



TRABAJO DE GRADO

TÍTULO PROYECTO INVESTIGACION

"Predicción física y matemática de la presencia de *Aedes aegypti* y análisis en relación con la disponibilidad del recurso hídrico teniendo en cuenta los extremos de temperatura" Código interno del proyecto 010402"

TÍTULO PROPUESTO POR ESTUDIANTE

“Caracterización de las condiciones ambientales que determinan la presencia del mosquito *Aedes Aegypti* en el municipio de Santiago de Cali, Valle del Cauca”

ESTUDIANTE

MÓNICA ANDREA RODRÍGUEZ TAMAYO

DIRECTOR:

BETSY BELLO NOVOA

CODIRECTORES:

LIGIA LUGO VARGAS

SIGNED PRIETO, INSIGHT GROUP

JAVIER RODRÍGUEZ, INSIGHT GROUP

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

BOGOTA, D.C. 2021



TABLA DE CONTENIDO

	2
1. RESUMEN	3
2. INTRODUCCIÓN	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
4. JUSTIFICACIÓN	9
5. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	10
6. OBJETIVOS	10
7. MARCO REFERENCIAL	11
8. MARCO TEORICO	14
9. MARCO CONCEPTUAL	18
10. METODOLOGÍA	22
11. RESULTADO Y DISCUSIONES	34
ANÁLISIS DESCRIPTIVO	34
ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES	37
12. CONCLUSIONES	45
13. RECOMENDACIONES	46
14. IMPACTO	47
15. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
16. ANEXOS	52



1. RESUMEN

En este trabajo se presenta, de manera breve, la caracterización de variables meteorológicas que pueden estar relacionadas con el índice de vivienda, bajo la hipótesis de que la temperatura, la precipitación y la humedad relativa pueden afectar el ciclo reproductivo del vector de transmisión del dengue, se analiza el comportamiento de estas variables para el municipio de Cali, Valle del Cauca, con información del Instituto de Hidrología, Meteorología, estudios Ambientales, otras fuentes secundarias y caminatas al azar. Adicionalmente, se hace un análisis de correlación cruzada para las variables en cuestión respecto al índice de vivienda trimestral para los periodos comprendidos entre los años 2010 y 2018. Se encontró que la precipitación afecta negativamente los valores del índice de vivienda a partir del trimestre dos y para las variables de temperatura - humedad, por el contrario, mantienen un constante positivo para todo el periodo trimestral señalado.

Palabras claves: Aedes, Cali, Colombia, Correlación de Datos, Matemáticas.



Abstract

This paper briefly presents the characterization of meteorological variables that may be related to the housing index, under the hypothesis that temperature, precipitation and relative humidity may affect the reproductive cycle of the dengue transmission vector. , the behavior of these variables is analyzed for the municipality of Cali, Valle del Cauca, with information from the Institute of Hydrology, Meteorology, Environmental studies, other secondary sources and random walks. Additionally, a cross-correlation analysis is carried out for the variables in question with respect to the quarterly housing index for the periods between 2010 and 2018. It was found that precipitation negatively affects the values of the housing index from the second quarter onwards. for the temperature-humidity variables, on the contrary, they maintain a positive constant for the entire quarterly period indicated.

Keywords: Aedes, Cali, Colombia, Data Correlation, Mathematics



2. INTRODUCCIÓN

El dengue es una de las enfermedades que han sido catalogada como problemas prioritarios de salud pública, tanto a nivel mundial, regional como a nivel nacional; se calcula que, a nivel mundial, aproximadamente unos 3.000 millones de personas, vive en zonas con riesgo de dengue, de estos, 500 millones viven en las Américas. Actualmente, en esta región el número de casos de dengue se ha incrementado en las últimas cuatro décadas, pasando de 1.5 millones de casos acumulados en la década del 80, a 16.2 millones en la década del 2010-2019.

El Municipio de Santiago de Cali, cuenta con más de 10.000 habitantes, por consiguiente es importante tener en cuenta lo indicado en el (POT) Plan ordenamiento territorial, ya que hay factores ambientales, económicos, políticos, culturales y geográficos, que interfieren en el (POT), dado que existen organizaciones con actividades antrópicas como (la agricultura, el desmonte, la construcción de carreteras y la minería) que pueden llegar afectar el recurso hídrico; de otro lado la afectación de comunidades que no tienen posibilidades de acueducto y su único recurso hídrico, es a través de recolección de aguas, sin ningún tipo de control ambiental, que puede ser susceptible a la proliferación del mosquito *Aedes aegypti* como principal vector que transmite el dengue. Colombia cuenta con unas características geográficas muy puntuales como su altitud y latitud, que favorecen las condiciones climáticas, evaluadas en el presente trabajo y que para efectos se denominará las variables (precipitación, temperatura, humedad), convirtiéndose en una fuente muy susceptible al aumento del mosquito, convirtiéndose en un problema de salud recurrente en el país, se han adelantado múltiples investigaciones que han permitido identificar muy puntualmente los principales requisitos ambientales que determinan la presencia del mosquito; se sabe que para



su reproducción necesitan altitudes menores a los 2.200 msnm, aunque se ha reportado presencia del mosquito a más de 2.300 msnm (Ruiz-López et. al, 2016), siendo el valor más alto registrado en Colombia y en América (Olano, 2016); entre las latitudes 35° norte y 35° sur, con temperaturas entre los 15° C y los 40°C, condiciones que, en el territorio nacional, cumplen 811 municipios. Adicionalmente, si a estas características tan únicas de los municipios le agregamos los fenómenos estacionales del país: el Niño (épocas de sequía) y la Niña (épocas de lluvia), se puede empezar a evidenciar el por qué es tan recurrente este problema.

Al ser conocidas las necesidades ambientales del mosquito, es posible realizar un análisis causal entre sus determinantes y la presencia del mismo en el territorio nacional. Para esta investigación se ha escogido el municipio de Santiago de Cali en el departamento del Valle del Cauca, para analizar la dinámica de la presencia del *Aedes aegypti* mediante la evaluación de los valores del índice de vivienda con la caminata al azar (BIBLIOGRA) y las posibles relaciones del comportamiento de este índice con las variables temperatura, humedad relativa y precipitación. Utilizando la información recolectada entre 2010 y 2018 trimestralmente por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para las condiciones climáticas (temperatura, humedad relativa y precipitación) del municipio se podrá construir una serie de tiempo trimestral que permita relacionar la variación de la temperatura, la humedad relativa y la precipitación con el índice de vivienda en el municipio de Cali.



3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De acuerdo con las cifras de la Organización Panamericana de la Salud, tan solo en Colombia se presentaron 127.553 casos en el transcurso del año 2020, lo que representó alrededor del 4% de los casos que se presentaron en la región para el mismo año. A pesar de que esto no implica que es el país más afectado por esta enfermedad en el continente, si se presentó un aumento importante respecto a 2017 (25.284) y 2018 (44.825) respecto a los reportados en 2017 y 2018. Para el año 2020 se presentó una reducción significativa, -38% respecto al 2019, en el número de casos reportados por esta enfermedad, siendo 78.979 en total (OPS, 2021).

La falta de control en la planificación y cumplimiento normativo del (POT), en cuanto al aumento no controlado de la población, la inadecuada planificación de infraestructura en las cabeceras municipales, la falta de condiciones sanitarias para la disposición de recursos hídricos, el cambio climático, entre otros factores han permitido que el principal vector de esta enfermedad, el *Aedes aegypti* o mosquito del dengue, haya podido prosperar durante los últimos años, considerándose años hipos endémicos para el país (INS, 2019).

La mayoría de los factores mencionados anteriormente pueden clasificarse como antropogénicos, en cuanto tienen como origen al ser humano, ya que la población, la urbanización y los sistemas de sanidad dependen exclusivamente de nuestro actuar sobre la naturaleza. No obstante, el comportamiento humano no es necesariamente racional, lo que se refleja en grandes dilemas sociales, económicos, políticos y culturales que se relacionan directamente con las dinámicas de la incidencia de enfermedades y problemas de salud pública, como el dengue, en las diferentes regiones del país.



Por otro lado, hay un conjunto de factores ambientales que se alejan, en teoría, del control humano como lo son las precipitaciones, la temperatura y la humedad que se encuentran fuertemente vinculados a los ciclos de reproducción biológica de los insectos transmisores de enfermedades de acuerdo con el IDEAM (2018); y es que, para Colombia, la riqueza de recursos hídricos puede representar, en ese sentido, un contratiempo para el control de las enfermedades de este tipo.

Es decir, si a la ‘bendición’ de tener grandes fuentes de agua potable en el país, se le oponen los problemas generados por nuestra presión sobre el capital natural del país, como la falta de acueductos, de suministros de agua potable, falta de contingencias y/o medidas de prevención en los desbordamientos de ríos, reservas de agua sin medidas de salubridad, el número de criaderos donde el *Aedes aegypti* puede reproducirse aumentará, haciendo que su control sea más complicado. Adicionalmente, todo esto empeora si se tienen en cuenta las acciones del ser humano sobre el medio ambiente, cuya consecuencia ya es reconocida: el cambio climático. Si paulatinamente estamos aumentando la temperatura de la superficie terrestre y afectando los patrones de precipitación del planeta, estamos expandiendo indirectamente la frontera en la cual pueden sobrevivir estos vectores de enfermedades.

Dados los problemas anteriormente expuestos, denominados por el Padilla, Rojas y Saenz (2012) como macro factores del comportamiento del dengue, se vuelve importante estudiar la relación entre la presencia del *Aedes aegypti* y las condiciones socioeconómicas y meteorológicas del país, con el fin de poder realizar estrategias de política de corto, mediano y largo plazo, fundadas en evidencia científica, que permitan mitigar los efectos negativos que puede implicar la presencia de este insecto en todas las regiones del país. En ese sentido, al conocer cómo la



precipitación y la temperatura afectan el comportamiento del mosquito, se puede prever, adoptar y promover políticas y planes de contingencia para que en el mediano y corto plazo puedan mitigar y controlar las tasas de contagio en épocas o periodos donde se identifiquen las condiciones que pueden potencializar el efecto de su reproducción. Por su parte, en el largo plazo, si se logra comprender la importancia de gestionar adecuadamente los recursos hídricos y el papel del medio ambiente como proveedor de los mismos, se podrán articular políticas de planeación urbana y salud pública orientadas por los periodos secos y húmedos tan característicos de nuestro territorio, cuya consecuencia será ciudades con más resiliencia ante problemas sanitarios y de salud, con una mayor capacidad de adaptación ante los cambios del clima y menos vulnerables a los efectos del cambio climático.

4. JUSTIFICACIÓN

El dengue se considera como unas enfermedades más críticas en Colombia, que afecta principalmente a una población de niños, ancianos, mujeres en embarazo, personas con desnutrición, que se constituye como una población en estado de vulnerabilidad.

A nivel epidemiológicos, las instituciones de Prestadoras de Salud (IPS), a través de su comité de vigilancia, tienen la obligación de notificar estas personas con el diagnóstico de dengue, ya que se consideran como enfermedades de salud pública. El ente regulador distrital en salud de cada municipio, evalúa conjuntamente con las IPS, el genoma del virus y cómo actúa a nivel celular, en cada una de las personas que lo padecen, todo esto a través de exámenes de laboratorio como (microscopia y biología molecular), con el fin de identificar causas raíces de la enfermedad y cómo distrito, dentro de sus responsabilidades sociales, establecer campañas de prevención, control, atención, educación comunitaria.



La propagación del contagio de esta enfermedad, ha venido en aumento, por una serie de factores, uno de los más relevantes, obedece a la acumulación de aguas, por la ubicación geográfica colombiana, teniendo en cuenta que contamos con una serie de fuentes hídricas como ríos, quebradas, etc. y que las ubicaciones de viviendas, cada vez están más cercanas a ellas.

No obstante, la escasez de redes de acueducto en las poblaciones, no son tan factibles y esto hace que se presenten acumulaciones en casas de aguas a través de recolección de aguas lluvias, sin que sean tratadas.

Razón por la cual los entes reguladores de salud y ambiente de cada municipio, no solo enfocarán sus esfuerzos, desde el punto de vista de responsabilidad social, sino ambiental, garantizando crear estrategias que contribuyan a la mitigación de esta proliferación.

5. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Qué factores climáticos tienen relación con la incidencia del dengue en el municipio de Cali, Valle del Cauca?
- ¿Cuál es el orden de magnitud de dicha relación?
- ¿Existe correlación entre valores pasados de las variables y la afectación presente del dengue?

6. OBJETIVOS

General

Estudiar la posibilidad de establecer relaciones entre los valores de algunas de las variables meteorológicas (Temperatura, Precipitación y Humedad Relativa) obtenidas de los reportes del



IDEAM para los años 2007 AL 2017 con los valores del índice de vivienda para el mosquito *Aedes aegypti*, en el municipio de Cali.

Específicos

- Establecer entre las variables ambientales Temperatura, Precipitación y Humedad relativa, cuales permitan comparar el índice de vivienda, y establecer rangos de las dinámicas de dichas variables.
- Desarrollar simulaciones numéricas de las dinámicas de las variables escogidas, para establecer posibles escenarios

7. MARCO REFERENCIAL

De acuerdo con Rodríguez - Velásquez et al. (2018), se identifican principalmente dos tipos de modelos para predecir el comportamiento del dengue. El primero de ellos parte del principio de que existen relaciones causales entre las covariables y el índice de vivienda; por ejemplo, el efecto de “cambios en el ecosistema de los insectos, alteraciones climáticas o modificaciones en la distribución del agua superficial (7-10)” (Rodríguez - Velásquez et al., 2018, pp. 353). El segundo tipo de modelos, los acausales, parten de teorías matemáticas y físicas, logrando predecir efectivamente el comportamiento de las epidemias, utilizando teoría de probabilidad, evaluación del cargamento de la probabilidad métodos predictivos y/o ecuaciones diferenciales.

Dentro de la literatura revisada, se encontró que múltiples investigaciones se han planteado como objetivo la predicción del índice de vivienda, a través a distintas metodologías estadísticas



y matemáticas, utilizando como covariables (fenómenos paralelos que ayudan a explicarlo) una amplia gama de factores. Por ejemplo, se han utilizado las relaciones espacio-temporales de los casos para construir modelos de predicciones basados en conglomerados (Rotela, et al., 2007; Tran, et al., 2004; Chowell, et Al.,2007). Toro y Laniado (EAFIT, 2021) propusieron el uso de modelos de supervivencia para analizar la incidencia de la infección estudiando el comportamiento del ciclo vital del vector de la enfermedad: el *Aedes aegypti*. Bajo la premisa de que el envejecimiento y la supervivencia son dos factores (covariables) que inciden en la transmisión, estudiaron su relación con la tasa de infección de las hembras y concluyeron que las jóvenes tienen mayor probabilidad de transmitir la enfermedad que las hembras de mayor edad. Y al igual que se propone en esta tesis, Chowell y Sanchez (2006) propusieron un modelo para evaluar la relación entre variables meteorológicas como la precipitación pluvial (mm), la evaporación (mm), la media, el máximo y el mínimo de temperatura (grado centígrados), encontrando que el número de casos aumenta 1 mes después de un punto alto de temperatura y 3 meses después de un punto alto de evaporación, es decir, se evidenció una correlación alta entre el número de casos y dichas variables rezagadas.

En el segundo tipo de metodologías, se encontraron varias investigaciones que han logrado predecir el comportamiento de distintas enfermedades virales tropicales, transmitidas por vectores como la malaria y el dengue (Rodríguez - Velásquez et al., 2011; Rodríguez -Velásquez et al., 2013), e incluso de enfermedades virales como el VIH (Rodríguez - Velásquez, 2018).



Dentro esta justificación es importante dar alcance a todo lo involucrado en las líneas de la Ley 388 de 1997, (POT) que garantizara el adecuado manejo territorial que involucra el cuidado de los recursos naturales, enfocados hacia la comunidad, en estos tipos:

1. Conservación y protección del medio ambiente, cuidado de los recursos naturales, identificación de amenazas.
2. Relacionadas con las áreas e inmuebles que se consideran como patrimonio (histórico, artístico y arquitectónico)
3. Infraestructuras nacionales y regionales como puertos, aeropuertos, sistemas de abastecimiento de agua y suministro de energía
4. Áreas metropolitanas y las normas creadas para el logro de los objetivos en el desarrollo.

Dentro de las principales problemáticas que se encuentran en el municipio, están asociadas a la debida inclusión del componente ambiental en el proceso de planeación, un error que claramente afecta la vida de todos, dado que se encuentran áreas protegidas dañadas como las actividades industriales y urbanísticos propios del crecimiento, también es evidente la contaminación de ríos, y esto afecta a comunidades que se encuentran cerca a estas afectaciones ambientales, del cual afecta también el manejo de las aguas residuales de estas actividades.

“...Velásquez Arias, J. A. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación...”



8. MARCO TEORICO

La caminata al azar, puede entenderse como el movimiento que describen los fenómenos que se comportan como la trayectoria seguida por un caminata que sigue una dirección aleatoria, dando pasos de longitud también aleatoria (1). El movimiento browniano es uno de los fenómenos físicos que se han estudiado con la caminata al azar (2), también en otras áreas como la ecología (3,4) se ha aplicado para analizar los movimientos de animales en pastoreo o analizar poblaciones en determinadas regiones (5), de igual forma se encuentran aplicaciones en áreas como la biología, ecología, entre otros (6–9). También se ha aplicado para el análisis de la dinámica de los resultados de la caída de una moneda (10) en el que se construye la caminata de acuerdo a si va saliendo cara o cruz, correspondiendo cada resultado en una dirección; hacia arriba o hacia abajo, mostrando de esta forma como con la caminata al azar es posible acotar una dinámica probabilista.

El termino probabilidad corresponde a una medida de la posibilidad de ocurrencia de un evento (10), dicha medida es adimensional y generalmente se utiliza para medir la ocurrencia futura del evento en cuestión. El origen de la probabilidad se remonta al inicio de los estudios de los juegos de azar, en donde las probabilidades fueron definidas aplicando la regla de Laplace, que permite establecer una proporción entre cada uno de los posibles eventos y la totalidad de posibles eventos, denominada espacio muestral (10–14); así el espacio muestral Ω se define como el conjunto de todos los posibles resultados de un fenómeno que denominaremos φ tal que todo elemento de Ω representa al menos un posible resultado de φ , y que todo resultado de φ tiene asociado uno y sólo un elemento de Ω (14). Así mismo se define axiomáticamente el concepto de probabilidad; la probabilidad del espacio muestral Ω es igual a uno y la probabilidad de la unión de eventos



independientes entre sí, es la suma de sus probabilidades (13), la probabilidad siempre es mayor o igual que cero y menor o igual a 1, siendo el valor de 0 para un evento que no se dará, mientras que para el valor 1, el evento sucederá con toda seguridad.

El movimiento browniano es un fenómeno impredecible, cuyo estudio ha proporcionado avances científicos importantes, como la deducción incontrovertible de la existencia del átomo (15). Recientemente este movimiento ha sido caracterizado con la geometría fractal (16) y se ha utilizado en diferentes modelos económicos y teóricos (10,17–19). Para esta propuesta se ha contado básicamente con el modelo teórico probabilista desarrollado por el creador de la cibernética (20) y con representaciones de caminatas al azar a partir de este modelo (2). Dado que la fluctuación del índice de vivienda en el tiempo es un fenómeno irregular y complejo, puede estudiarse a partir del movimiento browniano, pues este presenta características similares en el tiempo, que puede ser estudiado a partir de caminatas al azar.

Usualmente este tipo de variables se han analizado desde perspectivas estadísticas y causales, como en el caso de la dinámica del número de infectados en epidemias. Se han desarrollado varios modelos matemáticos (biológicos-epidemiológicos) sobre la epidemiología de la malaria, aunque éstos han contribuido a la comprensión de la dinámica de transmisión, la gran mayoría de ellos intenta representar las múltiples interacciones que se consideran características de la dinámica de la malaria, (21–25) convirtiéndose en modelos complejos con ecuaciones diferenciales ordinarias no lineales acopladas con un grado de predicción bajo. Con el propósito de solucionar limitaciones existentes en la adecuada predicción de brotes y epidemias, Rodríguez y col, han diseñado



diferentes metodologías física y matemáticas sin tener en cuenta las variables causales pueden influir en la variación de las dinámicas y tomando como epicentro las características matemáticas de éstas.

Un ejemplo de estas metodologías es la desarrollada para la predicción matemática de las dinámicas de malaria (26) y dengue (27) a partir del estudio probabilista de rangos de infectados por año, logrando una predicción del número de infectados basado en el cargamiento de las probabilidades para el 2007 con porcentajes de exactitud superiores al 90% en ambos casos.

También a partir de ecuaciones diferenciales solucionadas en rangos, se establecieron predicciones de la epidemia de malaria (28) en Colombia, mediante la generación de círculos concéntricos con los rangos de las soluciones a partir de sus extremos, realizando una analogía con las distancias de la cinemática se predijeron correctamente los rangos de valores de las trayectorias de la epidemia de malaria para el 2005, 2006 y 2007 (28). Esta metodología fue aplicada posteriormente para la evaluación de la dinámica de dengue, logrando también predicciones acertadas para estos años (29). Asimismo se desarrolló el primer método de predicción de brotes de malaria en municipios de Colombia en el tiempo, basado en la probabilidad y la entropía (30).

Desde la mecánica newtoniana el determinismo se convirtió en el programa de investigación válido para cualquier área; este determinismo basado en la causalidad fue cuestionado con el desarrollo de la mecánica estadística (31,32), la teoría cuántica (33,34) y la teoría del caos (35–37). En estas teorías, sobre todo en las dos últimas, y en general en la ciencia actual, la causalidad ha dejado de ser fundamento para entender la naturaleza. Desde esta perspectiva caótico



determinista, Prigogine (38) considera que “sólo tenemos ventanas temporales” a través de las cuales entendemos los fenómenos. Las metodologías nombradas anteriormente se basan en la perspectiva acausal de la física moderna, lo que ha permitido establecer predicciones de estas dinámicas altamente variables.

Otra de las metodologías desarrollada desde ésta perspectiva acausal, la cual es la base de este proyecto, se basa en la caminata al azar, mediante una analogía de la epidemia con la caminata al azar, se predijo que el número de infectados de malaria para el año 2007 (39) se encontraría entre 81 003 y 104 098, predicción que posteriormente fue refinada con el análisis de las variaciones anuales prediciendo un valor de 104 098 infectados en el año 2007. Esta predicción fue posteriormente corroborada con los datos del Instituto Nacional de Salud de Colombia del número de infectados registrados al 31 de diciembre, mostrando un porcentaje de acierto de la predicción del 95,6 %, constituyendo un resultado predictivo de la dinámica temporal anual de la epidemia de malaria en Colombia, de carácter práctico y útil en la toma de decisiones en la salud pública. Por la alta precisión en las predicciones mostrada por esta metodología en variables tan aleatorias como el número anual del número de infectados, es posible estudiar su aplicabilidad al análisis de la dinámica del índice aéxico.

Desde esta perspectiva también se han desarrollado nuevas metodologías diagnósticas de aplicación clínica y de carácter predictivo, diseñadas en el contexto de teorías físicas y matemáticas. Se han desarrollado metodologías para las distintas disciplinas de las ciencias de la salud, como son la cardiología, para evaluar la dinámica cardíaca del adulto (40–42), neonatal



(43,44) y fetal (45,46), la infectología, para predecir el número de linfocitos TCD4 en pacientes con VIH/SIDA (47–49); la epidemiología, como ya se había mencionado antes, para la predicción del número de infectados de malaria y dengue en Colombia (27,30), y también para la dinámica en la epidemia de obesidad (50,51) y lesiones de tránsito (52,53). También en otras áreas como la oncología (54), la inmunología (55,56), entre otras.

9. MARCO CONCEPTUAL

Generalidades

Dando alcance al proyecto de investigación "Predicción física y matemática de la presencia de *Aedes aegypti* y análisis en relación con la disponibilidad del recurso hídrico teniendo en cuenta los extremos de temperatura" Código interno del proyecto 010402", se hace necesario completar documento, mediante la investigación de la caracterización de las condiciones ambientales que determinen la presencia del mosquito *Aedes Aegypti* en el Municipio de Santiago de Cali.

Definiciones

Las correlaciones cruzadas serán fundamentales para establecer la comparación de las variables meteorológicas (humedad, precipitación y humedad) frente al índice de vivienda del Municipio de Santiago de Cali, cuya fuente de información se obtuvieron datos meteorológicos del IDEAM, con muestreo significativo para los años del 2010 al 2018. Para mayor comprensión del texto es importante ampliar los conocimientos de las siguientes palabras:



- ***Aedes aegypti***: mosquito portador de las siguientes enfermedades: fiebre amarilla, dengue, malaria, Chikunguña.
- ***Correlación lineal***: es una medida que permite cuantificar el grado de variación conjunta de dos variables, respecto a sus medias. En general, es una de las primeras medidas que se estima para determinar la dependencia entre dos o más variables, previo a los ejercicios de predicción.
- ***Correlaciones cruzadas***: son las relaciones temporales latentes que pueden existir entre variables, y no únicamente sus valores instantáneos.
- ***Coefficientes de correlación***: son medidas que permiten cuantificar el grado de variación conjunta de dos variables, tanto en dirección (positiva o negativa) como en magnitud; funciona bajo el supuesto de que dicha relación es lineal (podría ser cuadrática, exponencial o de otro tipo). En su versión simple, se denomina coeficiente de correlación de Pearson, y mide la correlación instantánea entre dos variables. En cambio, los coeficientes de correlación cruzada permiten, además, comprender la periodicidad de las variables al relacionar no solo valores presentes de las variables, sino también teniendo en cuenta valores pasados de estas. Son independientes de la medida original de las variables y están acotados entre -1 y 1.
- ***Dengue***: Enfermedad epidémica que principalmente da fiebre y compromiso del estado general
- ***Enfoques cuantitativos***: son técnicas que permiten, mediante la recolección y generación de datos, por lo general numéricos y estructurados, la comprobación de hipótesis con base en las relaciones latentes que pueden existir en la información. Se apoya de técnicas



estadísticas y métodos numéricos para establecer y validar (o invalidar) las teorías postuladas.

- **Enfoques cualitativos:** son técnicas que permiten, mediante la recolección y generación de datos, por lo general textuales, simbólicos, visuales y no estructurados, el análisis y generación de insumos valiosos para la afinación de las preguntas de investigación, para la profundización y contexto de los resultados o para la propuesta de nuevas temáticas de investigación en una misma área.
- **Humedad:** Es la cantidad de vapor que se encuentra en el aire, para comprenderlo es importante resaltar que cuando el agua vence el estado líquido y este se mezcla con el aire del ambiente ahí se tiene la humedad.
- **Humedad Relativa:**

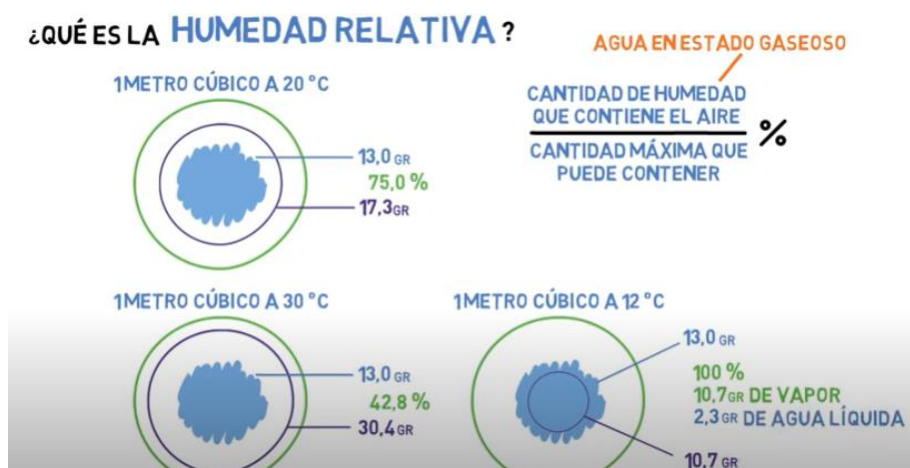


Figura 1 Humedad Relativa <https://www.youtube.com/watch?v=ymLBq5tmzt4>



- **Índice de vivienda:** también conocido como índice aéxico este índice básicamente mide el porcentaje de casas donde se encuentren riesgos de algún tipo de nacimiento positivos de *Aedes aegypti*. (<http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v17n5/v17n5a08.pdf>)
- **Investigaciones descriptivas y exploratorias:** dentro del alcance que puede tener un estudio, las investigaciones descriptivas y exploratorias se emplean cuando: (i) el objeto del estudio es un tema poco estudiado o novedoso, o aun cuando este sea recurrente en la literatura, se esté proponiendo una técnica nueva para su análisis; (ii) cuando una vez definido el objeto de estudio, se quiere dar mayor profundidad a la caracterización de algunos fenómenos que lo componen, no obstante, solo se busca especificar algunas propiedades de estos sin pretender hacer conjeturas sobre la causalidad, correlación o explicación del mismo. En una cadena de valor, la descripción y exploración son los dos primeros eslabones que se encargan de preparar el terreno con la revisión de antecedentes teórico-metodológicos con los que se ha estudiado un fenómeno, y con la descripción del fenómeno en el contexto actual que se está estudiando
- **Precipitación:** El agua que se encuentra en la atmósfera, está en diferentes estados termodinámicos (líquido, sólido y gaseoso), se habla de precipitación cuando se habla del estado (líquido y sólido); la precipitación líquida presenta diferentes intensidades y tamaños de gota: cuando su gota es superior a 0.5 mm es lluvia, cuando es más pequeña se habla de llovizna, la precipitación sólida se habla de la nieve y el granizo, en Colombia se presenta en forma de granizo.
- **POT:** Es el plan de ordenamiento territorial, establece los parámetros desde el punto de vista ambiental, social, económico, cultural, en el uso adecuado de los recursos de un



municipio que garanticen, la adecuada ejecución de actividades, a nivel organizacional que no afecte la vida de la comunidad ni el medio ambiente.

- **Recurso Hídrico:** El agua es uno de los componentes más importantes de la vida de nuestro planeta, ya que todos los seres vivos necesitamos de ella para vivir.
- **Temperatura:** Es un evento meteorológico, que mide la magnitud del calor de cada materia; entendiéndose que el calor es el resultado de la energía que se libera por el movimiento de las

10. METODOLOGÍA

Tipo de investigación

De acuerdo con la clasificación propuesta por Hernández, Fernández y Baptista (2014), esta investigación tiene un enfoque *cualitativo y cuantitativo*, dada la naturaleza de la información a recolectar; *no experimental* pues además de no haber manera de controlar las condiciones meteorológicas de los municipios, se está trabajando con observaciones de realizaciones pasadas de los fenómenos; *longitudinal*, ya que la caracterización se está realizando con el fin de evaluar una tendencia temporal y su relación con la incidencia del dengue. Finalmente es una investigación de tipo *descriptivo y exploratorio* pues se enmarca como parte de un proyecto de investigación más grande cuyo fin último es el de determinar una relación causal entre las variables que aquí se buscan definir, describir, caracterizar y explorar.

Delimitación

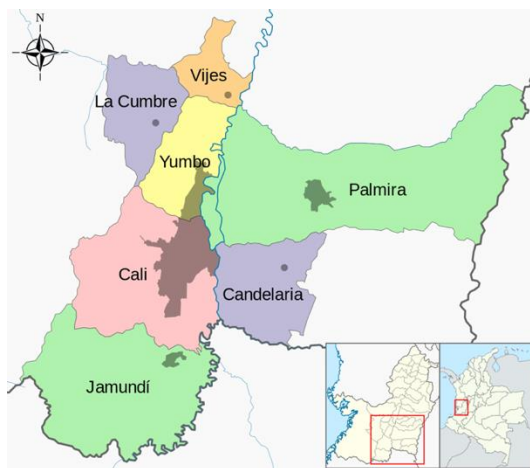
Este estudio tiene dos limitaciones principales: una geográfica y una temporal. En primera instancia, la caracterización de las condiciones ambientales se realizará para el municipio



seleccionado que ha sido seleccionado en una etapa investigativa previa, este es: Santiago de Cali en el departamento Valle del Cauca. Adicionalmente, cabe señalar que uno de los criterios de selección fue la presencia del *Aedes aegypti*, principal vector del dengue en el país.

La ciudad de Cali está ubicada en las coordenadas 3°27'00"N 76°32'00"O, a una altitud promedio de 1.000 msnm, ubicada justo en el valle del río Cauca, el segundo río más importante del país (Alcaldía de Santiago de Cali, 2020). Limita con los municipios de Yumbo, la Cumbre, Palmira, Candelaria, Jamundí, Buenaventura y Dagua.

Figura 2. Mapa del área metropolitana de Cali



Fuente: wikipedia.com (2020)

La segunda dimensión que delimita a esta investigación es el tiempo. A su vez esta variable está restringida a la disponibilidad de información secundaria que se pudo recolectar, y de la cual se hablará posteriormente. Inicialmente, se puede anotar que para el municipio de Santiago de Cali



se posee información para los últimos 10 años en 6 de las estaciones meteorológicas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) ubicadas en esta ciudad.

Fuentes de información

- Información primaria provista por el IDEAM.
- Información primaria obtenida a través del DHIME (Datos Hidrológicos y Meteorológicos) del IDEAM.
- Información secundaria que se pueda obtener en sitios de acceso público como weatherspark.com y climate-data.org.

Variables e indicadores

A partir de la información del IDEAM, cuya frecuencia es diaria para cada una de las 6 estaciones meteorológicas ubicadas en el municipio de Cali, se pueden calcular medias anuales desde el 2009 hasta el 2019 para las siguientes variables (se consignan sus respectivas unidades de medida:

- Temperatura a dos metros (C°)
- Precipitación total mensual (mm)
- Precipitación máxima en un día (mm)
- Caudal medio mensual (m³)
- Brillo solar (kWh/m²)
- Radiación solar hora (kWh/m²)



De la información consultada directamente a través del DHIME, se obtuvieron datos con frecuencia diaria para 2 estaciones meteorológicas del municipio de Cali, las series obtenidas por este medio tuvieron un mayor nivel de completitud, lo que permitió construir medias, máximos y mínimos mensuales desde el 2006 hasta el 2018 para las siguientes variables:

- Precipitación máxima en un día (mm)
- Temperatura máxima diaria a dos metros (C°)
- Temperatura mínima diaria a dos metros (C°)
- Humedad relativa (%)

Estrategias de análisis

Para cuantificar la asociación entre las variables de interés del estudio y el índice de vivienda se puede recurrir al coeficiente de Correlación Lineal de Pearson, con el cual se mide la relación de dependencia lineal entre dos variables, se define como:

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{Cov(X,Y)}{\sqrt{Var(X)Var(Y)}}$$

Donde,

$Cov(X, Y)$, es la covarianza de las variables X e Y

$Var(X)$, es la varianza de la variable X

$Var(Y)$, es la varianza de la variable Y

A partir de la estimación puntual de este coeficiente se puede determinar cuál es la dirección y la fuerza con la que dos variables están relacionadas linealmente. Sin embargo, una limitación que presenta esta medida en el caso de series de tiempo es que esta medida sólo sirve para medir la relación simultánea de las dos variables, es decir, sólo podríamos saber cuál es la relación de la



temperatura y el índice de vivienda. . No obstante, la relación entre estas variables pueden tener una relación no instantánea sino que puede presentar rezagos en el tiempo, es decir, el índice de vivienda del presente puede depender del comportamiento de la precipitación, la temperatura y la humedad del mes pasado o de hace dos meses.. En general, esto sucede al querer medir la correlación de muchas variables vinculadas al tiempo. Por esto, se plantea utilizar una medida de correlación cruzada temporal para ver justamente el efecto de los cambios en las condiciones climáticas en periodos pasados respecto al número de casos presentes. Guevara (2014) aplica esta técnica a unas series meteorológicas y define las correlaciones cruzadas como:

$$r_{XY(K)} = \frac{1}{N} \sum \left[\left(\frac{X_t - \mu_X}{S_X} \right) * \left(\frac{Y_{t+k} - \mu_Y}{S_Y} \right) \right]$$

Donde,

K , es el número de periodos rezagados a tener en cuenta

N , es el número de observaciones

S_X , es la desviación estándar de la variable X

S_Y , es la desviación estándar de la variable Y

μ_X , es la media de la variable X

μ_Y , es la media de la variable Y

Análisis con la caminata al azar

Se realizará un análisis retrospectivo de las fluctuaciones del Índice de Vivienda y las demás variables, también se van a estudiar el comportamiento de estas caminatas al azar a lo largo del periodo del 2010 al 2018, porque solo se contaban con los valores del índice de Vivienda



<https://www.datos.gov.co/dataset/Indices-Entomologicos-en-Sumideros-del-Programa-pr/8zyt-zuak>, generando valores trimestrales para cada año de las variables analizadas.

Con el fin de establecer los máximos y mínimos de cada una de las variables, se filtraron las bases de datos, con el fin de establecer el máximos y mínimos de las siguientes variables:

- Temperatura:
- Precipitación
- Humedad Relativa

A partir de la aplicación de una metodología previamente desarrollada (19,22,25) en el contexto de una analogía con la caminata al azar probabilista. También se harán revisiones y análisis de información entomológica correspondiente a los índices de vivienda de los últimos 4-5 años e indicadores de presencia del mosquito *Aedes aegypti* en los sitios analizados, y se realizará una revisión y análisis de información climatológica suministrada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Se analizarán, de acuerdo a estos registros de información climática, los municipios de Colombia que presenten una variación en la temperatura que sea de interés en los últimos 5 años y donde no se tengan vacíos de información para así seleccionar los tres municipios. Para estos tres municipios se tomarán los datos del índice de vivienda del Instituto Nacional de Salud de Colombia registrados trimestralmente durante los últimos 5 años. Estos valores de IV se normalizarán para una población determinada de viviendas inspeccionadas, para obtener los valores del número de viviendas infestadas.

Posteriormente se realizarán gráficas de este número de viviendas infestadas por trimestre para cada municipio, en busca de un comportamiento de caminata al azar, de igual manera se procederá con los datos para temperatura, precipitación y humedad relativa.



Para cada una de estas caminatas al azar o aleatorias, se calcularán las longitudes para cada variación en estos valores a través de la siguiente fórmula

$$L = \sqrt{(X_0 - X_1)^2 + (Y_0 - Y_1)^2} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde X_0 y Y_0 son las coordenadas cartesianas del valor correspondiente trimestre inicial y X_1 y Y_1 son las coordenadas cartesianas del trimestre siguiente, para simplificar el cálculo, el valor de $(X_0 - X_1)$, esto es, la variación en el eje X para cada trimestre se define como constante. Posteriormente, se seleccionará la longitud mínima de una variación en el número de viviendas entre dos períodos de tiempo consecutivos, la cual se define como el patrón, el cual se comparará con las variaciones temporales constantes del número de viviendas infestadas por cada municipio, indicando el número de veces que puede superponerse sobre cada cambio.

Luego, se calcularán los valores de probabilidad para cada una de estas longitudes con la siguiente ecuación:

$$P(L) = \frac{\text{Longitud variación trimestral}}{\text{Total longitudes}} = \frac{L}{TL} \quad \text{Ecuación 6}$$

Más adelante, se define un nuevo espacio de probabilidad que se conforma por dos eventos: aumento o disminución del número de viviendas infestadas con respecto al trimestre anterior y se compararon como si fueran las dos caras de una moneda, para el período correspondiente a los últimos 5 años, esto con el fin de estudiar cuál es la probabilidad de que una variación temporal constante sea mayor con respecto a la anterior y por regiones. Con el fin de delimitar la dinámica del IV, a partir del número de viviendas infestadas y poder saber cuál es el valor cuantitativo a futuro de su variación, se construirá un espacio de probabilidad que cuantifique trimestres



consecutivos y finalmente, se despejará de la ecuación 6 desarrollando la Ecuación Cuadrática en función de Y_1 , ver apéndice 1, cuya solución son los dos valores límites del rango para el valor esperado:

$$Y_1 = \frac{2Y_0 \pm \sqrt{(-2Y_0)^2 - 4 \{Y_0^2 + (X_0 - X_1)^2 - [(P_{(L)})^2 \times (TL)^2]\}}}{2} \quad \text{Ecuación 7}$$

Dónde: $P(L)$ es el promedio aritmético de los valores de probabilidad para los trimestres consecutivos, TL es la sumatoria de las variaciones para estos trimestres. En este punto los datos del número de viviendas infestadas son tomados análogamente como una caminata al azar, para convertirla en probabilidades y partiendo de éstas realizar nuevamente uno de los segmentos de la caminata, predictiva, el cual corresponde a la predicción

Siguiendo este procedimiento se realizará la predicción del número de viviendas infestadas para el último trimestre del 2017 para cada uno de los municipios, posteriormente teniendo en cuenta la normalización realizada al principio, se calcularán los IV correspondientes a estos valores predichos, para finalmente contrastarlos con los registros del INS para analizar la aplicabilidad de la metodología a esta dinámica.

Consideraciones éticas Según el artículo 11 de la resolución 008430 de 1993 (26) y la Ley 84 de 1989 del Ministerio de Salud de Colombia, el tipo de riesgo inherente a la investigación corresponde a investigación sin riesgo, pues se hacen cálculos físicos y matemáticos sobre registros en base de datos, y no hay participación de sujetos



Plan de tabulación y análisis

Longitud: La longitud L de una variación trimestral se define como:

$$L = \sqrt{(X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^2} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde X_0 y Y_0 son las coordenadas cartesianas del valor correspondiente al trimestre inicial y X_1 y Y_1 son las coordenadas cartesianas del trimestre siguiente, debido al modelo de caminata al azar usado en este estudio, el valor de las coordenadas en X son las mismas pues el movimiento es estudiado solamente en el eje de las Y .

Longitud probabilística: La probabilidad de la longitud L de una variación trimestral se define como la longitud de dicha variación dividida entre el total de las longitudes. El total de las longitudes corresponde a la suma de todas las longitudes de variación trimestral del espacio muestral en rangos de tiempo acotados y consecutivos:

$$P(L) = \frac{\text{Longitud trimestral de cambio de los valores de la variable}}{\text{Total longitudes}} = \frac{L}{TL} \quad \text{Ecuación 2}$$

Probabilidad de las variables: La probabilidad de las variables reportadas en un trimestre se define como el valor obtenido para dicho trimestre dividido entre el total de valores presentados para el período estudiado, lo que corresponde a la suma total de los valores que conforma el espacio muestral:

$$P(N) = \frac{\text{Valor trimestral de la variable}}{\text{Total de valores del espacio muestral}} \quad \text{Ecuación 3}$$



Procedimiento.

Se tomaron los datos del índice de vivienda durante los años 2010– 2018, de la ciudad de Cali (Secretaría de Salud Pública de la Alcaldía Municipal de Santiago de Cali, 2018). Se evaluó el comportamiento geométrico de los valores trimestrales de la dinámica del índice de vivienda como una caminata al azar probabilista con base en la metodología desarrollada previamente por Rodríguez et al (Rodríguez-Velásquez, Prieto-Bohórquez, Correa-Herrera, Pérez-Díaz, & Soracipa-Muñoz, 2017), se establecieron las longitudes de las variaciones trimestrales del número de infectados mediante la ecuación 1.

Luego, se construyó un espacio de probabilidad donde cada longitud L es definida como un evento, se calculó la probabilidad de cada longitud con la ecuación 2, definida como el cociente entre la longitud trimestral del cambio de los valores del índice de vivienda y la suma total de las longitudes. Con base en este valor se calculó la proporción de la longitud con respecto al mínimo valor de las longitudes hallado.

Posteriormente, se calculó la probabilidad de los valores del índice de vivienda para cada trimestre $P(N)$ mediante la ecuación 3, la cual corresponde al valor del índice de vivienda de dicho trimestre dividido entre la suma total de estos cambios.

Para saber si existe un cargamento de probabilidad de esta dinámica, es decir, si los valores hallados son equiprobables o no, se usó la fórmula de la desviación media cuadrática equiprobable de la caminata al azar enunciada en la ecuación 4.



Con el fin de delimitar la dinámica del índice de vivienda trimestral y determinar las predicciones se construyó un espacio de probabilidad que evalúa los últimos tres valores consecutivos de la dinámica del índice de vivienda trimestral, seguidamente se definió el promedio aritmético de estos tres períodos como el valor de la probabilidad para la longitud del período cuyo valor será predicho; finalmente se sustituye este valor en la ecuación 1 y se desarrolló hasta obtener una ecuación cuadrática en función de los valores trimestrales previos, (ecuación 5), obteniendo como solución dos valores que corresponden a la predicción del último trimestre del 2018.

Ecuación 5:

$$Y_1 = \frac{2Y_0 \pm \sqrt{(-2Y_0)^2 - 4 \{Y_0^2 + (X_0 - X_1)^2 - [(P_{(L)})^2 \times (TL)^2] \}}}{2}$$

Dónde: P(L) es el promedio aritmético de los valores de probabilidad para los trimestres consecutivos, TL es la sumatoria de las variaciones para estos trimestres. En este punto los datos del número de viviendas infestadas fueron tomados análogamente como una caminata al azar, para convertirla en probabilidades y partiendo de éstas realizar nuevamente uno de los segmentos de la caminata, predictiva, el cual corresponde a la predicción.

Posteriormente se construyó un nuevo espacio de probabilidad compuesto por dos eventos: disminución (D) y aumentó (A) del número de infectados trimestral de malaria con respecto al trimestre anterior, y se estudió el comportamiento de períodos consecutivos de dos y tres trimestres. Este espacio fue construido con el fin de determinar cuál de los dos valores cuantitativos ya obtenidos para la predicción es el que resulta más probable. Posteriormente se contrastó con los valores registrados por la Secretaría de Salud Pública de Santiago de Cali (Secretaría de Salud Pública de la Alcaldía Municipal de Santiago de Cali, 2018).



Posteriormente se realizaron tres simulaciones de esta dinámica y se hallaron las predicciones para el último trimestre del 2018, para luego compararlas con el valor registrado.

También se analizó el comportamiento de las variables precipitación, temperatura y humedad relativa con la caminata al azar, para esto se establecieron series de tiempo trimestrales, pues de esa manera se analizó la dinámica del índice de vivienda, ya que es la forma en la que usualmente esta variable se analiza. Por lo tanto, se tomaron los valores registrados por el IDEAM entre los años 2010 al 2018 y para cada una de las variables se hallaron los valores máximos y mínimos para cada uno de los meses en este período, posteriormente se agruparon estos valores en trimestres y se halló el promedio de los valores máximo y mínimo de cada trimestre, generando así la serie temporal para cada variable.

Una vez teniendo esta series temporales, se compararon con la dinámica del índice de vivienda, para esto se desarrolló un espacio de probabilidad en el que se analizó de manera conjunta el aumento y disminución de los valores para las cuatro variables analizadas, para esto se aplicó un software en lenguaje C++, desarrollado previamente como producto del proyecto “Predicción física y matemática de la presencia de *Aedes aegypti* y análisis en relación con la disponibilidad del recurso hídrico teniendo en cuenta los extremos de temperatura”, software que permitió automatizar las medidas del aumento (A) y disminución (D) de las dinámicas trimestrales de estas cuatro variables, además de construir cuádruplas temporales que mostraban los A y D de las cuatro variables simultáneamente, posteriormente se analizó la probabilidad de aparición de cada una de las cuádruplas encontradas para establecer la equiprobabilidad o no del fenómeno.



11. RESULTADO Y DISCUSIONES

ANÁLISIS DESCRIPTIVO

Durante la primera fase exploratoria de los datos suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para la ciudad de Cali, se encontró que las 9 bases provistas correspondían a 6 estaciones de medición ubicadas en este municipio. A continuación, se relacionan el código y el nombre de la estación.

1. 26085170 BASE AÉREA MARCO FIDEL SUAREZ
2. 26055100 FARALLONES
3. 26177030 LA VIRGINIA
4. 26135040 AEROPUERTO MATECANA
5. 26055120 UNIVERSIDAD DEL VALLE
6. 26085160 SILOÉ

Para cada una de las estaciones, se relaciona en la hoja de cálculo adjunta (Excel) una tabla que resume la información anual de las variables contenidas en las bases de datos de la siguiente manera.

1. **AÑO.** Año correspondiente a las mediciones. Se exploró la información para el periodo de los últimos 10 años, es decir, 2009 a 2019. No todas las variables tienen información para todos los años, esos casos se señalan con -. Adicionalmente, para la estación 26135040 la serie de caudal mensual era continua, pero hubo un año (2016) para el cual no hay información registrada.
2. **VARIABLE.** Variable meteorológica medida. También señala un indicador de la frecuencia de la medición en el nombre de esta “MENSUAL, HORA, DIARIA”. En la mayoría de los casos trató de tomarse el valor mensual, sin embargo, para las estaciones 26055120 y 26085160 solo había datos por hora. O, por ejemplo, para la estación 26085170 solo había datos mensuales.



3. **OBS.** Número de observaciones por año observado. Si la frecuencia es mensual, máximo debería haber 12 observaciones. Puede haber más o menos debido a falta de registros o a sobre mediciones. Si la frecuencia es diaria, máximo debería haber 365. Puede haber más o menos debido a falta de registros o a sobre mediciones. Si la frecuencia es horaria, máximo debería haber 8760 registros. Puede haber más o menos debido a falta de registros o a sobre mediciones. Por ejemplo, en la medición del caudal mensual para la estación 26135040 es consistente que hay un doble registro persistente por lo menos entre 2012 y 2015, lo cual puede indicar que la estación media la variable “mensual” por lo menos dos veces al mes, dando como resultado 24 observaciones en un año.
4. **MEDIA.** Suma del valor de las variables dividido el número total de observaciones. Se interpreta como el valor medio de la variable observada para el año “...”, en la estación “...”.
5. **DS.** Desviación estándar. Es una medida que mide qué tan dispersos están los datos respecto a la media. Se encontró que hay variables para las cuales la dispersión es mucho mayor, pero es normal por la naturaleza de los fenómenos. Por ejemplo, la temperatura es consistente, todos los días hay una medición cercana a la media. Sin embargo, para la precipitación o el caudal puede haber días en los que se registran valores muy altos (un día lluvioso) mientras hay periodos donde fácilmente no puede llover en un mes. Adicionalmente, para las variables cuya frecuencia es más corta (horaria, diaria) se encontró que la desviación estándar aumenta. Esto en virtud de que, al tomar los valores mensuales, estos resúmenes 30 datos en uno; pero al usar datos diarios o incluso horarios hay una variación mayor que se refleja en la desviación estándar (por ejemplo, la temperatura a las 6 a.m. vs. la temperatura a las 1 p.m. ya genera una variación importante).
6. **MÁXIMO.** Valor máximo registrado. Se toma como valor de referencia para saber cuál es el tope de la variable. Tocó filtrar los datos porque existían inconsistencias en las mediciones. Por ejemplo, había datos para temperatura superiores a 1000°C. Se fijó como límite superior de la temperatura 40°C.
7. **MÍNIMO.** Valor mínimo registrado. Se toma como valor de referencia para saber cuál es el piso de la variable. Tocó filtrar los datos porque existían inconsistencias en las

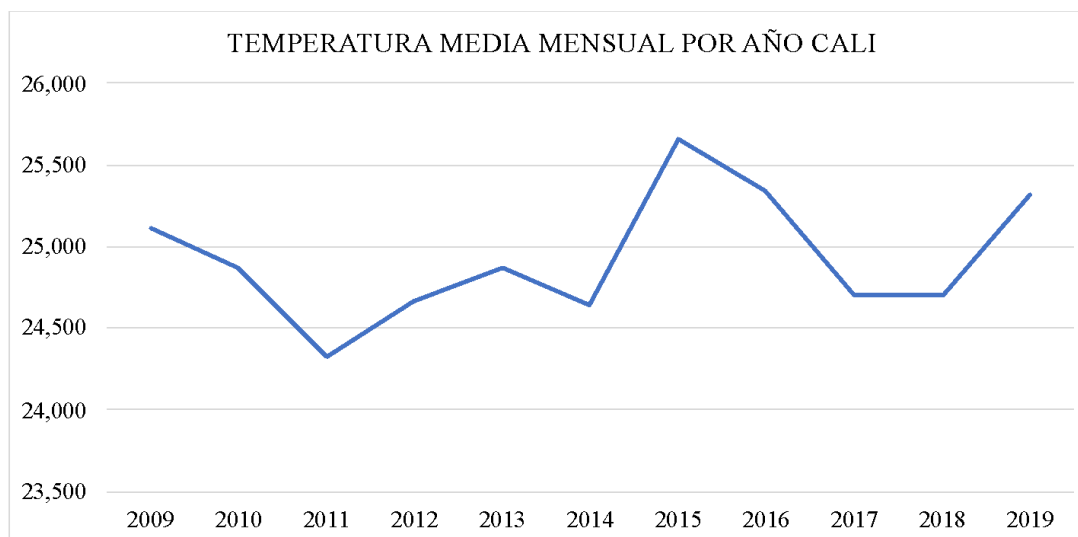


mediciones. Por ejemplo, había datos para temperatura muy negativos como -3000°C o datos para precipitación negativos. Se fijó como límite superior de la temperatura 40°C y que la precipitación fuese mayor o igual a 0.

SOPORTE 2: Base de datos Analizados IDEAM

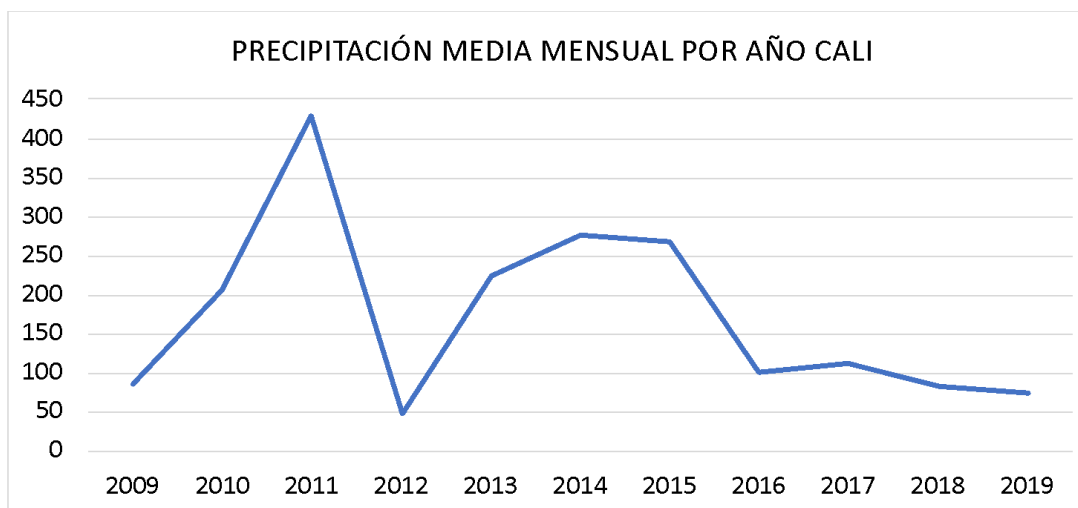
El siguiente análisis permite visualizar el comportamiento histórico de las tres variables de manera anual (con información del IDEAM solo para Cali) de las cuales se supone depende el comportamiento de reproducción biológica del *Aedes aegypti*: temperatura, humedad relativa y precipitación.

Figura 3. Temperatura media a dos metros por año en Cali, Valle del Cauca



Fuente: Elaboración propia con datos del IDEAM

Figura 4. Precipitación media mensual por año en Cali, Valle del Cauca



Fuente: Elaboración propia con datos del IDEAM

Finalmente, de las gráficas por año se puede observar un comportamiento regular en la temperatura del municipio de Cali entre el rango de 24.5 C° y 25.5 C°. La gráfica de precipitación mensual media por año si evidencia un comportamiento muy característico de la climatología colombiana. Este par de fenómenos conocidos como El Niño y La Niña denotan períodos de precipitación muy fuerte seguidos por periodos de una sequía muy marcada. Esto se presenta claramente en el cambio entre 2011 y 2012, por ejemplo. O entre 2015 y 2016, otro ejemplo menos acentuado.

El siguiente paso sería obtener una aproximación al comportamiento del *Aedes aegypti* a partir de los valores del índice de vivienda. No obstante, para el municipio de Cali, con la información obtenida desde el IDEAM si se puede construir, como se presenta a continuación, un análisis de correlación entre las variables con mediciones a nivel mensual.

ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES



El análisis de correlaciones cruzadas para el Municipio de Santiago de Cali, se realizó, teniendo en cuenta (T) correlación instantánea, (T1) Índice de vivienda con trimestre anterior para las tres variables, (T2) índice de vivienda con el segundo trimestre, (T3) índice de vivienda con el tercer trimestre atrás, (T4) índice de vivienda con un año hacia atrás, (T5) índice de vivienda con cinco trimestres hacia atrás. La consulta de estos datos fue suministrada por la página del IDEAM, teniendo en cuenta que para los siguientes trimestres de algunos años no se contaba con información, en la variable temperatura y que, para efectos del cruce de correlaciones, estos trimestres fueron dejados en cero:

- Trimestres 2, 3 y 4 del año 2016
- Trimestre 3 y 4 del año 2017

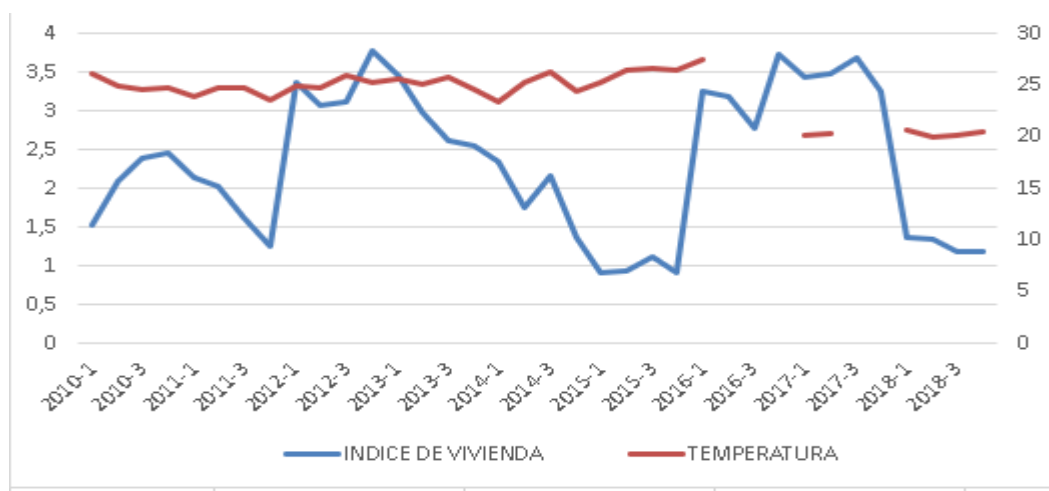
Una vez finalizada el cruce de correlaciones del coeficiente, podemos observar las siguientes gráficas, donde se analizará en cada una de ellas los comportamientos teniendo en cuenta el índice de vivienda con cada una de las variables:

1. **Índice de vivienda vs Temperatura:** para esta gráfica podemos observar que el índice de vivienda se encuentra por debajo de la temperatura, observando los faltantes de información para los trimestres de los años mencionados anteriormente.
2. **Índice de vivienda vs Humedad:** El índice de vivienda estuvo por debajo de la humedad, sin embargo se presentan aumentos para los primeros trimestres de los años 2012, 2013, 2016, para el año 2017, los picos se incrementan para el 1 y 3 trimestre
3. **Índice de vivienda vs precipitación:** El índice de vivienda para esta variable permanece por debajo de la precipitación, sin embargo hubo picos de incremento, donde la curva permanece paralela a en los trimestres 1 y 3 del 2017 y el trimestre 3 del 2018



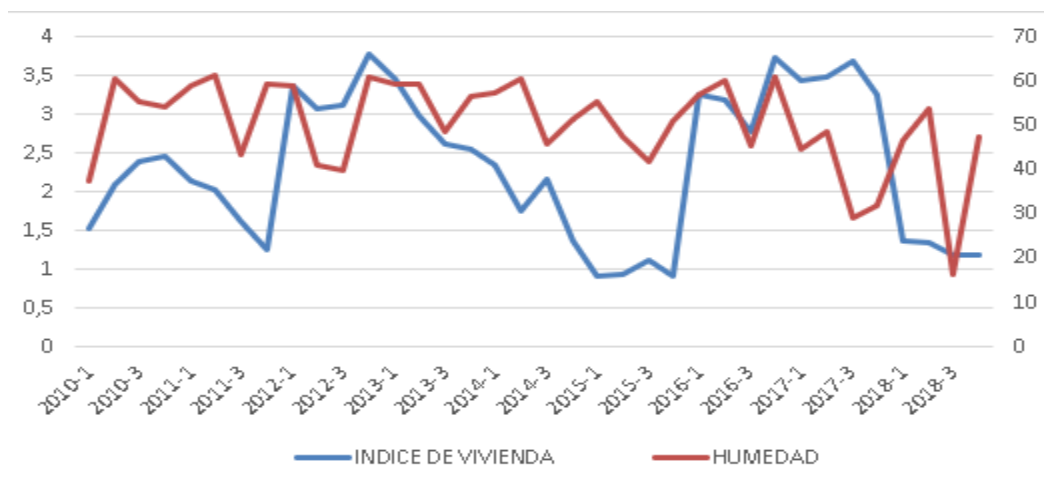
4. **Coefficientes de correlación instantáneos y cruzados de temperatura, precipitación y humedad respecto al índice de vivienda:** Se analiza desde el (T) correlación instantánea, donde podemos observar que tienen un comportamiento similar las tres variables, frente al índice de vivienda, para el (T1) primer trimestre se puede observar que hay un aumento en la temperatura, frente a la precipitación y la humedad, para el (T2) trimestre dos, se observa una disminución con datos negativos para la precipitación, con respecto a la humedad y temperatura, las cuales estas dos últimas con relación al (T1) presenta disminución, para el (T3) trimestre tres persiste la elevación negativa de la precipitación y la humedad - temperatura aumentan con relación al (T2), para el (T4) trimestre cuatro, el comportamiento es muy similar al (T3) para las tres variables, para el (T5) trimestre cinco, la precipitación sigue disminuyendo negativamente, frente a las otras dos variables.

Figura 5. Índice de Vivienda vs Temperatura



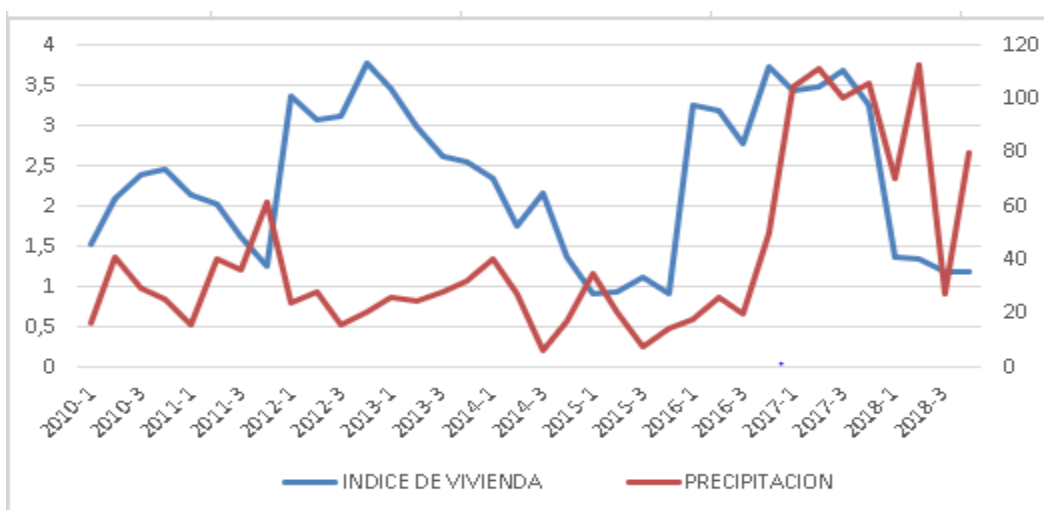
Fuente: Elaboración propia con datos del IDEAM

Figura 6. Índice de vivienda vs Humedad



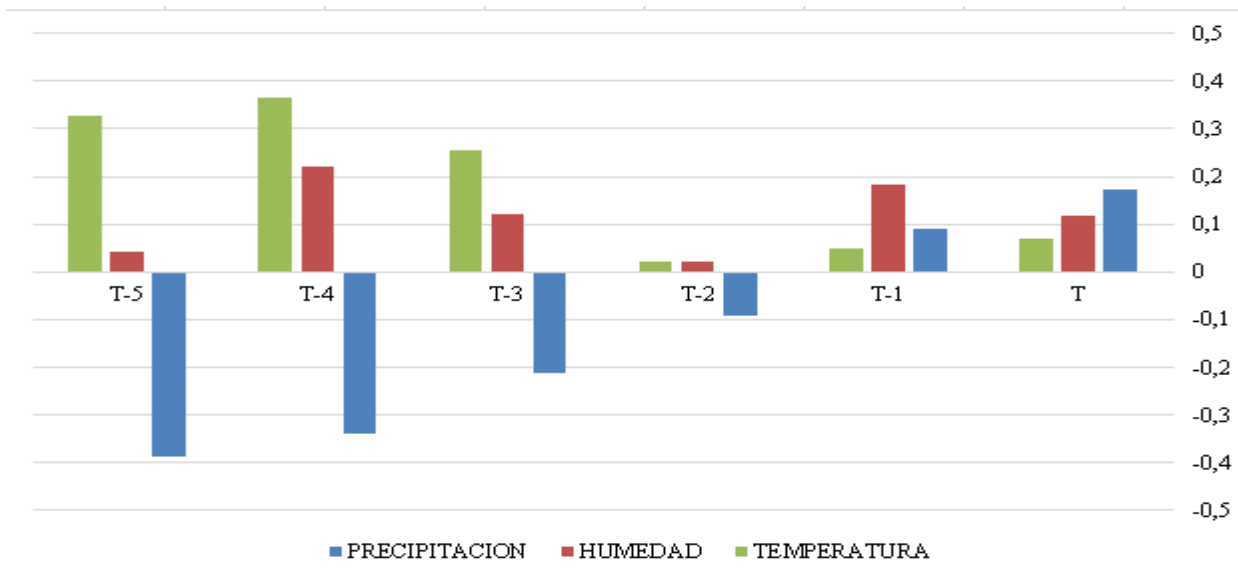
Fuente: Elaboración propia con datos del IDEAM

Figura 7. índice de vivienda vs precipitación



Fuente: Elaboración propia con datos del IDEAM

Figura 8. Coeficientes de correlación instantáneos y cruzados de temperatura, precipitación y humedad respecto al índice de vivienda.



Fuente: Elaboración propia con datos del IDEAM

Análisis de la dinámica del índice de vivienda con la caminata al azar

El índice de vivienda para el periodo comprendido entre los años 2010-2018 en la ciudad de Santiago de Cali varió entre 0,91 y 3,78. Los valores de las longitudes halladas para este periodo variaron entre 0,01 y 2,34. Los valores de la probabilidad de las longitudes de la variación del índice de vivienda se encontraron entre 0,001 y 0,145. Los valores de la proporción de las distancias respecto a la distancia mínima encontrada para este periodo estuvieron entre 2 y 234. La probabilidad del índice de vivienda para este mismo periodo varió entre 0,011 y 0,046. La desviación media cuadrática para los valores del índice de vivienda osciló entre un rango de 0,066 y 0,101, encontrando que la diferencia entre estos últimos y el valor esperado varía en un rango de 0,055 y -0,055 (Tabla 1). El cálculo de probabilidades halladas para el índice de vivienda y los valores de la desviación media cuadrática para el periodo comprendido entre los años 2010-2018, muestran que no son equiprobables, presentándose probabilidades cargadas que determinan la predicción para el último trimestre del año 2018 (tabla 1).

Por otra parte, con el análisis realizado al tercer espacio de probabilidad que corresponde al periodo comprendido entre los años 2010-2018 índice de vivienda, así como la aplicación de la ecuación 5, se hallaron los dos valores de predicción para el último trimestre del año 2018. Para determinar el evento más probable para este período con relación a los aumentos (A) o disminuciones (D), se analizó la frecuencia y probabilidad de los valores consecutivos de los A o D (Tabla 2). Para ello, se analizó el tercer y cuarto espacio de probabilidades que contiene el número de posibles combinaciones entre A y D para un periodo de tres períodos consecutivos en



la dinámica del índice de vivienda, encontrando que es más probable que haya disminución del índice de vivienda (ver tabla 3). Considerando como hecho más probable que haya una disminución, el establecimiento del valor predictivo fue de 1,172, valor que al ser comparado con el reportado, el cual corresponde a un valor de 1,18, se halló un porcentaje de acierto del 99,3 %. Al estudiar el espacio de probabilidad de aumentos y disminuciones se observa que las diferentes triplas presentan probabilidades que se diferencian, mostrando que por ejemplo la tripla DDD se presenta el 19% de las veces.

Tabla 1. Valores del índice de vivienda entre los años 2010-2018.

Año	Trimestre	L	P(L)	P(N)
2010	1			0,059
2010	2	0,57	0,0349479	0,0260534
2010	3	0,3	0,0183936	0,0297931
2010	4	0,08	0,004905	0,0307903
2011	1	0,32	0,0196199	0,0268013
2011	2	0,13	0,0079706	0,0251808
2011	3	0,41	0,025138	0,0200698
2011	4	0,36	0,0220723	0,0155821
2012	1	2,12	0,1299816	0,0420095
2012	2	0,3	0,0183936	0,0382698
2012	3	0,04	0,0024525	0,0387684
2012	4	0,67	0,0410791	0,0471204
2013	1	0,32	0,0196199	0,0431314
2013	2	0,48	0,0294298	0,0371478
2013	3	0,36	0,0220723	0,0326602
2013	4	0,08	0,004905	0,0316629
2014	1	0,2	0,0122624	0,0291698
2014	2	0,58	0,035561	0,0219397
2014	3	0,4	0,0245248	0,026926
2014	4	0,8	0,0490497	0,0169534
2015	1	0,45	0,0275904	0,0113438
2015	2	0,02	0,0012262	0,0115931
2015	3	0,19	0,0116493	0,0139616
2015	4	0,21	0,0128755	0,0113438
2016	1	2,34	0,1434703	0,0405136
2016	2	0,06	0,0036787	0,0397656
2016	3	0,42	0,0257511	0,03453



2016	4	0,95	0,0582465	0,0463725
2017	1	0,29	0,0177805	0,0427574
2017	2	0,06	0,0036787	0,0435054
2017	3	0,19	0,0116493	0,0458738
2017	4	2,5	0,1532802	0,0147095
2018	1	0,01	0,0006131	0,0145849
2018	2	0,06	0,0036787	0,0153328
2018	3	0,04	0,0024525	0,0148342

Donde L: es la longitud del cambio del índice de vivienda, P(L): la longitud probabilista de la longitud L.

Tabla 2. Frecuencia y probabilidad de aumentos y disminuciones consecutivas, en relación al índice de vivienda en la ciudad de Santiago de Cali durante 2010 al 2018.

Años consecutivos	2010				
	a	Aumentos		Disminuciones	
	2017	V	P	V	P
1		5	0,15	4	0,12
2		3	0,18	3	0,18
3		1	0,09	0	0,00
4		0	0	1	0,12
6		0	0	1	0,18
Total	34	14	0,41	10	0,59

Donde V: representa el valor total de cada tipo de variación y P: la probabilidad de esta variación.

Tabla 3. Número de posibles combinaciones de aumentos (A) y disminuciones (D) para un periodo de tres períodos consecutivos, observadas durante el periodo comprendido durante los años 2010 al 2018.

Combinaciones	V	P
---------------	---	---



DDD	6
DDA	5
DAD	5
DAA	3
ADD	5
ADA	3
AAD	4
AAA	1
Total	32

Al aplicar el software desarrollado previamente para realizar el análisis de las cuádruplas de aumentos (A) y disminuciones (D) con las demás variables precipitación, temperatura y humedad relativa, se encontraron 10 posibles cuádruplas de las posibles 16 que podrían encontrarse, lo que muestra que aunque las variables involucradas son altamente variables, en el fenómeno de analizado de cuádruplas sólo se presentan un 62,5% de las posibilidades evidenciando que el fenómeno no es equiprobable, lo que también se puede observar al hallar las probabilidades de estas cuádruplas (Tabla 4), pues los eventos más probables son cuando dos de las variables aumentan y las otras dos disminuyen, constituyendo el 41,4% de las posibilidades del espacio muestral, teniendo el 20,7% de las posibilidades que aparezca AADD, y con igual valor DDAA. Si a esto agregamos los segundos eventos más probables vemos que ya tendríamos una probabilidad de 0,62, es decir en 4 eventos tendríamos el 62% de probabilidades de que ocurra, de manera que el fenómeno que parecía inatrapable, ya cuenta con una descripción mucho más acotada.



Tabla 4. Probabilidad de aparición de las cuádruplas de aumentos y disminuciones para las variables precipitación, humedad relativa, temperatura e índice de vivienda.

Cuádrupla	Repeticiones de cada cuádrupla	Probabilidad
AAAA	1	0,034
AAAD	3	0,103
AADA	3	0,103
AADD	6	0,207
ADAD	3	0,103
DAAD	1	0,034
DADD	2	0,069
DDAA	6	0,207
DDAD	2	0,069
DDDA	2	0,069
Total	29	

12. CONCLUSIONES

En primera instancia, hay que señalar la importancia que el Municipio de Cali, de cumplimiento al (POT) plan de ordenamiento territorial, garantizando cada una de las líneas normativas (*Artículo 15 de la Ley 388 de 1997, mediante el cual se establece el POT*) <https://www.youtube.com/watch?v=XF4827dnuFU> e integrando todos los sistemas, ambientales, geográficos, sociales, económicos y culturales que giran alrededor de cada una de los componentes del plan. De esta manera en temas ambientales se podría garantizar un adecuado uso eficiente especialmente en el recurso hídrico, mediante planes, programas y contingencias que mitiguen el inadecuado manejo de este recurso. “...Amaringo, F., Fredy Narvárez, J., Alejandra Gómez-Arguello, M., & Molina, F. (2019). *Contaminación en agua y sedimentos por hidrocarburos aromáticos policíclicos...*”



Como segunda conclusión, hay que señalar que si bien hay información consistente y continua para variables como la temperatura (que es la que mayor grado de completitud tiene entre las 6 estaciones) hay un déficit de información para variables como la precipitación, donde solo hay información para 4 estaciones y 3 de ellas tienen información únicamente a partir del 2017; esto haría que para este dato tocará depender únicamente de la serie de la estación 26055120 que es la única completa. Esto sería un problema, pues no reflejaba la heterogeneidad de la ciudad (no en todas partes llueve lo mismo, así como no en todas las partes la temperatura es igual).

Por otra parte, al realizar el ejercicio analítico de las correlaciones cruzadas se encuentra que la precipitación tiene una fuerte incidencia negativa en el índice de vivienda, correspondiente a los (T3) (T4) y (T5), y que las variables de temperatura y humedad, tuvieron cambios en cada uno de los trimestres ligeros positivos.

13. RECOMENDACIONES

Es importante que dentro del POT, se analizan aquellos impactos y aspectos ambientales organizaciones, que se encuentren afectando el recurso hídrico y contaminación de aguas derivada de las actividades dadas por (aguas residuales, manejos de suelo, plan integral de residuos sólidos y líquidos).” ... *Gaviria, S., & Angel-Amaya, J. (2019). Geoindicadores aplicados al estudio de los efectos ambientales de la explotación de oro aluvial en la cuenca baja del río Quito, Chocó (Colombia). Gestión y Ambiente, 22(2), 235–256...*”

Establecer desde el POT, planes sociales y ambientales que vayan dirigidos a esas comunidades que se están viendo afectadas por las contaminaciones de recurso hídrico y cuántas de ellas no



cuentan con un sistema de acueducto y alcantarillados y para obtener este recurso tiene que realizar prácticas poco controladas de recolección de aguas.

Establecer a nivel social campañas de educación ambiental, para el cuidado no solo desde el punto de vista de salud públicas, con las enfermedades asociadas, sino también al cuidado de los recursos naturales.

14. IMPACTO

Creación de herramientas tecnológicas (software) que permita tener los datos estadísticos y matemáticos sobre el índice de vivienda para las diferentes variables que puedan afectar el recurso y proliferar enfermedades.

Que estas herramientas tecnológicas, permiten tener información para la toma de decisiones a nivel municipal y contener los aspectos negativos que se deriven de los análisis

A nivel de organizaciones de salud poder predecir las fuentes de contagio de enfermedades, con el fin de realizar campañas de promoción, prevención y/o nuevos desarrollos científicos para detener los diferentes contagios.



15. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, R., Mesones, R. V., & Núñez, A. (2005). Fauna de anuros en la ciudad de Salta, Argentina. *Revista de Biología Tropical*, 53(3–4), 569–575.
- Aron, J. L., & May, R. M. (1982). The population dynamics of malaria. In *The population dynamics of infectious diseases: theory and applications* (pp. 139–179). Springer.
- Alcaldía de Santiago de Cali. (2020). “Geografía de Cali”. Consultado el 15 de octubre de 2020.
- Amaringo, F., Fredy Narváez, J., Alejandra Gómez-Arguello, M., & Molina, F. (2019). Contaminación en agua y sedimentos por hidrocarburos aromáticos policíclicos: Revisión de la dinámica y los métodos analíticos. *Gestión y Ambiente*, 22(1), 129–140. <https://doi-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/10.15446/ga.v22n1.77874>
- Blanco, L. (1996). *Probabilidad, notas de clase*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Matemáticas y Estadística.
- Cattoni, D., Ozu, M., & Chara, O. (2004). Ruidos en la naturaleza. In *ANALES AFA* (pp. 294–299).
- Centers for Disease Control and Prevention - CDC. (2020). “¿Qué es dengue?” Consultado el 5 de octubre de 2020.
- De Gennes, P.-G. (1979). *Scaling Concepts in Polymer Physics*. Ithaca: Cornell University.
- Dietz, K., & Hadeler, K. P. (1988). Epidemiological models for sexually transmitted diseases. *Journal of Mathematical Biology*, 26(1), 1–25.
- Einstein, A. (1905). Sobre el movimiento de partículas pequeñas suspendidas en líquidos en reposo exigido por la teoría cinéticomolecular del calor. *Einstein*.
- Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. (1964). Probability. In *Physics Vol. 1: Mechanics, radiation, and heat* (pp. 1–11). Wilmington: Addison-Wesley Publishing Company.
- Gaviria, S., & Angel-Amaya, J. (2019). Geoindicadores aplicados al estudio de los efectos ambientales de la explotación de oro aluvial en la cuenca baja del río Quito, Chocó (Colombia). *Gestión y Ambiente*, 22(2), 235–256. <https://doi-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/10.15446/ga.v22n2.80078>
- Goel, N. S., & Richter-Dyn, N. (2016). *Stochastic models in biology*. Elsevier.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). “Metodología de la investigación: Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado y Pilar Baptista Lucio (6a. ed. --)”. México D.F.: McGraw-Hill.
- IDEAM. (2018). Boletín Clima y Salud. Edición No. 10 de 2018. Consultado el 19 de agosto de 2020.
- INS. (2019). Dengue en Colombia – Primer Semestre 2019 | Informe del evento. Consultado el 19 de agosto de 2020.
- Laplace, P. (1995). *Ensayo filosófico sobre las probabilidades*. Barcelona: Altaza.
- Lavenda, B. (1985). El movimiento browniano. *Investigación y Ciencia*, 103, 36–46.
- Montoya-Domínguez, E. (2018). La extracción de carbón en el centro del Cesar, Colombia: apuntes para la comprensión del conflicto ambiental. *Gestión y Ambiente*, 21, 62–73.



<https://doi-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/10.15446/ga.v21n2supl.77836>

- Mandelbrot, Benoit B. (1997). The variation of certain speculative prices. In *Fractals and Scaling in Finance* (pp. 371–418). Springer.
- Mandelbrot, Benoît B. (2006). *Los objetos fractales: forma, azar y dimensión*. Tusquets.
- Mandelbrot, Benoit B., & Van Ness, J. W. (1968). Fractional Brownian motions, fractional noises and applications. *SIAM Review*, 10(4), 422–37.
- McKenzie, F. E., Wong, R. C., & Bossert, W. H. (1998). Discrete-event simulation models of Plasmodium falciparum malaria. *Simulation*, 71(4), 250–261.
- Mood, A. M., Graybill, F. A., & Boes, D. C. (1974). *Introduction to the Theory of Statistics*. *Introduction to the Theory of Statistics* (3rd ed.). Singapore: Mc. Graw-Hill.
- Olano, V. (2016). “Aedes aegypti in rural areas: public health implications”. *Biomedica*. 2016 Jun 3;36(2):169-73. DOI: 10.7705/biomedica.v36i2.3374
- OPS. (2019). El dengue en las Américas alcanza el mayor número de casos registrados en la historia. Consultado el 19 de agosto de 2020.
- OPS. (2020). “Dengue”. Consultado el 5 de octubre de 2020

- OPS. (2021). Casos y muertes de dengue grave. Consultado el 14 de marzo de 2021.

- Padilla, J., Rojas, D. y Saénz-Gómez, R. (2012). Dengue en Colombia: Epidemiología de la reemergencia a la hiperendemia. Consultado el 19 de agosto de 2020.
- Peitgen, H.-O., Jurgens, H., & Saupe, D. (1992). Simulation of Brownian Motion, Irregular Shapes: Randomness in Fractal Constructions. In *Chaos and Fractals: New Frontiers of Science* (pp. 481–90). New York: Springer - Verlag.
- Redner, S. (2001). *A guide to first-passage processes*. Cambridge University Press.
- Risken, H. (1984). *Fokker-planck equation. The Fokker-Planck Equation*. Berlin: Springer.
- Prieto Bohórquez SE, Velásquez JOR, Correa Herrera SC, Soracipa Muñoz MY. Diagnosis of cervical cells based on fractal and Euclidian geometrical measurements: Intrinsic Geometric Cellular Organization. *BMC Med Phys* [Internet]. 2014;14(1):2. Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/1756-6649-14-2>
- Rodríguez J, Jattin J, Soracipa Y. Probabilistic temporal prediction of the deaths caused by traffic in Colombia. Mortality caused by traffic prediction. *Accid Anal Prev* [Internet]. 2020;135:105332. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457519305603>
- Rodríguez J, Correa C, Ortiz AL, Páez J, Cortés J, Soracipa Y, et al. Método de “Caminata al azar probabilística” aplicada a la predicción de muertes por tránsito en el estado de Florida. *Medicina (B Aires)*. 2019;41(1):18–27.
- Rodríguez J, Bernal P, Álvarez L, Pabón S, Ibáñez S, Chapuel N, et al. Predicción de unión de péptidos de MSP-1 y EBA-140 de Plasmodium falciparum al HLA clase II: Probabilidad, combinatoria y entropía aplicadas a secuencias peptídicas. *Inmunología*. 2010;29(3):91–9.
- Rodríguez J. Teoría de unión al HLA clase II: teoría de probabilidad, combinatoria y entropía aplicadas a secuencias peptídicas. *Inmunología*. 2008;27(4):151–66.



- Rodríguez J, Correa C. Temporal prediction of the dengue epidemic in Colombia: the epidemic's probabilistic dynamics. *Rev salud pública*. 2009;11(3):443–53. Vélez-Bernal, I. (2016). “Presencia de *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Linnaeus, 1762) y su infección natural con el virus del dengue en alturas no registradas para Colombia.” *Biomédica*. 2016;36(2):303–8)
- Rodríguez-Velásquez JO, Prieto-Bohórquez SE, Correa-Herrera SC, Pérez-Díaz CE, Soracipa-Muñoz MY. Dynamics of the malaria epidemic in Colombia: temporal probabilistic prediction. *Rev Salud Pública*. 2017;19(1):91–100.
- Rodríguez-Velásquez J, Prieto-Bohórquez S, Correa-Herrera C, Aguirre-Dávila G, Medina-Araujo S, Soracipa-Muñoz M, et al. Proporciones de la entropía aplicadas a la unidad de cuidados intensivos: predicciones en infarto agudo de miocardio. *Rev Acad Colomb Cienc Ex Fis Nat*. 40(155):192–9.
- Rodríguez JO, Prieto SE, Correa SC, Soracipa MY, Méndez LR, Bernal HJ, et al. Nueva metodología de evaluación del Holter basada en los sistemas dinámicos y la geometría fractal: confirmación de su aplicabilidad a nivel clínico. *Rev la Univ Ind Santander Salud*. 2016;48(1).
- Rodríguez J, Prieto S, Ramírez L. Evaluación de la dinámica cardíaca con la aplicación de metodologías basadas en entropía proporcional y la ley Zipf-Mandelbrot. *Gac Med Mex* [Internet]. 2018;154(3):287–94. Available from: http://www.gacetamedicademexico.com/frame_esp.php?id=148
- Rodríguez J, Prieto S, Flórez M, Alarcón C, López R, Aguirre G, et al. Physical-mathematical diagnosis of cardiac dynamic on neonatal sepsis: predictions of clinical application. *J Med Med Sci* [Internet]. 2014;5(5):102–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.14303/jmms.2014.070>
- Rodríguez-Velásquez J, Prieto-Bohórquez S, Flórez-Cárdenas M, Alarcón-Ávila C, López-Cruz R, Aguirre-Dávila G, et al. Sistemas dinámicos cardíacos en neonatos normales: Ley caótica cardíaca neonatal. *Salud Uninorte*. 2014;30(3).
- Rodríguez J. Nuevo diagnóstico físico y matemático de la monitoría fetal: predicción de aplicación clínica. *Momento Rev Física*. 2012;44:49–65.
- Rodríguez J, Castillo M. Confirmación diagnóstica de la evaluación del trazado del monitoreo fetal electrónico a partir de la probabilidad y la relación s/k de la entropía. *Momento* [Internet]. 2018 Jul 8;57:27–40. Available from: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/momento/article/view/73387/66701>
- Rodríguez J, Prieto S, Correa C, Forero MF, Perez C, Soracipa Y, et al. Teoría de conjuntos aplicada al recuento de linfocitos y leucocitos: Predicción de linfocitos T CD4 de pacientes con virus de la inmunodeficiencia humana/sida. *Inmunología*. 2013;32(2):50–6.
- Rodríguez J, Prieto S, Melo M, Domínguez D, Correa C, Soracipa Y, et al. Predicción del número de linfocitos T CD4 en sangre periférica a partir de teoría de conjuntos y probabilidad en pacientes con VIH/SIDA. *Inmunología*. 2014;33(4):113–20.
- Rodríguez J, Prieto S, Pérez C, Correa C, Soracipa Y, Jattin J, et al. CD4+ temporal prediction in 80 patients with antiretroviral management from leukocyte counts. *Infectio* [Internet]. 2020;24(2):103–7. Available from: <https://www.revistainfectio.org/index.php/infectio/article/view/841/885>



- Rodríguez J, Prieto S, Fajardo E, Lopez F, Castro J, Soracipa Y. Predictive random walk of obesity dynamic and predictions of obesity and overweight in children from Colombia and weight/height and weight/age variation in Mexico. *Rev Med.* 2013;21(2):18.
- Rodríguez J, Prieto S, Fajardo E, Correa C, López F, Castro J, et al. Prediction of the temporal dynamic of hospital discharges for obesity in children and youth in the united states. *Rev Chil Nutr.* 2015;42(4):345–50.
-
- Suárez, J. F. (2002). *Introducción a la teoría de probabilidades*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Matemáticas y Estadística.
- Van Kampen, N. G. (1992). *Stochastic processes in physics and chemistry*. Elsevier Science Publishers (2nd ed.). New York.
- Velásquez Arias, J. A. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(1), 151–167. <https://doi-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/10.22490/21456453.1846>
- Weiss, G. (2005). *Aspects and Applications of the Random Walk (Random Materials & Processes S.)*. Amsterdam: North-Holland.
- Wiener, N. (1958). *Nonlinear problems in random theory*. Cambridge: Technology Press.
- wikipedia.com. (2020). “Área metropolitana de Cali”. Consultado el 15 de octubre de 2020.
- Yang, H. M. (2000). Malaria transmission model for different levels of acquired immunity and temperature-dependent parameters (vector). *Revista de Saude Publica*, 34(3), 223–231
- Yang, H. M., & Ferreira, M. U. (2000). Assessing the effects of global warming and local social and economic conditions on the malaria transmission. *Revista de Saude Publica*, 34(3), 214–222.



16. ANEXOS

Actividades del estudiante de pregrado dentro del proyecto y cronograma de actividades del proyecto

- Recolección de Datos IDEAM de los últimos 10 años
- Organización de máximos y mínimos de (temperatura, humedad, precipitación)
- Base de datos de coeficiente de correlación (temperatura, humedad relativa, precipitación e índice de vivienda)
- Graficar resultados de los coeficientes de correlación.
- Marco teórico siguiendo el protocolo que tiene el programa para la presentación del trabajo de grado.
- Participar en las reuniones del proyecto en mención.
- Elaboración y presentación documento de grado como opción ante el programa de AARN.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																					
ACTIVIDAD		MES/SEMANA																			
No.	Descripción	1				2				3				4				5			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1	Revisión de literatura	■	■	■	■																
2	Identificar y revisar las variables de interés según las fuentes suministradas por el IDEAM para la ciudad de Santiago de Cali, Valle del Cauca																				
3	Diseño de las tablas en Excel para la tabulación de la información																				
4	Generar tablas en Excel con las bases suministradas por el IDEAM.																				
5	Procesamiento de la información																				
6	Cálculo de indicadores y del modelo																				
7	Redacción del documento																				
8	Corrección y ajustes al documento final																				
9	Participación en las reuniones del proyecto																				
10	Generar actas de reunión del proyecto.																				