



Revista EIA  
ISSN 1794-1237  
e-ISSN 2463-0950  
Año XIX/ Volumen 19/ Edición N.38  
Junio-Diciembre de 2022  
Reia3820 pp. 1-17

Publicación científica semestral  
Universidad EIA, Envigado, Colombia

## PARA CITAR ESTE ARTÍCULO / TO REFERENCE THIS ARTICLE /

Vesga Ferreira, J. C.; Contreras Higuera, M. F.; Vesga Barrera, J. A. (2022). Uso del Modelo de Holt-Winters como estrategia para la predicción de condiciones ambientales durante el proceso de almacenamiento del Cacao. Revista EIA, 19(38), Reia3820. pp. 1-17 <https://doi.org/10.24050/reia.v19i38.1593>

### ✉ Autor de correspondencia:

Vesga Ferreira, J. C. (Juan Carlos):  
Docente Asociado, Universidad  
Nacional Abierta y a Distancia -  
Colombia, Doctor en Ingeniería,  
Ingeniero Electrónico – Ingeniero de  
Sistemas.  
Correo electrónico:  
[juan.vesga@unad.edu.co](mailto:juan.vesga@unad.edu.co)

**Recibido:** 17-01-2022  
**Aceptado:** 25-05-2022  
**Disponible online:** 01-06-2022

# Uso del Modelo de Holt-Winters como estrategia para la predicción de condiciones ambientales durante el proceso de almacenamiento del Cacao.

✉ JUAN CARLOS VESGA FERREIRA<sup>1</sup>

MARTHA FABIOLA CONTRERAS HIGUERA<sup>1</sup>

JOSÉ ANTONIO VESGA BARRERA<sup>2</sup>

1. Universidad Nacional Abierta y a Distancia - Colombia
2. Corporación Universitaria de Ciencia y Desarrollo – Colombia

## Resumen

El proyecto surge como respuesta al reto empresarial expuesto ante el Comité Universidad - Empresa - Estado (CUUES) y la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI), el cual expresa la necesidad de contar con un sistema de base tecnológica con capacidad de monitorear y gestionar el proceso de trazabilidad del cacao durante el almacenamiento y fabricación del chocolate. En vista de lo anterior, el objetivo del presente artículo consiste en proponer el uso del modelo del Holt-Winters como estrategia para predecir el comportamiento de variables ambientales que podrían estar presentes en el proceso de almacenamiento del grano de cacao, incorporando el uso de técnicas de análisis soportadas en Series de tiempo. Acorde a los resultados obtenidos, el modelo propuesto permitió predecir el comportamiento de la temperatura, humedad relativa y temperatura de rocío, como estrategia para el control de hongos y moho que podrían llegar a surgir en el grano durante su almacenamiento. Adicionalmente, el modelo propuesto puede ser considerado como una herramienta de predicción muy importante durante el proceso de trazabilidad del cacao, alcanzando niveles de ajuste superiores a 0,9, acompañados de un muy bajo error estándar de estimación y con un nivel de confianza del 95%.

**Palabras clave:** Almacenamiento, Cacao, Humedad, Punto de rocío, Series de tiempo, Temperatura.

# Use of the Holt-Winters Model as a strategy for predicting environmental conditions during the cocoa storage process.

## Abstract

The project arises as a response to the business challenge presented to the University - Company - State Committee (CUUES) and the Research Results Transfer Office (OTRI), which expresses the need to have a technology-based system with the capacity to monitor and manage the cocoa traceability process during the storage and manufacture of chocolate. In view of the above, the objective of this article is to propose the use of the Holt-Winters model as a strategy to predict the behavior of environmental variables that could be present in the cocoa bean storage process, incorporating the use of techniques analysis supported in time series. According to the results obtained, the proposed model allowed predicting the behavior of temperature, relative humidity and dew temperature, as a strategy for the control of fungi and mold that could emerge in the grain during its storage. Additionally, the proposed model can be considered as a very important prediction tool during the cocoa traceability process, reaching adjustment levels higher than 0.9, accompanied by a very low standard error of estimation and with a confidence level of 95%.

**Key Words:** Storage, Cocoa, Humidity, Dew point, Time series, Temperature.

## 1. Introducción

El cambio climático es uno de los aspectos de mayor importancia a nivel mundial, el cual tiene consecuencias significativas sobre las actividades económicas, el bienestar de la población y los ecosistemas. Sierra, Vesga y Medina (2018) expresan que en este contexto, el sector agropecuario es especialmente sensible a las condiciones ambientales en los países de América Latina y el Caribe, por encontrarse en zonas tropicales, las cuales suelen ser bastante dinámicas y adversas debido a las altas temperaturas y humedad relativa que pueden estar presentes, generando un impacto negativo en el sector agropecuario y en el conjunto de la economía. Por ello, Nair (2021) manifiesta que es fundamental identificar y fomentar medidas de adaptación al cambio climático en el sector agropecuario que permitan amortiguar estos impactos negativos.

El cacao es una planta de gran importancia en la economía mundial que tuvo su origen en el noroeste de América del Sur. Es un alimento muy sensible a las variaciones de temperatura y humedad relativa, especialmente durante el proceso de almacenamiento, en donde según Muñoz et al. (2019) es necesario establecer un referente de control, debido a que en este tiempo las condiciones ambientales pueden influir de manera significativa en la trazabilidad del producto y a su vez, presentarse pérdidas en las propiedades fisicoquímicas y organolépticas (color, olor, sabor) de los granos a causa de su capacidad higroscópica, facilitando el crecimiento de hongos; afectando su calidad.

Ante esta situación, Beg et al. (2017) expresa que todo grano o semilla que requiera ser almacenado durante largos periodos de tiempo, no está exento de sufrir cambios físicos, químicos o biológicos como resultado de las condiciones y variaciones ambientales que puedan llegar a presentarse durante este periodo. No obstante,

Andrade et al. (2019) recomienda que si se logra establecer un control y monitoreo permanente bajo condiciones apropiadas, los granos se podrán almacenar por largos periodos de tiempo sin llegar a presentar ningún tipo de problema. Por tal razón, en Afoakwa (2014) se menciona que el tiempo máximo recomendado de almacenamiento es de 3 meses, sin embargo, esto no siempre se cumple, debido a que este tiempo puede ser ampliado como resultado de la relación de los tiempos de cosecha del cacao. Una vez transcurrido este tiempo, los granos pueden comenzar a deteriorarse, afectando con ello a los agricultores en el precio de venta y a la industria chocolatera en la calidad de los productos derivados de este alimento.

Żyzelewicz et al. (2018) describe al cacao como un fruto vivo, el cual requiere ser almacenado bajo condiciones adecuadas que garanticen su integridad en el tiempo. Por ello, Figueroa, Mota y Ferrocino (2019) recomiendan el hacer uso de sacos elaborados con fibras naturales tales como: fique, yute o sisal; con el fin de permitirle al grano respirar y a su vez mantener su humedad, de lo contrario, si son almacenados en sacos cerrados, la humedad interna del grano contribuye a la generación de moho. Adicionalmente, los granos de cacao durante su almacenamiento, también son susceptibles a otro tipo de plagas tales como: la palomilla, gorgojos y ácaros. En Colombia, Fedecacao (2020) menciona que la calidad del grano se rige bajo la norma técnica ICONTEC 1252 de 2003, donde se especifican los criterios de calidad de acuerdo con los estándares internacionales. A su vez, se especifican los parámetros físicos y químicos aceptados, tales como: Humedad (entre el 7% y el 8%), grasa, Ph, índice del grano (permite determinar su peso promedio), el índice de la mazorca o número de mazorcas que se necesitan para obtener 1kg de cacao hidratado, entre otros.

En Yang et al. (2017) se menciona que las técnicas de predicción de series temporales se han utilizado en muchas aplicaciones del mundo real, como la predicción del mercado financiero, la predicción de la carga de servicios eléctricos, la predicción del estado del tiempo y del medio ambiente y la predicción de la fiabilidad. Los modelos de sistemas subyacentes y los procesos de generación de datos de series de tiempo son generalmente complejos para estas aplicaciones y los modelos para estos sistemas generalmente no se conocen a priori. La estimación precisa e imparcial de los datos de series temporales producidos por estos sistemas no siempre se puede lograr utilizando técnicas lineales bien conocidas y, por lo tanto, el proceso de estimación requiere algoritmos de predicción de series temporales más avanzados. Es por ello que surge la motivación de incorporar el uso de las series de tiempo como una estrategia para predecir el comportamiento de las principales variables ambientales que pueden estar presentes durante el proceso de almacenamiento, debido a la capacidad que éstas poseen pronosticar con precisión datos de series temporales cuando los procesos del sistema subyacente son típicamente no lineales, no estacionarios y no definidos a priori.

En vista de lo anterior, en el presente artículo se desea proponer el uso del modelo del Holt-Winters como estrategia para predecir el comportamiento de la temperatura, la humedad relativa y la temperatura de punto de rocío que podrían estar presentes en el proceso de almacenamiento del grano de cacao, incorporando el uso de técnicas de análisis soportadas en Series de tiempo, facilitando con ello un mejor control y monitoreo de la calidad del grano durante su estancia en bodega.

## 2. Metodología

### 2.1 Series de Tiempo

Germán et al. (2016) expresa que los pronósticos o predicciones son esenciales en cualquier proceso relacionado con la toma de decisiones. La calidad de los pronósticos está estrechamente relacionada con información que puede ser extraída y analizada a partir de datos históricos. El análisis de series de tiempo es un método cuantitativo utilizado para identificar patrones en los datos que fueron obtenidos durante el tiempo en el cual ha sido objeto de estudio alguna variable en particular, como en Lambert et al. (2017). En consecuencia, el análisis de series de tiempo permite administrar la incertidumbre relacionada con los eventos futuros, tal como lo manifiesta Wu y He (2021).

En Yang et al. (2017), una *serie temporal* se define como una secuencia de  $N$  observaciones (*ordenadas*) y equidistantes cronológicamente sobre una característica (*Univariante o escalar*) o sobre múltiples características (*Multivariante o Vectorial*) de una unidad observable en diferentes momentos. Su representación matemática es la siguiente:

Serie Univariante

$$Y_1, Y_2, \dots, Y_N; [Y_t]_{t=1}^N; (Y_t: t = 1, 2, \dots, N)$$

Donde  $Y_t$  es la observación  $t$  ( $1 \leq t \leq N$ ) y  $N$  es el número total de observaciones de la serie.

$$Y_t = [Y_1, Y_2, \dots, Y_N]' \text{ de orden } Nx1$$

Serie Multivariante

$$Y_1, Y_2, \dots, Y_N; [Y_t]_{t=1}^N; (Y_t: t = 1, 2, \dots, N)$$

Donde,

$$Y_t = [Y_{t1}, Y_{t2}, \dots, Y_{tM}]' \text{ de orden } NxM \text{ con } M \geq 2$$

Las series de tiempo hacen referencia a datos estadísticos que se recopilan, observan o registran en forma periódica (diario, semanal, semestral, anual, entre otros), los cuales surgen como producto de la medición de una o más variables durante largos periodos de tiempo.

### 2.2. Componentes de la serie de tiempo

Wei (2013) expresa que una serie de tiempo puede estar conformada por cuatro tipos de componentes básicos de variación, los cuales, al superponerse describen el comportamiento observado en la variable objeto de análisis. Los cuatro componentes son: *Tendencia secular, variación estacional, variación cíclica y variación irregular.*

- *Tendencia secular*: Este tipo de tendencia surge como resultado de factores a largo plazo, caracterizado por un patrón gradual y consistente de las variaciones de la propia serie, reflejando un crecimiento o atenuación de la misma.
- *Variación estacional*: Este componente de la serie de tiempo representa la variabilidad que puede presentar la variable de interés a lo largo del año, y que pueden estar asociadas a fenómenos relacionados con las estaciones (invierno, verano, otoño y primavera), de allí su nombre.
- *Variación cíclica*: Representan los cambios cíclicos y periódicos que pueden presentar las series de tiempo, alternando incrementos y descensos en torno a la línea de tendencia, la cual se mantiene después de que se han eliminado las variaciones o tendencias estacionales e irregulares.
- *Variación Irregular*: Este tipo de variación corresponde a factores presentes en periodos cortos de tiempo, imprevisibles y no recurrentes que afectan a la serie de tiempo. En otras palabras, describen el componente de variabilidad aleatoria de la serie, el cual es impredecible sobre la serie de tiempo.

### 2.3. Modelo de suavización exponencial Holt-Winters

Para el desarrollo del proyecto se consideró el uso del modelo de *Holt-Winters*, el cual permite analizar series de tiempo *univariantes* que contienen factores de tendencia y/o estacionalidad, involucrando un enfoque de suavización exponencial con métodos analíticos y patrones aditivos y multiplicativos. Para el caso particular se consideró el uso del *Modelo Holt-Winters Multiplicativo*. La suavización es el método más utilizado para la difusión. Cernaianu et al. (2018) manifiesta que la suavización de forma multiplicativa se fundamenta en el cálculo de cuatro componentes:

- Serie suavizada exponencialmente o nivel estimado

$$A_t = \alpha \frac{X_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha)(A_{t-1} + T_{t-1}) \quad \alpha \in (0,1)$$

- Estimación de Tendencia

$$T_t = \gamma(A_t - A_{t-1}) + (1 - \gamma) T_{t-1} \quad \gamma \in (0,1)$$

- Estimación de estacionalidad

$$S_t = \delta \frac{X_t}{A_t} + (1 - \delta)S_{t-s} \quad \delta \in (0,1)$$

- Predicción de m periodos en el futuro

$$\hat{X}_{t+m} = (A_t + mT_t)S_{t+m-s} \quad \delta \in (0,1)$$

Donde,

$A_t$ : Valor de suavización para el nivel de la serie en el periodo  $t$

$\alpha$ : Constante de suavización exponencial para nivel

$X_t$ : Valor real de la serie de tiempo en el periodo  $t$

$T_t$ : Componente de tendencia de la serie para el periodo  $t$

$\gamma$ : Constante de suavización exponencial para la tendencia

$S_t$ : Componente estacional de la serie para el periodo  $t$

$S_{t-s}$ : componente estacional de la serie para el periodo  $t-s$

$\delta$ : Constante de suavización exponencial para la estacionalidad

$s$ : Longitud de tiempo de la estacionalidad ( $s=6$  Semestral)

$m$ : Periodos futuros a predecir

$\hat{X}_{t+m}$ : Predicción de Holt-Winters para el periodo  $t+m$

#### 2.4. Estimación de $\alpha$ , $\gamma$ y $\delta$ e indicadores de error del modelo

En Hudson y Cohen (2016) se menciona que los coeficientes de ponderación  $\alpha$ ,  $\gamma$  y  $\delta$  se estiman estableciendo valores iniciales y posteriormente mediante un proceso de optimización iterativo se van modificando hasta alcanzar un ajuste adecuado. La minimización del Error Cuadrático Medio (MSD) o el Error Estándar de Estimación ( $\hat{\sigma}$ ) son utilizados comúnmente como objetivo de optimización. Estos indicadores sirven para comparar la efectividad del modelo utilizado, como en Yang et al. (2017). La precisión de la predicción es un criterio muy importante para evaluar la validez de la predicción. Por ello, un análisis del error basado en estas dos medidas estadísticas. Las expresiones para calcular cada uno son las siguientes:

$$MSD = \frac{\sum_{t=1}^n [Y_t - \hat{Y}_t]^2}{n}$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n [Y_t - \hat{Y}_t]}{n}}$$

### 3. Escenario propuesto y análisis de resultados

#### 3.1. Valores estimados y de predicción de temperatura y humedad relativa

Entre los municipios de mayor producción de cacao en Santander se encuentran San Vicente de Chucuri, El Carmen de Chucuri y Landázuri principalmente, los cuales producen anualmente alrededor de 7.500, 7.000 y 2.600 toneladas de cacao respectivamente según Fedecacao (2020). Con el fin de evaluar el modelo propuesto de Holt-Winters, el sistema fue alimentado con los datos históricos de temperatura y humedad relativa en los últimos dos (2) años, el cual es considerado como el tiempo ideal sugerido para evaluar el comportamiento y la predicción realizados por el modelo soportado en series de tiempo para una periodicidad anual, correspondientes a los años 2020 y 2021. Para efectos prácticos y considerando la necesidad de contar con la información histórica de dos años de información, los datos relacionados con la temperatura y la humedad relativa del municipio fueron tomados de la página <https://www.weather-atlas.com/>, <https://www.weather-atlas.com/>, en la cual se encuentra registrada información histórica detallada relacionada con el comportamiento de la temperatura, la humedad relativa, el nivel de precipitación y los niveles de intensidad

*del sol* durante el año y de manera específica para cada municipios de interés a nivel *Nacional o Internacional*.

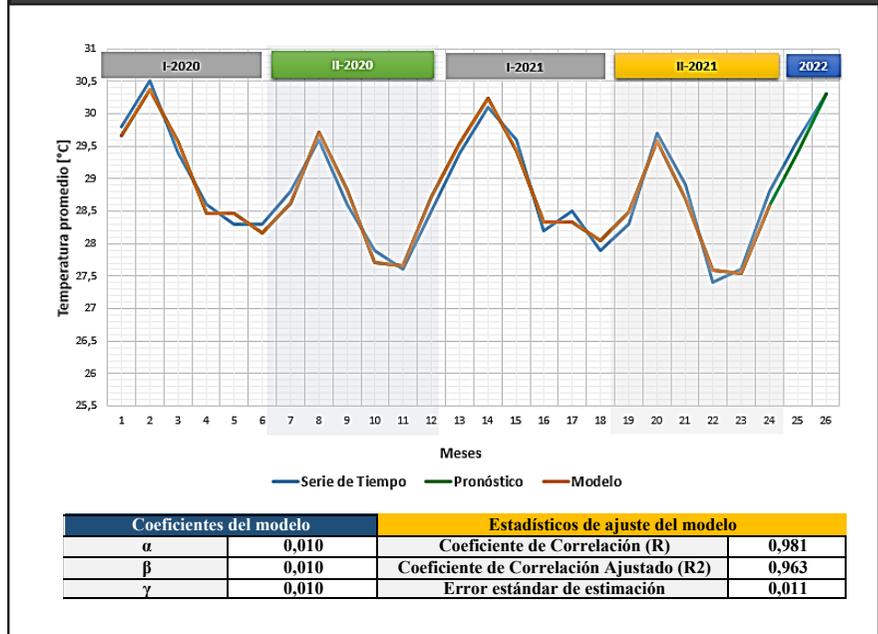
Es importante mencionar que en este primer análisis se consideraron valores tomados de un registro histórico general de cada municipio y no valores de temperatura, humedad relativa en bodega, los cuales podrán ser analizados con el diseño de un prototipo IoT a través del cual la información pueda ser capturada in-situ, mediante el uso de sensores de humedad y temperatura, tal como lo expresan Vesga, Contreras y Barrera (2021).

En las Tablas 1, 2 y 3 se encuentra consolidada la información correspondiente a los valores de temperatura promedio/mes y humedad relativa/mes para los municipios de San Vicente de Chucuri, El Carmen de Chucuri y Landázuri; en las cuales se puede observar cómo los niveles de temperatura y humedad relativa van cambiando a lo largo del año, y a su vez cómo estos varían entre cada municipio, generando con ello evidencia de la gran variedad de condiciones climáticas que pueden estar presentes durante los procesos de cultivo, fermentación, secado y almacenamiento; los cuales juegan un papel muy importante en la calidad del cacao y en sus propiedades físicas y organolépticas durante su procesamiento.

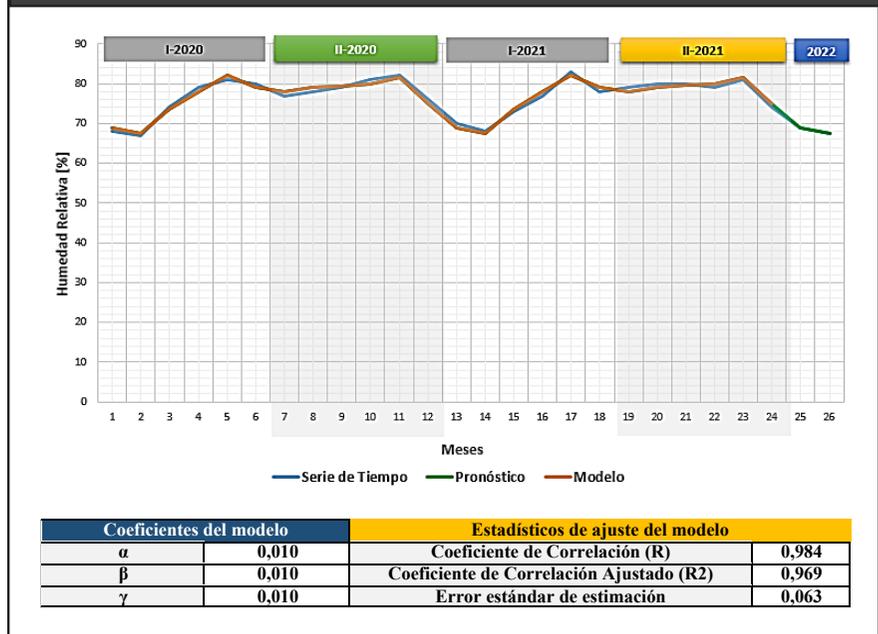
**Tabla 1.** Temperatura promedio y humedad relativa por mes años 2020 y 2021 San Vicente de Chucuri. Fuente: los autores

| Mes | Temperatura [°C] |      | Humedad Relativa [%] |      |
|-----|------------------|------|----------------------|------|
|     | 2020             | 2021 | 2020                 | 2021 |
| Ene | 29,8             | 29,4 | 68                   | 70   |
| Feb | 30,5             | 30,1 | 67                   | 68   |
| Mar | 29,4             | 29,6 | 74                   | 73   |
| Abr | 28,6             | 28,2 | 79                   | 77   |
| May | 28,3             | 28,5 | 81                   | 83   |
| Jun | 28,3             | 27,9 | 80                   | 78   |
| Jul | 28,8             | 28,3 | 77                   | 79   |
| Ago | 29,6             | 29,7 | 78                   | 80   |
| Sep | 28,6             | 28,9 | 79                   | 80   |
| Oct | 27,9             | 27,4 | 81                   | 79   |
| Nov | 27,6             | 27,6 | 82                   | 81   |
| Dic | 28,5             | 28,8 | 76                   | 74   |

**Figura 1.** Valores reales, estimados y de predicción sobre la temperatura promedio mensual [°C] 2020-2021 San Vicente de Chucuri. Fuente: Los autores



**Figura 2.** Valores reales, estimados y de predicción sobre la Humedad Relativa promedio mensual [%] 2020-2021 San Vicente de Chucuri. Fuente: Los autores



**Tabla 2.** Temperatura promedio y humedad relativa por mes años 2020 y 2021 El Carmen de Chucuri. Fuente: Los autores

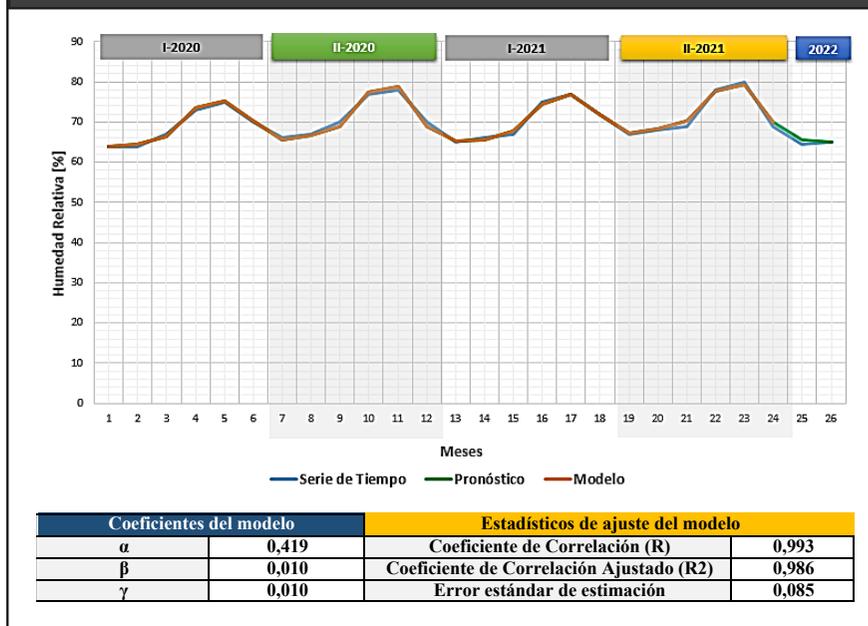
| Mes | Temperatura [°C] |      | Humedad Relativa [%] |      |
|-----|------------------|------|----------------------|------|
|     | 2020             | 2021 | 2020                 | 2021 |
| Ene | 30,1             | 30,7 | 64                   | 65   |
| Feb | 30,9             | 31,1 | 64                   | 66   |
| Mar | 30,5             | 30,3 | 67                   | 67   |
| Abr | 29,3             | 29,1 | 73                   | 75   |
| May | 28,9             | 28,8 | 75                   | 77   |
| Jun | 29,7             | 29   | 70                   | 72   |
| Jul | 30,4             | 29,2 | 66                   | 67   |
| Ago | 30,6             | 29,2 | 67                   | 68   |
| Sep | 29,8             | 29   | 70                   | 69   |
| Oct | 28,3             | 28,5 | 77                   | 78   |
| Nov | 28,1             | 28,4 | 78                   | 80   |
| Dic | 29,3             | 29,5 | 70                   | 69   |

**Figura 3.** Valores reales, estimados y de predicción sobre la temperatura promedio mensual [°C] 2020-2021 El Carmen de Chucuri. Fuente: Los autores



| Coeficientes del modelo |       | Estadísticos de ajuste del modelo         |       |
|-------------------------|-------|---|-------|
| $\alpha$                | 0,933 | Coefficiente de Correlación (R)           | 0,949 |
| $\beta$                 | 0,010 | Coefficiente de Correlación Ajustado (R2) | 0,901 |
| $\gamma$                | 0,010 | Error estándar de estimación              | 0,045 |

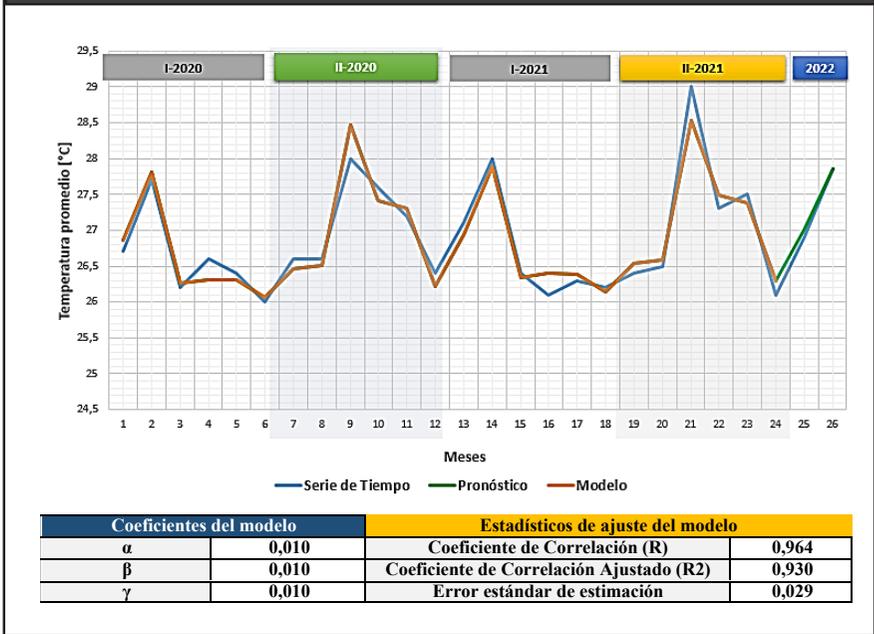
**Figura 4.** Valores reales, estimados y de predicción sobre la Humedad Relativa promedio mensual [%] 2020-2021 El Carmen de Chucuri. Fuente: Los autores



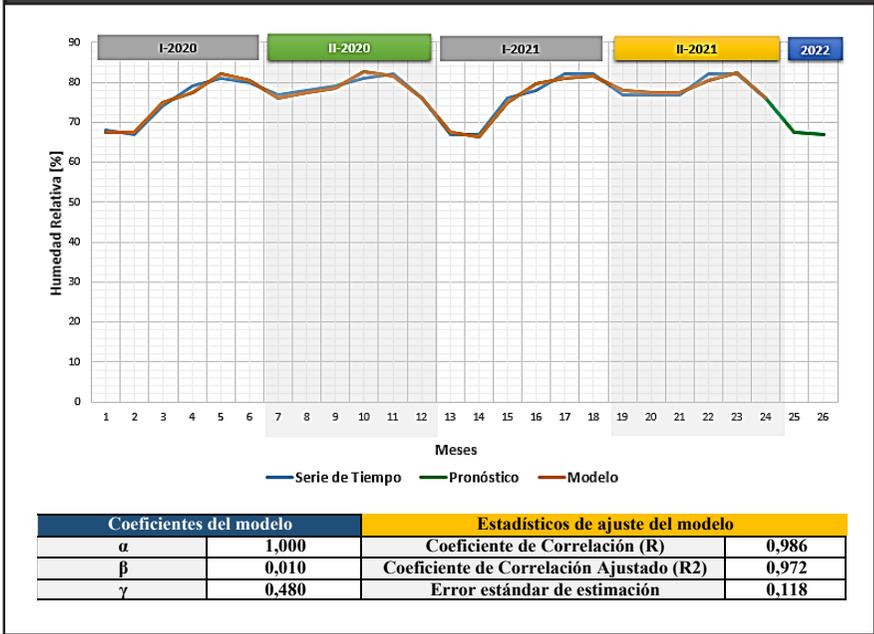
**Tabla 3.** Temperatura promedio y humedad relativa por mes años 2020 y 2021 Landázuri. Fuente: Los autores

| Mes | Temperatura [°C] |      | Humedad Relativa [%] |      |
|-----|------------------|------|----------------------|------|
|     | 2020             | 2021 | 2020                 | 2021 |
| Ene | 26,7             | 27,1 | 68                   | 67   |
| Feb | 27,7             | 28   | 67                   | 67   |
| Mar | 26,2             | 26,4 | 74                   | 76   |
| Abr | 26,6             | 26,1 | 79                   | 78   |
| May | 26,4             | 26,3 | 81                   | 82   |
| Jun | 26               | 26,2 | 80                   | 82   |
| Jul | 26,6             | 26,4 | 77                   | 77   |
| Ago | 26,6             | 26,5 | 78                   | 77   |
| Sep | 28               | 29   | 79                   | 77   |
| Oct | 27,6             | 27,3 | 81                   | 82   |
| Nov | 27,2             | 27,5 | 82                   | 82   |
| Dic | 26,4             | 26,1 | 76                   | 76   |

**Figura 5.** Valores reales, estimados y de predicción sobre la temperatura promedio mensual [°C] 2020-2021 Landázuri. Fuente: Los autores



**Figura 6.** Valores reales, estimados y de predicción sobre la Humedad Relativa promedio mensual [%] 2020-2021 Landázuri. Fuente: Los autores



En las figuras 1 a la 6 se describe el comportamiento de las variables objeto de estudio (Temperatura y Humedad Relativa), acompañadas de los valores que se han obtenido a partir del modelo de Holt- Winters propuesto y el pronóstico de cada una de ellas para los meses futuros en el presente año, en donde cada una de ellas describe comportamientos dinámicos en el tiempo y tendencias específicas para cada municipio, reflejando con ello una clara evidencia de la importancia que tiene el conocimiento de las variables ambientales frente a la gestión de cultivos y almacenamiento de granos durante largos periodos de tiempo.

Acorde con los resultados en cada una de las figuras se pudo evidenciar que los valores obtenidos mediante el uso del modelo de Holt-Winters propuesto para cada variable, reflejan un valor muy cercano a los valores registrados en cada una de las series de tiempo, con un alto nivel de ajuste y un nivel de confianza del 95%, teniendo en cuenta que los coeficientes de correlación ( $R$ ) y el coeficiente de correlación ajustado ( $R_{aj}$ ) presentan valores superiores a 0,9, acompañado de valores muy bajos correspondientes al error estándar de estimación. Adicionalmente cada figura se encuentra acompañada de un cuadro resumen en el cual se registran los valores correspondientes a los coeficientes de ajuste del modelo  $\alpha$ ,  $\gamma$  y  $\delta$ , acompañados de los estadísticos de ajuste del modelo en cada caso a fin de minimizar el error estándar de estimación. Finalmente se consideró un valor de  $L=12$  (anual), correspondiente al nivel de periodicidad del modelo, teniendo en cuenta que la temperatura y la humedad relativa son variables periódicas anuales, así como el hecho de que según Fedecacao (2020), la producción nacional de cacao es permanente a lo largo del año, con dos picos productivos: noviembre-diciembre-enero y abril-mayo-junio.

### 3.2. Estimación sobre la Temperatura de Punto de Rocío

El *Punto de Rocío*, es la temperatura a la que se debe enfriar el aire (a presión constante) para lograr una humedad relativa (HR) del 100%. En este punto, el aire no puede contener más agua en forma de gas, dando paso al surgimiento de gotas de agua producto de la condensación, como en Mejdal et al. (2017). Cuanto mayor sea el punto de rocío, mayor será la cantidad de humedad en el aire. Aunque el valor de la temperatura de punto de rocío tradicionalmente es calculado mediante el uso de tablas de temperatura vs Presión de vapor saturado. Sin embargo, Cernaianu et al. (2018) expresa que es posible hacer uso de una expresión matemática obtenida de forma empírica, la cual debido a su simplicidad y para efectos prácticos, permite calcular de una manera bastante aproximada, el valor de la *temperatura de punto de rocío* mediante el uso de la siguiente expresión:

$$T_{PR} = \left[ \sqrt[8]{\frac{HR}{100}} \cdot (112 + 0.9T) \right] + 0.1T - 112$$

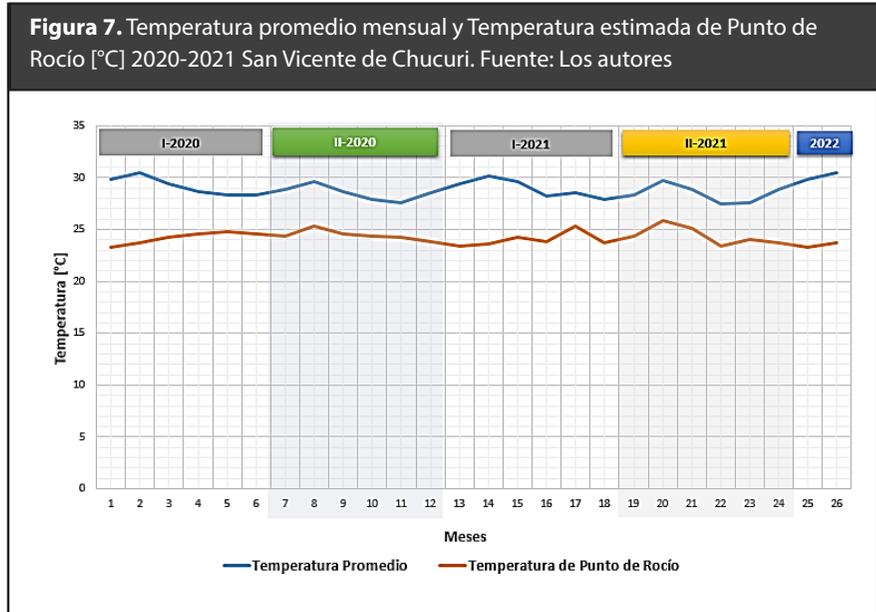
Donde,

$T_{PR}$ : Temperatura de punto de rocío

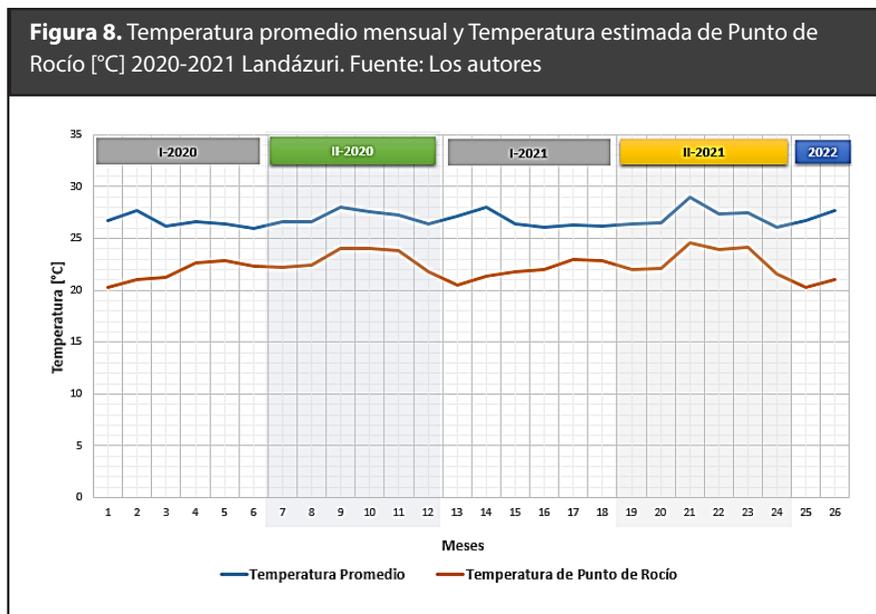
$T$ : Temperatura

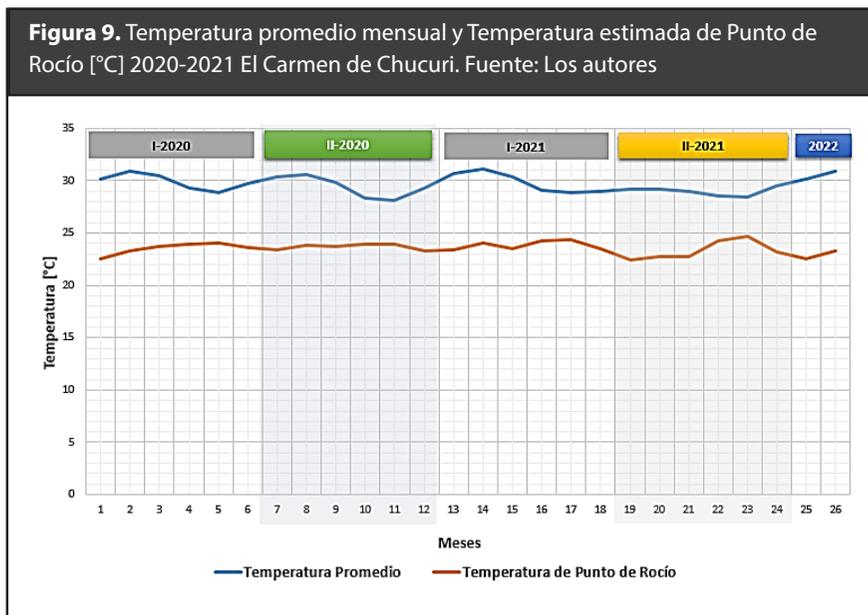
$HR$ : Humedad Relativa.

En las figuras 7, 8 y 9 se ilustra un comparativo sobre el comportamiento de la temperatura promedio mensual y la temperatura estimada de punto de rocío durante los años 2020 y 2021, con el fin de evaluar su similitud y relaciones existentes que puedan ser consideradas de gran importancia.



Al observar la figura 7 es posible evidenciar que existe un alto grado de similitud en la forma que describe el comportamiento de la temperatura estimada de punto de rocío y la temperatura promedio en el municipio de San Vicente de Chucuri, presentando una diferencia promedio entre temperaturas por mes de 4,5°C y una desviación estándar de  $\pm 1,06^{\circ}\text{C}$ .





A su vez, al observar la figura 8 se presenta un fenómeno muy similar al caso anterior, en donde es posible evidenciar que el comportamiento que describe la temperatura estimada de punto de rocío presenta un alto nivel de similitud en el tiempo con la temperatura promedio en el municipio de Landázuri, con una diferencia promedio entre temperaturas por mes de  $4,4^{\circ}\text{C}$  y una desviación estándar de  $\pm 1,11^{\circ}\text{C}$ . Finalmente, al observar la figura 9 el comportamiento es muy similar a los dos casos anteriores, en donde se presenta una diferencia promedio entre temperaturas por mes de  $5,94^{\circ}\text{C}$  y una desviación estándar de  $\pm 1,17^{\circ}\text{C}$  para el municipio de El Carmen de Chucuri.

Después de observar los tres casos anteriores, es posible suponer que puede considerarse como criterio un valor promedio entre los  $4^{\circ}\text{C}$  y los  $6^{\circ}\text{C}$  de diferencia para aplicaciones prácticas de control y monitoreo a priori en espacios de almacenamiento, en donde si al evaluar el interior de los costales de grano con un termómetro, existe una diferencia de temperatura entre el valor medido y la temperatura ambiente dentro del rango considerado como criterio de control, entonces podría generarse una alerta temprana de que probablemente se pueden estar presentando condiciones de punto de rocío en su interior, lo cual podría afectar de forma negativa el proceso de almacenamiento, ya que se estaría generando la posibilidad de que éste incremente el nivel de humedad del grano debido a las propiedades higroscópicas del cacao y a su vez el surgimiento de moho desde el interior de cada saco.

Finalmente, en la Tabla 4 se presenta el consolidado correspondiente a los valores de temperatura de punto de rocío estimados para los municipios de San Vicente de Chucuri, El Carmen de Chucuri y Landázuri.

**Tabla 4.** Temperatura estimada de Punto de Rocío promedio mensual [°C] 2020-2021. Fuente: Los autores

| Mes | San Vicente de Chucuri |       | Landázuri |       | El Carmen de Chucuri |       |
|-----|------------------------|-------|-----------|-------|----------------------|-------|
|     | 2020                   | 2021  | 2020      | 2021  | 2020                 | 2021  |
| Ene | 23,27                  | 23,36 | 20,30     | 20,44 | 22,55                | 23,38 |
| Feb | 23,69                  | 23,55 | 21,01     | 21,30 | 23,31                | 24,01 |
| Mar | 24,29                  | 24,25 | 21,19     | 21,82 | 23,69                | 23,50 |
| Abr | 24,60                  | 23,78 | 22,65     | 21,96 | 23,96                | 24,22 |
| May | 24,73                  | 25,33 | 22,87     | 22,98 | 24,03                | 24,37 |
| Jun | 24,52                  | 23,71 | 22,28     | 22,88 | 23,65                | 23,44 |
| Jul | 24,37                  | 24,31 | 22,23     | 22,04 | 23,35                | 22,45 |
| Ago | 25,36                  | 25,88 | 22,44     | 22,13 | 23,79                | 22,69 |
| Sep | 24,60                  | 25,10 | 24,02     | 24,56 | 23,75                | 22,74 |
| Oct | 24,34                  | 23,43 | 24,04     | 23,95 | 23,88                | 24,29 |
| Nov | 24,25                  | 24,04 | 23,86     | 24,15 | 23,90                | 24,62 |
| Dic | 23,86                  | 23,71 | 21,82     | 21,53 | 23,27                | 23,22 |

#### 4. Conclusiones

El objetivo fundamental de las series de tiempo es el conocimiento sobre el comportamiento de la variable objeto de estudio a lo largo del tiempo, en donde bajo esta premisa y considerando que no se realizarán cambios significativos en el sistema, sea posible realizar predicciones en el corto, mediano y largo plazo. Ante esta situación se propuso el modelo de Holt-Winters como estrategia para el análisis y predicción sobre el comportamiento de variables como la Temperatura, la Humedad Relativa y la Temperatura de punto de rocío, las cuales juegan un papel muy importante en el control de calidad del grano de cacao durante el proceso de almacenamiento, a fin de minimizar el surgimiento de moho y hongos debido a los cambios en las condiciones del ambiente y al comportamiento del grano de cacao como alimento higroscópico. Acorde con los resultados obtenidos se pudo evidenciar que el modelo de Holt-Winters propuesto puede ser considerado como una herramienta de predicción muy importante durante el proceso de trazabilidad del cacao, debido a que se alcanzaron niveles de ajuste superiores a 0,9, acompañados de un muy bajo error estándar de estimación y con un nivel de confianza del 95%, facilitando con ello, la identificación de patrones de conducta de cada variable y a su vez realizar predicciones con adecuados niveles de exactitud, los cuales dependerán de si la variable presenta un comportamiento determinista o un comportamiento aleatorio. Adicionalmente, se pudo evidenciar que es posible el considerar para efectos prácticos de control y monitoreo de las condiciones del grano de cacao durante el proceso de almacenamiento, el identificar una diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura al interior de un saco de cacao en el rango entre los 4°C y los 6°C, existe una alta probabilidad de punto de rocío al interior de los sacos y con ello el surgimiento de condiciones no aptas para el almacenamiento del grano. Finalmente, el modelo propuesto podría ser considerado como una excelente alternativa para el control y monitoreo del grano durante su almacenamiento, el cual podría ser extrapolado a otro tipo de productos similares. .

## Referencias bibliográficas

- Afoakwa, E. (2014). *Cocoa Production and Processing Technology*, Cleveland, CRC Press, pp. 140-200.
- Andrade, J.; Rivera, J.; Chire, G.; Ureña, M. (2019). Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) de Ecuador y Perú. *Enfoque UTE*, 10(4), pp. 1-12, <https://doi.org/10.29019/ENFOQUE.V10N4.462>.
- Beg, M.; Ahmad, S.; Jan, K.; Bashir, K. (2017). Status, supply chain and processing of cocoa - A review. *Trends in Food Science & Technology*, 66(1), pp. 108-116, <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2017.06.007>.
- Cernaianu, A.; Cernaianu, C.; Popescu, D.; Tutunea, D. (2018). Studies on the cooling systems for the production of electricity through Seebeck effect with TEG elements, *International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE)*, Craiova, Romania, pp. 1-6, <https://doi.org/10.1109/ICATE.2018.8551444>.
- Fedecacao (2020). *Cadena Productiva del Cacao: Diagnóstico de libre competencia*. Superintendencia de Industria y Comercio. Disponible en: [https://www.sic.gov.co/recursos\\_user/documentos/promocion\\_competencia/Estudios\\_Economicos/Cacao.pdf](https://www.sic.gov.co/recursos_user/documentos/promocion_competencia/Estudios_Economicos/Cacao.pdf)
- Figuerola, C.; Mota, J.; Ferrocino, I. (2019). The challenges and perspectives of the selection of starter cultures for fermented cocoa beans. *International Journal of Food Microbiology*, 301(1), pp. 41-50, <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2019.05.002>.
- Germán, A.; Tauro, C.; Andreo, V.; Bernasconi, I. Ferral, A. (2016). Análisis de una serie temporal de clorofila-a a partir de imágenes MODIS de un embalse eutrófico, *IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)*, Buenos Aires, Argentina, pp. 697-704. <https://doi.org/10.1109/ARGENCON.2016.7585365>.
- Hudson, D.; Cohen, M. (2016). *Neural networks and artificial intelligence for biomedical engineering*, New Jersey, Wiley-IEEE Press, pp. 105-120.
- Lambert, M.; Blaes, X.; Traore, P.; Defourny, P. (2017). Estimate yield at parcel level from S2 time serie in sub-Saharan smallholder farming systems, *9th International Workshop on the Analysis of Multitemporal Remote Sensing Images*, Brugge, Belgium, pp. 1-7, <https://doi.org/10.1109/Multi-Temp.2017.8035204>.
- Mejda, M.; Abouhilal, A.; Chahid, E. (2017). Effects of temperature in the performance of the thermoelectric devices: Power generation, *International Renewable and Sustainable Energy Conference-IRSEC*, Marrakech, Morocco, pp. 338-343, <https://doi.org/10.1109/IRSEC.2016.7984011>.
- Muñoz, M.; Cortina, J.; Vaillant, F.; Parra, S. (2019). An overview of the physical and biochemical transformation of cocoa seeds to beans and to chocolate: Flavor formation, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(10), pp. 1593-1613. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1581726>.
- Nair, K. (2021). *Cocoa (Theobroma cacao L.)*. *Tree Crops*, London, Springer International Publishing, pp. 153-213.
- Sierra, J. E.; Vesga, J. C.; Medina, B. (2018). Livestock model innovation under the concept of smart cities. *Indian Journal of Science and Technology*, 11(22), pp. 1-6. <https://doi.org/10.17485/ijst/2018/v11i22/122510>
- Vesga, J. C.; Contreras, M.; Barrera, J. A. (2021). Nuevos desafíos en el desarrollo de soluciones para e-health en Colombia, soportados en Internet de las Cosas (IoT). *Revista EIA*, 18(36), 36008 pp. 1-19. <https://doi.org/10.24050/reia.v18i36.1508>
- Wei, W. (2013). *Time Series Analysis*, London, Oxford University Press, pp. 148-195
- Wu, J.; He, Y. (2021). Prediction of GDP in Time Series Data Based on Neural Network Model, *IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Industrial Design (AIID)*, Guangzhou, China, pp. 20-23, <https://doi.org/10.1109/AIID51893.2021.9456509>.
- Yang, D.; Chen, H.; Song, Y.; Gong, Z. (2017). Granger Causality for Multivariate Time Series Classification, *IEEE International Conference on Big Knowledge*, Hefei, China, pp. 103-110, <https://doi.org/10.1109/ICBK.2017.36>.

Żyżelewicz, D.; Budryn, G.; Oracz, J.; Antolak, H.; Kępiel, D.; Kaczmarska, M. (2018). The effect on bioactive components and characteristics of chocolate by functionalization with raw cocoa beans. *Food Research International*, 113(1), pp. 234–244, [https://doi: 10.1016/J.FOODRES.2018.07.017](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.017).