Modelo matemático para representar la humedad en función de la temperatura

¿Cuál es la relación existente entre la temperatura y humedad dentro de un invernadero?

Número de Hojas:16

1. Introducción

1.1 Interés Personal

La presente exploración matemática tiene la esencia desde cuando yo empecé un proyecto personal sobre cultivar productos de una manera distinta y amigable con el medio ambiente, es decir, un cultivo hidropónico de lechuga con el fin de utilizar 90% menos de agua dulce en su crecimiento. Este cultivo hidropónico como mi proyecto personal lo realicé dentro de un invernadero con el fin de poder controlar los factores abióticos del entorno en donde se desarrollan estas plantas. Fruto de esto, pude combinar mis pasiones de automatizar cosas y programación dentro de este cultivo enfocado en el riego, en la contención de temperatura y humedad, e incluso recopilar datos de temperatura y humedad desde esta miniestación ambiental. Pero a lo largo de este proceso nació en mí una duda, la cual era: ¿Es posible deducir la humedad relativa dentro de mi invernadero en función de la temperatura? Debido a que al momento de automatizar los cultivos es fundamental establecer periodos de refrigeración. La humedad dentro de un invernadero en cultivos hidropónicos es fundamental, gracias a que juega un rol de control de hondos, plagas, etc. Esto me pareció muy interesante, así que recopilé datos por alrededor de 2 meses dentro del invernadero con los sensores respectivos, con el fin de encontrar una correlación y un modelo matemático que me permita establecer una respuesta a mi duda inicial. Esta exploración es de suma importancia no solo para mis cultivos, sino para todo agricultor que regule la humedad y temperatura para optimizar sus cultivos al evitar la presencia de hongos. Al tener un valor predictivo de la humedad nos ayuda a controlar los factores abióticos y así obtener un producto saludable y con las mejores condiciones posibles al evitar plagas y hongos en sus hojas. Como metodología de esta experimentación se tendrá un alcance descriptivo correlacional cuantitativo al encontrar y evaluar diferentes modelos matemáticos y describir la relación de variables que estos presentan. Al seguir esta metodología de Investigación, Implementación y Evaluación se contestará al objetivo principal de la exploración con datos históricos.

1.2 Objetivo Principal

Establecer matemáticamente la relación entre la humedad relativa y la temperatura dentro de un invernadero. Este objetivo general propuesto será de utilidad ya que plantea las variables específicas y visualiza una meta en la cual se explica matemáticamente mediante un modelo.

2. Desarrollo Matemático

El desarrollo matemático de esta exploración tendrá fundamentos en el Cálculo y Análisis Matemático estadístico estudiado durante el periodo académico. Para demostrar el desarrollo matemático se aplicarán las fórmulas y definiciones de conceptos aplicados al tema de la exploración con el fin cumplir con el objetivo de este segmento el cual es *demostrar matemáticamente la relación entre la humedad y la temperatura de mi invernadero y así obtener un modelo para predecir valores futuros*.

El conjunto de datos implementado en la Gráfica N °1 consta de 1059 datos (refiérase al Anexo 1), y permite analizar visualmente que debido a la tendencia negativa es posible que sea una relación lineal, pero desde $\{x \mid 20 \leq x \leq 33.0\}$ existe una pequeña curvatura, por lo que da paso a discernimiento tanto cuadrático como exponencial.

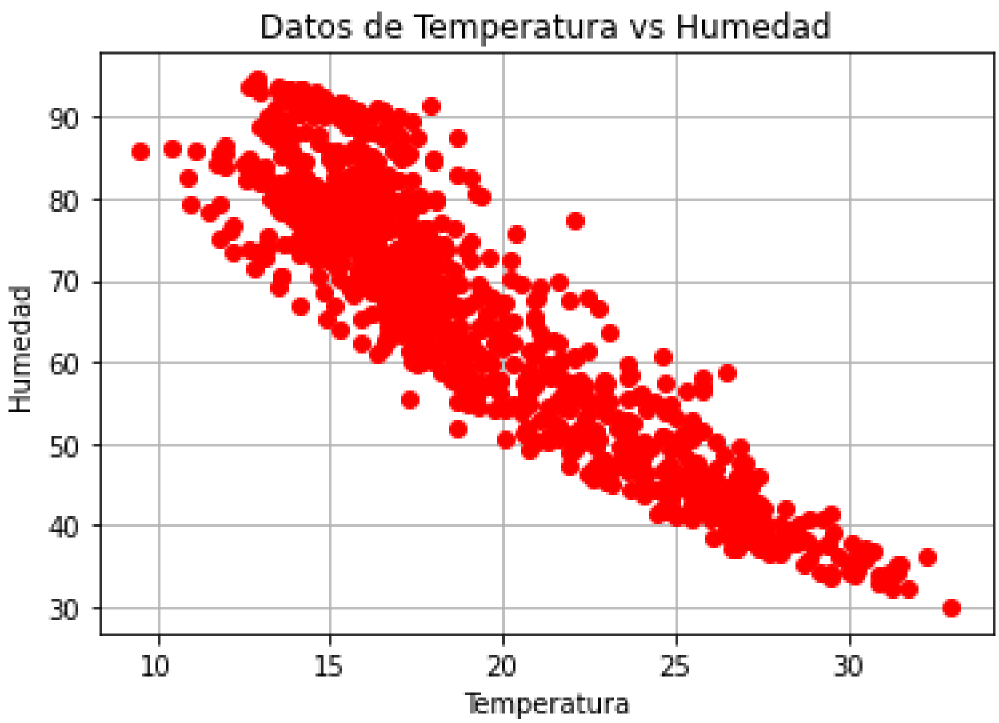
Para todos los modelos matemáticos se utilizarán el método de los mínimos cuadrados, pero debido a la gran extensión de datos (1059) es difícil realizarlo manualmente, por lo que se empleará el lenguaje de programación Python 3.9 con sus librerías para aplicar el método de mínimos cuadrados: Numpy, Pandas, MatplotLib, Math, Github Copilot (Ver Anexo 2). Cabe recalcar que para todos los modelos matemáticos obtenidos solo se considerará el Dominio de:

$$\{x \mid 9.5 \leq x \leq 33.0\}$$

Ya que este es el que representa los datos recopilados, y pueda que si se encuentra un modelo fuera de este dominio, pues no sea confiable. Además, los parámetros ideales para el crecimiento de la lechuga en mi cultivo son dentro de ese dominio, y fuera de eso la temperatura podría quemar las hojas de las plantas o incluso disminuir considerablemente la humedad requerida.

Gráfica N °1:

Representación gráfica de los datos a procesar y analizar en todos los modelos matemáticos de la exploración.



Nota. Se elaboró el gráfico utilizando Python & Júpiter. *Por el Autor.*

Para esto considero esencial escribir las fórmulas y conceptos matemáticos que podré aplicar.

Como proceso preliminar visual y con los conocimientos previos se escogieron los tres tipos de modelos con mejor adaptación a los datos (*refiérase al Gráfico N °1)*, el primer modelo a comprobar será una función lineal, gracias a que ésta de igual manera se ajusta visualmente a los datos. Según Forrest et al. (2019), un modelo lineal como su nombre lo menciona sigue un ajuste en línea recta con una pendiente y constantes definidas, también se caracteriza por que su ritmo de cambio es positivo o negativo para la variable dependiente conforme la variable independiente aumenta o disminuye. El segundo modelo por aplicar será la función cuadrática, según Forrest et al. (2019) este modelo es un polinomio de grado dos y por ende su gráfico es una parábola. En tercer lugar, el modelo a comprobar se enfoca en una función exponencial, según Pérez Porto & Merino (2017) representa el crecimiento continuo pero cada vez más rápido en base al ritmo de cambio de la variable independiente lo cual hace sentido al correlacionar las variables. Dado esto, se infiere que la variable independiente de la temperatura sería un exponente, el cuál mientras aumenta causa una diferencia rápida y significativa a la variable dependiente de la humedad.

Para poder evaluar los modelos es pertinente calcular el coeficiente de determinación, este coeficiente viene dado por especificar una evaluación de la bondad de ajuste de los datos especificados como variable (José Francisco López, 2021). Para poder calcular este coeficiente de determinación se necesita comprender la siguiente ecuación 1:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \bar{Y})^2} \qquad \text{Ecuación 1}$$

Otro concepto importante para describir es el Error Medio Cuadrado que según freeCodeCamp (2018) me permitirá evaluar el modelo obtenido con el fin de demostrar su fiabilidad al comparar los valores predichos con los reales. Este error se calculará con el modelo que mejor se adapte en base al coeficiente de determinación planteado anteriormente. Para encontrar este Error Medio

Cuadrado se denota la siguiente ecuación 2 en donde es la sumatoria del valor real menos el valor predictivo o calculado al cuadrado, y esta sumatoria se divide para el número de datos:

$$EMC = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2$$

Como mencioné al inicio, encontraré los modelos matemáticos a partir del método de mínimos cuadrados tanto para el lineal como cuadrático, mientras que para el exponencial emplearé el método de logaritmos con el fin de simplificar el proceso. Para ello, voy a demostrar el modelo lineal con el método de mínimos cuadrados a continuación, mientras que el cuadrático se realizará en el software de Python y de igual manera el exponencial.

Modelo 1: Ajuste Lineal de los datos y su modelización.

La expresión matemática o la fórmula general para representar esta modelización lineal viene dada por:

$$f(x) = mx + b$$

Ecuación 3:
(Khan Academy, n.d.)

Para encontrar el modelo lineal que mejor se ajusta a los datos se aplicará el método de los mínimos cuadrados. Este método de los mínimos cuadrados viene dado por la ecuación 4 para encontrar la pendiente (m) y la ecuación 5 para hallar la ordenada o intercepto en Y (b).

$$m = \frac{n(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2}$$

Ecuación 4:
(Universidad de Cantabria, n.d.)

Con la ayuda del lenguaje de programación (refiérase al Anexo 2) se aplica la fórmula con sus respectivas sumatorias dejándonos con el resultado de:

$$m = \frac{1059(1267110.11) - (20601.2)(69140.5)}{1059(425927) - (20601.2)^2} = -3.096$$

Para encontrar la intersección en el eje Y (b) se presenta la siguiente ecuación 4:

$$b = \frac{(\sum y_i) - m(\sum x_i)}{n}$$

Ecuación 5:
(Universidad de Cantabria, n.d.)

Con esto en mente se reemplazan los valores que ya conocemos y se resuelve para b:

$$b = \frac{69140.5 - (-3.0963(20601.2))}{1059} = 125.5$$

Con la pendiente (m) y el intercepto en el eje Y (b) ahora se reemplazan estos valores en la ecuación general:

$$f(x) = -3{,}096x + 125{,}5$$

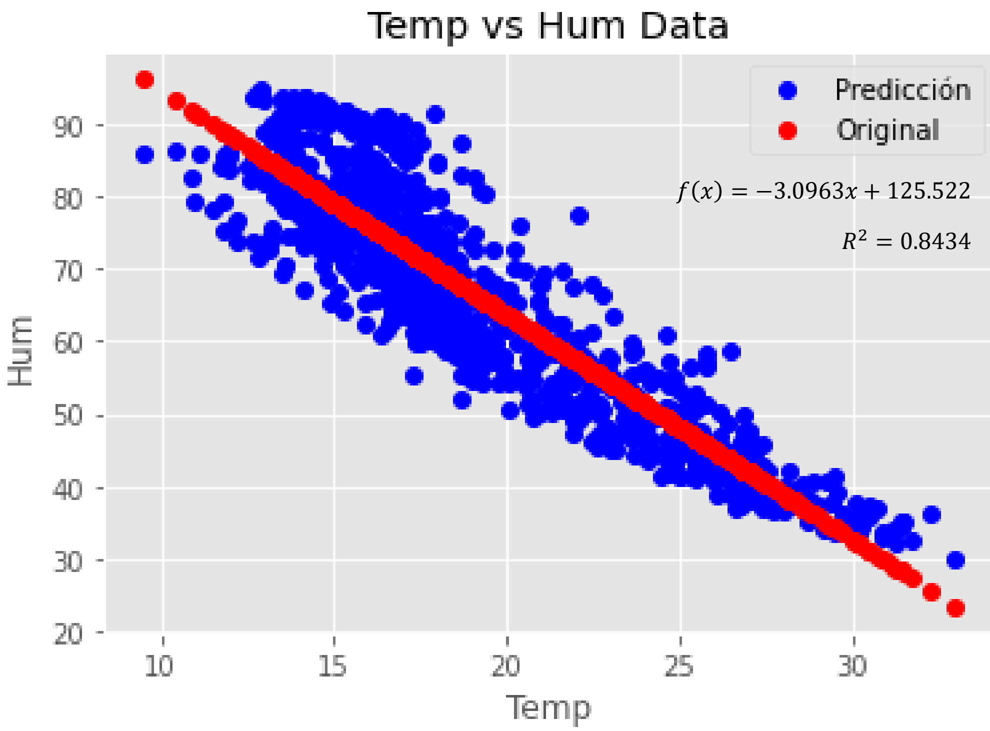
Para evaluar este modelo se utiliza el coeficiente de determinación (R^2) mediante la ecuación 1. Con los valores que ya conocemos se procede a reemplazar en la función, obteniendo el resultado de (Ver Anexo 2 para comprobar el resultado con Python):

$R^2 = 0.843$

El coeficiente de determinación encontrado nos muestra que la relación es fuerte ya que tiene una proximidad cercana a 1 lo que significa que los datos no están tan dispersos de la línea de ajuste. Pero con el fin de comprobar los datos hacia un ajuste lineal y poder entender el proceso matemático de mínimos cuadrados con aún mayor precisión, se empleará el mismo lenguaje de programación para evaluar la relación entre la temperatura y Humedad con el modelo obtenido anteriormente, estableciendo pues la Gráfica N °2:

Gráfica N °2

Modelización gráfica lineal de los datos en Python & Jupyter.



Como ya establecido en la gráfica, el modelo considera todos los puntos, y, por ende, la regresión se comprueba visualmente según el mejor ajuste.

Modelo 2: Ajuste Exponencial de los datos y su modelización.

El concepto matemático de una función exponencial ya demostrado anteriormente se denota de la siguiente manera, siendo $B = e$:

$$y = A \cdot B^{Kx}$$

En primer lugar, para simplificar términos y destacar coeficientes cabe recalcar que para los datos a considerar no existe ninguna constante ya que los parámetros al ser abióticos no son estables todo el tiempo. Como se justificó inicialmente, para encontrar el ajuste a la curva de tipo exponencial se empleará el operador de logarítmico para cada componente de la función para que la obtención de incógnitas sea mucho más fácil.

Con esto en mente, a la ecuación fundamental se aplica el logaritmo de base B para la igualdad:

$$log_B(y) = \ log\ _B(A \cdot B^{Kx})$$

$$log_B(y) = \ log\ _B(A) + log\ _B(B^{Kx})$$

Con el logaritmo de Base B para la igualdad, se realiza el ajuste:

$$log_B(y) = \ K \cdot x + log\ _B(A)$$

Ahora pues con el resultado de la aplicación de logaritmos, se puede resumir la ecuación obtenida al reemplazar variables. Es decir $log_B(y)$ lo podríamos representar como h y $log\ _B(A)$ como $t.$ Obteniendo una versión más simplificada de la ecuación fundamental exponencial, siendo una recta:

$$h = \ K \cdot x + t$$

Después, se construye una tabla de distribución de datos en función de las operaciones aplicadas, así pues, facilitando el reemplazar en un futuro dentro de la ecuación obtenida y despejando las incógnitas necesarias. Esta tabla además de considerar logaritmos también recae dentro del método de mínimos cuadrados, utilizando las siguientes expresiones:

$$\sum h = K \cdot \sum x + Nt$$

$$\sum xh = K \cdot \sum x^2 + L \cdot \sum x$$

Un ejemplo de la tabla de datos requeridos se presenta a continuación, aunque cabe recalcar que todo el proceso de cálculo se realizó en Python, debido a la extensión de datos.

Tabla N °1

Ejemplo de tabla para mínimos cuadrados con datos ficticios para modelización exponencial.

x	y	$h = \ln(y)$	$\sum h = K \cdot \sum x + Nt$	$\sum xh = K \cdot \sum x^2 + L \cdot \sum x$
1	0.41	-0.8916	-0.8916 = K (1) + t	-0.8916 = K (1) + t (1)
2	0.8	-0.2231	-0.2231 = K (2) + t	-0.4462 = K (4) + t (2)
3	1.2	0.1823	0.1823 = K (3) + t	0.5469 = K (9) + t (3)
..	..	…	…	…
			10.0442 = 55k + 10L	**87.1572 = 385K + 55L**

Con la sumatoria de las expresiones para mínimos cuadrados en la Tabla 1, se las resuelve a ambas simultáneamente obteniendo las incógnitas de K y L.

Con los datos reales de la experimentación, se obtuvo en Python los siguientes valores para las incógnitas:

$$h = -0.052x + 5.165$$

Ahora, hay que recordar que al momento de realizar el cambio de variable (h y t), se aplica logaritmo natural de A para obtener el coeficiente de la ecuación exponencial:

$$\ln(A) = 5{,}165$$

$$A = e^{5.165}$$

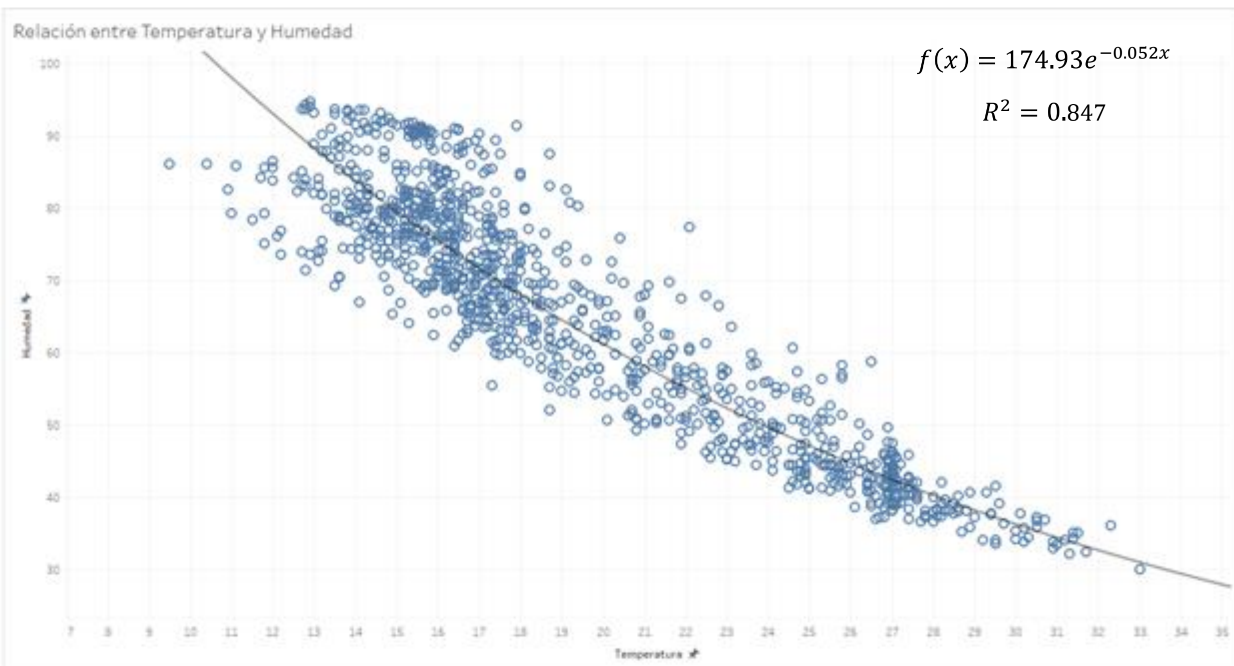
$$A = 174.93$$

Lo cual finalmente comprueba que el modelo de ajuste exponencial encontrado es el siguiente y se demuestra en el gráfico obtenido por Tableau Public para mayor precisión en la Gráfica N °3 (Ver Anexo 2 para comprobar con el software):

$$y = 174.93 \cdot e^{-0.052x}$$

Gráfica N °3

Modelización gráfica del modelo exponencial obtenido.



Para poder evaluar el modelo matemático obtenido, se aplicará el coeficiente de determinación. Para ello se necesita calcular la media aritmética de la humedad $\bar{Y}$ con el fin de completar esta ecuación la cuál según Forrest et al. (2019) se representa por: $\bar{y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i$. Para calcular la media aritmética se utilizará el lenguaje de programación PYTHON (refiérase al Anexo 2). Con la media aritmética ya en mente se procede a calcular el coeficiente de determinación al reemplazar cada uno de los valores en X dentro del modelo, el resultado vendrá a ser representado por $\hat{Y}$ y luego se compara con el valor real de la base de datos por cada índice calculado, lo cual viene representado por Y_i. Este proceso de igual manera será realizado con la ayuda de Python (refiérase al Anexo 2).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \bar{Y})^2}$$

$$R^2 = 0.847$$

Este coeficiente de determinación obtenido muestra que la relación existente entre la Temperatura y Humedad está dentro del rango de $0.75 \leq R^2 < 1$ y por ende es fuerte. Al decir que es fuerte quiere recalcar que aunque no sea completamente certera y el modelo obtenido muestra una menor dispersión de la regresión exponencial en cuanto a datos predictivos como se aprecia en la Gráfica N °4.

Modelo 3: Ajuste Cuadrático de los datos y su modelización.

Un modelo cuadrático en base al concepto mencionado inicialmente en donde $a \neq 0$ y $a, b, c \in \mathbb{R}$, lo cual viene a ser representado mediante su fórmula general de:

$$f(x) = ax^2 + bx + c$$

Como se desarrolló en el modelo lineal, así mismo se lo hará con el ajuste cuadrático. Debido a que el proceso es repetitivo, se obtendrá el modelo completamente a partir de Python, en donde el código funge el método de los Mínimos Cuadrados para dar una resolución en función de los coeficientes requeridos para completar la ecuación fundamental. los resultados fueron los siguientes:

$$a = 0.0251$$
$$b = -4.152$$

$c = 135.93$

Con los coeficientes, se los inserta en la fórmula general cuadrática, obteniendo el modelo final:

$f(x) = 0.0251x^2 - 4.152x + 135.93$

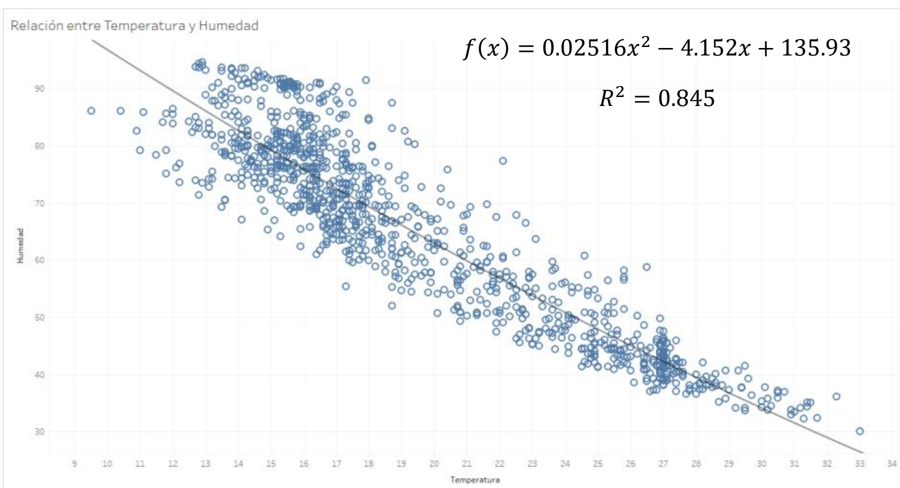
Para evaluar el modelo se aplica el mismo procedimiento recalcado en el modelo Lineal. Es decir, mediante el coeficiente de Determinación:

$R^2 = 0.845$

Con el modelo y coeficiente de Determinación, se utilizará el programa estadístico Tableau Public para visualizarlos en la Gráfica N °4:

Gráfica N °4

Modelización gráfica cuadrática de los datos.



Este modelo obtenido muestra un coeficiente de determinación de 0.84, estableciéndose pues en el rango entre $0.75 \leq R^2 \geq 0.99$, lo cual significa que el modelo muestra una relación Fuerte y los datos predictivos no están tan dispersos, pero tampoco son los ideales.

Para el cálculo del Error Medio Cuadrado se aplicará la ecuación 2 planteada inicialmente, con el fin de tener en mente el error que conlleva aplicar el modelo exponencial en casos de la vida real. Al conocer el error se podrá entender el rango de eficacia de dicho modelo, por ende, el Error Medio Cuadrado será aplicado tanto para el modelo calculado. Gracias a que son datos extensos, se utilizará la herramienta de Python (refiérase al Anexo 2) para concatenar entre los datos y así poder obtener el error, pero la metodología lógica sigue la ecuación planteada. El modelo que se tomará en cuenta para el cálculo será el Exponencial negativo, debido a su coeficiente de determinación siendo el mayor de los 3 modelos calculados.

Cálculo del Error Medio Cuadrado, error Medio Absoluto y error estándar para el modelo con mayor coeficiente de Determinación

Para lo que toca al cálculo del error medio cuadrado, se aplica la ecuación, obteniendo (Ver Anexo 2):

$$EMC = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{1059}\sum_{i=1}^{1059}(y_i - \hat{y}_i)^2 = 44.12$$

En segundo lugar, el Error Medio Absoluto será aplicado al modelo, con la siguiente ecuación:

$$EMA = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|y_i - \widehat{y_i}|$$

$$EMA = 5.105$$

En tercer y último lugar, se calculará el Error estándar del modelo, con la siguiente ecuación:

$$ES = \sqrt[2]{EMC} = 6.642$$

Como se puede observar, en el caso del EMC, indica la desviación media cuadrada de un estimador o modelo que mide la media aritmética de los errores al cuadrado. Con lo que me refiero, es que este error es útil para comparar valores predictivos con los esperados dentro del error medio. El segundo calculo de error, EMA, indica algo similar, pero no con los errores al cuadrado, más bien, compara directamente los valores obtenidos por el modelo con los observados o reales, al calcular distancia entre los puntos y la recta de regresión. Finalmente, el tercer calculo del error estándar del modelo, ES, indica la distribución de datos medidos en función de una muestra o grupo determinado de datos. Con esto en mente, se obtiene un análisis más profundo del modelo que se destacó al ajustarse de mejor manera con el modelo.

- **Reflexión del Desarrollo**

A lo largo del proceso y desarrollo matemático he podido notar como en matemáticas existen diferentes posibilidades que solo la percepción personal. Es decir, cuando vi los datos por primera vez los capté como lineales, pero en realidad después de los procesos matemáticos pertinentes me di cuenta de otro resultado, siendo el modelo exponencial.

3. Conclusiones

3.1 Reflexión, Conclusión, Limitaciones y Mejoras

En conclusión, el objetivo de esta exploración matemática se cumplió gracias a que se pudo determinar a través de tres diferentes modelos cuál sería el que más se ajusta a los datos al calcularlos con mínimos cuadrados, y, por ende, se valida utilizar dicho modelo en aplicación de las matemáticas en la vida real dentro de un invernadero. El mayor coeficiente de determinación entre todos los modelos fue la del modelo exponencial con un valor de 0.847. Aunque el coeficiente de determinación del modelo cuadrático siendo 0.845 y lineal siendo 0.843 no tienen una diferencia significativa en lo que respecta a sus coeficientes, el cuadrático se descarta, principalmente gracias a que forma una parábola, lo que teóricamente no está de acuerdo con valores reales de humedad para una posible temperatura por ende considérese a este modelo entre el dominio de $\{x \mid 9.5°C \leq x \ \leq 33.0°C\}$. Por otro lado, el modelo exponencial si tiene un sentido lógico, no solo para el dominio de datos sino también para el comportamiento en general de los factores abióticos lo que significa que el modelo cuadrático solo sería aplicable dentro del dominio establecido igual que el lineal. Con los argumentos planteados hasta el momento, se asume que el modelo que más se ajusta a la base de datos es el exponencial negativo o decreciente, lo que está sustentado con cálculo de mínimos cuadrados y librerías en Python (Ver Anexo 2). Dando respuesta puntual a la pregunta de investigación, ya que la relación existente entre la humedad y temperatura dentro de mi invernadero varía exponencialmente negativa. Esto quiere decir que la humedad disminuye mientras la temperatura aumenta, lo que quiere decir que es inversa la relación. Así optimizando el crecimiento de los cultivos lo cual se traduce en que existirá menos riesgo en pérdida de producción gracias a que puedo estimar la humedad evitando la presencia de hongos o plagas en dichos cultivos.

Considero que una de las limitaciones más significativas de mi investigación es que el modelo matemático se aplica específicamente a las dimensiones de mi invernadero, y si en un futuro decido implementar metodologías de ventilación, pues se tendrá que reevaluar el modelo. La abundante cantidad de datos implementa una mayor desviación ante un modelo matemático, por lo que se necesitaría recopilar nuevamente los datos si se decide adaptar el medio de crecimiento. Otra limitación de esta exploración es que para calcular los modelos se asumió la inexistencia de adversidades naturales, es decir, un cambio brusco de la temperatura o humedad dados los fenómenos naturales y también los datos recopilados son aplicados para mi invernadero con cubierta de plástico y por ende pueda que el modelo no sea aplicable a invernaderos con cubierta de vidrio u otro material. Al no recopilar datos durante estos fenómenos naturales los modelos serían inexactos e imprecisos al momento de predecir la humedad en función de la temperatura siempre y cuando exista una perturbación al sistema. La limitación final de esta exploración fue de igual manera asumir que la única variable que afecta a la humedad es la temperatura, no se tomó en cuenta los días de lluvia los cuales al elevarse la temperatura produciría una evaporación dentro del invernadero y por ende mayor humedad.

Como extensión de esta exploración e investigación este tema puede ser de mucha utilidad para los agrónomos que cultivan hidropónicamente, pero se podría asimismo recopilar datos en otras temporadas a lo largo del año, gracias a que el modelo matemático solo aplica para regiones o países que no tengan estaciones del clima definidas a lo largo del año, gracias a que la experimentación fue en Ecuador el modelo matemático no sería pertinente en países con las 4 estaciones. Otra mejora sería implementar un estudio extensivo sobre la variación de la humedad en función de la temperatura, pero con diferentes cubiertas en diferentes invernaderos, dando un resultado más holístico de la relación entre variables.

4. Referencias

Centro de Ayuda Numxl, & Mohamad. (2016, October 26). MAE - Error medio absoluto. Retrieved May 20, 2021, from Centro de ayuda website: https://support.numxl.com/hc/es/articles/215969423-MAE-Error-medio-absoluto

Forrest, J., Waldman, P., Wathall, C. J., Doering, S., Harris, D., & Kennedy, S. N. (2019). *Oxford Ib Diploma Programme Ib Mathematics: Applications and Interpretation, Standard Level, Print and Enhanced Online Course Book Pack* (Illustrated ed.). Oxford University Press, USA.

freeCodeCamp.org. (2018, October 16). Machine learning: an introduction to mean squared error and regression lines. Retrieved May 30, 2021, from freeCodeCamp.org website: https://www.freecodecamp.org/news/machine-learning-mean-squared-error-regression-line-c7dde9a26b93/

José Francisco López. (2021). R Cuadrado (Coeficiente de determinación) - Definición, qué es y concepto | Economipedia. Retrieved May 20, 2021, from Economipedia website: https://economipedia.com/definiciones/r-cuadrado-coeficiente-determinacion.html

Khan Academy. (n.d.). Khan Academy. Retrieved June 21, 2021, from Khanacademy.org website: https://es.khanacademy.org/math/algebra/x2f8bb11595b61c86:forms-of-linear-equations/x2f8bb11595b61c86:summary-forms-of-two-variable-linear-equations/a/forms-of-linear-equations-review

Pérez Porto, J., & Merino, M. (2017). Definición de función exponencial — Definicion.de. Retrieved May 20, 2021, from Definición.de website: https://definicion.de/funcion-exponencial/#:~:text=Una%20funci%C3%B3n%20exponencial%20es%20una,cada%20vez%20con%20mayor%20rapidez

Universidad de Cantabria. (n.d.). Ajuste por mínimos cuadrados. Retrieved June 15, 2021, from Unican.es website: https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1593/course/section/2045/Ajuste%20por%20minimos%20cuadrados.pdf

5. Anexos

Anexo 1

Dar clic en el enlace adjunto de OneDrive para poder visualizar el archivo con los 1059 datos en formato de tabla:

https://1drv.ms/x/s!ArFmrAajjkk_ho4LpFQcGpWEsboMlw?e=CWvfee

Además, para corroborar la autoría de los datos se adjunta un enlace en el que se recopiló automáticamente los datos mediante sincronización virtual en la plataforma de ThingSpeak:

https://thingspeak.com/channels/1288627

Anexo 2

A continuación se adjunta el enlace al repositorio en GitHub el cual es para la constancia del código de programación utilizado para el procesamiento de los datos mediante Python 3.8:

https://github.com/gaiborjosue/Temp_vs_Hum