

# **DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA LA VIGILANCIA, PREVENCIÓN Y CONTROL DE DENGUE EN LA REGION DEL BAJO CAUCA ANTIOQUEÑO**

## **I. Empleo de Machine Learning en la comprensión de la relación epidemiológica dengue/clima/vectores**

**Nombre de la Subregión donde se desarrollará el proyecto:** Bajo Cauca Antioqueño

**Nodos estratégicos y Programas a ser atendidos:** Nodo 3. Ciencia y Educación  
Programa 3. Cultura de la apropiación social del conocimiento  
Nodo 4. Salud y Vida  
Programa 3. Vigilancia Epidemiológica

### **Investigador Principal:**

Marco Julio Cañas Campillo. Profesor de matemáticas, didáctica de la matemática, análisis matemático y ciencia de datos, Inteligencia Artificial y Machine Learning. Seccional Bajo Cauca. Universidad de Antioquia

### **Co-Investigadores:**

1. Guillermo L. Rúa-Urbe. Profesor Facultad de Medicina. Universidad de Antioquia
2. Lizeth P. Bedoya A. Profesora Seccional Bajo Cauca. Universidad de Antioquia
3. Juliana Pérez Pérez. Investigador Doctoral. Universidad del Este de Finlandia (UEF). Departamento de Ciencias Ambientales y Biológicas.
4. Frank Berninger. Profesor Departamento de Ciencias Ambientales y Biológicas. Universidad del Este de Finlandia (UEF).
5. John Alexander Pulgarín Díaz. Investigador Doctoral. Departamento de Ciencias Forestales. Universidad del Este de Finlandia (UEF).
5. Arley Fernando Calle Tobón. Estudiante de doctorado (c). Investigador Asociado Grupo Entomología Médica. Facultad de Medicina. Universidad de Antioquia

### **Asesor:**

1. Esteban Silva. PhD. Coordinador Programa Astronomía. Universidad de Antioquia. Investigador Principal Antioquia mira su cielo

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El dengue es la enfermedad viral transmitida por mosquitos de mayor relevancia en salud pública a nivel global (WHO, 2015). Cada año se reportan aproximadamente 390 millones de casos, de los cuales alrededor de 96 millones desarrollan algún tipo de síntoma, pero cerca del 50% de la población mundial está en riesgo de contraer la enfermedad (Bhatt *et al.*, 2013).

Esta enfermedad es ocasionada por alguno de los cuatro serotipos del virus Dengue (DENV 1-4), los cuales son transmitidos por la picadura de mosquitos hembras del género *Aedes*, principalmente *Ae. aegypti* y *Ae. albopictus* (WHO, 2009). Estos vectores se encuentran bien adaptados a las condiciones urbanas, por lo que el virus se distribuye fácilmente entre ciudades. Además, las

condiciones climáticas locales juegan un papel crucial en la fisiología del vector, lo que afecta la epidemiología de la enfermedad (Stolerman *et al.*, 2019).

Particularmente en Colombia, el dengue presenta un comportamiento endemo-epidémico, con períodos de mayor número de casos cada tres a cinco años (INS, 2021). Es posible que esta mayor transmisión sea debida a cambios en las condiciones climáticas, las cuales podrían afectar la dinámica de población del vector en aspectos como densidad, esperanza de vida, tasa de sobrevivencia, frecuencia de picadura, ciclo de vida y período de incubación extrínseca, entre otros.

Además de la variación temporal, la transmisión de dengue en el país también presenta variabilidad geográfica. En especial, las características climáticas, socioeconómicas y culturales del Bajo Cauca Antioqueño (BCA) hacen de esta región una de las zonas con más alta transmisión de dengue en el departamento y el país (INS, 2021). Sin embargo, a pesar de esta relevancia epidemiológica, no se dispone en el BCA de un sistema que apoye de forma oportuna la toma de decisiones, y que conlleve a impactar la magnitud de las epidemias de dengue que frecuentemente se han presentado en la región.

Por lo anterior, y considerando que para prevenir el dengue no se dispone en el país de una vacuna que permita mitigar las altas incidencias de la enfermedad, sería apropiado disponer de un Sistema de Alerta Temprano (SAT) para la vigilancia, prevención y control de dengue en el BCA. Un sistema como estos podría ser de gran utilidad para las autoridades de salud, permitiéndoles implementar con suficiente antelación, medidas encaminadas a la promoción de la salud y prevención de la enfermedad.

## **MARCO TEÓRICO**

### **Dengue, principal enfermedad viral de transmisión vectorial**

El dengue es una enfermedad febril ocasionada por el virus Dengue, del cual se reconocen cuatro serotipos de importancia en salud pública (DENV1-4). Es transmitido por la picadura de mosquitos hembra del género *Aedes*, siendo *Ae. aegypti* y *Ae. albopictus* los vectores más reconocidos a nivel mundial (WHO, 2009).

Esta enfermedad arboviral es la más relevante y frecuente en el mundo. Se estima que el 50% de la población mundial vive en zonas con riesgo de transmisión y aproximadamente se presentan 390 millones de infecciones al año, de las cuales se reportan 96 millones de casos sintomáticos, y 20.000 muertes aproximadamente. Además, de los 30 países con mayor incidencia de la enfermedad a nivel mundial, 18 (60%) se encuentran en la región de las Américas, y particularmente en países como Brasil, México, Colombia, Ecuador, Venezuela y Paraguay, se registra históricamente, más del 80% de los casos de dengue en el continente (WHO, 2020).

En Colombia, al igual que en otros países, la transmisión de dengue es fluctuante, y transcurre entre períodos endémicos y epidémicos (Padilla *et al*, 2012). Sin embargo, la tendencia observada en las últimas décadas, no solo en Colombia, sino también a nivel mundial, ha sido un incremento paulatino y sostenido en el número de casos. Es posible que dicho aumento en la transmisión sea producto de la globalización, urbanización no planificada y relajamiento gubernamental en las

estrategias de prevención y control (Bhatt *et al.*, 2013). Sin embargo, también se ha indicado que el calentamiento global, y fenómenos climáticos como El Niño, contribuyen significativamente a que las epidemias sean cada vez más frecuentes y severas. Particularmente en Colombia, varios investigadores han indicado que durante la ocurrencia de el Fenómeno El Niño, aumenta la transmisión de dengue en el país (Poveda *et al.*, 2000; Rúa-Uribe *et al.*, 2012. Acosta, 2015; Castrillón *et al.*, 2015; Muñoz *et al.*, 2021).

Del total de casos de dengue en Colombia, tradicionalmente la mayoría de los reportes se realizan en los departamentos de Antioquia, Norte de Santander, Valle del Cauca, Tolima y Huila. Y en particular para Antioquia, en municipios como Medellín, y otros de las zonas de Urabá (Turbo, Apartadó y Carepa) y del BCA (Caucasia y Nechí), se concentra el mayor número de casos de la enfermedad (INS, 2021).

### **Elementos del clima y transmisión de dengue**

La dinámica de población de *Ae. aegypti* y la transmisión endemo-epidémica de dengue son influenciados por una compleja interrelación de diversos factores a diferentes escalas temporales y espaciales, tales como la circulación simultánea de los diferentes serotipos (Raghwan *et al.*, 2011), el movimiento de las personas infectadas y susceptibles dentro de la ciudad (Adams *et al.*, 2009), los medios de transporte (Shragai *et al.*, 2022) y el tamaño de la población del vector, entre otros. Sin embargo, se ha indicado ampliamente que al ser el dengue una enfermedad transmitida por vectores, es también en extremo sensible a la variabilidad en las condiciones climáticas (Morin *et al.*, 2013). Cambios en la temperatura ambiental, precipitación y humedad relativa, entre otros elementos del clima, afectan la fisiología del vector (ciclo de vida, frecuencia de picadura, esperanza de vida, etc.) y el período de incubación extrínseca del virus, lo que conlleva a cambios en la dinámica de transmisión de la enfermedad (Watts *et al.*, 1987; Naish *et al.*, 2014; Yang *et al.*, 2009).

Con relación a la temperatura ambiental, es una de las variables climáticas más estudiadas en relación a la transmisión de dengue. Afecta no solo la duración del ciclo de vida del vector, sino también la tasa de sobrevivencia y el período de incubación extrínseca (Christophers, 1960; Chan y Johansson, 2012; Junxiong *et al.*, 2015), por lo que algunos estudios han indicado que la temperatura óptima para el desarrollo del vector fluctúa entre 20 y 30°C (Tun-Lin *et al.*, 2000; Mohammed *et al.*, 2011).

En Colombia, Peña *et al.* (2016; 2017) observaron un efecto diferencial en la temperatura sobre la transmisión de dengue, en donde incrementos en la temperatura ambiental de ciudades con una elevada temperatura promedio, mostraron un efecto negativo en el número de casos de dengue, diferente a ciudades con una temperatura ambiental menor. Además, recientemente se ha observado que las fluctuaciones en la temperatura ambiental diaria afectan la proporción de mosquitos infectados. Una amplia fluctuación en la temperatura se correlacionó con una baja tasa de infección, contrario cuando las fluctuaciones en la temperatura fueron pequeñas (Lambrechts *et al.*, 2011; Carrington *et al.*, 2013a; 2013b).

En cuanto a la precipitación, es posible que la asociación con la incidencia de dengue esté relacionada con el efecto que tiene la lluvia sobre los hábitats de cría del vector. En este sentido, previamente Li *et al.* (1985) observaron una correlación entre el incremento de la precipitación y

el aumento en el número de casos de dengue, con un rezago de dos a tres meses, y consideraron que tal asociación fue debida al efecto de la precipitación sobre la población del vector. Similarmente, Rahman *et al.* (2020), en un estudio realizado en Dhaka (Bangladesh), detectaron que el número de días con lluvia por mes se asoció de forma significativa con la incidencia de dengue del mes siguiente. Igual asociación fue observada por Monintja y colaboradores (2022), pero en la ciudad de Manado (Indonesia).

En Colombia, Díaz-Quijano *et al.* (2008) observaron que la consulta por síndromes febriles agudos (compatibles con dengue) en dos instituciones de salud de Bucaramanga, se asoció con la precipitación promedio registrada cinco semanas antes, por lo que indicaron que un promedio del régimen de lluvia cinco semanas consecutivas sería un buen predictor de la consulta por dengue, cuatro semanas después.

También en Colombia, pero en Medellín, Rúa-Urbe *et al.* (2013), empleando un análisis de series temporales, observaron una asociación estadísticamente significativa entre la incidencia del dengue y la precipitación local, pero con un rezago de 20 semanas, con lo cual, mediante el programa *Expert Modeler* de SPSS, fue posible construir un modelo para entender la relación entre la viabilidad climática y la dinámica de transmisión de dengue en la ciudad.

A pesar de las anteriores asociaciones observadas entre la precipitación y la transmisión de dengue, existe cierta controversia al respecto. Una disminución en el régimen de lluvias podría causar que grandes cuerpos de agua se sequen, generando pequeños pozos aptos para la cría de mosquitos (Gubler *et al.*, 2001). Mientras que un incremento en la precipitación puede conllevar a la formación de nuevos hábitats de cría del vector en zonas urbanas, como el llenado de llantas con agua lluvia (Shaman y Day, 2007). El presente estudio permitirá determinar con precisión el efecto de la precipitación en la densidad del vector y la transmisión de dengue en los municipios del BCA.

Existen otros elementos del clima como humedad relativa y velocidad del viento que también han sido asociados con la incidencia de dengue, pero su papel no ha sido lo suficientemente demostrado a diferencia de la temperatura ambiental y la precipitación. Sin embargo, estudios recientes como los de Gui *et al.*, (2021), Singh *et al.*, (2022) y Islam *et al.*, (2023), indican que dichas variables climáticas juegan un importante papel en la dinámica de transmisión de dengue.

### ***Machine Learning y SAT en Dengue***

Se han realizado múltiples esfuerzos a nivel mundial con el objetivo de desarrollar modelos estadísticos que permitan comprender y predecir las altas incidencias de dengue en países endémicos. Por ejemplo, en Singapur, Earnest *et al.*, (2012) compararon los modelos ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average, por su sigla en inglés) y Knorr-Held de dos componentes, y observaron que el desempeño de ambos modelos fue similar, pero ARIMA requiere de parámetros a priori menos específicos y menor tiempo para ejecutar el análisis.

De forma similar, pero en Brasil, Lima y Laporta (2020) evaluaron varios modelos estadísticos (algunos determinísticos y otros estocásticos) con el fin de predecir el comportamiento periódico de los casos de dengue en diversos escenarios temporales (16, 6 y 3 meses), y observaron que los modelos determinísticos (ARIMA, ETS, BATS, TBATS y STLM) son mejores para predecir el

comportamiento de la enfermedad en el escenario de 12 meses de antelación, mientras que los estocásticos (NNETAR, StructTS, ELM y MLP) lo hicieron en una ventana temporal de tres meses.

Para Colombia también se han realizado varios estudios que evalúan la utilidad de los modelos estadísticos en el entendimiento de la dinámica de transmisión de dengue en el país. Por ejemplo, López-Montenegro *et al.*, (2019) emplearon la regresión ARIMA para predecir el número esperado de casos de dengue entre 2018 y 2022, empleando la información epidemiológica del 2009 al 2017. Y previamente Rúa-Urbe *et al.* (2013), también empleando a ARIMA, indicaron que los incrementos en el régimen de lluvias se relacionan con las altas incidencias de dengue en Medellín, y pueden predecirse con hasta 20 semanas de antelación.

Trascendiendo los análisis estadísticos tradicionales, en la actualidad, los adelantos en la inteligencia artificial y el desarrollo de algoritmos empleados en *Machine Learning* (ML), permiten analizar de forma simultánea, grandes cantidades de datos e identificar patrones ocultos que en principio no son evidentes para el ser humano mediante modelos estadísticos convencionales. Adicionalmente, con el empleo de algoritmos de ML es posible el manejo de anomalías en la serie de datos tales como *outliers*. multicolinealidad entre covariables y no linealidad. Es por ello, que ML se ha convertido en una herramienta de gran utilidad para predecir, con mayor precisión, la dinámica espacio/temporal de la transmisión de dengue (Carvajal *et al.*, 2018).

Con base en lo anterior, Nordin *et al.*, (2019) emplearon un algoritmo específico de ML conocido como Support Vector Machines (SVM) para predecir epidemias de dengue en Kelantan, Malaysia, y observaron que cuando se normalizan los datos empleando ciertas funciones de Kernel, el poder predictor de SVM mejora significativamente. Es importante considerar en este estudio que el número de casos de dengue que empleó para la predicción fue muy bajo.

En Brasil, Stolerma *et al.*, (2019) también emplearon SVM para identificar señales climáticas (dadas por la viabilidad en la temperatura ambiental y la precipitación) que se relacionaran con períodos epidémicos y no epidémicos de dengue en siete de las más importantes ciudades capitales del país. Los resultados indicaron que cada ciudad tiene un propio patrón climático para relacionarse con la transmisión de dengue, pero en la mayoría de los casos, los períodos invernales que precedieron un año a las epidemias de dengue, mostraron una fuerte señal predictora.

Más recientemente, y en Costa Rica, Barboza *et al.*, (2023) también emplearon ML para predecir el riesgo de transmisión de dengue con base en diferentes variables climáticas relacionadas con la eco-epidemiología de la enfermedad, obteniendo resultados muy satisfactorios. Sin embargo, los investigadores optaron por algoritmos diferentes a SVM, y entre ellos eligieron a Random Forest (RF) debido a que este modelo ha sido ampliamente usado para resolver problemas relacionados con clasificación y regresión cuando se requiere identificar algunas variables predictoras en grandes bases de datos con interacciones complejas.

A pesar de los importantes y útiles resultados presentados en los anteriores estudios, los modelos de predicción de dengue dependen de la eco-epidemiología de cada región evaluada, por lo que los resultados no pueden ser extrapolados a otras ciudades, lo cual conlleva a que sea necesario el desarrollo de modelos predictivos a pequeñas escalas geográficas debido a que las variables predictoras son propias de cada región.

## **JUSTIFICACIÓN DEL DESARROLLO DEL PROYECTO EN EL TERRITORIO PROPUESTO**

De acuerdo con los reportes de la Secretaría de Salud municipal y del INS, Caucaasia es uno de los municipios de Antioquia con mayor transmisión de dengue, lo cual podría ser debido a las condiciones socio-culturales, geográficas y climáticas del municipio, que hacen que la enfermedad presente un comportamiento endémico con epidemias periódicas, cada vez más graves.

Es justamente por motivos como el anterior que en la Agenda de Investigación, Creación e Innovación de la región BCA, se incluyó un Nodo relacionado con Salud y Vida (Nodo Estratégico N° 4) indicando que “se requiere la innovación tecnológica y científica para la defensa de la vida...”. Es por ello que un SAT en dengue inmerso en el Programa N° 3 (Vigilancia Epidemiológica) de dicho Nodo, podría ayudar a prevenir las epidemias que frecuentemente se presentan en la Región.

De forma similar, en la Agenda Antioquia 2040, se incluyó el eje Vida Saludable en el pilar Equidad, puntualizando que se debe hacer un importante esfuerzo en el control de enfermedades relacionadas con el ambiente y transmisibles, entre otras. En este sentido, consideramos que la propuesta de investigación que se presenta, está también alineada con la Agenda del Departamento, ya que el desarrollo de un SAT ayudaría a impactar la morbilidad por dengue (enfermedad relacionada con el ambiente y transmisible) en una de las regiones de Antioquia con mayor incidencia de la enfermedad.

Adicionalmente, en la presente propuesta se considera involucrar a madres que hacen parte de la Asociación ASUPASO para que luego de ser capacitadas, se empoderen de la vigilancia entomológica mediante ovitrampas e índices aélicos, por lo que se estaría en concordancia con lo que indica la Agenda en el Programa N° 3 del Nodo Salud y Vida: “La cooperación entre los actores locales, nacionales e internacionales, la construcción de una cultura de empoderamiento de las comunidades para autogestionar una vida saludable y promover el bienestar para todos son acciones que pueden potenciar la calidad de los servicios del sector salud y su infraestructura, garantizando la protección de las personas mediante prácticas innovadoras y sostenibles”.

Con relación a ASUPASO, es una asociación sin ánimo de lucro, con domicilio en Caucaasia y registrada en la Cámara de Comercio con el NIT: 901507909-5, que busca favorecer la formación integral de madres, padres y cuidadores de infantes, por medio de talleres y conferencias.

Por otro lado, en cuanto al desarrollo de un SAT para dengue, es importante tener en cuenta que es en esencia una tarea compleja debido a los múltiples elementos que influyen en la triada epidemiológica de transmisión, entre ellos los factores relacionados con el individuo (condiciones socio-económicas, culturales, etc.), el patógeno (serotipo, virulencia, etc.) y el vector (tasa de desarrollo, frecuencia de picadura, longevidad y mortalidad, etc.). Sin embargo, muchos de estos elementos están condicionados por la variabilidad en las condiciones climáticas, por lo que identificar los elementos del clima que se relacionan con la transmisión de dengue, sería de gran ayuda en el desarrollo de modelos predictores que sean empleados por las autoridades de salud en la implementación de medidas oportunas de promoción y prevención, minimizando el impacto social y económico de la enfermedad.

Con base en lo anterior, consideramos que la presente propuesta también se encuentra enmarcada en el Nodo Estratégico N° 3 Ciencia y Educación, y en particular en el Programa 3. Cultura de la apropiación social del conocimiento, y con el eje Educación Inclusiva y con calidad de la Agenda Antioquia 2040, toda vez que el desarrollo de un SAT en dengue estará en sintonía con lo que indica en ambas agendas. En particular para la BCA: “La educación en el Bajo Cauca requiere de la generación de nuevos saberes y la formación del talento humano en diferentes áreas del conocimiento que aporten a la solución de las problemáticas relacionadas con las personas, el planeta, la prosperidad y la paz”.

Además, se pretende que el presente proyecto esté abierto a los estudiantes de los diferentes semilleros de investigación de la Seccional BCA, para que se formen en el manejo de bases de datos, análisis estadísticos y aspectos relacionados con la vigilancia, prevención y control de dengue. Sin embargo, en específico se propone vincular oficialmente a dos personas con el perfil de estudiante: uno que este cursando los últimos semestres de pregrado y otro que ya se haya graduado (idealmente egresado de la Seccional BCA), para que realicen sus respectivos trabajos de grado (pregrado y maestría, respectivamente). Para lograr lo anterior, los estudiantes contarán con el apoyo de profesores-tutores de la Seccional, del nivel central y de la Universidad del Este de Finlandia vinculados al proyecto de investigación. Se propone que al menos uno de los estudiantes a vincular oficialmente al proyecto, haga parte de las minorías étnicas con el fin de apoyar la equidad en la educación inclusiva (Agenda Antioquia 2040).

Consideramos que la inclusión de estudiantes al presente proyecto de investigación es coherente con lo enunciado en ambas Agendas en cuanto a “...El programa de cultura de la apropiación social del conocimiento busca que las comunidades educativas accedan a las herramientas, las estrategias y las infraestructuras físicas y tecnológicas que faciliten la dinamización de la información, la apropiación de saberes y conocimientos...”. Con la vinculación de un estudiante para que realice su maestría y que se haya graduado de unos de los programas de la Seccional BCA, se espera que esta persona, una vez termine sus estudios de posgrado, retorne a la Región para que transfiera el conocimiento adquirido, potencie la apropiación social de la información obtenida y apoye a las autoridades locales de salud en la toma de decisiones para la vigilancia, prevención y control de diferentes enfermedades mediante SAT's.

Por último en esta justificación, es importante mencionar que la presente propuesta, además de estar alineada con varios Nodos Estratégicos y Programas de la Agenda de Investigación de la Región del BCA, y diferentes ejes de la Agenda Antioquia 2040, será desarrollada por una triple hélice social: Academia (U de A y UEF) – Actores sociales (madres de la Asociación ASUPASO) - Estado (Secretarías de Salud), con el fin de articular esfuerzos y valorar la transdisciplinariedad en pro de buscar una solución conjunta a un problema en común, como es las altas incidencias de dengue en la Región del BCA, mediante el desarrollo de un SAT. Anexo 1 se presentan las cartas de intención en hacer parte de la presente propuesta de investigación: 1. ASUPASO, 2. Secretaría de Salud de Cauca y 3. Profesor Frank Berninger de la UEF.

## **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

Considerando que el empleo de análisis estadísticos como ARIMA ha demostrado un excelente desempeño en la identificación de variables climáticas y entomológicas relacionadas con el incremento en el número de casos de dengue, y que algunos algoritmos de ML, como SVM y RF,

permiten analizar grandes y complejos volúmenes de información, identificando *outliers* y otros “artefactos” en las series de datos, en el presente estudio se pretende utilizar estas tres estrategias de análisis (ARIMA, SVM y RF) para identificar variables que se relacionen con períodos epidémicos y no epidémicos de dengue en los municipios del BCA, y que puedan ser de utilidad para el desarrollo de un SAT a diferentes ventanas de tiempo (1, 3, 6 y 13 períodos epidemiológicos).

De acuerdo con lo anterior, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál de las siguientes estrategias metodológicas (ARIMA, SVM y RF) presenta un mayor poder de predicción de períodos epidémicos y no epidémicos de dengue en los municipios del BCA a diferentes ventanas de tiempo (1, 3, 6 y 13 períodos epidemiológicos), empleando como base el análisis de variables climáticas y entomológicas de la Región?

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Identificar variables climáticas y entomológicas que se relacionen con períodos epidémicos y no epidémicos de dengue en los municipios del BCA y que sean de utilidad para el desarrollo de un SAT con diferentes ventanas de tiempo (1, 3, 6 y 13 períodos epidemiológicos), comparando tres diferentes estrategias metodológicas (ARIMA SVM y RF).

### **Objetivos Específicos**

Explorar las relaciones entre diferentes variables climáticas (temperatura ambiental, precipitación, humedad relativa, etc.) y períodos epidémicos y no epidémicos de dengue en los municipios del BCA mediante ARIMA y dos algoritmos de ML (SVM y RF).

Determinar la relación entre la densidad del vector (número de huevos/ovitrampa) y el comportamiento temporal de la incidencia de dengue en barrios de Caucaasia con alta y baja incidencia de dengue.

Estimar el poder predictor de ARIMA y de dos algoritmos de ML (SVM y RF) en la transmisión de dengue en los municipios del BCA para el desarrollo de un SAT a diferentes ventanas de tiempo (1, 3, 6 y 13 períodos epidemiológicos).

## **METODOLOGÍA**

### **Área de estudio**

El BCA se ubica en la región nor-oriental del departamento de Antioquia, y está conformada por seis municipios: Caucaasia, El Bagre, Cáceres, Nechí, Tarazá y Zaragoza. En esta región habitan algo más de 260 mil personas en 8.485 km<sup>2</sup> que componen la zona. En Caucaasia se ubica la Seccional Bajo Cauca de la U. de A., y allí se instaló en el año 2022 una microestación meteorológica en el marco del proyecto Antioquia mira su cielo (financiado por el Comité para el Desarrollo de la Investigación –CODI, de la U. de A.), y de la cual se obtendrá parte de la información de las variables climáticas. Este municipio tiene una población aproximada de 125 mil habitantes, se encuentra a una altitud promedio de 50 msnm y se ubica a 7°59'11.5" N 75°11.609' O. A Caucaasia se le considera la capital del Bajo Cauca por ser el principal centro urbano y comercial de la región. Tanto las condiciones climáticas, geográficas y culturales de los diferentes



municipios del BCA favorecen la presencia de los vectores y de la transmisión de dengue, haciendo de la Región una zona endemo-epidémica para la presencia de la enfermedad.

### **Fuente de la Información**

**Información Epidemiológica:** Se dispondrá de información del número de casos de dengue notificados y de las incidencias de cada municipio del BCA. La información se tendrá a escala semanal y por período epidemiológico (cuatro semanas epidemiológicas) de los últimos 10 años, o con un mayor horizonte de tiempo si es posible, y serán organizados por municipio, barrio, género y grupo etario. La información será suministrada por las secretarías locales de salud, y en particular, la secretaría de salud de Cauca haría parte del proyecto como coinvestigador. Además, para calcular las incidencias se dispondrá de información del último censo del DANE y de los registros del Departamento de Planeación de cada municipio, y para la estimación de los períodos epidémicos y no epidémicos en cada municipio, se tendrá en cuenta la definición operacional propuesta por la WHO (2016).

**Información Climática:** Se empleará la información de la microestación climática ubicada en la Seccional Bajo Cauca de la U. de A., la cual registra cada minuto valores de temperatura (máxima, media, mínima, etc.), humedad relativa, precipitación (valor mensual, días de precipitación/mes, etc.), entre otras variables relacionadas con la eco-epidemiología de la enfermedad. Además, para la realización de los análisis también se podrá emplear información meteorológica satelital y de estaciones climáticas de los municipios del BCA suministrada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

**Información Entomológica:** Con el propósito de estimar la densidad vectorial, se seleccionará como modelo a dos barrios de Cauca, caracterizados uno por ser de alta transmisión de dengue y otro por baja. En cada uno de los barrios se distribuirán ovitrampas a manera de cuadrícula cada 50 metros, las cuales serán revisadas cada semana. Para ello, se llevarán las tablillas al laboratorio de ciencias de la Seccional Bajo Cauca, en donde se contarán los huevos y pondrán a eclosionar. Posteriormente se hará mantenimiento de las colonias y se obtendrán los mosquitos adultos, los cuales serán identificados taxonómicamente y se calculará la razón de sexo para *Ae. aegypti* y *Ae. albopictus*.

Adicionalmente, la primera semana de cada período epidemiológico y en cada barrio incluido en el estudio, se realizará un levantamiento de índices entomológicos para estimar el índice de Viviendas, de Depósitos y de Breteau, siguiendo los lineamientos de la OPS (2019).

Tanto la revisión semanal de las ovitrampas como los levantamientos de índices entomológicos serán realizados por madres que hacen parte de la asociación ASUPASO, previa capacitación. Mientras que el mantenimiento de colonias de mosquitos y otros aspectos relacionados con la investigación, será efectuado por estudiantes de biología de la Seccional, también previa capacitación.

### **Análisis de la información**

Mediante ARIMA y otros análisis de asociación incorporados en los algoritmos de SVM y RF, se identificarán las principales variables climáticas y entomológicas que permiten evidenciar períodos epidémicos y no epidémicos en cada municipio del BCA. Las variables que resulten significativas serán usadas como parámetros de entrada para la generación de modelos de predicción a diferentes

ventanas de tiempo (1, 3, 6 y 13 períodos epidemiológicos). En particular se evaluarán tres estrategias metodológicas (ARIMA, SVM y RF) con el fin de seleccionar la de mayor porcentaje de exactitud en la predicción de brotes en cada municipio.

En cuanto a los dos algoritmos de ML a utilizar en el presente estudio, es importante indicar que ambos se han empleado ampliamente en estudios como el que se propone, demostrando un excelente desempeño en el análisis de series temporales (Thissen *et al.*, 2003) y en la capacidad de identificar las mejores variables predictoras (Kapwata y Gebreslasie, 2016). En particular, el algoritmo de SVM distingue entre dos opciones (que para el presente estudio sería: períodos epidémicos y no epidémicos), y puede implementarse muy bien usando diferentes funciones de Kernel (radial, lineal, polinomial, etc.) (Smits y Jordaan, 2002). Sin embargo, Sachindra *et al.*, (2018) y Smits y Jordaan (2002) observaron que SVM presentó un mejor desempeño cuando se ajustó a la función polinomial de kernel, por lo que en el presente estudio se realizará de igual manera.

Para comparar el desempeño de cada modelo predictor candidato se empleará el Error Cuadrático Medio (RMSE, por sus siglas en inglés), tal como ha sido propuesto por Hyndman y Koehler (2006). Además, se tendrá en cuenta la Sensibilidad y Precisión de cada modelo. El primer término se refiere al porcentaje (o proporción) de epidemias de dengue correctamente clasificadas por el modelo, mientras que Precisión hace referencia al porcentaje (o proporción) de epidemias de dengue correctamente clasificadas como epidemias. Estos dos elementos hacen parte de la efectividad de un modelo Salim *et al.*, (2021).

Es importante mencionar que los datos climáticos y entomológicos serán organizados a escala semanal y por período epidemiológico con el fin de poder relacionarlos con la información epidemiológica a una misma escala temporal. Además, el 70% de la serie temporal de la información será empleada para entrenar el sistema y el 30% restante para evaluar el poder predictivo de cada modelo candidato a SAT, lo cual, de acuerdo con Salim *et al.*, (2021), es el procedimiento estándar en el desarrollo de modelos predictivos. Previamente, la base de datos será analizada para detectar datos faltantes, y corregidos en lo posible por extrapolación.

Para el análisis estadístico se usarán los softwares R y Rstudio de acceso libre y el software SPSS bajo licencia de la Universidad de Antioquia.

## **RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTO**

**En lo científico:** Mediante la comprensión de la relación epidemiológica dengue/clima/vectores, y con apoyo del Estado (Secretarías de Salud), la Comunidad (madres de la Asociación ASUPASO) y la Academia (U. de A y UEF), se espera desarrollar un Sistema de Alerta Temprana en dengue (SAT\_dengue) para los municipios de la región del BCA. Esta herramienta será de gran utilidad para las autoridades de salud encargadas de vigilar, prevenir y controlar la enfermedad, y con la cual se podrá mejorar la calidad de vida de las personas de la Región.

Por otra parte, con el desarrollo del presente estudio, se espera hacer transferencia de conocimiento y tecnología a la Seccional del Bajo Cauca en términos de manejo de bases de datos y análisis mediante ML, además de algunos aspectos entomológicos como el mantenimiento de colonias de mosquitos de importancia en salud pública e identificación taxonómica, entre otros aspectos.

Por último, la interacción científica que se generará entre los investigadores que realizarán el presente estudio, podrá contribuir a consolidar la capacidad investigativa en profesores vinculados con la Seccional del Bajo Cauca, y propender por futuros trabajos colaborativos en investigaciones financiadas con fondos nacionales y/o internacionales.

**En lo académico:** Para el desarrollo de la presente investigación, se espera que los estudiantes de semilleros de investigación de la Seccional hagan parte del proyecto de investigación, y en particular se propone vincular a dos estudiantes (uno de pregrado y otro de maestría) para que realicen sus trabajos de grado. A ellos, mediante el acompañamiento de los investigadores, se les brindará las herramientas necesarias para que lleven a feliz término su investigación, desarrollando en ellos el pensamiento crítico y las habilidades para realizar investigación científica de impacto local, nacional e internacional. Es importante indicar que con el propósito de apoyar la equidad en la educación inclusiva (Agenda Antioquia 2040), se propone que al menos uno de los estudiantes a vincular oficialmente al proyecto haga parte de las minorías étnicas.

**En lo social y salud:** Se propone vincular al proyecto de investigación a madres que hacen parte de la asociación ASUPASO para que se capaciten en vigilancia entomológica (ovitrapas e índices aélicos) y en aspectos relacionados con la promoción y prevención de dengue. En particular, se espera que esta última información sea llevada a sus hogares para eliminar factores de riesgo en dengue y sea transmitida también a sus vecinos.

Además, como uno de los propósitos de ASUPASO es sumar esfuerzos para la participación de niños, niñas y adolescentes en la sociedad, y propender por la formación integral de madres, padres y cuidadores de infantes, por medio de talleres y conferencias, se propone realizar campañas informativas dirigidas a todos los miembros de la asociación.

## CONSIDERACIONES ÉTICAS

La presente investigación se considera de riesgo mínimo, tanto para los investigadores como para la población participante, ya que no se realizarán investigaciones con humanos. Los riesgos podrían asociarse con la incomodidad que los residentes de las viviendas pudieran experimentar al momento de realizar el levantamiento de índices entomológico. Sin embargo, esta actividad es rutinaria en procesos de vigilancia en salud pública, y en nuestro caso solo se requiere que el jefe (a) de hogar autorice el ingreso del investigador. Y para el caso de las ovitrampas, al jefe (a) de hogar en donde se instalarán las trampas, se le presentará un consentimiento informado, el cual, luego explicar el objetivo del estudio y los beneficios, entre otros aspectos, se le solicitará que lo firme libre y voluntariamente si está de acuerdo en participar de la investigación. Sin embargo, en cualquier momento las personas podrán retirarse del estudio, sin que ello conlleve a ningún tipo de penalidad o discriminación.

Para el caso del estudio entomológico, en todo momento se respetará y garantizará el derecho de las personas, a la voluntariedad, intimidad, confidencialidad, integridad y dignidad de los participantes, los cuales estarán sujetos a los principios de la Declaración de Helsinki y los principios de justicia, beneficencia, no maleficencia y confidencialidad, salvaguardando el anonimato de los participantes, y garantizando el uso adecuado de la información que se obtenga en las viviendas visitadas. Para ello, la información obtenida será protegida mediante el anonimato

y codificación de cada vivienda, y el equipo investigador firmará un acuerdo de confidencialidad con los datos recogidos de la investigación.

La custodia y manejo de los datos será acogida por el investigador principal de manera física y digital en instalaciones de la Seccional BCA. El tiempo de resguardo será por tres años para los documentos en físico, y cinco años para los digitales. La posterior eliminación de los documentos se realizará a través de la incineración.

A pesar de que el estudio no generará ningún beneficio directo a los participantes, exceptuando la información sobre promoción y prevención de dengue que se imparta durante las visitas, se espera que los datos entomológicos sean veraces, auténticos no tendenciosos, para que puedan ser empleados en el desarrollo del SAT en dengue.

Finalmente, en cuanto a la información de los casos de dengue, estos serán analizados empleando una base de datos previamente anonimizada, mediante la eliminación de información sensible como nombre y documento de identidad, y a todos los casos se le asignará su respectivo código.

## **FUNCIONES DE LOS ESTUDIANTES**

### **Estudiante de Pregrado**

- Apoyar el proceso de depuración y análisis de la información epidemiológica, climática y entomológica.
- Apoyar el proceso de capacitación de madres de la asociación ASUPASO en aspectos relacionados con ovitrampas y levantamiento de índices entomológicos
- Colaborar en la instalación de las ovitrampas
- Establecimiento y mantenimiento de colonias de *Aedes* a partir de ovitrampas e identificación taxonómica de los mosquitos emergidos
- Apoyar en la elaboración de informes de resultados.
- Elaborar una presentación para la divulgación de resultados en evento científico nacional.
- Apoyar la elaboración de documentos científicos para ser socializados con la comunidad local, nacional e internacional.

### **Estudiante de Posgrado (maestría)**

Además de las funciones indicadas para el estudiante de pregrado, el estudiante de maestría tendrá las siguientes funciones:

- Análisis mensual de la información obtenida

- Elaboración de informes periódicos (bimensual)
- Liderar la escritura de un artículo científico para revista indexada

## REFERENCIAS

Acosta Cardona, L. (2015). *Evaluación de factores ambientales y climáticos como elementos de riesgo asociados con la transmisión del dengue y la Leishmaniasis a diferentes escalas temporales y espaciales en Colombia*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55890>

Adams B, Kapan DD (2009) Man Bites Mosquito: Understanding the Contribution of Human Movement to Vector-Borne Disease Dynamics. *PLoS ONE* 4(8): e6763. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0006763>

Barboza LA, Chou-Chen S-W, Vásquez P, García YE, Calvo JG, Hidalgo HG, et al. (2023) Assessing dengue fever risk in Costa Rica by using climate variables and machine learning techniques. *PLoS Negl Trop Dis* 17(1): e0011047. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0011047>

Bhatt, S., Gething, P. W., Brady, O. J., Messina, J. P., Farlow, A. W., Moyes, C. L., Drake, J. M., Brownstein, J. S., Hoen, A. G., Sankoh, O., Myers, M. F., George, D. B., Jaenisch, T., Wint, G. R., Simmons, C. P., Scott, T. W., Farrar, J. J., & Hay, S. I. (2013). The global distribution and burden of dengue. *Nature*, 496(7446), 504–507. <https://doi.org/10.1038/nature12060>

Carrington LB, Armijos MV, Lambrechts L, Barker CM, Scott TW (2013) Effects of Fluctuating Daily Temperatures at Critical Thermal Extremes on *Aedes aegypti* Life-History Traits. *PLoS ONE* 8(3): e58824. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0058824>

Carrington, L. B., Seifert, S. N., Armijos, M. V., Lambrechts, L., & Scott, T. W. (2013). Reduction of *Aedes aegypti* vector competence for dengue virus under large temperature fluctuations. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 88(4), 689–697. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.12-0488>

Carvajal, T.M., Viacrusis, K.M., Hernandez, L.F.T. *et al.* (2018). Machine learning methods reveal the temporal pattern of dengue incidence using meteorological factors in metropolitan Manila, Philippines. *BMC Infect Dis* 18, 183. <https://doi.org/10.1186/s12879-018-3066-0>

Castrillón, J.C., Castaño, J.C., & Urcuqui, S. (2015). Dengue en Colombia: diez años de evolución. *Revista chilena de infectología*, 32(2), 142-149. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182015000300002>

Chan M, Johansson MA (2012) The Incubation Periods of Dengue Viruses. *PLoS ONE* 7(11): e50972. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0050972>

Christophers, S.R. (1960) *Aedes aegypti* (L.), the Yellow Fever Mosquito: Its Life History, Bionomics and Structure. Cambridge University Press, London, 739 p.

Díaz, F., González, A., Gómez, A., Espíndola, R., Martínez, R., & Villar, L. (2008). Pluviosidad como Predictor de Consulta por Síndrome Febril Agudo en un Área Endémica de Dengue. *Revista de Salud Pública*, 10(2), 250-259. ISSN 0124-0064.

Earnest, A., Tan, S. B., Wilder-Smith, A., & Machin, D. (2012). Comparing statistical models to predict dengue fever notifications. *Computational and mathematical methods in medicine*, 2012, 758674. <https://doi.org/10.1155/2012/758674>

Gubler, D. J., Reiter, P., Ebi, K. L., Yap, W., Nasci, R., & Patz, J. A. (2001). Climate variability and change in the United States: potential impacts on vector- and rodent-borne diseases. *Environmental health perspectives*, 109 Suppl 2(Suppl 2), 223–233. <https://doi.org/10.1289/ehp.109-1240669>

Gui, H., Gwee, S., Koh, J., & Pang, J. (2021). Weather Factors Associated with Reduced Risk of Dengue Transmission in an Urbanized Tropical City. *International journal of environmental research and public health*, 19(1), 339. <https://doi.org/10.3390/ijerph19010339>

Hyndman R.J., & Koehler A.B. (2006). Another look at measures of forecast accuracy. *International journal of forecasting*, 22(4):679-688. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2006.03.001>

Islam, M.A., Hasan, M.N., Tiwari, A., Raju, M., Jannat, F., Sangkham, S., Shammash, M.I., Sharma, P., Bhattacharya, P., Kumar, M. (2023). Correlation of Dengue and Meteorological Factors in Bangladesh: A Public Health Concern. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(6):5152. <https://doi.org/10.3390/ijerph20065152>

Junxiong, P., & Yee-Sin, L. (2015). Clustering, climate and dengue transmission. *Expert review of anti-infective therapy*, 13(6), 731–740. <https://doi.org/10.1586/14787210.2015.1028364>

Kapwata, T., & Gebreslasie, M. T. (2016). Random forest variable selection in spatial malaria transmission modelling in Mpumalanga Province, South Africa. *Geospatial health*, 11(3), 434. <https://doi.org/10.4081/gh.2016.434>

Lambrechts, L., Paaijmans, K. P., Fansiri, T., Carrington, L. B., Kramer, L. D., Thomas, M. B., & Scott, T. W. (2011). Impact of daily temperature fluctuations on dengue virus transmission by *Aedes aegypti*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(18), 7460–7465. <https://doi.org/10.1073/pnas.1101377108>

Li, C. F., Lim, T. W., Han, L. L., & Fang, R. (1985). Rainfall, abundance of *Aedes aegypti* and dengue infection in Selangor, Malaysia. *The Southeast Asian journal of tropical medicine and public health*, 16(4), 560–568.

Lima, M. V. M., & Laporta, G. Z. (2020). Evaluation of the Models for Forecasting Dengue in Brazil from 2000 to 2017: An Ecological Time-Series Study. *Insects*, 11(11), 794. <https://doi.org/10.3390/insects11110794>

López-Montenegro, L. E., Pulecio-Montoya, A. M., & Marcillo-Hernández, G. A. (2019). Dengue Cases in Colombia: Mathematical Forecasts for 2018-2022. *MEDICC review*, 21(2-3), 38–45. <https://doi.org/10.37757/MR2019.V21.N2-3.8>

Monintja, T. C. N., Arsin, A. A., Syafar, M., & Amiruddin, R. (2022). Relationship between Rainfall and Rainy Days with Dengue Hemorrhagic Fever Incidence in Manado City, North Sulawesi, Indonesia. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 10(E), 840–843. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2022.8897>

Morin, C. W., Comrie, A. C., & Ernst, K. (2013). Climate and dengue transmission: evidence and implications. *Environmental health perspectives*, 121(11-12), 1264–1272. <https://doi.org/10.1289/ehp.1306556>

Muñoz, E., Poveda, G., Arbeláez, M. P., & Vélez, I. D. (2021). Spatiotemporal dynamics of dengue in Colombia in relation to the combined effects of local climate and ENSO. *Acta tropica*, 224, 106136. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2021.106136>

Naish, S., Dale, P., Mackenzie, J. S., McBride, J., Mengersen, K., & Tong, S. (2014). Climate change and dengue: a critical and systematic review of quantitative modelling approaches. *BMC infectious diseases*, 14, 167. <https://doi.org/10.1186/1471-2334-14-167>

Nordin, N.I., Sobri, N.M., Ismail, N.A., Zulkifli, S.N., Abd Razak, N.F., Mahmud, M. (2019). The Classification Performance using Support Vector Machine for Endemic Dengue Cases. *Journal of Physics: Conference Series*, Volume 1496, *International Conference of Mathematics, Statistics and Computing Technology*. Doi:10.1088/1742-6596/1496/1/012006

OPS (Organización Panamericana de la Salud). (2019). Documento operativo de aplicación del manejo integrado de vectores adaptado al contexto de las Américas. Washington, D.C.

Peña-García, V. H., Triana-Chávez, O., & Arboleda-Sánchez, S. (2017). Estimating Effects of Temperature on Dengue Transmission in Colombian Cities. *Annals of global health*, 83(3-4), 509–518. <https://doi.org/10.1016/j.aogh.2017.10.011>

Peña-García, V. H., Triana-Chávez, O., Mejía-Jaramillo, A. M., Díaz, F. J., Gómez-Palacio, A., & Arboleda-Sánchez, S. (2016). Infection Rates by Dengue Virus in Mosquitoes and the Influence of Temperature May Be Related to Different Endemicity Patterns in Three Colombian Cities. *International journal of environmental research and public health*, 13(5), 734. <https://doi.org/10.3390/ijerph13070734>

Poveda, G., Graham, N.E., Epstein, P.R., Rojas, W., Quiñones, M.L., Vélez, I.D. (2020). Climate and ENSO Variability Associated with Vector-Borne Diseases in Colombia. En H Diaz & V Markgraf (Eds.) *El Niño and the southern oscillation: multiscale variability and global and regional impacts*. (pp. 83–204). New York.

Raghwani, J., Rambaut, A., Holmes, E. C., Hang, V. T., Hien, T. T., Farrar, J., Wills, B., Lennon, N. J., Birren, B. W., Henn, M. R., & Simmons, C. P. (2011). Endemic dengue associated with the co-circulation of multiple viral lineages and localized density-dependent transmission. *PLoS pathogens*, 7(6), e1002064. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1002064>

Rahman, K. M., Sharker, Y., Rumi, R. A., Khan, M. I., Shomik, M. S., Rahman, M. W., Billah, S. M., Rahman, M., Streatfield, P. K., Harley, D., & Luby, S. P. (2020). An Association between Rainy Days with Clinical Dengue Fever in Dhaka, Bangladesh: Findings from a Hospital Based Study. *International journal of environmental research and public health*, 17(24), 9506. <https://doi.org/10.3390/ijerph17249506>

Rúa, G., Calle, D., Rojo, R., Henao, E., Sanabria, W., & Suárez, C. (2012). Influencia del evento climático El Niño sobre la dinámica de transmisión de dengue en Medellín, Antioquia, Colombia. *Iatreia*, 25(4), 314-322.

Rúa-Urbe, G. L., Suárez-Acosta, C., Chauca, J., Ventosilla, P., & Almanza, R. (2013). Modelado del efecto de la variabilidad climática local sobre la transmisión de dengue en Medellín (Colombia) mediante análisis de series temporales. *Biomédica*, 33(Sup1), 142–52. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v33i0.1444>

Sachindra D., Ahmed, K., Rashid, M., Shahid, S., Perera, B. (2018). Statistical downscaling of precipitation using machine learning techniques, *Atmos. Res.* 212, 240–258.

Salim, N. A. M., Wah, Y. B., Reeves, C., Smith, M., Yaacob, W. F. W., Mudin, R. N., Dapari, R., Sapri, N. N. F. F., & Haque, U. (2021). Prediction of dengue outbreak in Selangor Malaysia using machine learning techniques. *Scientific reports*, 11(1), 939. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79193-2>

Shaman, J., & Day, J. F. (2007). Reproductive phase locking of mosquito populations in response to rainfall frequency. *PloS one*, 2(3), e331. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0000331>

Shragai, T., Pérez-Pérez, J., Del Pilar Quimbayo-Forero, M., Rojo, R., Harrington, L. C., & Rúa-Urbe, G. (2022). Distance to public transit predicts spatial distribution of dengue virus incidence in Medellín, Colombia. *Scientific reports*, 12(1), 8333. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12115-6>

Smits, G., & Jordaan, E.M. (2002). Improved SVM regression using mixtures of kernels. *Proceedings of the 2002 International Joint Conference on Neural Networks. IJCNN'02 (Cat. No.02CH37290)*, 3, 2785-2790 vol.3.

Singh, S., Herng, L. C., Sulaiman, L. H., Wong, S. F., Jelip, J., Mokhtar, N., Harpham, Q., Tsarouchi, G., & Gill, B. S. (2022). The Effects of Meteorological Factors on Dengue Cases in Malaysia. *International journal of environmental research and public health*, 19(11), 6449. <https://doi.org/10.3390/ijerph19116449>



Stolerman, L. M., Maia, P. D., & Kutz, J. N. (2019). Forecasting dengue fever in Brazil: An assessment of climate conditions. *PloS one*, *14*(8), e0220106. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220106>

Thissen, U., Van Brakel, R., De Weijer, A., Melssen, W., Buydens, L. (2003). Using support vector machines for time series prediction. *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, *69*(1):35-49. [https://doi.org/10.1016/S0169-7439\(03\)00111-4](https://doi.org/10.1016/S0169-7439(03)00111-4)

Watts, D. M., Burke, D. S., Harrison, B. A., Whitmire, R. E., & Nisalak, A. (1987). Effect of temperature on the vector efficiency of *Aedes aegypti* for dengue 2 virus. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, *36*(1), 143–152. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.1987.36.143>

WHO (World Health Organization) 2009. Dengue Guidelines for diagnosis, treatment, prevention and control. Washington, DC

WHO (World Health Organization). 2015. Global Strategy for dengue prevention and control, 2012–2020. WHO [Internet]. 2015 [citado 8 de julio de 2023]; Disponible en: <http://www.who.int/denguecontrol/9789241504034/en/>

WHO (World Health Organization) 2016. Technical handbook for dengue surveillance, dengue outbreak prediction/detection and outbreak response (“model contingency plan”). WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, 1–92. <http://www.who.int/tdr/news/2016/handbook-dengue-outbreak/en/>. Accessed 18 July 2023.

Yang, H. M., Macoris, M. L., Galvani, K. C., Andrighetti, M. T., & Wanderley, D. M. (2009). Assessing the effects of temperature on the population of *Aedes aegypti*, the vector of dengue. *Epidemiology and infection*, *137*(8), 1188–1202. <https://doi.org/10.1017/S0950268809002040>

## PRESUPUESTO

### Presupuesto Global del Proyecto

RUBROS	FUENTES			TOTAL
	REGIONALIZACION	UEF	UDEA	
Personal	\$ 83.520.000	\$ 31.304.000	\$ 72.768.000	\$ 187.592.000
Equipos, Materiales y Reactivos	\$ 14.600.000		\$ 7.400.000	\$ 22.000.000
Servicios Técnicos	\$ 3.000.000			\$ 3.000.000
Viajes y Trabajo de campo	\$ 11.920.000			\$ 11.920.000
Publicaciones	\$ 1.000.000			\$ 1.000.000
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 114.040.000</b>	<b>\$ 31.304.000</b>	<b>\$ 80.168.000</b>	<b>\$ 225.512.000</b>
Administración	\$ 5.702.000			\$ 5.702.000
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 119.742.000</b>	<b>\$ 31.304.000</b>	<b>\$ 80.168.000</b>	<b>\$ 231.214.000</b>

### Descripción de los Gastos en Personal

NOMBRE DEL INVESTIGADOR	FUNCIÓN EN EL PROYECTO	DEDICACIÓN (horas/semana)	FUENTES			TOTAL
			REGIONALIZACION	UEF	UDEA	
Marco Julio Cañas C.	Investigador Principal	2			\$ 11.904.000	\$ 11.904.000
Guillermo L. Rúa U.	Co Investigador	5			\$ 48.960.000	\$ 48.960.000
Lizeth P. Bedoya A	Co Investigador	2			\$ 11.904.000	\$ 11.904.000
Frank Berninger	Co Investigador	2		\$ 31.304.000		\$ 31.304.000
Juliana Pérez P.	Co Investigador	2				\$ 0
Arley F. Calle T.	Co Investigador	2				\$ 0
John A. Pulgarín D.	Co Investigador	2				\$ 0
NN1 Asociación ASUPASO	Aux de Investigacion	10	\$ 10.440.000			\$ 10.440.000
NN2 Asociación ASUPASO	Aux de Investigacion	10	\$ 10.440.000			\$ 10.440.000
Estudiante NN Pregrado	Aux de Investigacion	10 (por 12 meses)	\$ 6.960.000			\$ 6.960.000
Estudiante NN Maestría	Aux de Investigacion	20 (por 24 meses)	\$ 55.680.000			\$ 55.680.000
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 83.520.000</b>	<b>\$ 31.304.000</b>	<b>\$ 72.768.000</b>	<b>\$ 187.592.000</b>

### Descripción de los Gastos en Equipos, Materiales y Reactivos

EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	COSTO			TOTAL
			REGIONALIZACION	UEF	UDEA (GEM)	
Ovitrapas	200	\$ 3.500	\$ 700.000			\$ 700.000
Redes y jamas entomológicas	6	\$ 150.000	\$ 900.000		\$ 900.000	\$ 1.800.000
Equipo mantenimiento de colonias	NA	\$ 750.000	\$ 750.000		\$ 750.000	\$ 1.500.000
Reactivos mantenimiento de colonias	NA	\$ 750.000	\$ 750.000		\$ 750.000	\$ 1.500.000
Esteromicroscopios*	2	\$ 4.500.000	\$ 4.500.000		\$ 2.500.000	\$ 7.000.000
Computador*	5	\$ 6.500.000	\$ 6.500.000		\$ 2.500.000	\$ 9.000.000
Papelería	NA	\$ 500.000	\$ 500.000			\$ 500.000
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 14.600.000</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 7.400.000</b>	<b>\$ 22.000.000</b>

\* El estereomicroscopio y computador que se adquieran con el dinero de Regionalización se dejarán en la Seccional BCA

## CRONOGRAMA

Actividad	Meses																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Consecución información Epidemiológica y Climática																								
Capacitación Madres ASUPASO Actividades Entomológicas																								
Instalación de Ovitrapas																								
Monitoreo mediante Ovitrapas																								
Levantamiento índices Entomológicos Tradicionales																								
Análisis de la información																								
Identificación de variables climáticas y entomológicas útiles en el desarrollo de un SAT																								
Elaboración de Policy Brief																								
Elaboración de artículo Revista Indexada																								
Capacitación Miembros ASUPASO																								
Socialización de Resultados Comunidad científica, Secretarías de Salud y Comunidad en Gral																								

## COMPROMISOS

**1. Productos de nuevo conocimiento:** Se propone publicar los resultados de la presente investigación en una revista indexada (al menos un artículo)

**2. Producto de formación:** A pesar de que el proyecto estará abierto a los estudiantes de los semilleros de la Seccional BCA, se propone vincular oficialmente a dos estudiantes (uno de pregrado y otro de maestría) de la Seccional del Bajo Cauca para que realicen sus respectivos trabajos de grado.

**3. Productos de apropiación social del conocimiento:** Para el presente estudio se proponen dos productos de apropiación social del conocimiento. El primero corresponderá a la participación social, a través de madres que hacen parte de la Asociación ASUPASO, para que se empoderen de la vigilancia entomológica y transfieran el conocimiento a sus familiares y vecinos. El segundo producto se relaciona con la circulación del conocimiento especializado, para lo cual, una vez terminado el estudio se realizará un evento científico, al cual se invitará a la comunidad en general y a las autoridades locales de salud de los municipios de la Región del BCA. Además, se elaborarán informes tipo Policy Brief e infografías por municipio y general para ser entregados en el evento.

**4. Socialización de los resultados:** Previo al evento científico que se mencionó en el párrafo anterior, los resultados del presente estudio serán analizados con la comunidad científica del BCA, para ello se propone disponer de los e mails de los investigadores interesados con el fin de compartir los resultados y recibir retroalimentación. Y para el caso de las autoridades de salud del municipio, se propone analizar los resultados en reuniones virtuales o presenciales.

Con el cumplimiento de los anteriores compromisos se podrá contribuir a la formación de pensamiento crítico de los estudiantes vinculados al proyecto, así como también al desarrollo científico de la Región del BCA, y al avance social y en salud de la comunidad intervenida.

Anexo 1 Cartas de intención en hacer parte de la presente propuesta de investigación: 1. ASUPASO, 2. Secretaría de Salud de Cauca, 3. Profesor Frank Berninger de la UEF.



NIT 901507909

Cauca, Cauca, julio 24 de 2023

Señores

**COMITÉ PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN. U. DE A.  
Y GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA**

**Asunto:** Carta participación proyecto de investigación

Respetados Señores,

Como Representante Legal de la Asociación ASUPASO, con domicilio en Cauca y registrada en la Cámara de Comercio con el NIT N° 901507909-5, deseo informar que haremos parte del proyecto de investigación titulado "Desarrollo de un sistema de alerta temprana para la vigilancia, prevención y control de dengue en la Región del Bajo Cauca Antioqueño. 1. Empleo de Machine Learning en la comprensión de la relación epidemiológica dengue/clima/vectores", el cual será presentado en la Convocatoria Regiones 2023, financiada por la U. de A. y la Gobernación de Antioquia.

Nuestro compromiso en el proyecto corresponderá al levantamiento de índices entomológicos tradicionales una vez cada período epidemiológico, y a la instalación y posterior revisión semanal de ovitrampas. También nos comprometemos a participar de las capacitaciones en aspectos relacionados con la vigilancia entomológica de vectores de dengue y en temas relacionados con la promoción y prevención de esta enfermedad. Esta información la socializamos con nuestras familias, vecinos y durante las visitas que realizaremos en el proyecto.

Como prestación por las actividades a realizar recibiremos la suma de veinte millones ochocientos ochenta mil pesos (\$20.880.000), los cuales serán diferidos a 18 meses, no siendo más, por la atención prestada, muchas gracias.

Atentamente,

CC 1066726069

Representante legal

E-MAIL: [asupaso4@gmail.com](mailto:asupaso4@gmail.com)

Telef: 3003249887

	DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA MUNICIPIO DE CAUCASIA NIT: 890906445 - 2	Código: D-A- A4-01
		Versión: 2
	SECRETARÍA DE SALUD Y DESARROLLO SOCIAL	Fecha de Aprobación 29 de Diciembre de 2017
		Página 1 de 1

SSDS-1800-38-404

Caucasia, Antioquia, julio 28 de 2023

Señores

**COMITÉ PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACION. U. DE A.  
Y GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA**  
Medellín

**Asunto:** Carta participación proyecto de investigación

Respetados Señores,

Como Representantes de la Secretaría de Salud y Desarrollo Social del Municipio de Cauca Antioquia, deseo informar que haremos parte del proyecto de investigación titulado "Desarrollo de un sistema de alerta temprana para la vigilancia, prevención y control de dengue en la Región del Bajo Cauca Antioqueño. Empleo de Machine Learning en la comprensión de la relación epidemiológica dengue/clima/vectores", el cual será presentado en la Convocatoria Regiones 2023, financiada por la U. de A. y la Gobernación de Antioquia.

Por lo tanto, en caso de que el proyecto resulte favorecido, nos comprometemos a facilitar la información epidemiológica y del dengue requerida (número de casos y demás datos), con la finalidad de apoyar la investigación para su buen desarrollo.

Consideramos de suma importancia el desarrollo de un Sistema de Alerta Temprana para el dengue en la región, puesto que esto permitiría prevenir las altas epidemias de dicha enfermedad que se presentan en nuestra región, por lo que deseamos que el proyecto resulte, para de esta forma ayudar a mejorar la calidad de vida de las personas.

Atentamente,

**IVAN DARIO REAL ORTEGA**  
Secretario de Salud y Desarrollo Social

**JOHANA PRADA ACEVEDO**  
Profesional Universitario SIS

	NOMBRE	CARGO	FIRMA	FECHA
Proyectó:	Johana Prada Acevedo	Profesional Universitario SIS		28/07/2023
Revisó y aprobó:	Iván Darío Real Ortega	Secretario de Salud y Desarrollo Social		28/07/2023
Los arriba firmantes hemos declarado que revisamos el documento y lo encontramos ajustado a las normas y disposiciones legales vigentes y por lo tanto, bajo nuestra responsabilidad lo presentamos para la firma				

NIT 890906445-2

Email: [personal@caucasia-antioquia.gov.co](mailto:personal@caucasia-antioquia.gov.co)

Teléfono (+57) 418391595 Ext. 133 Fax (+57) (+4) 8393148

Dirección: Calle 100 No. 100-100, Medellín, Antioquia - Código Postal 052410

[www.caucasia-antioquia.gov.co](http://www.caucasia-antioquia.gov.co)

July, 2023

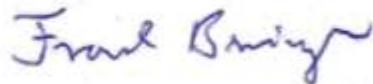
To whom it may concern,

I am writing to express my interest and commitment to participate as a collaborator in the Project titled "Desarrollo de un sistema de alerta temprana para la vigilancia, prevención y control de dengue en la region del Bajo Cauca Antioqueño" at University of Antioquia.

Having thoroughly reviewed the project proposal and its objectives, I am excited about the opportunity to contribute my skills, expertise, and knowledge to the success of this project.

My contributions to the project will include helping with statistical methods. If the project is funded, as a collaborator I commit with 168 hours of effort time for the project (approx. 7000 euros) as self-finance to dedicate to the implementation and participation in the project. I want to clarify that the commitment to this project will be in terms of time and effort rather than monetary contributions.

Sincerely,

A handwritten signature in blue ink, reading "Frank Berninger". The signature is fluid and cursive, with the first name "Frank" and last name "Berninger" clearly distinguishable.

**Frank Berninger**  
Professor  
University of Eastern Finland

---