

Modelo de comportamiento de las temperaturas medias en el cultivo del Tomate (*Solanum lycopersicum*)



Behavior model of average temperatures in the tomato crop (*Solanum lycopersicum*)

<https://eqrcode.co/a/zUHSBI>

✉ Leonardo Santiago Vines Llaguno^{1*}, ✉ Yaima Trujillo Reyes²

¹Estudiante de la Maestría Académica con Trayectoria de Investigación Matemática, Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo (Ecuador)

²Licenciada en Matemática, Master en Matemática Aplicada, Docente de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Los Ríos (Ecuador) ytrujillo@uteq.edu.ec

RESUMEN : Las matemáticas han seguido elevando su presencia en las ciencias y en los sectores económicos, en general. Junto a las tecnologías de la información se procesan enormes volúmenes de datos que facilitan el análisis y sirven para la toma de decisiones de manera objetiva. La evasión de los riesgos agrícolas resulta una tarea de primer orden para la salvaguarda de la seguridad alimentaria y es así que la reducción de los períodos vegetativos en los cultivos, resulta una estrategia eficaz para lograrlo. El objetivo de este trabajo es determinar las fechas en que se producen las máximas de temperatura del aire para obtener los períodos probables en que se manifiestan los valores más altos y acelerar el crecimiento y desarrollo del cultivo del tomate en el cantón Babahoyo, provincia Los Ríos, Ecuador. Las fechas de máxima temperatura en el aire se ubicó alrededor de la decena 7, entre el 13 y el 17 de marzo, resultados de la suma de probabilidades para un 75%. Las sumas de temperaturas obtenidas fluctúan en el rango 2170 - 2266 Grados Celsius que garantizan la aceleración del período vegetativo, pues cuentan con el 100% de la suma de probabilidades de ser alcanzadas. Observar un manejo dirigido a la selección del período de mayor temperatura reducirá los riesgos de y eventos extremos, además de disminuir los insumos en la producción agrícola, lo que aumentará la sostenibilidad del sistema.

Palabras clave: Temperaturas, Modelación, Optimización, Tomate.

ABSTRACT: Mathematics has continued to increase its presence in the sciences and in the economic sectors, in general. Along with information technologies, huge volumes of data are processed that facilitate analysis and serve for objective decision-making. The avoidance of agricultural risks is a task of the first order to safeguard food security and thus reducing the vegetative periods in crops is an effective strategy to achieve it. The work is carried out in the Babahoyo canton, Los Ríos province on obtaining behavior models of air temperatures that facilitate, through the application of Differential Calculation, obtaining the dates of maximum temperatures, which would allow obtaining the periods of higher temperatures. thermal supply to accelerate growth and development processes. The dates of maximum temperature were located around decade 7, between March 13 and 17, results of the sum of probabilities for 75%. The sums of temperatures obtained fluctuate in the range 2170 - 2266 Celsius Degrees that guarantee the acceleration of the vegetative period, since they have 100% of the sum of probabilities of being reached. Observe a management directed to the selection of the period of highest temperature will reduce the risks of pests and extreme events, in addition to reducing inputs in agricultural production, which will increase the sustainability of the system.

Keywords: Temperatures, Modeling, Optimization, Tomato.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de incrementar la producción agrícola a nivel mundial ha determinado la introducción en las investigaciones de la modelación y las herramientas estadístico - matemáticas de avanzada (Rodríguez, 2001). El uso e interpretación adecuada de estas técnicas permiten la toma de decisiones óptimas, la eficiencia y el logro de empeños superiores en las diferentes esferas y muy en especial en el sector agrario, cuya aplicación favorece el desarrollo de los sistemas

productivos (Rodríguez & Bermúdez, 1995; Chávez *et al.*, 2013). Según reporta (Chávez *et al.*, 2013), para tomar decisiones a mediano y largo plazo en condiciones similares de experimentación, la Matemática Aplicada en las ciencias agropecuarias permite brindar criterios y herramientas básicas para manejar e interpretar cada vez mejor la actividad agrícola y satisfacer las demandas de nuevas tecnologías para producir en mercados globales altamente competitivos resguardando los recursos naturales.

*Autor para correspondencia: Leonardo Santiago Vines Llaguno. E-mail: lvines0182@utm.edu.ec

Recibido: 24/05/2021

Aceptado: 13/08/2021

La productividad agrícola es un componente importante del ciclo global del carbono y un impulsor de los servicios ecosistémicos más esenciales para la humanidad (Vitousek *et al.*, 1986; Costanza *et al.*, 1998). La investigación sobre la productividad agrícola ha atraído mucha atención entre la comunidad científica porque es un indicador de la energía entrante a la biosfera y una medida de asimilación neta de dióxido de carbono (CO₂) proporcionando una base para evaluar el estado de una amplia gama de procesos ecológicos (Pan *et al.*, 2014). En todo este proceso tiene una participación muy activa el comportamiento de la temperatura máxima.

Muchos autores han demostrado que existe una estrecha relación entre los cambios en la productividad agrícola y el comportamiento de las variables climáticas (Tiedemann, 2015; Deliree *et al.*, 2018; Pan *et al.*, 2015). Se encontró una mayor correlación entre el la productividad agrícola y la temperatura, que el encontrado con la precipitación, concluyendo que estos cambios están estrechamente relacionados con los factores climáticos, las condiciones del paisaje y el tipo de vegetación (Yang *et al.*, 2020). Otros autores lo han relacionado con la longitud del período de crecimiento (Arora & Boer, 2005; Jönsson & Eklundh, 2004; Chandola *et al.*, 2010).

El incremento proyectado de la temperatura media al nivel global es de $4,3 \pm 0,7$ Grados Celsius para el 2100 afectará la distribución geográfica, composición y productividad de los ecosistemas tropicales (Elikana *et al.*, 2020), modificación que se viene operando gradualmente en la actualidad. Entonces es necesario un manejo que garantice el uso eficiente de los recursos ecosistémicos. Es así que los cultivos para su crecimiento y desarrollo dependen de una cierta cantidad de suma de temperaturas, donde la media debe superar un mínimo biológico (De Fina & Ravelo, 1979). Provocar que los cultivos transiten por condiciones climáticas propicias que determinen un rápido crecimiento y desarrollo, reducen el riesgo del ataque de plagas, además de elevar la eficiencia productiva del sistema. Por otra parte, se tiene que existen fenómenos cíclicos (secuencia de estados ordenados que se repiten sin alteración del orden) como el comportamiento de la temperatura diaria, mensual o anual. Estos fenómenos cíclicos se asocian matemáticamente a funciones periódicas (Plaza, 2011).

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se desarrolló en el cantón Bahoyo, provincia Los Ríos para determinar el período en que se alcanzan los mayores valores de la temperatura a través de su modelo de comportamiento. Se utilizaron 30 años de datos de la temperatura media decenal en el período 1981 - 2010 y en cada uno de los años se determinó el modelo de comportamiento y el valor de las correlaciones existentes mediante

la aplicación del Software SPSS el Curve Expert, elemento importante para la selección del modelo que mejor explicaba los resultados. La variedad de tomate seleccionada tiene un ciclo vegetativo equivalente a 180 días y una temperatura mínima biológica igual a 13 Grados Celsius.

Una vez obtenidas las funciones para cada curva en cada año, se optimizó la función para la obtención de la temperatura máxima a través del cálculo diferencial: derivada de la función igualada a cero, para la obtención de los valores extremos, del cual se adquiere el máximo absoluto. Para el desarrollo de esta sección se utilizó la metodología propuesta por (Morales, 1993), que se apoya en el uso del cálculo diferencial para la optimización de las funciones en cuestión. Una vez obtenido el máximo absoluto fue posible determinar los períodos de mayor acumulación de sumas térmicas tomando como punto medio, la fecha en que se produce el máximo absoluto y prolongando hacia la derecha y a la izquierda el mismo lapso de tiempo, hasta coincidir con la duración del periodo de crecimiento del cultivo en cuestión (Figura 1).

Una vez obtenidos los períodos óptimos para cada uno de los años y las temperaturas medias correspondientes a cada una de las decenas involucradas en el período de crecimiento del cultivo del tomate, se evalúa la probabilidad acumulada en fechas de manifestación de la temperatura máxima para un 75% de probabilidades. El 75% garantiza que de cada 10 años, el fenómeno ocurra en 7,5 años, lo que representa un menor riesgo para el agricultor (Eldin & Rojas, 1983).

Se calculó la suma de temperaturas acumuladas en cada uno de los años. Se evaluó la suma de probabilidades de las sumas de temperaturas efectivas.

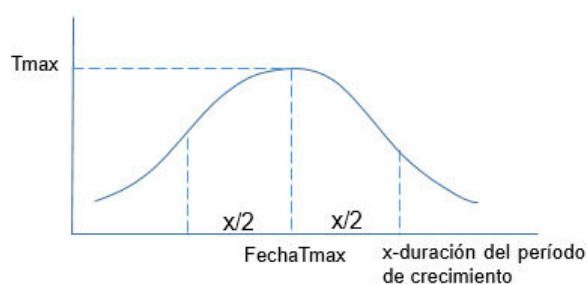
$$ST_e = n(T_m - T_{mb})$$

ST_e - suma de temperaturas efectivas

n - número de días

T_m - temperatura media

T_{mb} - temperatura mínima biológica



Fuente: Elaboración propia de los autores.

Figura 1. Comportamiento de la temperatura en el período de crecimiento del cultivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre los modelos analizados, los que mejor se ajustaron fueron el sinusoidal y el polinomial, en ese orden. El modelo que mejor se ajustó tiene la forma de una onda coseno:

$$T = A \cdot \cos(Bt + C) + D$$

Los resultados anteriores coinciden con lo obtenido por (Plaza, 2011) en su trabajo sobre la modelación de la temperatura diaria en el Valle del Cauca, Colombia.

A partir de los modelos de comportamiento de la temperatura anual y con la aplicación del cálculo diferencial se obtuvo las máximas para cada año. De modo general, el comportamiento de la temperatura se presenta de modo cíclico, con un máximo que fluctuó alrededor de la decena 7 y con un mínimo que lo hizo alrededor de las decenas 21 y 22. Si se llevan las decenas a una escala decimal, entonces el máximo fluctuó en el rango 6.76 - 7.88, que convertido en fechas

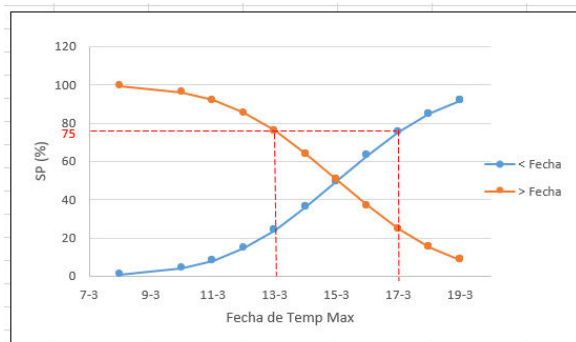
exactas sería 8/mar - 19/mar. Este método garantiza que se evalúen los periodos en que se manifiestan las más altas temperaturas en cada año.

En la **Tabla 1** se presenta para cada año las ecuaciones de los modelos de comportamiento de las temperaturas decenales, coeficientes de correlación (Coef. Correl.), error estándar (ES), las decenas de manifestación de las máximas y sus fechas correspondientes, que además presenta las fechas 90 días antes (F.ANTES) y 90 después (F.DESPUES) de la fecha de máximo, de manera que incluya el período de crecimiento del tomate que tiene una duración de 180 días. Estas funciones tienen como característica que sus valores se repiten a intervalos regulares y su periodicidad, lo que asevera (San Martín, 2005).

La evaluación de la suma de probabilidades arroja que existe un 75% de probabilidades de que la máxima temperatura se manifiesta antes del 17 de marzo y después del 13 de marzo (**Figura 2**).

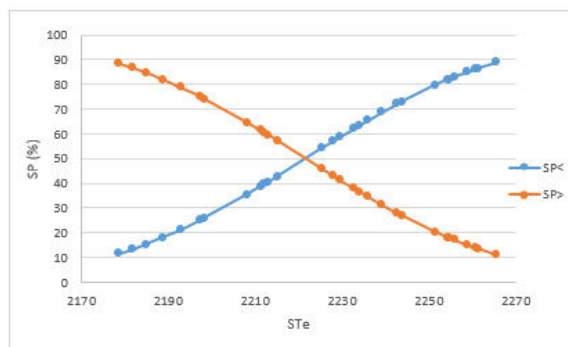
Tabla 1. Modelos de comportamiento de la temperatura anual, estadígrafos, fechas de manifestación de las máximas y período de desarrollo óptimo para el cultivo del tomate.

AÑO	ECUACION	Coef. Correl.	ES	DECENAS	F.ANTES	FECHA	F.DESPUES
AÑO 1	y=24.64+1.41 cos (0.17x-1.30)	0.91	0.45	7.29	8/12	13/3	11/6
AÑO 2	y=24.61+1.37 cos (0.17x-1.28)	0.91	0.46	7.53	10/12	15/3	13/6
AÑO 3	y=24.58+1.39 cos (0.17x-1.28)	0.92	0.44	7.53	10/12	15/3	13/6
AÑO 4	y=24.58+1.42 cos (0.17x-1.26)	0.93	0.39	7.41	9/12	14/3	12/6
AÑO 5	y=24.65+1.44 cos (0.17x-1.20)	0.94	0.36	7.06	6/12	11/3	9/6
AÑO 6	y=24.65+1.36 cos (0.17x-1.21)	0.92	0.40	7.12	6/12	11/3	9/6
AÑO 7	y=24.55+1.24 cos (0.17x-1.34)	0.89	0.45	7.88	14/12	19/3	17/6
AÑO 8	y=24.65+1.43 cos (0.16x-1.19)	0.92	0.43	7.44	9/12	14/3	12/6
AÑO 9	y=24.58+1.46 cos (0.18x-1.40)	0.93	0.40	7.78	13/12	18/3	16/6
AÑO 10	y=24.67+1.35 cos (0.17x-1.25)	0.92	0.40	7.35	9/12	14/3	12/6
AÑO 11	y=24.61+1.42 cos (0.18x-1.40)	0.92	0.43	7.78	13/12	18/3	16/6
AÑO 12	y=24.56+1.46 cos (0.17x-1.28)	0.93	0.42	7.53	10/12	15/3	13/6
AÑO 13	y=24.71+1.32 cos (0.16x-1.17)	0.91	0.44	7.31	8/12	13/3	11/6
AÑO 14	y=24.56+1.43 cos (0.18x-1.38)	0.91	0.45	7.67	12/12	17/3	15/6
AÑO 15	y=24.65+1.37 cos (0.17x-1.29)	0.92	0.42	7.59	11/12	16/3	14/6
AÑO 16	y=24.59+1.43 cos (0.17x-1.22)	0.90	0.50	7.18	7/12	12/3	10/6
AÑO 17	y=24.64+1.45 cos (0.17x-1.25)	0.91	0.47	7.35	9/12	14/3	12/6
AÑO 18	y=24.61+1.37 cos (0.17x-1.29)	0.91	0.43	7.59	11/12	16/3	14/6
AÑO 19	y=24.61+1.43 cos (0.17x-1.34)	0.92	0.43	7.88	14/12	19/3	17/6
AÑO 20	y=24.54+1.39 cos (0.18x-1.35)	0.92	0.41	7.50	10/12	15/3	13/6
AÑO 21	y=24.63+1.46 cos (0.17x-1.34)	0.92	0.45	7.88	14/12	19/3	17/6
AÑO 22	y=24.62+1.41 cos (0.17x-1.19)	0.92	0.44	7.00	5/12	10/3	8/6
AÑO 23	y=24.66+1.35 cos (0.17x-1.15)	0.91	0.45	6.76	3/12	8/3	6/6
AÑO 24	y=24.64+1.36 cos (0.18x-1.41)	0.92	0.41	7.83	13/12	18/3	16/6
AÑO 25	y=24.56+1.43 cos (0.18x-1.39)	0.94	0.38	7.72	12/12	17/3	15/6
AÑO 26	y=24.64+1.41 cos (0.17x-1.24)	0.92	0.44	7.29	8/12	13/3	11/6
AÑO 27	y=24.57+1.35 cos (0.17x-1.27)	0.93	0.39	7.47	10/12	15/3	13/6
AÑO 28	y=24.60+1.41 cos (0.17x-1.33)	0.92	0.43	7.82	13/12	18/3	16/6
AÑO 29	y=24.63+1.43 cos (0.17x-1.34)	0.91	0.46	7.88	14/12	19/3	17/6
AÑO 30	y=24.58+1.34 cos (0.17x-1.28)	0.91	0.44	7.53	10/12	15/3	13/6



Fuente: Elaboración propia de los autores.

Figura 2. Suma de probabilidades de las fechas de manifestación de la temperatura máxima antes y después en el cantón Babahoyo, provincia Los Ríos.



Fuente: Elaboración propia de los autores.

Figura 3. Suma de probabilidades de la suma de temperaturas efectivas en el cultivo del tomate en los períodos de mayor temperatura en el cantón Babahoyo, provincia Los Ríos.

La suma de temperaturas efectivas para los períodos seleccionados acorde al procedimiento metodológico, fluctuó en el rango 2170-2266 °C. La suma de temperaturas efectivas para el tomate fluctúa entre 1150 y 1350 Grados Celsius (De Fina, 1979) y según los resultados, las sumas de temperaturas obtenidas en el cantón pueden determinar una reducción de la tercera parte del período vegetativo del cultivo hasta la cosecha, con las implicaciones que tiene sobre los insumos y riesgos de plagas y eventos extremos. Las sumas de temperaturas en el cantón superan los 1350 °C requeridos por el cultivo en el menor de los valores (Figura 3).

CONCLUSIONES

El modelo con mejor ajuste resultó el sinusoidal por el carácter cíclico y periódico que presentan las temperaturas anuales. Los coeficientes de correlación resultaron altos, aunque con modelos por observación directa en cada uno de los años pudieran mejorar en algo los ajustes obtenidos.

El uso del cálculo diferencial para la determinación de las fechas de máxima temperatura resultó de gran apoyo para alcanzar el objetivo de este trabajo, aportando un modelo aplicable para el pronóstico de los períodos con mayor abastecimiento térmico en el cantón Babahoyo.

La suma de probabilidades de la fecha de manifestación de las máximas presenta una pequeña variación en el rango, lo que se corresponde con el comportamiento de las condiciones térmicas presentes en el cantón Babahoyo, provincia Los Ríos, Ecuador.

Los valores de las sumas de probabilidades de la suma de temperaturas efectivas indican que, en el cantón Babahoyo con una agricultura inteligente que integre el conocimiento agroclimático, es posible lograr producciones más eficientes y sostenibles.

REFERENCIAS

- Arora, V. & Boer, G. 2005. "A parameterization of leaf phenology for the terrestrial ecosystem component of climate models". *Global Change Biology*, 11: 39-59, DOI: [10.1111/j.1365-2486.2004.00890.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00890.x).
- Chandola, V.; Hui, D.; Gu, L.; Bhaduri, B. & Vatsavai, R. 2010. "Using Time Series Segmentation for Deriving Vegetation Phenology Indices from MODIS NDVI Data". *IEEE International Conference on Data Mining Workshops*, Massachusetts Ave., NW Washington DC, United States: IEEE Computer Society, pp. 202-208, ISBN: 978-0-7695-4257-7. DOI: [10.1109/ICDMW.2010.143](https://doi.org/10.1109/ICDMW.2010.143). Available: <https://dl.acm.org/doi/proceedings/10.5555/1933306>, [Consulted: May 12, 2020].
- Chávez Esponda, D.; Sabin, Y.; Toledo, V. & Jiménez, Y. 2013. "La Matemática: una herramienta aplicable a la Ingeniería Agrícola". *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(3): 81-84.
- Costanza, R.; D'Arge, R.; de Groot, R.; Farberk, S.; Grasso, M.; Hannon, B.; Limburg, K.; Naeem, N. O'Neill, R.; Paruelo, J.; Raskin, R.; Suttonk, P. & van den Belt, M. 1998. "The value of the world's ecosystem services and natural capital". *Nature*, 387: 253-260.
- De Fina, A. & Ravelo, A., 1979. *Climatología y fenología agrícolas*. 3ra ed. Lugar: Editorial Universitaria de Buenos Aires (Eudeba), 354 p.
- Delire, C.; Ngomanda, A. & Jolly, D. 2008. "Possible impacts of 21st century climate on vegetation in Central and West Africa". *Global and Planetary Change*, 64(1): 3-15. DOI: [10.1016/j.gloplacha.2008.01.008](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2008.01.008).
- Eldin, M., Rojas, O. 1983. *A System of Agroclimatic Zoning to Evaluate Climatic Potential for Crop*

- production. In: Cusak, D. F. (eds.). *Agroclimatic Information for Development. Reviving the Green Revolution*. Boulder, Colorado (USA), Westview, 83-91.
- Elikana, J.; Bunting, P.; Hardy, A.; Roberts, O.; Giliba, R. & Silayo, D. 2020. "Modelling the impact of climate change on Tanzanian forest". *Diversity and Distributions*, 26: 1663-1686. Wiley. DOI: [10.1111/ddi.13152](https://doi.org/10.1111/ddi.13152).
- Jönson P. & Eklundh L. 2004. "TIMESAT- a program for analyzing time-series of satellite sensor data". *Computers & Geosciences* 30(8): 833-845. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2004.05.006>.
- Ortega, D. 2000. *Perfeccionamiento de la enseñanza de la Matemática en la carrera de Agronomía*. Tesis de Maestría en Pedagogía Aplicada a las Ciencias Agrícolas. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Matemática, Física y Computación. Departamento de Matemática, Cuba, 95 p.
- Pan, S.; Dangal, S.; Tao, B.; Yang, J. & Tian, J. 2015. "Recent patterns of terrestrial net primary production in Africa influenced by multiple environmental changes". *Ecosystem Health and Sustainability*, 1(5): 1-15. <https://doi.org/10.1890/EHS14-0027.1>.
- Pan, S.; Tian, H.; Dangal, S.; Ouyang, Z.; Tao, B.; Ren, W.; Lu, Ch.; & Running, S. 2014. "Modeling and monitoring terrestrial primary production in a changing global environment: toward a multiscale synthesis of observation and simulation". *Advances in Meteorology*, 2014(965936): 1-17, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/965936>.
- Plaza, L. 2011. "Modelamiento matemático de fenómenos cíclicos". *Scientia et Technica Año XVI*, 48: 148 -150. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701.
- Rodríguez, L. F. & Bermúdez, T. 1995. "Usos y aplicaciones de la simulación en la investigación agropecuaria". *Agronomía Colombiana*, 12(2): 198-204.
- San Martín, J.; Uña, J. & Tomeo, P. V. 2005. *Ampliación de Matemáticas para Ciencias e Ingeniería*. In: De la Fuente, C.; García, C. & Vicente, O. (eds.), *Métodos Matemáticos*. Madrid: Editorial THOMSON: 1-17, ISBN: 84-9732-288-6, Available: <<https://books.google.com.gt/books?id=9P8Q8XVuTJcC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>>, [Consulted: December 20, 2020].
- Tiedenman, J. 2015. "Phenology and aboveground net primary productivity of panicum maximum pastoralist systems in the department of Moreno, Santiago del Estero, Argentina, derived from Modis NDVI". *Ecología Aplicada*, 14(1): 27-39, ISSN 1726-2216, DOI:[10.21704/rea.v14i1-2.79](https://doi.org/10.21704/rea.v14i1-2.79).
- Vitousek, P. M.; Ehrlich, P. R.; Ehrlich, A. & Matson, P. A., 1986. "Human appropriation of the products of photosynthesis". *BioScience*, 36(6): 368-373. ISSN: 0006-3568.
- Yang, H.; Hu, D.; Xu, H. & Zhong, X. 2020. "Assessing the spatiotemporal variation of NPP and its response to driving factors in Anhui province, China". *Environmental Science and Pollution Research*, 27: 14915-14932. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08006-w>.

Leonardo Santiago Vinces Llaguno. Estudiante de la Maestría Académica con Trayectoria de Investigación Matemática, Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo (Ecuador). E-mail: lvinces0182@utm.edu.ec

Yaima Trujillo Reyes. Licenciada en Matemática, Master en Matemática Aplicada, Docente de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Los Ríos (Ecuador). E-mail: ytrujillo@uteq.edu.ec

Conflicto de intereses: Los autores declaran no presentar conflicto de intereses

Contribución de los autores: Concepción y diseño de la investigación: **Leonardo Santiago Vinces Llaguno**. Adquisición de datos: **Yaima Trujillo Reyes**. Análisis e interpretación de datos: **Leonardo Santiago Vinces Llaguno** y **Yaima Trujillo Reyes**. Escritura y revisión del artículo: **Leonardo Santiago Vinces Llaguno** y **Yaima Trujillo Reyes**

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)