, conocido como la época de la industrialización. (Carriel et al., 2022).

Es intrínseco al hombre el deseo de superación, lo cual ha sido el elemento clave para el avance tecnológico y cultural de la humanidad. En este proceso destaca también el propósito de hacer las cosas bien, como algo natural al ser humano. Por su parte los fenicios diseñaron algunos métodos un poco más sofisticados cuya finalidad era eliminar de una vez por todas las posibilidades de que alguien repitiera errores. Para ello, se cortaba la mano del individuo que lo cometía.

A medida que en la edad media surgieron los gremios, las normas de calidad se hicieron más explícitas. Esto pretendía, por un lado, garantizar la conformidad de los bienes que se entregaban al cliente, y por el otro, mantener en algunos grupos de artesanos la exclusividad de elaborar ciertos productos. (Rojas, 2003)

Surge por este entonces las primeras ideas básicas de la calidad, un concepto ampliamente manejado desde los tiempos antiguos, cuando los hombres comenzaron a confeccionar sus propias ropas e indumentaria para cubrir sus cuerpos, a elaborar sus propios utensilios para la caza y la pesca, entre otras labores que implicaban la satisfacción de ciertas necesidades, aunque básicas pero que debían mantener un estándar de funcionalidad y utilidad que pudiese resolver los problemas de comida y vestido para ese entonces, ya allí se comienza a denotar una satisfacción o cumplimiento de estándares, que para ese caso específico puede mencionarse que cumplía estándares de funcionalidad, el concepto de calidad ha ido evolucionando desde la prehistoria hasta la actualidad, pero alcanza su mayor relevancia en la actividad empresarial y en la última mitad del siglo anterior. (Becerra et al., 2019)

La calidad empresarial comprende que se tengan en cuenta las expectativas de los clientes de tal manera que se concreten y superen, lo que a su vez permitirá una mejora continua en la organización, propendiendo por el cumplimiento de los objetivos definidos.

Actualmente, el concepto de calidad empresarial incluye aspectos que van más allá de verificar la calidad de los productos y procesos, tomado como referente también la calidad del servicio, y las necesidades de los clientes.

Asimismo, se encuentran conceptos relacionados como calidad total y excelencia empresarial. Todo este sistema

de calidad igualmente cuenta con un certificado que acredita a la empresa que cumple con los requisitos definidos en las normas o especificaciones técnicas.

A lo largo de los años, se han creado muchas definiciones para el término "calidad empresarial". Todas estas afirmaciones tienen relevancia, pero algunas empresas consideran que ciertos aspectos son más importantes que otros, entre ellos se encuentran:

- Cumplimiento de todos los requisitos o control de calidad.
- Usabilidad, el producto debe ser adaptado a las necesidades y requerimientos del cliente.
- Satisfacer las expectativas del cliente, debido a su importancia debe prestarse especial atención a la opinión del cliente.
- Daño o perjuicio que el uso de un producto o servicio le causa a la sociedad.

Adicionalmente, existe un concepto más preciso de calidad, explícito en las normas ISO 9000:2000, que regulan dichos procedimientos, donde se encuentran dos grupos de requisitos, por un lado, las necesidades establecidas y por otro, las obligatorias.

Igualmente, se requiere de la acreditación de un organismo autorizado que reconozca que la organización está calificada para realizar la evaluación de la conformidad. (Cerem, 2022)

Un tema importante de la calidad corresponde a las mermas.

¿Qué es y en qué ocasiones se produce?

La merma se refiere a la pérdida de materias primas, productos o componentes durante el proceso de producción, almacenamiento, transporte y distribución. Puede ser causada por distintos factores, como problemas de calidad, mala gestión, problemas de inventario o falta de demanda, entre otros. (Supply, 2023)

Existen 5 tipos de mermas:

- Merma comercial
- Merma de calidad
- Merma de proceso
- Merma física
- Merma por robo

Las mermas se consideran inherentes al proceso productivo que hay que analizar, controlar, buscar métodos para pronosticar y lograr disminuir, por cuanto representan gastos financieros y pérdidas físicas de los productos que inciden en los costos de producción y las ganancias.

En las comercializadoras, las mermas se manifiestan como la diferencia entre el registro de inventario y el stock físico de las mercancías. Por lo tanto, un nivel elevado de faltantes puede ser una verdadera pesadilla para las utilidades. La merma cero no existe en ninguna empresa,

ya que es imposible evitar las pérdidas. Pero sí es factible reducir su impacto y mantenerla en niveles óptimos que no afecten la rentabilidad de la entidad. (Bind, 2019)

A nivel internacional y nacional el tema ha sido investigado por diferentes autores como las realizadas por Gómez (2016), Hernández et al., (2016), Santana (2017), Romero et al., (2018), Hidalgo (2019), Ricardo (2019) y Rodríguez (2020) todos marcaron un precedente en cuanto al uso de la estadística en el control de la calidad, sin embargo existen muy pocos estudios referentes a modelos predictivos aplicados al manejo de las mermas con el objetivo de descubrir un patrón en los datos observados y extrapolarlos hacia el futuro.

En general en Cuba se ha investigado poco sobre el uso de estos modelos en el control de las mermas de productos agropecuarios en el sector empresarial del ministerio de la agricultura.

Una entidad comercializadora de este sector en Cienfuegos debe analizar el comportamiento histórico de las mermas de cada uno de sus productos o de todos de manera general y en los casos de los de nueva introducción, evaluar puntualmente las causas de las mismas, hasta tener una muestra estadísticamente aceptable que permita tomar a tiempo decisiones puntuales al respecto pues esto es sinónimo de buenas prácticas del sistema de gestión de calidad implementado y que trae intrínsecamente la eficiencia de la entidad.

La Unidad Empresarial de Base Frutas Selectas radicada en carretera a Palmira Km 3 ½ municipio Cienfuegos, provincia Cienfuegos es la encargada a través de su estructura provincial de la atención al turismo, importante sector económico, comercializando frutas frescas y productos agropecuarios, por tanto, está estrechamente vinculada al compromiso de una atención de calidad aplicando todos estos conceptos.

El proceso de transformación del Modelo Económico Cubano contempla al sector del turismo como una de sus prioridades. Apostando por que la actividad turística tenga un crecimiento acelerado que dinamice la economía, logrando encadenamientos productivos y el incremento de las utilidades. Franco et al.,(2020).

El Sistema de Gestión de la Calidad implementado en esta unidad empresarial garantiza los preceptos del nuevo modelo económico cubano sin embargo, no escapa al antecedente antes referido pues este sistema en cuestión permite la recopilación de datos cuantitativos para evaluar el comportamiento de las mermas generadas semanal y mensualmente, no obstante no se puede observar de manera preventiva la tendencia de estos comportamientos, pues no existe el cómo hacerlo y que nos permita tener además un pronóstico adelantado para la toma de decisión oportuna y certera en la disminución real de las mermas que se generan en el proceso de comercialización, creando una situación colateral de afectación al salario de los trabajadores por estos conceptos.

Para dar solución al problema descrito se propone el uso de métodos estadísticos predictivos con lo cual, utilizando

los datos cuantitativos recopilados periódicamente de las mermas, poder observar su tendencia acompañado de un pronóstico, ya que el éxito de una empresa radica en cuan bien la administración predice el futuro y elabora estrategias apropiadas.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en la UEB Frutas Selectas Cienfuegos perteneciente al sector agrícola de la provincia Cienfuegos, se recopiló información de las mermas mensuales generadas en los años 2019, 2020, 2021 con el objetivo de mostrar los gráficos característicos que poseen las mismas, así como sus componentes principales, para la aplicación de los métodos predictivos se utilizó el periodo actual 2022-2023 con el interés de estimar el mes 13.

Para su ejecución se tuvo en consideración referentes teóricos internacionales y nacionales relacionados con la temática tratada, los documentos normativos y manuales del Sistema de Gestión de la Calidad implementados en la entidad así como otros instrumentos regulatorios vigentes.

Para el desarrollo de esta investigación se utilizaron diferentes métodos y técnicas que permitieron dar respuesta al objetivo propuesto.

Métodos estadísticos – matemáticos.

Para el caso de las ecuaciones de ajuste no lineal:

Se utiliza el método de los mínimos cuadrados para calcular los coeficientes de un polinomio que llega hasta grado 6, con la siguiente forma:

$$y = f(x) = c_0 + c_1x + c_2x^2 + c_3x^3 \dots + c_6x^6$$

De todos los modelos predictivos que recoge la estadística inferencial se aplicaron los de "Suavización", pues a decir de Villareal (2019)

- Tienen como objetivo "suavizar" las fluctuaciones aleatorias causadas por el componente irregular de las series de tiempo.
- Este tipo de métodos es apropiado para una serie de tiempo estable, es decir, una que no exhibe efectos significativos de tendencia, cíclicos o estacionales.
- Los métodos de suavización son fáciles de usar y por lo general proporcionan un alto nivel de precisión para pronósticos de corto alcance como un pronóstico para el siguiente periodo.
- Uno de los métodos, la suavización exponencial, tiene requisitos de datos mínimos y por tanto es un buen método para usar cuando se requieren pronósticos para grandes cantidades.

Modelos estadísticos predictivos aplicados.

Promedios móviles simples de orden K: Para merma aleatoria o nivelada pretendiendo eliminar el impacto de elementos irregulares de los k periodos anteriores.

El método de los promedios móviles utiliza el promedio de los k valores de datos más recientes en la serie de tiempo como el pronóstico para el siguiente periodo.

$$F_{t+1} = \frac{Y_t + Y_{t-1} + \dots + Y_{t-k+1}}{K}$$

Y_t: Observación en el período t.

F_t: Pronóstico para el período t.

K: Número de períodos considerados en la serie de tiempo anteriores al pronóstico

Suavización exponencial simple: Para suavizar la serie de tiempo y eliminar fluctuaciones.

Donde se utiliza un promedio ponderado de valores de series de tiempo pasados como pronóstico.

$$F_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha) F_t$$

Y_t: Observación en el período t.

F_t: Pronóstico para el período t.

α = Constante de suavizado.. Factor de ponderación que permite darle más peso a datos recientes (Alfa más elevado) o a datos anteriores (Alfa más bajo).

Este modelo de pronóstico precisa solo tres tipos de datos: el pronóstico del último período, la merma del último período y el coeficiente de suavización que el investigador la fija.

Suavización exponencial doble: Para modelar tendencias y estacionalidad.

Consiste en realizar dos suavizaciones exponenciales a partir de las cuales se obtiene un pronóstico. El cálculo consiste en aplicar una expresión a los valores observados en la serie de tiempo y luego se realiza una segunda expresión a la serie atenuada obtenida mediante la primera suavización. (Macías, 2021)

$$A_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(A_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta(A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

$$Y_{t+p} = A_t + pT_t$$

A_t = Valor atenuado.

T_t = Tendencia del periodo t.

Y_t = Dato del periodo t (Merma del mes).

Y_t = Pronóstico.

p = Número de períodos a pronosticar al futuro.

α = Constante de suavizado del promedio de los datos. (0 ≤ α ≤ 1)

β = Constante de suavizado de estimación de tendencia. (0 ≤ β ≤ 1). β alto responde con más rapidez a los cambios en la tendencia, mientras que un inferior tiende a suavizar la tendencia actual, dando menos peso a los datos recientes.

Los pasos a seguir en este método son:

- 1.- Hallar el suavizamiento exponencial del período 2
- 2.- Calcular el estimado de la tendencia
- 3.- Hallar el pronóstico del período 2
- 4.- Calcular los mismos parámetros para el período siguiente.

Suavización exponencial triple o modelo de Holt-Winters. Para modelar tendencias, estacionalidad y fluctuaciones aleatorias.

Utiliza tres tipos de suavizado exponencial para ajustar un modelo a los datos históricos y predecir valores futuros.

$$A_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-L}} + (1 - \alpha)(A_{t-1} + T_{t-1} M)$$

$$T_t = \beta(A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

$$S_t = \gamma \frac{Y_t}{A_t} + (1 - \gamma)S_{t-L}$$

$$Y_{t+p} = (A_t + pT_t)S_{t-L+p}$$

α = Constante de suavizamiento del promedio de los datos. (0 ≤ α ≤ 1)

β = Constante de suavizamiento de la estimación de tendencia. (0 ≤ β ≤ 1)

γ = Constante de suavizamiento de la estacionalidad. (0 ≤ γ ≤ 1)

A_t = Valor atenuado en el periodo t.

T_t = Estimación de la tendencia del periodo t.

S_t = Estimación de la estacionalidad en el periodo t.

L = Longitud de la estacionalidad.

p = Número de periodos a pronosticar en el futuro.

Se Utiliza este método cuando se presenta una demanda lineal con un tipo de comportamiento exponencial o periódico en los datos de la serie de tiempo.

Error de pronósticos:

Su cálculo permitirá conocer qué modelo estadístico de pronóstico utilizado en esta investigación es mejor, tomando el que menor error presenta, dándonos con esto un mejor pronóstico.

Error de pronóstico = Merma real del periodo menos valor pronosticado para ese mismo periodo.

Error porcentual medio absoluto (MAPE): Es el promedio del error absoluto o diferencia entre la merma real y el pronóstico y es expresado en porcentos.

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

Donde:

La merma real no es más que los datos observados en el periodo estudiado.

El pronóstico es el valor de los datos resultante de la aplicación de un método predictivo.

n = Cantidad de datos que se utilizarán en el pronóstico.

Resultados y discusión

En la amplia revisión bibliográfica realizada se puso de manifiesto el extenso y rico campo del estudio de los métodos predictivos en diferentes áreas de la ciencia y la técnica tanto a nivel internacional como nacional, sin embargo, con relación a la aplicación de estos a procesos de mermas generadas en una empresa comercializadora del sector agrícola no se pudo constatar información que tratara sobre este referente, es por esto que a través de la investigación realizada se expondrán los resultados obtenido del método de estimación que más ajusta a los datos observados perteneciente al periodo 2022-2023 teniendo en cuenta el error porcentual medio absoluto (MAPE) como estimador principal, todo esto realizado en Microsoft Excel 2010®, hoja de cálculo que se encuentra en todo paquete de Office instalado en todos los medios de cómputos de la entidad, donde se encuentran disponibles varios complementos que son muy útiles para realizar cálculos y análisis de datos, todo esto con el objetivo de facilitar su uso en el departamento de calidad donde se realizan las observaciones de las mermas generadas en el proceso de comercialización.

Cuando se distribuyen a las entidades del sector turístico productos agropecuarios perecederos como lo realiza la UEB Frutas Selectas Cienfuegos se generan mermas que pueden estar o no dentro del índice permisible indicado, por ende, aprender a gestionarlas con efectividad resultará ideal para evitar pérdidas económicas y optimizar el control de inventario.

Para el logro de esto, lo primero a realizar es el estudio preliminar de las series temporales graficadas, pues es la forma más efectiva de identificar efectos de sucesos que inciden en los datos, de ser posible, estos eventos deben ser ajustados o incluidos en el modelo, de esta manera se

muestra a priori las características más importantes que la componen, siendo estas: tendencia, estacionalidad, fluctuaciones cíclicas entre otras.

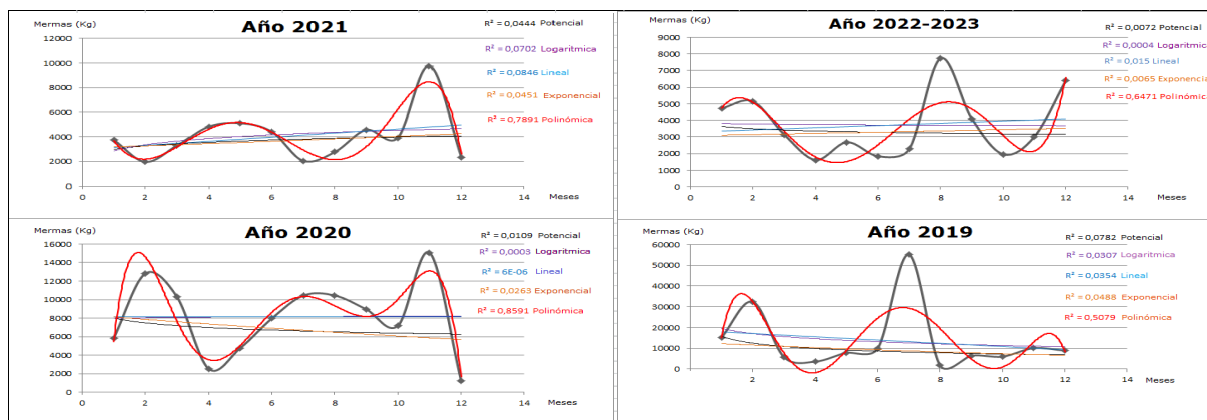
Con el objetivo de conocer el comportamiento de tendencias de las mermas en la UEB Frutas Selectas Cienfuegos y tener como antecedentes patrones de comportamiento de estas, se tomaron diferentes períodos de tiempos, los cuales fueron 2019, 2020, 2021 y 2022-2023.

Las principales particularidades que mostraron las series observadas revelaron un comportamiento peculiar, denotan una tendencia no lineal bien acentuada en todos los casos, presentan una débil estacionalidad y fluctuaciones cíclicas escasamente marcadas, esto debido, a que sobre los datos observados influyen importantes factores, como son los de índices naturales, económicos y más específicamente los inherentes al propio sistema de comercialización de la entidad como son los problemas de calidad en la compra de los productos agropecuarios, mala gestión de venta o beneficio de las mismas, así como problemas de inventario o falta de demanda de un determinado producto, estos influyen impactantemente sin importar la época o estación del año pudiendo provocar en cualquier instante con mucha o poca frecuencia un aumento o disminución de las pérdidas por concepto de mermas en la UEB.

La figura 1 muestra el comportamiento de series de tiempo que corresponden a los periodos 2019, 2020, 2021 y 2022-2023, en ellas se pueden constatar las características generales que describen sus correspondientes gráficos de acuerdo a los datos observados.

Es importante destacar que las tendencias descritas en las series temporales graficadas no son lineales, pues como se puede notar a simple vista están muy lejos de seguir una línea recta, además se utilizó el coeficiente de determinación que es la proporción de la varianza total de la variable explicada por la regresión, y que refleja la bondad del ajuste de un modelo a la variable que pretende explicar.

Fig. 1. Comportamiento de diferentes series de tiempos observadas en los últimos 4 años.



Fuente: Elaboración Propia

Es significativo conocer que el resultado del coeficiente de determinación fluctúa entre 0 y 1, cuanto más cerca de 1 se ubique su valor, mayor será el ajuste del modelo a la variable que estamos intentando explicar. Por otra parte, cuanto más cerca de cero se encuentre, menos ajustado estará el modelo y, por tanto, menos fiable será.

Para el estudio realizado en la determinación del tipo de tendencia mejor ajustada a los datos del gráfico se utilizaron las técnicas automatizadas existentes en el software Microsoft Excel 2010®, siendo estas las de tendencias exponencial, lineal, logarítmica, polinómica y potencial, se puede ver en la figura 1 el valor que alcanzó cada uno de ellos y en la tabla 1 podemos observarlos de forma resumida explicando la relación no lineal entre las dos variables que se plantean (Mermas con relación al tiempo).

Tabla 1. Resumen de los valores de ajuste de las tendencias.

Tendencia	Año 2019	Año2020	Año2021	Año 2022-2023
Potencial	R ² =0.0782	R ² =0.0109	R ² =0.0444	R ² =0.0072
Logarítmica	R ² =0.0307	R ² =0.0003	R ² =0.0702	R ² =0.0004
Lineal	R ² =0.0354	R ² =6E-06	R ² =0.0846	R ² =0.015
Exponencial	R ² =0.0488	R ² =0.0263	R ² =0.0451	R ² =0.0065
Polinómica	R ² =0.5079	R ² =0.8591	R ² =0.7891	R ² =0.6471

Fuente: Elaboración propia

El mejor ajuste de los datos observados se logró con la tendencia polinómica, mostrando una línea curva debido a las fluctuaciones bien marcadas de estas series cronológicas. Es importante decir que, el número de oscilaciones de los datos logra concertar el grado del polinomio. Una línea de tendencia polinómica de segundo orden tiene una colina o valle, una línea de tendencia polinómica de tercer orden tiene hasta dos colinas o valles, y un polinomio de cuarto orden tiene hasta tres colinas o valles.

Las tablas 2 y 3 muestran las ecuaciones obtenidas en la regresión polinómica realizada de los años 2019, 2020, 2021 y 2022-2023 hasta lograr el máximo de ajuste que permite el software Microsoft Excel 2010®, se puede ver que el polinomio con menos ajuste de bondad R² pertenece al de orden 2 y el mejor al de orden 6 (marcado de color rojo en los gráficos de la figura 1) siendo este el máximo permitido por dicho programa computacional, obteniéndose para la serie temporal del 2019 un R²=0.5079, 2020 un R²=0.8591, 2021 un R²=0.7891 y para el periodo 2022-2023 un R²=0.6471.

No se tomó en cuenta en este estudio el coeficiente de determinación R² *ajustado*, ya que el uso de este coeficiente solo se justifica según Sanjuán (2018) en la regresión múltiple para ver el grado de intensidad o efectividad que tienen las variables independientes en explicar la variable dependiente. En palabras más simples, este coeficiente (R² *ajustado*) nos dice qué porcentaje de variación de la variable dependiente es explicado colectivamente por todas las variables independientes, en esta investigación

solo existen 2 variables, el tiempo como variable independiente y las mermas como variable dependiente o sea el tiempo, en función de las mermas generadas en la actividad comercial de la entidad agrícola.

De igual manera se realizaron los cálculos de pronósticos con el método de regresión polinomial con los datos observados en la tabla 4 pertenecientes al periodo 2022-2023 con el objetivo de estimar las mermas que podrían ser generadas en el mes 13 pues fue, como se explicó anteriormente el que mostró mejor ajuste de los datos observados.

La regresión polinómica implicó ajustar una ecuación polinomial utilizando Excel dirigido a un conjunto de puntos de datos, teniendo la siguiente forma general:

$$y = f(x) = c_0 + c_1x + c_2x^2 + c_3x^3 \dots + c_6x^6$$

Donde Y es la variable dependiente, X la variable independiente y los coeficientes C son los coeficientes de regresión que se estiman a partir de los datos.

Utilizándose para esto el método de los mínimos cuadrados en el cálculo de los coeficientes del polinomio de orden 2 hasta el de orden 6.

Para aproximar a un conjunto de datos dado, (x₁,y₁), (x₂,y₂), ... (x_m,y_m), donde m≥6. El polinomio de mejor ajuste f(x) presenta el siguiente error mínimo cuadrado:

$$\min(\Pi) = \min \sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i)]^2 = \min \sum_{i=1}^n [y_i - (c_0 + c_1x + c_2x^2 + c_3x^3 \dots + c_6x^6)]^2$$

Matriz de las primeras derivadas de la función f(x) igualada a cero (Condición necesaria) para encontrar los coeficientes del polinomio que den valores mínimos de la función Π.

$J(x)_{ij} = \frac{\partial f_i}{\partial x_j} = 0$ (Condición Necesaria) se calcula el punto extremo x₀) donde donde J∈R^{m*n} es la matriz Jacobiana.

Teniendo en cuenta además que la condición suficiente para la obtención del mínimo local del error es: H f (x₀) Matriz del Hesiano definida positiva.

Tabla 2. Ecuaciones obtenidas en la regresión polinómica años 2019 y 2020.

Año	2019	R ²	2020	R ²
Ecuación de orden 2 obtenida	y = -81,493x ² + 259,91x + 16340	0,0388	y = -44,159x ² + 571,21x + 6808,5	0,0143
Ecuación de orden 3 obtenida	y = -54,699x ³ + 985,14x ² - 5510,9x + 23807	0,0522	y = -49,206x ³ + 915,36x ² - 4620x + 13525	0,1677
Ecuación de orden 4 obtenida	y = 38,933x ⁴ - 1067x ³ + 9689,4x ² - 33131x + 48101	0,1075	y = -19,925x ⁴ + 468,84x ³ - 3539,3x ² + 9515,4x + 1091,9	0,3723
Ecuación de orden 5 obtenida	y = 16,77x ⁵ - 506,1x ⁴ + 5380,3x ³ - 23921x ² + 40288x - 1316	0,1845	y = 2,5529x ⁵ - 102,89x ⁴ + 1450,3x ³ - 8655,7x ² + 20691x - 6430,5	0,3975
Ecuación de orden 6 obtenida	y = -13,184x ⁶ + 530,94x ⁵ - 8260,6x ⁴ + 62173x ³ - 231242x ² + 384033x - 192026	0,5079	y = -4,1885x ⁶ + 165,9x ⁵ - 2566,5x ⁴ + 19493x ³ - 74521x ² + 129899x - 67019	0,8591

Fuente: Elaboración propia

Procediendo a desarrollar el polinomio de orden 6 perteneciente al periodo 2022-2023 (Tabla 3 final a la derecha) tenemos que:

$$Y = 0.1868x^6 - 2.5376x^5 - 39.156x^4 + 873.72x^3 - 5139.7x^2 + 10311x - 1269.7$$

Sustituyendo x por el mes que se quiere pronosticar, en nuestro caso mes 13:

$$Y = 0.1868(13)^6 - 2.5376(13)^5 - 39.156(13)^4 + 873.72(13)^3 - 5139.7(13)^2 + 10311(13) - 1269.7$$

Resolviendo el polinomio:

Se obtiene un pronóstico de:

Tabla 3. Ecuaciones obtenidas en la regresión polinómica años 2021 y 2022-2023.

Año	2021	R ²	2022-2023	R ²
Ecuación de orden 2 obtenida	$y = 4,813x^2 + 106,24x + 3126,7$	0,0852	$y = 69,452x^2 - 836,96x + 5401,8$	0,1699
Ecuación de orden 3 obtenida	$y = -1,9921x^3 + 43,659x^2 - 103,92x + 3398,7$	0,0862	$y = -5,6984x^3 + 258,57x^2 - 1860,1x + 6725,6$	0,1962
Ecuación de orden 4 obtenida	$y = -7,2531x^4 + 186,59x^3 - 1577,9x^2 + 5041,6x - 1127,3$	0,189	$y = 5,2782x^4 - 146,93x^3 + 1438,6x^2 - 5604,6x + 10019$	0,2593
Ecuación de orden 5 obtenida	$y = -6,2403x^5 + 195,56x^4 - 2212,9x^3 + 10929x^2 - 22278x + 17261$	0,7607	$y = 4,7482x^5 - 149,04x^4 + 1678,5x^3 - 8077,5x^2 + 15182x - 3972$	0,6431
Ecuación de orden 6 obtenida	$y = -0,5338x^6 + 14,576x^5 - 118,39x^4 + 86,84x^3 + 2535,1x^2 - 8360,8x + 9539,7$	0,7891	$y = 0,1868x^6 - 2,5376x^5 - 39,156x^4 + 873,72x^3 - 5139,7x^2 + 10311x - 1269,7$	0,6471

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Datos numéricos de las mermas del periodo sep-22 a ago-23.

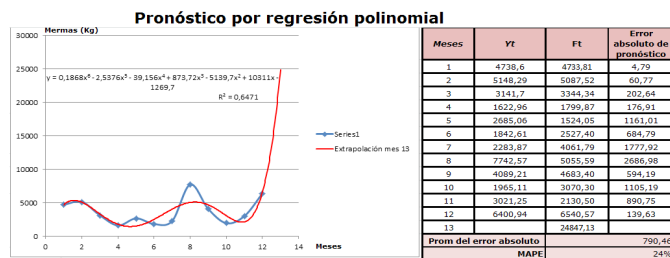
Periodo	Merma/kg	Periodo	Merma/kg
sep-22	4738,6	mar-23	2283,87
oct-22	5148,29	abr-23	7742,57
nov-22	3141,7	may-23	4089,21
dic-22	1622,96	jun-23	1965,11
ene-23	2685,06	jul-23	3021,25
feb-23	1842,61	ago-23	6400,94

Fuente: Elaboración propia

Se realizó este mismo análisis utilizando las herramientas gráficas brindadas por Excel con el objetivo de corroborar el resultado alcanzado en la resolución del polinomio de orden 6 (Figura 2), obteniendo como resultado de la extrapolación, un valor de existiendo coincidencia entre ambos métodos utilizado, sin embargo este valor numérico sobrepasa ampliamente la media de todos los datos del periodo observado, por lo tanto muestra una extrapolación exagerada de la serie de datos evaluada y que se aleja de la realidad en la práctica.

Resultados iguales suelen suceder, de acuerdo a (FasterCapital, 2023), el autor plantea que el método de regresión polinomial puede ser poderoso en su uso, pero tiene también grandes ventajas y desventajas.

Fig. 2. Pronóstico por regresión polinomial de orden 6 del periodo 2022-2023.



Fuente: Elaboración propia

Ventajas

1. La regresión no lineal es un método estadístico que ayuda a crear un modelo que puede predecir tendencias y patrones que no se pueden capturar a través de la regresión lineal.
2. Es una herramienta poderosa para el pronóstico, especialmente cuando los datos son complejos, y las relaciones de causa y efecto no son lineales.
3. Los modelos de regresión no lineal pueden identificar valores atípicos y proporcionar un pronóstico más preciso.

Desventajas

Una curva suave polinómica de grados altos tiene a menudo poco valor para la extrapolación ya que tal curva tiende a ser explosiva en los valores grandes de las unidades de tiempo como lo muestra la figura 2, donde a pesar de tener un bajo promedio de error absoluto y un MAPE del 24% el valor pronosticado para el mes 13 se proyecta precipitadamente a un valor de 24847.13.

Estos modelos presentan sus limitaciones significativas, pueden ser más difíciles de interpretar, ya que la relación entre las variables puede no ser tan sencilla. Además, los modelos de regresión no lineal son más intensivos computacionalmente, lo que puede ser una limitación para grandes conjuntos de datos. Finalmente, estos pueden ser más propensos al sobreajuste, pudiendo conducir a malas predicciones en los nuevos datos.

Estas desventajas afectan el propósito final de esta investigación, el cual es brindar un método de pronóstico asequible computacionalmente y de aplicación lo más fiable y certero posible, que se pueda utilizar, teniendo en cuenta que el personal del área de calidad de la UEB Frutas Selectas Cienfuegos no posee las herramientas informáticas especializadas, ni conocimientos en estadística - matemática que le permita llevar a cabo con éxito el desarrollo de este tipo de regresión con polinomios mayores de orden 6 y que podrían llegar hasta los de orden 20.

En otras palabras para pronosticar puede ser mucho más deseable hacerlo a partir de las técnicas de "Suavización" donde se utiliza también el alisado de esta tendencia curvilínea de los datos del periodo estudiado (2022-2023), por esta razón basaremos nuestros métodos de pronósticos en: Promedio Móvil de orden 2, 3 y 4 además de los métodos de suavización exponencial simple, doble y triple con el propósito de conocer cual modelo matemático ajusta mejor a las características de los datos, realizando una extrapolación adecuada con un bajo MAPE y promedio de error absoluto.

Una vez conocido las características que componen las series de tiempo descrita en la figura 1 procedemos a aplicar los diferentes métodos de "Suavización" con la idea de lograr obtener la predicción más verídica posible con el menor error de pronóstico, utilizando todas las herramientas brindadas por Microsoft Excel 2010®, para esto tomaremos los datos del periodo de tiempo septiembre 2022 a agosto 2023 que figuran en la tabla 4, con el

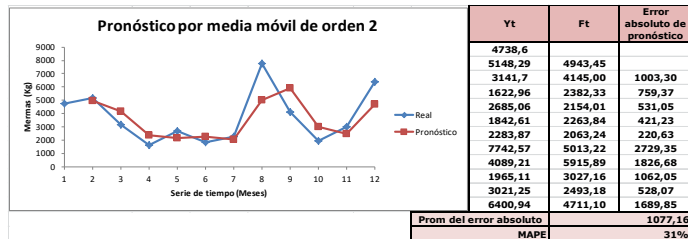
objetivo de lograr pronosticar lo más acertado posible el mes 13.

El primer método propuesto para el procesamiento de los datos contenido en dicha tabla es el Promedio móvil simple de orden 2, 3 y 4 respectivamente, el cual no es más que un modo de cálculo donde el comportamiento pasado de una serie se puede continuar en el futuro, es decir, que utiliza información histórica de los datos de la variable que se desea pronosticar para poder extrapolarlo al futuro, está basado en la siguiente ecuación matemática:

$$F_{t+1} = \frac{Y_t + Y_{t-1} + \dots + Y_{t-k+1}}{K}$$

Una característica esencial de este modelo es que mientras mayor sea el valor de k el pronóstico suele presentar menor variabilidad y aproximar una tendencia de la serie de tiempo. Esto último no quiere decir que necesariamente es mejor y por tanto se pueden utilizar distintos valores de K para efectos de evaluación y luego comparar el desempeño.

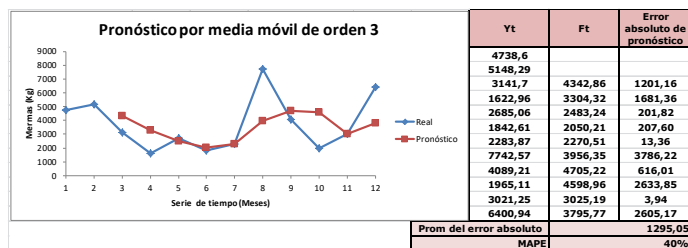
Fig. 3. Resultado obtenido al aplicar el modelo de pronóstico Media móvil de orden 2.



Fuente: Elaboración propia

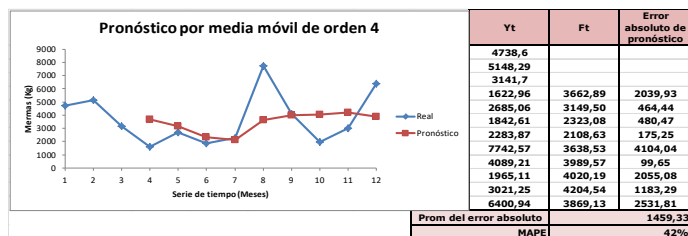
Las figuras 3, 4 y 5 muestran los resultados obtenidos al aplicar el modelo predictivo Promedio Móvil Simple para K=2, K=3, K=4 respectivamente.

Fig. 4. Resultado obtenido al aplicar el modelo de pronóstico Media móvil de orden 3.



Fuente: Elaboración propia

Fig. 5. Resultado obtenido al aplicar el modelo de pronóstico Media móvil de orden 4.



Fuente: Elaboración propia

La tabla 5 muestra el resumen de los resultados obtenidos, donde se puede observar cómo va aumentando el promedio de error absoluto y el MAPE a la vez que se incrementa el valor de K.

Tabla 5. Resumen de los resultados obtenidos utilizando el método Promedio Móvil de orden 2, 3 y 4.

Pronóstico por media móvil de orden:	Promedio de error absoluto	MAPE	Valor pronosticado para el próximo mes
2	1077,16	31%	4711,1
3	1295,05	40%	3795,77
4	1459,33	42%	3869,13

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el pronóstico realizado con el método de promedios móviles de orden 2 genera un MAPE de 31% con un promedio de error absoluto de 1077.1

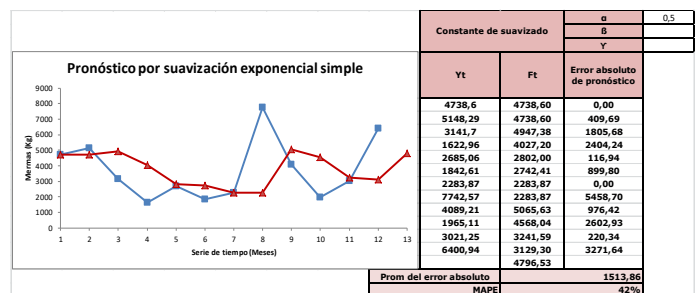
Con el objetivo de investigar un mejor modelo que ajuste a la serie de datos observada y de esta manera alcanzar valores inferiores a los obtenidos con el modelo matemático desarrollado anteriormente se procedió a utilizar los métodos de Suavización Exponencial, esta técnica está diseñada para paliar una desventaja del método de promedios móviles, donde los datos a calcular que se les valora el promedio tienen la misma ponderación, en el caso de la Suavización exponencial simple, estima, que la merma estudiada será igual a, por ejemplo, la media de los históricos para un periodo dado, dando una mayor ponderación a los valores más cercanos en el tiempo. Asimismo, tiene en cuenta el error de pronóstico actual en las siguientes extrapolaciones, su modelación matemática está basada en la siguiente ecuación:

$$F_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha) F_t$$

Tiene como característica esencial que no necesita de muchos datos históricos, a diferencia de otros métodos y posee una mejor exactitud que otros al utilizar técnicas de modelado exponencial.

La figura 6 muestra el resultado obtenido al utilizar dicho método de extrapolación, lográndose un MAPE de 42% y un promedio de error absoluto de 1513.86.

Fig. 6. Resultado obtenido al aplicar el modelo de pronóstico suavización exponencial simple.



Fuente: Elaboración propia

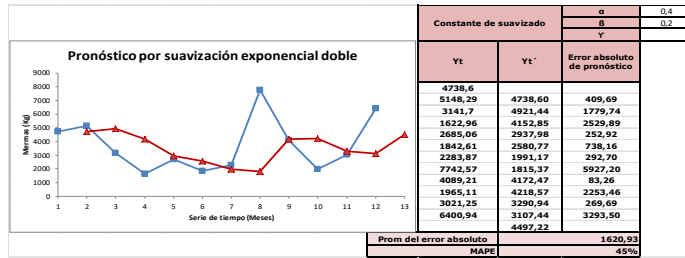
Así también en la figura 7 podemos ver el resultado alcanzado aplicando el método suavización exponencial doble, donde el cálculo consiste en aplicar una expresión a los valores observados en la serie de tiempo y luego realizar una segunda expresión a la serie atenuada obtenida mediante la primera suavización, su modelación matemática está basada en:

$$A_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(A_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta(A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

$$Y_{t+p}' = A_t + pT_t$$

Fig. 7. Resultado obtenido al aplicar el modelo de pronóstico suavización exponencial doble.



Fuente: Elaboración propia

Podemos también notar que, al utilizar este método en la serie cronológica estudiada obtenemos los valores numéricos correspondiente a la extrapolación que se realizó, siendo estos, un promedio de error absoluto de 1620.93 y un MAPE de 45%.

En la figura 8 podemos ver el comportamiento de la extrapolación realizada por el método suavización exponencial triple, este se basa en tres tipos de suavizado: el exponencial simple, el doble y el suavizado exponencial triple, utiliza estos tres tipos de suavizado para ajustar un modelo a los datos históricos y extrapolar valores futuros. Se basa en tres ecuaciones que se actualizan iterativamente con cada nueva observación de la serie de tiempo.

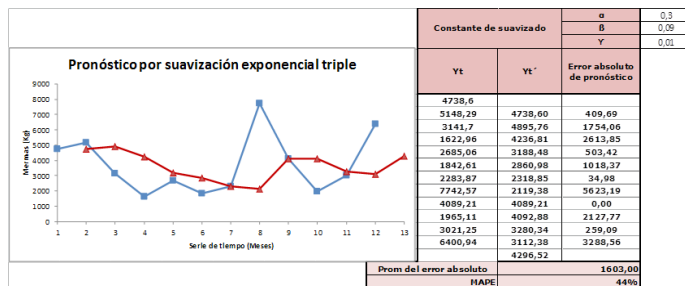
$$A_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-L}} + (1 - \alpha)(A_{t-1} + T_{t-1} + M)$$

$$T_t = \beta(A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

$$S_t = \gamma \frac{Y_t}{A_t} + (1 - \gamma)S_{t-L}$$

$$Y_{t+p}' = (A_t + pT_t)S_{t-L+p}$$

Fig. 8. Resultado obtenido al aplicar el modelo de pronóstico suavización exponencial triple.



Fuente: Elaboración propia

Es importante destacar que los coeficientes de suavización α (alfa), β (beta) y γ (gamma) se ajustan a prueba y error hasta lograr en cada caso el promedio de error absoluto y MAPE lo más bajo posible, sin embargo existe una herramienta muy poderosa que puede lograr hacer lo mismo de forma automática optimizando el tiempo empleado en esta actividad, esta herramienta es Solver y sirve para optimizar ecuaciones mediante el uso de métodos numéricos, se puede buscar el valor óptimo para una celda, denominada celda objetivo. Todos los casos desarrollados en esta investigación fueron utilizando este método en cuestión.

La tabla 6 muestra el resumen de los resultados obtenidos mediante la Suavización Exponencial simple, doble y triple, donde al realizar un contraste con los datos de la tabla 5 resumen del método Promedio Móvil de orden 2, 3, y 4 podemos llegar a la conclusión que: el modelo de pronóstico de mejor ajuste fue *Promedio Móvil de orden 2*, también es importante observar que la curva de pronóstico describe un gráfico lo más cercano posible al de los datos de las mermas generadas en la UEB Frutas Selectas Cienfuegos (Figura 3).

Tabla 6. Resumen de los resultados obtenidos utilizando el método Suavización exponencial simple, doble y triple.

Pronóstico por suavización exponencial	Promedio de error absoluto	MAPE	Valor pronosticado para el próximo mes
Simple	1513,86	42%	4796,53
Doble	1620,93	45%	4497,22
Triple	1603	44%	4296,52

Fuente: Elaboración propia

Por tal motivo este fue el método óptimo validado en las mermas generadas por la UEB comercializadora de productos agropecuarios de Cienfuegos, ya que tiene menos error absoluto promedio y MAPE, haciéndolo más confiable y eficaz para la extrapolación.

El modelo se comenzó a utilizar de manera sistemática a partir del mes de septiembre de 2023 hasta enero de 2024 como herramienta complementaria del sistema de gestión de la calidad implementado en la UEB, en este periodo de tiempo se logró un impacto positivo en la reducción de más del 60% de las mermas históricas para estos meses de altos volúmenes de productos agropecuarios comercializado a causa de la temporada alta de turismo en el país, generando un ahorro desde el punto de vista económico de más de \$300 000 CUP en tan solo 5 meses, reflejándose esto positivamente en los indicadores de pago productividad-salario de la UEB Frutas Selectas Cienfuegos.

Conclusiones

- Con la realización de esta investigación se evidencia la efectividad del modelo de pronóstico validado Promedio Móvil Simple de orden 2 para ayudar a los tomadores de decisiones en juicios más precisos

acerca de las mermas generadas y su comportamiento en eventos futuros.

- El resultado de esta investigación está dirigida a minimizar el incremento de las mermas generadas por diferentes factores de la comercialización, afectando el indicador productividad-salario determinante para el pago de las utilidades a los trabajadores.
- El empleo del excel constituye una ayuda importante para la aplicación del modelo de pronóstico validado, permite un acceso de todos los trabajadores del sistema de gestión de la calidad por estar la hoja de cálculo distribuida en todas las Pc del área.
- Se demuestra que los métodos de pronósticos como elementos en la toma de decisiones en una empresa de la agricultura en el territorio, tienen mayores áreas de oportunidad al interior de estas, reflejándose en todo el ecosistema en que interacciona dicha entidad.
- Minimiza el nivel de incertidumbre en las decisiones que involucran a cada una de las áreas.

Referencias bibliográficas

- Becerra, F., Andrade, A., & Diaz, L. (2019). Sistema de gestión de la calidad para el proceso de investigación: Universidad de Otavalo, Ecuador. *Revista Electrónica "Actualidades Investigativas en Educación"*.
- Bind, E.(2019). Siete causas de mermas en comercializadoras. Blog control de inventarios. <https://bind.com.mx/blog/control-de-inventarios/merma-comercializadoras>
- Carriel Sevillano, R. P., & Nieto Pacheco, A. J. (2022). La evolución de la calidad hacia la calidad total. *AlfaPublicaciones*. <https://doi.org/10.33262/ap.v4i1.1.166>
- Cerem, C. (2022) Calidad empresarial y la implementación de sus sistemas. Blog Global Business School. <https://m.cerem.es/blog/calidad-empresarial-y-la-implentacion-de-sus-sistemas>.
- Echemendia Gómez, J. (2016). Contribución al análisis multivariado de la Calidad en el control estadístico de los procesos de construcción civil. Aplicación a la brigada cuentapropista "Construcciones El Progreso" (Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Industrial).
- Faster, C. (2020) Mejora de la precision de pronostico con metodos de regresion no lineal. *Ciencia Digital*. <https://fastercapital.com/es/contenido/Mejora-de-la-precision-de-pronostico-con-metodos-de-regresion-no-lineal.html>.
- Franco Rodríguez, M. del C., & Velasteguí López, E. (2020). El suavizado exponencial en el pronóstico de series no estacionarias. *Ciencia Digital*. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i1.1073>.
- Hernández Pedrera, C., & Da Silva Portofilipell, F. (2016). Aplicación del control estadístico de procesos (CEP) en el control de su calidad. *SciELO Analytics, RTQ vol.36 no.1*.
- Hidalgo Díaz, M. (2019). Procedimiento para el control estadístico de la calidad en la empresa de cigarros "Lazaro Peña". (Tesis presentada en opción al grado científico de master en ciencias.)
- Macias Granillo, R. (2021). Suavizamiento exponencial doble. UAEH. <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/19896/suavizamiento-exponencial-doble.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Ricardo Torres, I. (2019). Metodología para la planificación y ejecución del control estadístico de la calidad del proceso. aplicación en el Taller de Maquinado de la Unidad Empresarial de Base Fábrica de Equipos e Implementos Agrícolas "26 de Julio". (Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Industrial).
- Rodríguez Vignon, Y. (2020). Metodología para el control estadístico de la calidad en el proceso de cunas infantiles de la UEB Muebles Imperio. (Tesis presentada en opción al grado científico de master en ciencias.)
- Rojas Ramos, D. (2003) Teorías de la calidad. Orígenes y tendencias de la calidad total. *Gestiópolis*. <https://www.gestiopolis.com/teorias-de-la-calidad-origenes-y-tendencias-de-la-calidad-total/>.
- Romero Vega, L. E., Valdés Luna, L. C., Pastor de Moya, J. G., & Herrera Acosta, R. J. (2018). Control estadístico para el monitoreo del proceso de corte de pastillas de jabón. *SciELO Ingeniería y Desarrollo, vol.36 (no.2)*.
- Sanjuán Marco, F. J. (2018) R cuadrado ajustado (Coeficiente de determinación ajustado). *Economipedia*.
- Santana Tamayo, I. (2017). Metodología para el control y mejora de la calidad en el sector no estatal de la transformación del plástico. (Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Industrial)
- Supply, Ch. (2023) Merma, ¿qué es y cuándo se da? EAE Business School Barcelona. <https://retos-operaciones-logistica.eae.es/merma-que-es-y-cuando-se-da/>
- Villareal, F.(2019) Introducción a los modelos de pronósticos. UMA. <https://www.matematica.uns.edu.ar/uma2016/material/Introduccion-a-los-Modelos-de-Pronosticos.pdf>.