

1. TITULO

Análisis del comportamiento de las evaluaciones de calidad de agua de consumo humano (IRCA), el Dengue en Colombia teniendo en cuenta la densidad poblacional en los años 2007 al 2019.

2. TITULO EN INGLÉS

Analysis of the behavior of water quality assessments for human consumption (IRCA) and Dengue in Colombia, taking into account the population density in the years 2007 to 2019.

Autores:

Guillermo Alejandro Hernández Cubillos - gahernandezc@libertadores.edu.co

Liliam Teresita Manrique Delgado - ltmanrique@misena.edu.co

José Jhon Fredy González Veloza - jjgonzalezv02@libertadores.edu.co

3. RESUMEN

El comportamiento de la patología del Dengue define una problemática a nivel de salud pública para Colombia, es recomendable analizar los factores como Año, Región (Departamento y Municipio), Casos de Dengue, Calidad de Agua - IRCA, su Nivel de Riesgo, numero de muestras efectuadas y la densidad poblacional por municipio pueden gestar una prevención enmarcado a que no se desarrolle en el país. Analizar los datos a través de Machine Learning permite usar su estructura algorítmica para describir las interrelaciones, modelamientos, comportamientos y referencias al evaluar los datos mediante relaciones lineales, descripción de sus variables y el uso de Arboles de Decisión, precisamente sobre la última técnica de Arboles de Decisión se desarrolló dos modelos de predicción con un Error

Cuadrático Medio - RMSE de 316.18 para Dengue y 394.34 para la Tasa de Dengue, que sirve como referente de base conceptual para futuros estudios aplicando diversas estrategias.

Palabras clave: Dengue, IRCA, Machine Learning, Arboles de Decisión, Salud pública

ABSTRACT

The behavior of Dengue pathology defines a problem at the public health level for Colombia, it is advisable to analyze factors such as Year, Region (Department and Municipality), Dengue Cases, Water Quality - IRCA, its Risk Level, number of samples carried out and the population density by municipality can lead to a prevention framed in that it is not developed in the country. Analyzing the data through Machine Learning allows to use its algorithmic structure to describe the interrelationships, modeling, behaviors and references when evaluating the data through linear relationships, description of its variables and the use of Decision Trees, precisely on the latest Tree technique. Decision, two prediction models were developed with an RMSE of 316.18 for Dengue and 394.34 for the Dengue Rate, which serves as a conceptual base reference for future studies applying various strategies.

Keywords: keywords 1, keywords 2, keywords 3, keywords 4, keywords 5, keywords.

4. INTRODUCCIÓN

El presente estudio tiene el objetivo de diseñar un modelo analítico para referenciar el comportamiento de las evaluaciones de calidad de agua de consumo humano – IRCA, el Dengue en los municipios tenidos en cuenta de Colombia teniendo en cuenta la densidad poblacional en los años 2007 al 2019 por los datos consolidados por el Instituto Nacional de Salud (ejercida la recolección y tratamiento de datos del Subsistema de Información para la Vigilancia de Calidad de Agua para Consumo Humano – SIVICAP y el Sistema de

Vigilancia en Salud Pública - SIVIGILA) y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Al contextualizar la problemática que estudia la salud pública frente al comportamiento creciente del Dengue donde según la Organización Mundial de la Salud presentan cifras que 842 000 personas mueren cada año de diarrea como consecuencia de la insalubridad del agua (OMS. 2021), adicionalmente en el territorio nacional existen casos reportados de 1'017.375 entre los años evaluados en el presente estudio según lo contemplado en el Sistema de Vigilancia en Salud Pública; se han evaluado algunos aspectos que tienen el potencial de proliferar su desarrollo como el nivel del riesgo proveniente de la calidad del agua de consumo humano, esta evaluación se realiza a través de la toma de muestras en diversos municipios (Resolución 2125 de 2007), los controles de los organismos operadores toman mediante estrategias de tratamiento para brindar el servicio a una densidad poblacional se ve impactada por su consumo, Cortes et al (2018). Por lo anterior, realizar un análisis estadísticos usando metodologías como la de Machine Learning proyectando establecer interrelaciones, modelamientos, comportamientos y referencias al evaluar los datos mediante relaciones lineales, descripción de sus variables y el uso de Árboles de Decisión, lo anterior partiendo de la evaluación de algunos aspectos que generan o potencializan la patología como: la calidad del agua, su número de muestras, densidad población por municipios o región y el histórico de los casos propios de dengue contribuyen, como lo menciona Guzmán et al (2015), a la adopción de medidas que fortalezcan los sistemas de suministro de agua y los programas de vigilancia con la capacidad de estudiar componentes ambientales y de salud.

5. REFERENTES TEORICOS

La calidad del agua se encuentra intrínsecamente relacionada con la salud humana y hacer seguimiento constante de sus características puede prevenir la aparición de patologías como el Dengue, la Organización Mundial de la Salud – OMS refiere sobre los servicios de agua y saneamiento inexistentes, insuficientes o gestionados de forma inapropiada ponen en riesgo la salud y presentan cifras que 842 000 personas mueren cada año de diarrea como consecuencia de la insalubridad del agua (OMS. 2021). El dengue es una enfermedad viral aguda que puede afectar a personas de cualquier edad, especialmente niños y adultos mayores, causada por un virus transmitido a través de la picadura de mosquitos infectados (*Aedes aegypti*) (Ministerio de Salud. 2021) y se encuentra catalogada como una de las enfermedades relacionadas con el agua según la OMS.

De esta manera, en Colombia se encuentra legislado la realización de pruebas que garanticen las condiciones del agua para consumo humano mediante el Decreto 1575 y Resolución 2115 de 2007, estableciendo como indicador el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano - IRCA a partir de las características físicas, químicas y microbiológicas. Así mismo, en el documento 4004 de 2020 emitido por el CONPES se abordan la política de economía circular en la gestión de los servicios de agua potable y manejo de aguas residuales y donde ha definiendo la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado, como función inherente del Estado (Conpes. 2020).

Las bases de datos donde para desarrollar el presente estudio son de carácter público y fueron tomadas según la temática tratada dentro de las que se encuentra el IRCA que fue suministrada por el Sistema de Información para la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano - SIVICAP del Instituto Nacional de Salud – INS donde se encuentran consolidados la vigilancia realizada por las autoridades en los años 2007 al 2019 en más de 1000. De igual manera, del INS fue extraída la base de datos de su Sistema de Vigilancia en

Salud Pública de los casos de Dengue en el periodo de tiempo evaluado y se ha contrastado con los municipios donde se han evaluado la calidad de agua; para conocer la densidad poblacional de los diferentes municipios los datos fueron extraídos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE.

Según el Instituto Nacional de Salud en el año 2016, manifiesta que los eventos como el Dengue están relacionados directa o indirectamente con el agua para consumo humano ya sea por abastecimientos de agua tratada o sin tratar (cruda); del estado de los sistemas públicos o privados de suministro de agua; del contacto con aguas recreativas; de las variaciones de la calidad y de la escasez de agua. Adicionalmente, estudios como el desarrollado por Maryam Imani y su equipo presenta el uso del Machine Learning para la gestión de la calidad del agua basada en la resiliencia como modelo de predicción encontrando el algoritmo de regularización bayesiana ofreció un mejor rendimiento en comparación con Levenberg Marquardt y el gradiente conjugado escalado; así mismo, aparece un estudio en la Sabana de Bogotá - Colombia sobre el uso de la lógica difusa Neuro-adaptativa LDN-A como herramienta de análisis de la calidad del agua con base en macroinvertebrados acuáticos mostrando una alta confiabilidad de los resultados, debido a la capacidad de esta técnica de combinar la simplicidad conceptual de la lógica difusa y el poder predictivo de las redes neuronales, Gutiérrez (2006). Estudios comparativos plantean nuevas estrategias para mejorar la exactitud de las predicciones presentando los diferentes algoritmos y metodologías, muestran que las Redes Neuronales (RN), Sistemas de Inferencia Neuro Difusa (ANFIS), y las Máquinas de Vectores de Soporte (MVS) son las técnicas predictivas más utilizadas (Aguilar y Franco, 2016). En el año 2021 se presenta un nuevo índice de calidad del agua (WQI) basado en el análisis envolvente de datos (DEA) donde las variables más objetivas, identificadas como "valores de cercanía optimistas", derivadas

apropiadamente de los observados valores de los parámetros hidroquímicos, Amin et al (2021). De esta manera, se establece que Machine Learning (se mantiene el nombre del habla inglesa) ha desarrollado aplicaciones y se refieren como la ciencia de los algoritmos que da sentido a los datos y utilizan su estructura algorítmica diferente para optimizar las predicciones basadas en los datos recibidos (Raschka y Mirjalili, 2019) (Torres, J. 2020), también es catalogado como la ciencia que hace que los ordenadores “aprendan” a partir de los datos esta se dedica al desarrollo de algoritmos genéticas que pueden extraer patrones de diferentes tipos de datos (Bobadilla, J., 2021).

6. METODOLOGÍA

El presente estudio es exploratorio y descriptivo donde se pretende analizar el comportamiento del número de casos reportados a las entidades competentes de la patología del dengue frente a los aspectos de comportamiento de las evaluaciones de Calidad de Agua de Consumo Humano – IRCA según evaluaciones locales, el nivel de riesgo asociado según lo definido en la legislación colombiana vigente, el número de muestras tomadas en los diferentes municipios y la densidad demográfica de los diferentes municipios donde se han tomado medidas y reportado casos de dengue que impacta la salud pública de la nación. Las siguientes fases presentan los componentes

Fase 1. Recolección y tratamiento de los datos

Las bases de datos recolectadas por las páginas de internet y entregadas por las entidades de control, estaban en archivos del programa Excel de Microsoft Office donde se obtuvo información de la siguiente manera:

- Instituto Nacional de Salud - Subsistema de Información para la Vigilancia de Calidad de Agua para Consumo Humano – SIVICAP: datos cuantitativos y

cualitativos de la calidad del agua en el periodo de tiempo evaluado y municipios del territorio nacional.

- Instituto Nacional de Salud - Sistema de Vigilancia en Salud Pública: datos cuantitativos de casos de dengue en el periodo de tiempo evaluado y municipios del territorio nacional.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística: información de densidad poblacional por Municipio: datos cuantitativos de densidad poblacional de los municipios en el periodo de tiempo evaluado.

Las fuentes de información permitieron extraer y organizar los datos para realizar la matriz a explorar, la presente fase se desarrolló en su totalidad con el programa Excel de Microsoft Office.

Las variables que se definieron fueron: Año, Región (Departamento y Municipio), Casos de Dengue, Calidad de Agua - IRCA, su Nivel de Riesgo, numero de muestras efectuadas y la densidad poblacional por municipio.

Fase 2. Análisis de las variables de la base de datos usando metodologías de Machine Learning

En la presente fase se utilizó el programa de Colaboratory de Google que usa El Proyecto Jupyter de Python, donde se ejecutó el análisis estadístico usando Machine Learning buscando referenciar las interrelaciones, modelamientos, comportamientos y referencias al evaluar los datos mediante relaciones lineales, descripción de sus variables y el uso de Árboles de Decisión de la base de datos tratada en la fase anterior.

Fase 3. Presentación de resultados

La base de datos manipulada a través del programa Colaboratory de Google se realiza la interpretación de las variables tratadas y se extrae la información teniendo en cuenta los

elementos comprendidos por Machine Learnig presentando elaciones lineales, descripción de sus variables y el uso de Arboles de Decisión.

7. RESULTADOS

7.1.Exploración de base de datos y descripción de variables

Se construyó la base de datos del presente estudio partiendo de las suministradas por las entidades estatales como el Instituto Nacional de Salud y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística, se extrajo 136.400 datos discriminadas en las variables: Año, Región (Departamento y Municipio), Casos de Dengue, Calidad de Agua - IRCA, su Nivel de Riesgo, numero de muestras efectuadas y la densidad poblacional por municipio.

Se puede referenciar que en los 13 años evaluados la calidad de agua presenta como valor promedio de 23.079, su valor mínimo es 0 y máximo es 100, se debe tener presente que según la Resolución 2115 de 2007 en su artículo 15 el valor estaría clasificado como "Medio" según los municipios analizados que se encuentran alrededor de 1000 y con 566.053 muestras. De igual manera, frente a los casos presentados de Dengue se analiza la existencia de municipios que no reportaron existencia de dengue en su territorio, pero existen ciertos picos en diferentes regiones donde aparece el máximo con 19.310 casos, este se dio en Cali - Valle del Cauca en el año 2016 (Ver Figura 1).

Es interesante revisar el comportamiento de las variables de Calidad de Agua - IRCA y su nivel de riesgo asociado que en los años evaluados se encuentran agrupados hacia la parte inferior sin importar el nivel de riesgo, permitiendo encontrar casos atípicos concentrados principalmente en el nivel de riesgo medio como se observa en la Figura 1.

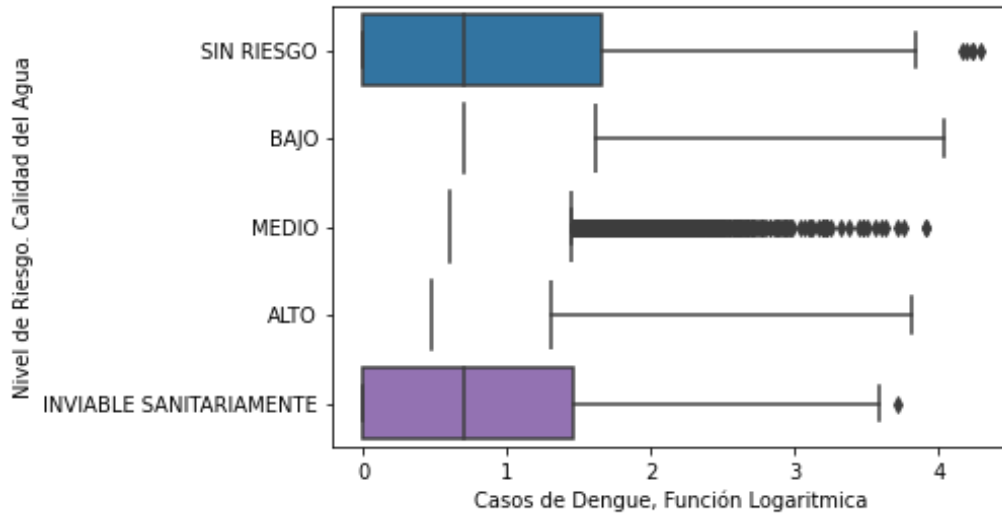


Figura 1. Boxplot Nivel de Riesgo de la Calidad del Agua – Casos de Dengue, Función Logarítmica

Al revisar el comportamiento de las medias de la evaluación de la Calidad del Agua - IRCA frente a su interpretación se muestra un comportamiento no lineal referenciando que en el periodo de tiempo evaluado existe un gran incremento de evaluaciones no satisfactorias cuando el nivel de calidad del agua se vuelve Inviable Sanitariamente en las 566.053 muestras, asemejando su comportamiento a una función exponencial como se muestra en la Figura 2 y proporcionando relación de la calidad del agua con las muestras evaluadas en los diversos municipios.

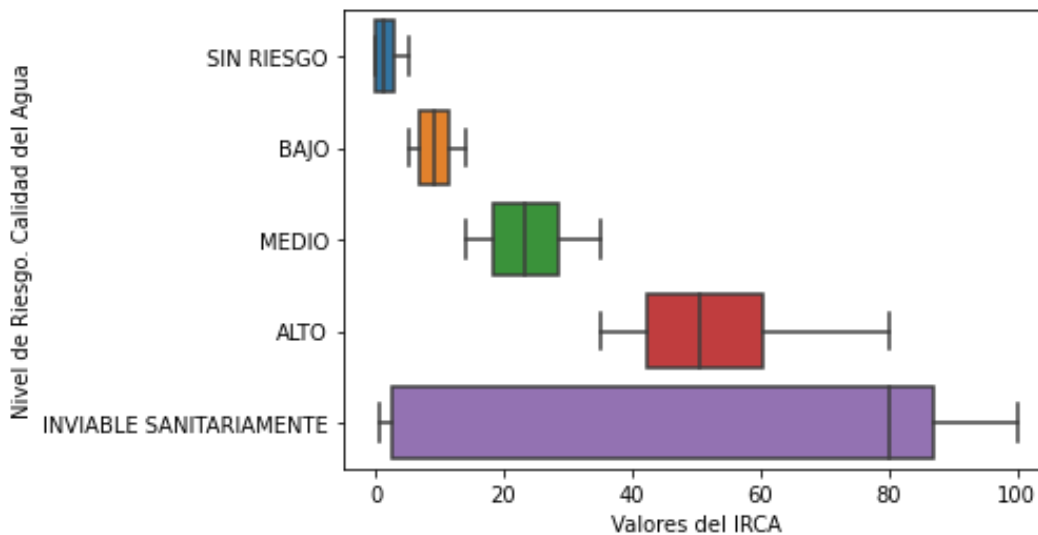


Figura 2. Boxplot Nivel de Riesgo de la Calidad del Agua – Valor IRCA

Al explorar el comportamiento de la calidad del agua con los resultados de las muestras en los diversos años (ver Figura 3), presenta que los niveles de calidad Medio y Alto esta su media presente en el año 2012, el nivel bajo está relacionado en el año 2013 y el nivel Sin Riesgo un año posterior. El nivel de calidad de agua denominado Inviabile Sanitariamente está definido hacia los últimos años del presente estudio.

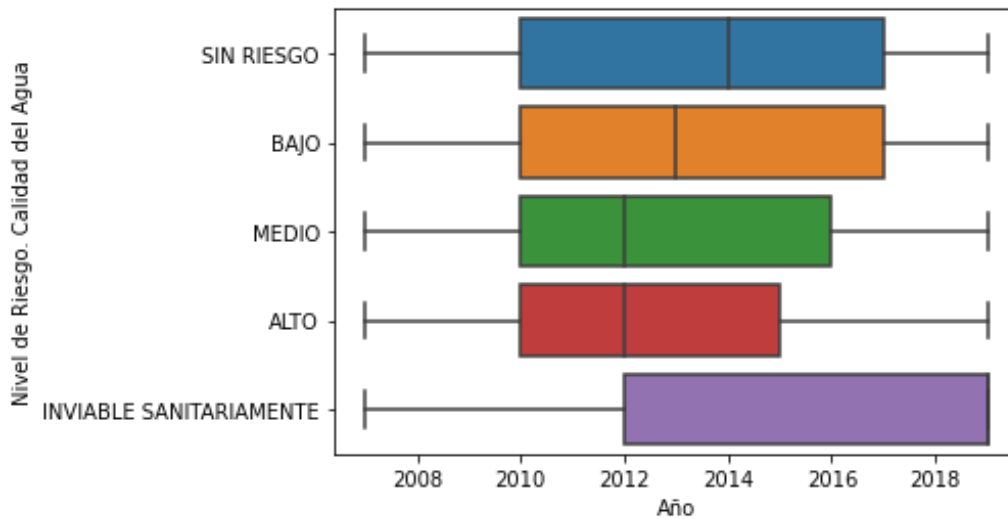


Figura 3. Boxplot Nivel de Riesgo de la Calidad del Agua – Valor IRCA

El comportamiento de las variables de Casos de Dengue, IRCA, Muestras de calidad del agua y Densidad Poblacional no presentan un comportamiento de linealidad, en la Figura 4 y Figura 5 se puede contrastar cada una de las variables mencionadas sin llegar a registrar correlación debido a la inexistencia de proporcionalidad o la relación lineal entre distintas variables.

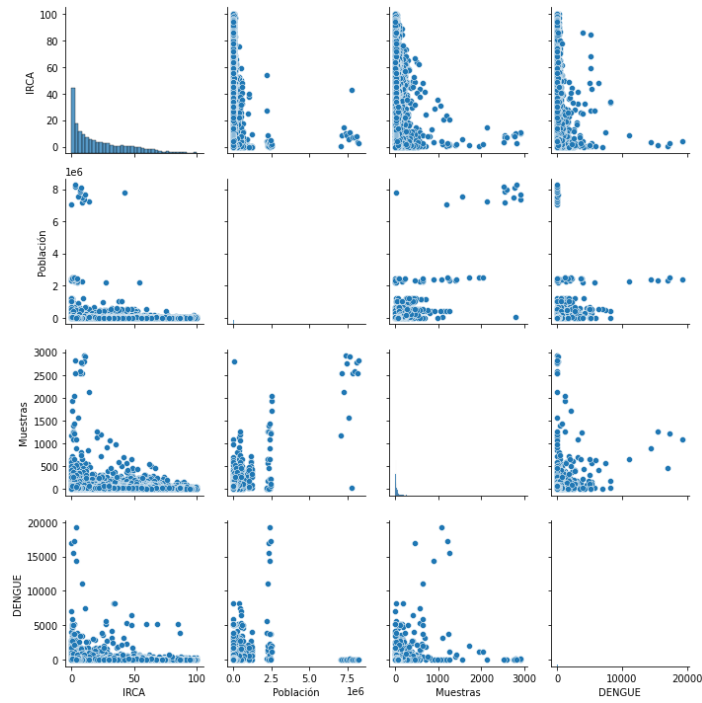


Figura 4. Correlación de las variables de estudio

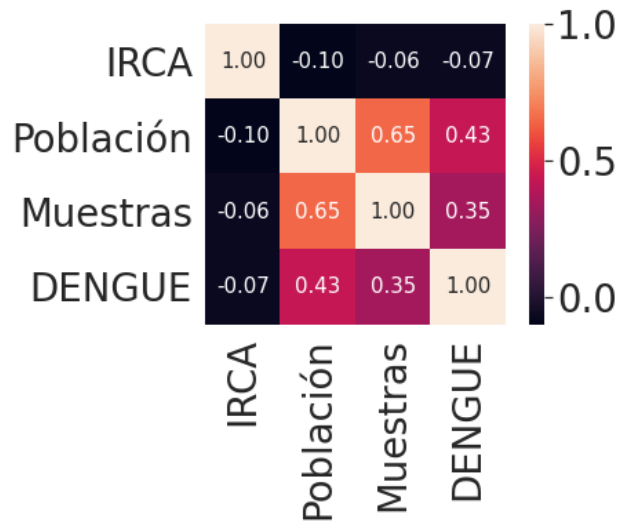


Figura 5. Matriz de Correlación de las variables de estudio

Se desarrolló la tasa de dengue teniendo en cuenta los casos reportados y la densidad poblacional de los municipios tenidos en cuenta en el estudio (Casos de dengue (i)/Población (i)) en el Municipio (i), de esta manera se compara la tasa resultante con el valor de calidad de agua – IRCA. En la Figura 6 se presenta un comportamiento de función logarítmica al

contrastar la Calidad de Agua – IRCA con la Tasa de Dengue (expresada en función logarítmica para su organización).

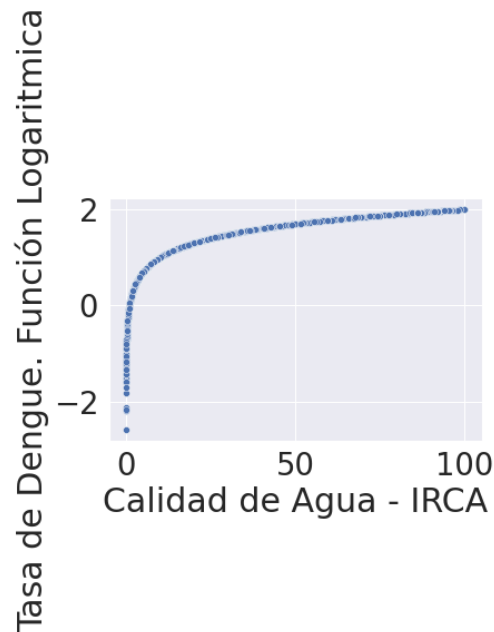


Figura 6. Relación de Calidad del Agua – IRCA con la Tasa de Dengue, Función Logarítmica

7.2. Modelo desarrollado mediante Árbol de Decisión

El comportamiento de los casos del Dengue que se encuentran registrados a nivel nacional en los años 2007 a 2019 se puede referenciar mediante modelos como los contemplados en la metodología de Árboles de Decisión, teniendo en cuenta las variables independientes de carácter numérico como: IRCA, Muestras de la calidad del agua y la Densidad Poblacional.

Árbol de Decisión Casos de Dengue teniendo en cuenta IRCA, Muestras de Calidad del Agua y Densidad Poblacional de los Municipios

El modelo de Árbol de Decisión para pronosticar los Casos de Dengue se tuvo en cuenta las variables de Calidad del Agua – IRCA, Muestras de Calidad del Agua y Densidad Poblacional de los Municipios evaluados, como aparece en la Figura 10 se encuentra descrito el árbol y se muestra su profundidad que es 3 y el número de nodos terminales es 8.

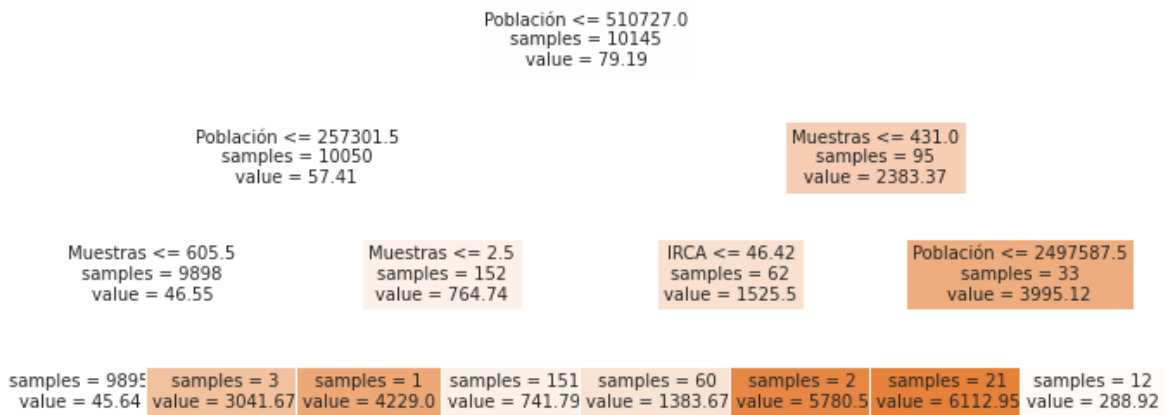


Figura 10. Árbol de Decisión

Los predictores del modelo están referenciados en la Figura 11 donde el más representativo es la Densidad Poblacional de los Municipios con un 80.27% y con un CCP Alpha: 80 que al realizar un proceso de poda se desarrolla un árbol con una profundidad de 19 y 158 nodos. El modelo ha adoptado que es más representativo la cantidad de población al estimarse los casos del Dengue, de esta manera se puede visualizar y establecer las medidas en temáticas de salud pública.

Importancia de los predictores en el modelo		
predicador	predictor	importancia
2	Población	0.802714
1	Muestras	0.161757
0	IRCA	0.035529

Figura 11. Predictores del modelo

El presente modelo presenta un Error Cuadrático Medio - RMSE de 316.18, como no se presenta una referencia previa de modelos similares se estima que el modelo presenta una base conceptual para futuros estudios aplicando diversas estrategias.

Figura 13. Predictores del modelo

El presente modelo presenta un Error Cuadrático Medio - RMSE de 394.34, como no se tiene una referencia previa de modelos similares se estima que el modelo presenta una base conceptual para futuros estudios aplicando diversas estrategias.

8. DISCUSIÓN

El estudio donde se ha buscado un modelo analítico utilizando la metodología Machine Learning muestra la no existencia de linealidad de las variables del estudio (Dengue, IRCA, Muestras de Calidad del Agua, Densidad Poblacional por municipios) en los trece años del periodo de tiempo, ha indicado que se debe establecer diferentes procesos estadísticos capaces de explorar, describir y hasta predecir el comportamiento de la patología asociada con la calidad del agua y los demás componentes referidos en el estudio. Para resaltar los picos en diferentes regiones de aparición de la patología en algunas regiones a nivel nacional y en específico lo acontecido en el máximo de lo registrado en el Sistema de Vigilancia en Salud Pública con 19.310 casos, este se dio en Cali - Valle del Cauca en el año 2016. En la búsqueda de los posibles patrones se requirió realizar transformaciones logarítmicas, mostrando que se puede extraer y presentar información al correlacionar los parámetros analizados.

Dentro de las posibilidades que permite desarrollar Machine Learning se encuentra los Arboles de Decisiones, en los referentes tenidos en cuenta se han usado otras metodologías para desarrollar pronósticos del comportamiento de la calidad del agua y en el presente estudio se muestra la posibilidad de estimar el comportamiento del Dengue como variable de

salud pública dependiente frente a características de independencia de otras condiciones que permite que se desarrolle y propague la enfermedad. Analizar dichos comportamientos, permiten gestar mecanismos de control de propagación en los diferentes municipios de Colombia capaces de enfocar por municipio las variables dado que se conocen y registran aspectos como las Muestras de la Calidad del Agua que no son constantes en los diferentes municipios donde se desarrollan, la Densidad Poblacional que puede verse afectada tanto por el tratamiento que se desarrolle en sus lugares de asentamiento y los controles que las autoridades locales realicen en sus plantas de tratamiento de agua, siendo un referente de control de las evaluaciones de calidad de agua de consumo humano – IRCA donde el Subsistema de Información para la Vigilancia de Calidad de Agua para Consumo Humano registra el comportamiento de la calidad tanto de fuentes hídricas tratadas y no tratadas.

El presente estudio de exploración de los datos comprendidos entre los años 2007 y 2019 usando Machine Learning como se ha mencionado referencia las relaciones para que se presente el Dengue y al contrastar el modelo con estudios referenciados principalmente de calidad del agua revisan particularidades del análisis minucioso de sus problemas de potabilidad donde se gestan diversas patologías, teniendo en cuenta que los artículos explican la relevancia de las características físico químicas del agua y posibles problemas de su suministro. De esta manera, la asociación y descripción a través del modelo de Árbol de Decisión desarrollado presenta la descripción para que por municipio se pueda desarrollar políticas o medidas de intervención para que la patología no se geste un gran nivel de incidencia mayor de periodos de tiempo anteriores o buscando minimizar su desarrollado, al impactar los nuevos casos de desarrollo de la patología hace que los casos existentes no aumenten y se controle la prevalencia de la enfermedad (en el estudio se verifico que entre

los años 2007 y 2019 existen 1'017.375 casos registrados de Dengue) dando la posibilidad de intervenir mediante políticas públicas, gestando presupuestos y clasificación de las medidas de intervención y garantizando que las pruebas de agua se dinamicen para conocer su potabilidad.

9. CONCLUSIONES

El presente estudio desarrollo diversos análisis sobre el comportamiento de las evaluaciones del Dengue, la Calidad de Agua de Consumo – IRCA, la interpretación del Nivel de Riesgo y la Densidad Poblacional de los Municipios de Colombia tenidos en cuenta en Colombia, al usar algoritmos enmarcados en Machine Learning se permitió referir el comportamiento exponencial de la calidad del agua con respecto a las muestras evaluadas en los diversos municipios, explorar que el reporte del dengue en el periodo de tiempo evaluado esta en casos mínimos pero presenta gran cantidad de casos atípicos en el nivel de Riesgo Medio. A través de la exploración de datos, se evidencio que existe una tendencia de aumento sobre el ítem de que la calidad del agua sea Inviabile Sanitariamente dado que los resultados de las evaluaciones se establecen hacia los últimos años del estudio. Al relacionar los casos de Dengue con la densidad poblacional por municipio se definió la Tasa de Dengue que al compararse con la calidad del agua – IRCA presenta un comportamiento logarítmico, por tal motivo se desarrolló un modelo de árbol de decisiones para ser pronosticado.

Los modelos desarrollados por Arboles de Decisión generan una base conceptual para continuar evaluando la relación del número de casos de dengue frente a la calidad de agua, la cantidad de muestras y la densidad poblacional, de igual forma se puede adicionar otros aspectos que permitan analizar la proliferación de la patología en la nación.

Mediante el uso de transformación logarítmica se pudo analizar comportamientos de datos y desarrollar descripciones y generar modelos, dentro de las variables que se realizaron dichas transformaciones fueron: Casos de dengue, Calidad del Agua – IRCA, Densidad Poblacional por Municipios y la Tasa del Dengue.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- OMS. (22 de abril de 2021). Agua. Recuperado de https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water#:~:text=El%20agua%20contaminada%20y%20el,fiebre%20tifoidea%20y%20la%20poliomielitis.https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/diseasefact/es/
- Ministerio de Salud de Colombia. (2 de mayo de 2021). Dengue. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/salud/publica/PET/Paginas/dengue.aspx>
- Decreto 1575 de 2007. [Ministerio de Protección Social]. Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. 9 de mayo de 2007.
- Resolución 2115 de 2007. [Ministerio de Protección Social y Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. 22 de junio de 2007.
- Documento Consejo Nacional de Política Económica y Social 4004. [Departamento Nacional de Planeación]. Economía circular en la gestión de los servicios de agua potable y manejo de aguas residuales. 28 de junio de 2020.
- Guzmán, B., Nava, G., Díaz, P. (2015). La calidad del agua para consumo humano y su asociación con la morbimortalidad en Colombia, 2008-2012. *Revista Biomédica Instituto Nacional de Salud*, (35), 177 – 190.
- Cortes, F., Treviño, A., Alcorta, M., Espinoza, A., Sáenz, J., Lozoya, J. (2018). Reglas para predecir el cumplimiento de la calidad del agua residual en una planta tratadora con minería de datos. *Revista Inteligencia Artificial*, (62), 13 – 24.
- Ministerio de Salud y Protección Social. Instituto Nacional de Salud. Grupo Salud Ambiental. Calidad de Agua. Enfermedades Vehiculizadas por Agua e Índice de Riesgo de la Calidad del Agua en Colombia 2015. Bogotá D.C: INS, 2016. 101 p. ISBN: 978-958-13-0174-4: 1.
- Imani, M., Hasan, M., Bittencourt, L. (2021). Una nueva aplicación de aprendizaje automático: resiliencia de la calidad del agua modelo de predicción. *Revista Science of the Total Environment*, (768), 1 – 10.

- Gutiérrez, J., Riss, W., Ospina, R., (2006), Bioindicación de la calidad del agua en la sabana de Bogotá – Colombia, mediante la utilización de la Lógica Difusa Neuro-Adaptativa como herramienta. Revista Limnología, (28), 45 – 56.
- Aguilar, A., Franco, F., (2016), Aprendizaje automático para la predicción de calidad de agua potable. Revista Ingeniare,(28), 59 – 74.
- Amin, A., Oukil, A., Boutaghane, H., Bermad, A., Rachid, M., (2021), Una nueva metodología para evaluar la calidad del agua, basada en la envolvente de datos análisis: Aplicación a presas argelinas. Revista Ecological Indicators, (121), 1 – 18.
- Raschka, S., Mirjalili, V., (2019), Python Machine Learning Aprendizaje automatico y aprendizaje profundo con Python, scikit-learn y TensorFlow, Marcombo.
- Torres, J., (2020), Python Deep Learning. Madrid, España. Alpha editorial.
- Bobadilla, J., (2021) Machine Learning y Deep Learning Usando Python, Scikit y Keras. Madrid, España. Ra – Ma.