

Fecha de presentación del Informe: Día Mes Año

1. Datos generales del Proyecto

Código del proyecto: 71063			
Título del proyecto: Enfoque de redes complejas y modelamiento metapoblacional para el diseño de políticas de control del dengue en el área metropolitana de Cali			
Facultad o Instituto Académico: Facultad de Ciencias Naturales y Exactas			
Departamento o Escuela: Departamento de Matemáticas			
Grupo (s) de investigación: ANOPI – Análisis Numérico, Optimización y Problemas Inversos			
Entidades: Universidad del Valle			
Palabras claves: Dengue, número reproductivo básico, metapoblaciones, asintomáticos, teoría de control óptimo, redes complejas.			
Investigadores ¹	Nombre	Tiempo asignado	Tiempo dedicado
Investigador Principal	Juddy Heliana Arias Castro	836	836
Co-investigadores	Héctor Jairo Martínez Romero	660	682
	Olga Vasilieva	374	682
	Edwin Barrios Rivera		220
	Juan Carlos Payan Lugo		220
Otros participantes	Miguel Santiago Rada		220
	Daniel Lasluisa		220
	Aarom Marcel Llanos Andrade		220
	Tatiana Girón Carabalí		220
	Jesús Gómez Gardeñes		88
	Jorge Humberto Rojas		88

Cabe notar que el tiempo de dedicación aprobado para el proyecto correspondió a 2200 horas para los investigadores, de las cuales fueron asignadas unicamente 1870.

¹ Todas las personas relacionadas en el informe y que participen en el proyecto deben haber suscrito el acta de propiedad intelectual de acuerdo con los formatos establecidos.



2. Resumen ejecutivo:

Se espera que describa el proyecto, planteamiento del problema, objetivos, metodología, principales resultados obtenidos y las conclusiones. La extensión debe ser de máximo de 500 palabras (en español y en inglés).

En los últimos reportes de los organismos de salud pública de la ciudad de Cali, las bases de datos evidencian que altos niveles epidémicos del dengue presentan una amenaza a la salud pública de la región. Además, es bien sabido que la movilidad de las personas (voluntaria u obligada) es un factor importante en la transmisión geoespacial de las enfermedades. Lo anterior requiere buscar políticas eficientes, regionalmente concertadas y que integren diferentes estrategias de control sobre la población de vectores con medidas preventivas para la población humana susceptible. Estas políticas deben tener en cuenta, entre otros aspectos, la presencia de personas asintomáticas y la movilidad de las personas (sanas e infectadas) en el área Metropolitana de Cali.

Para este fin, el uso de modelos matemáticos puede dar ideas sobre la eficiencia cualitativa y cuantitativa de tales políticas a mediano y largo plazo, y escoger aquellas que tengan mejor desempeño. El estudio de la dinámica de las enfermedades infecciosas, por medio de modelos matemáticos, ha tenido un amplio desarrollo en los últimos años y ha demostrado ser una valiosa herramienta para entender patrones y procesos epidemiológicos asociados a la movilidad de las personas. Este estudio se enfoca en el comportamiento asintótico de una enfermedad hacia el futuro y en la estimación de diferentes parámetros referentes a ella (número reproductivo básico, tasas de incidencia y prevalencia, entre otros) cuyos valores sirven de guía para proponer estrategias e implementar medidas de control y prevención de enfermedades.

Con este proyecto, aportamos un mejor conocimiento de la dinámica del dengue, valiéndonos de la modelación matemática donde analizamos cómo la movilidad de las personas (sanas y/o infecciosas) influye en la propagación de esta enfermedad y sus posibles tendencias a mediano y largo plazo y así contribuimos al diseño de políticas de control para disminuir su incidencia en Cali y su área Metropolitana.

Para ello, en este estudio, se formularon cinco modelos matemáticos que tienen en cuenta aspectos clínicos y etiológicos del dengue, además de la movilidad de las personas y de la presencia de personas asintomáticas; se determinaron sus puntos de equilibrio y se establecieron condiciones de estabilidad para los mismos. Se estimaron los parámetros

asociados a los modelos, haciendo uso de los datos del sistema de vigilancia epidemiológica de la Secretaría Municipal de Salud, estadísticas del DANE e información proporcionada por la literatura.

Entre los principales resultados, se obtuvo que en la ciudad de Cali se debe controlar la población que no presenta síntomas de dengue y que no resulta necesario identificar aquellos que están infectados y no presentan síntomas. Además, que la población de asintomáticos puede jugar un rol protector o no, dependiendo de la relación entre las tasas de transmisión de sintomáticos y asintomáticos. Por otro lado, que la movilidad de las personas resulta ser, perjudicial para las poblaciones pequeñas debido a que la densidad vectorial.

Abstract

In the latest reports from the public health agencies of the city of Cali [1], the databases show that high epidemic levels of dengue present a threat to the public health of the region. In addition, it is well known that the mobility of people (voluntary or compulsory) is an important factor in the geospatial transmission of diseases. This requires seeking efficient, regionally concerted policies that integrate different control strategies on the vector population with preventive measures for the susceptible human population. These policies must take into account, among other aspects, the presence of asymptomatic people and the mobility of people (healthy and infected) in the Metropolitan Area of Cali.

For this purpose, the use of mathematical models can give ideas about the qualitative and quantitative efficiency of such policies in the medium and long term, and choose those that perform better. The study of the dynamics of infectious diseases, by means of mathematical models, has had a broad development in recent years and has proven to be a valuable tool to understand patterns and epidemiological processes associated with the mobility of people. This study focuses on the asymptotic behavior of a disease into the future and on the estimation of different parameters related to it (basic reproductive number, incidence and prevalence rates, among others) whose values serve as a guide to propose strategies and implement measures of control and prevention of diseases.

With this project, we improve the knowledge of the dynamics of dengue, using mathematical



modeling where we analyze how the mobility of people (healthy and / or infectious) influences the spread of this disease and its possible trends in the medium and long term and thus we contribute to the design of control policies to reduce its incidence in Cali and its metropolitan area.

For this, in this study, five mathematical models were formulated that take into account clinical and etiological aspects of dengue, in addition to the mobility of people and the presence of asymptomatic people; their equilibrium points were determined and stability conditions were established for them. The parameters associated with the models were estimated, making use of data from the epidemiological surveillance system of the Municipal Health Department, DANE statistics and information provided by the literature.

Among the main results, it was obtained that in the city of Cali the population that does not have symptoms of dengue should be controlled and that it is not necessary to identify those that are infected and do not present symptoms. In addition, the asymptomatic population can play a protective role or not, depending on the relationship between symptomatic and asymptomatic transmission rates. On the other hand, that the mobility of people turns out to be harmful for small populations because the vectorial density increases.

3. Síntesis del proyecto:

En una extensión máxima de 5 páginas, se debe mostrar el cumplimiento de los objetivos del proyecto y debe incluir:

Tema:

Enfoque de redes complejas y modelamiento metapoblacional para el diseño de políticas de control del dengue en el área metropolitana de Cali

Objetivo general:

Determinar los efectos que produce la movilidad de personas en la transmisión del dengue y proponer estrategias para el control de esta enfermedad en el área metropolitana de Cali.

Se plantearon cinco (5) modelos para representar la propagación del dengue de la siguiente manera: en el primero, se consideró a una población infectada que aún no puede transmitir la enfermedad denominados latentes. En el segundo, se consideró a una población infectada que no padece los síntomas, denominados asintomáticos. Y en los

tres últimos, se consideraron dos zonas que están conectadas mediante la movilidad de los humanos de una zona a otra.

Se realizaron los respectivos análisis cualitativos de los modelos planteados en la anterior etapa, donde se calcularon los puntos de equilibrio y se determinó la estabilidad de estos mediante el número reproductivo básico. Adicional a ello, se hizo el ajuste de los parámetros de cada uno de los modelos con los datos facilitados por la Secretaría Municipal de Salud de Cali de los casos reportados de dengue en algún periodo, y la información suministrada por la literatura.

Por otro lado, usando las dinámicas descritas en tres de los modelos planteados en la Etapa 1, se plantearon y resolvieron tres problemas de control óptimo usando GPOPS II, logrando el diseño de propuestas para el control de la enfermedad en la ciudad de Cali.

Objetivos específicos:

- *Proponer al menos un modelo metapoblacional que considere la movilidad de las personas en el área metropolitana de Cali.*

Se plantearon tres modelos metapoblacionales, en los cuales se consideraron dos zonas conectadas mediante la movilidad de las personas entre esas zonas.

- *Estimar los parámetros epidemiológicos y entomológicos en el(los) modelo(s) metapoblacional(es) propuesto(s) usando los registros históricos del Sistema de Vigilancia Epidemiológica de la Secretaría Municipal de Salud, estadísticas del DANE y/o datos proporcionados por la literatura.*

Se estimaron los parámetros epidemiológicos y entomológicos en los cinco modelos propuestos usando los registros históricos del Sistema de Vigilancia Epidemiológica de la Secretaría Municipal de Salud, estadísticas del DANE y algunos proporcionados por la literatura.

- *Analizar dicho(s) modelo(s) en ausencia de variables exógenas de control, determinar el número reproductivo básico global de cada uno y analizar el impacto que tiene la movilidad de las personas sobre él.*

Para cuatro de los modelos se realizó el análisis cualitativo de cada uno, se calculó el número reproductivo básico, R_0 , y se logró establecer la estabilidad de los puntos críticos en cada uno de los modelos. Además, en los modelos de



metapoblacionales, se analizó el impacto que tienen los parámetros de movilidad sobre el R_0 .

- *Aplicar la teoría de control óptimo con el fin de diseñar políticas flexibles para el control del dengue.*

Se plantearon y resolvieron numéricamente tres problemas de control óptimo, donde se diseñaron estrategias de control para el dengue considerando la movilidad de las personas.

- *Determinar políticas geográficamente no homogéneas para el control del dengue según la influencia de la movilidad en la dinámica de la transmisión del dengue.*

Se establecieron diferentes políticas de control para el dengue, donde se consideraron diversos escenarios que contemplaran políticas geográficamente no homogéneas.

- *Evaluar las políticas diseñadas realizando un análisis de "costo-beneficio".*

Para cada uno de las estrategias de control para el dengue, se llevaron a cabo los análisis de costo-beneficio que permitieron establecer cuál era "la mejor" estrategia según cierto criterio de beneficio.

Metodología:

La metodología de este proyecto consistió en cuatro etapas:

Etapas 1: Construcción y análisis de el(los) modelo(s)

Durante la ejecución de esta etapa, se lograron establecer cinco modelos en los cuales se consideraron diferentes aspectos epidemiológicos tanto clínicos como geográficos.

Etapas 2: Estimación de parámetros

A partir de los datos de los casos reportados a la Secretaría Municipal de Salud de la ciudad de Cali, se lograron ajustar algunos parámetros epidemiológicos de los distintos modelos establecidos. Adicionalmente, con datos reportados en la literatura, se ajustaron algunos parámetros entomológicos del vector. Por último, se utilizaron cifras reportadas por el DANE para algunos parámetros demográficos.

Etapas 3: Diseño de políticas de control

Durante la ejecución de esta etapa, se establecieron y resolvieron numéricamente tres problemas de control óptimo mediante los cuales se plantearon diferentes escenarios

para analizar el efecto de la movilidad de las personas en la propagación del Dengue. Para ello fue necesario la compra de la licencia del software GPOPS-II.

Etapas 4: Evaluación de políticas de control y socialización de resultados

Para cada uno de los problemas de control, se realizó un análisis de costo-beneficio, el cual permitió establecer "la mejor" estrategia según cierto beneficio, permitiendo el desarrollo de una metodología para la implementación de dichas estrategias.

Resultados

En este proyecto, en términos de productos de nuevos conocimientos, realizamos la divulgación de dos de los trabajos mediante, un artículo publicado en una revista A1 y el otro, en revista A2 ([ART1] y [ART2]). Además, se presentó a evaluación un tercer trabajo en una revista A2 ([ART3]).

En términos de formación de recursos humanos, logramos que cuatro estudiantes del plan de matemáticas, Juan Carlos Payan, Miguel Santiago Rada, Aarom Marcel Llanos y Daniel Lasluisa, sustentaran sus Trabajos de Grados ([TG1], [TG2], [TG3] y [TG4]) dentro del marco de este proyecto y la estudiante Tatiana Girón, a esta fecha, tiene pendiente la sustentación de su trabajo de grado [TG5]. Y uno de los resultados principales de este proyecto está relacionado con la culminación de la tesis doctoral ([TD1]) de Edwin Barrios, la cual tuvo mención de nota Laureada.

Por último, en términos de productos de divulgación, realizamos dos ponencias nacionales, dos ponencias internacionales y la presentación de cuatro posters en eventos internacionales y uno en evento nacional.

Principales conclusiones y/o recomendaciones

Entre las principales conclusiones que se obtuvieron de los diferentes trabajos están las siguientes:

- Se logró estimar la cantidad de asintomáticos en la ciudad de Cali, estableciendo que por cada 4 sintomáticos hay un asintomático. Adicional a ello, la población de asintomáticos puede jugar un rol protector en la dinámica de la propagación del dengue en Cali dependiendo de la tasa de transmisión de estos ([TG2]).
- En el caso del diseño de estrategias para controlar la dinámica del dengue con la población de asintomáticos, se obtiene como principal resultado que se debe proteger la población sin síntomas (susceptibles e infectados sin síntomas) mostrando que no es ne-



cesario identificar la población de asintomáticos, lo cual en la práctica es muy costoso ([TG5]).

- En el análisis cualitativo de uno de los modelos con las dos zonas conectadas mediante la movilidad de las personas, se concluyó que la movilidad de las personas logra afectar más a las personas que residen en la zona pequeña debido a que la movilidad hace que la densidad vectorial se vea altamente afectada ([TG3]).
- Al estudiar la movilidad de las personas, algunos términos de la transmisión de la enfermedad se han ajustado teniendo en cuenta los tamaños efectivos de población. En particular, hemos introducido la variabilidad vectorial promedio en cada parche causada por el desplazamiento diario y hemos definido el concepto de densidad vectorial efectiva ([TD1]).
- En referencia al diseño de estrategias para controlar el dengue en dos poblaciones conectadas por la movilidad de las personas, pudimos identificar y justificar la estrategia de intervención química con mejor indicador de costo – eficiencia, que consiste en la aspersión de insecticida de baja letalidad y menos costoso solamente en la ciudad de Cali ([TD1]).

Por consiguiente, la ejecución académico-investigativa del proyecto fue exitosa.

No obstante, la ejecución financiera del proyecto ha presentado inconvenientes y todavía se tiene sin ejecutar COP 1.000.000 por mantenimiento y COP 2.000.000 para publicación de artículo.

4. Impactos actual o potencial:

Haga una descripción y/o relacione los impactos que tenga el proyecto en los diferentes ámbitos:

Impacto Académico

En el marco de este proyecto, en cuanto a la formación de recursos humanos, tuvimos vinculados cinco estudiantes del plan de Matemáticas, todos haciendo parte del semillero de investigación, de los cuales cuatro ya recibieron sus títulos de Matemático con dos trabajos de grado con mención de nota meritoria, y el último está pendiente la sustentación de su Trabajo de Grado. Adicionalmente, tuvimos la vinculación de un estudiante del doctorado de Ciencias

Matemáticas, el cual sustentó su tesis doctoral en diciembre del año pasado obteniendo mención de nota Laureada.

Por otro lado, en términos de docencia, se presentó la solicitud para la creación del curso electivo *Introducción a las redes complejas* para el plan de Matemáticas.

Impacto Investigativo

Dentro de la parte investigativa, en este proyecto, se publicaron dos artículos [AP1] y [AP2], en los cuales se dan algunos avances de los alcances de este proyecto. Además, presentamos los diferentes avances de los trabajos de grado y la tesis doctoral en eventos nacionales e internacionales, logrando así tener conceptos de expertos en los temas, los cuales, en algunos casos, permite ampliar los alcances de dichos trabajos.

Presentamos dos propuestas de investigación [PI1] y [PI2], las cuales fueron aprobadas y están en tiempo de ejecución.

5. Productos:

Tabla No. 1. **Cantidad y tipo de productos pactados en el Acta de Trabajo y Compromiso y productos finalmente presentados**

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS				No. de PRODUCTOS PRESENTADOS			
Productos de nuevos conocimientos								
Artículo en revista ISI-SCOPUS:	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
	0	1	0	0	0	1	0	0
Artículo completo publicado en revistas indexadas	A1	A2	B	C	A1	A2	B	C
	0	0	0	0	0	1	0	0
Libros de autor que publiquen resultados de investigación	0				0			
Capítulos en libros que publican resultados de investigación	0				0			
Productos o procesos	0				0			



TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS		No. de PRODUCTOS PRESENTADOS	
tecnológicos patentados o registrados				
• Prototipos y patentes	0		0	
• Software	0		0	
Productos o procesos tecnológicos usualmente no patentables o protegidos por secreto industrial	0		0	
Normas basadas en resultados de investigación				
Formación de recursos humanos	No. de estudiantes vinculados	No. de tesis	No. De estudiantes Vinculados	No. De tesis
Estudiantes de pregrado	2	1	5	4
Semillero de Investigación	2	1	5	4
Estudiantes de maestría	0	0	0	0
Estudiantes de doctorado	1	1	1	1
Joven investigador	0	0	0	0
Productos de divulgación				
Publicaciones en revistas no indexadas	0		0	
Ponencias presentadas en eventos (congresos, seminarios, coloquios, foros)	No. de ponencias nacionales 1	No. de ponencias internacionales 1	No. de ponencias nacionales 2	No. de ponencias internacionales 2
Propuesta de investigación				
Propuestas presentadas en convocatorias externas para búsqueda de financiación.	1		2	

Tabla No. 2. Detalle de productos

Para cada uno de los productos obtenidos y relacionados en la tabla anterior, indique la información solicitada para cada uno, anexando copia de las respectivas constancias. Como anexo a este formato encontrará el instructivo para la revisión de informes finales y productos

A. PRODUCTOS DE NUEVOS CONOCIMIENTOS:

Tipo de producto:	Artículo publicado en revista A1 [ART1]
Nombre General:	Revista: Journal of Theoretical Biology ISSN: 0022-5193
Nombre Particular:	Artículo: <i>Assessing the effects of daily commuting in two patch dengue dynamics: a case study of Cali, Colombia</i>
Ciudad y fechas:	Filadelfia – EE.UU. Publicado en línea: 24 de Mayo 2018
Participantes:	Edwin Barrios, Sunme Lee, Olga Vasilieva
Sitio de información:	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022519318302431 DOI: 10.1016/j.jtbi.2018.05.015
Formas organizativas:	Grupo ANOPI (Análisis Numérico, Optimización y Problemas Inversos), Universidad del Valle.

Tipo de producto:	Artículo publicado en revista A2 [ART2]
Nombre General:	Revista: The European Physical Journal Special Topics. 227 (2018) 661-672. ISSN 1951-6355 Print, ISSN 1951-6401
Nombre Particular:	Artículo: Impact of human-human contagions in the spread of vector-borne diseases.
Ciudad y fechas:	
Participantes:	David Soriano-Paños, Heliana Arias-Castro, Fernando Naranjo-Mayorga, and Jesús Gómez-Gardeñes
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Grupos ANOPI (Análisis Numérico, Optimización y Problemas Inversos), Universidad del Valle y GOTHAM (Modelamiento Teórico y Aplicado) Universidad de Zaragoza



Tipo de producto:	Artículo para evaluación en revista A2 [ART3]
Nombre General:	Revista: Processes . ISSN 2227-9717
Nombre Particular:	Artículo: Optimal strategies for dengue prevention and control under daily commuting between two residential areas.
Ciudad y fechas:	
Participantes:	Daniel Lasluisa, Edwin Barrios, Olga Vasilieva
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Grupos ANOPI (Análisis Numérico, Optimización y Problemas Inversos), Universidad del Valle

B. PRODUCTOS DE FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

Tipo de producto:	Tesis doctoral sustentada [TD1]
Nombre General:	Programa de Doctorado en Ciencias Matemáticas, Universidad del Valle
Nombre Particular:	Título: " <i>Control óptimo del dengue en metapoblaciones</i> "
Ciudad y fechas:	Cali, Colombia; Fecha de sustentación: Diciembre 4 de 2018
Participantes:	Edwin Barrios (Estudiante de doctorado), Olga Vasilieva (Directora)
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Programa de Doctorado en Ciencias Matemáticas, Universidad del Valle

Tipo de producto:	Trabajo de Grado Sustentado [TG1]
Nombre General:	Plan de Matemáticas, Universidad del Valle



Nombre Particular:	Título: <i>"Análisis de la dinámica del dengue en Cali a partir de un modelo matemático que incluye latencia e inmunidad"</i>
Ciudad y fechas:	Cali, Colombia; Fecha de sustentación: Septiembre 2016
Participantes:	Juan Carlos Payan (Estudiante de pregrado), Héctor Jáiro Martínez (Director), Heliana Arias Castro (co-directora)
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Plan de Matemáticas, Universidad del Valle

Tipo de producto:	Trabajo de Grado Sustentado [TG2]
Nombre General:	Plan de Matemáticas, Universidad del Valle
Nombre Particular:	Título: <i>"Análisis del efecto de la presencia de infectados asintomáticos en la dinámica de la transmisión del dengue"</i>
Ciudad y fechas:	Cali, Colombia; Fecha de sustentación: Marzo 2017
Participantes:	Miguel Santiago Rada (Estudiante de pregrado), Héctor Jairo Martínez (Director), Heliana Arias Castro (co-directora)
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Plan de Matemáticas, Universidad del Valle

Tipo de producto:	Trabajo de Grado Sustentado [TG3]
Nombre General:	Plan de Matemáticas, Universidad del Valle
Nombre Particular:	Título: <i>"Análisis de la dinámica del dengue a partir de un modelo metapoblacional"</i>
Ciudad y fechas:	Cali, Colombia; Fecha de sustentación: Octubre 2017



VICERRECTORIA DE INVESTIGACIONES

**ELABORACIÓN DE INFORMES
FINALES - PROYECTOS DE
INVESTIGACIÓN**

Participantes:	Aarom Marcel Llanos (Estudiante de pregrado), Heliana Arias Castro (Directora)
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Plan de Matemáticas, Universidad del Valle

Tipo de producto:	Trabajo de Grado Sustentado [TG4]
Nombre General:	Plan de Matemáticas, Universidad del Valle
Nombre Particular:	Título: <i>"Diseño de políticas de control en la propagación del dengue a partir de un modelo metapoblacional"</i>
Ciudad y fechas:	Cali, Colombia; Fecha de sustentación: Abril 2018
Participantes:	Daniel Lasluisa (Estudiante de pregrado), Olga Vasilieva (Directora)
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Plan de Matemáticas, Universidad del Valle

Tipo de producto:	Trabajo de Grado por Sustentar [TG5]
Nombre General:	Plan de Matemáticas, Universidad del Valle
Nombre Particular:	Título: <i>"Propuestas de control de la transmisión del dengue considerando población de asintomáticos"</i>
Ciudad y fechas:	Cali, Colombia; Fecha de Inicio: Enero 2018. Fecha de Entrega: Febrero 2019
Participantes:	Tatiana Girón (Estudiante de pregrado), Heliana Arias (Directora), Héctor Jairo Martínez (Co-director)
Sitio de información:	
Formas	Plan de Matemáticas, Universidad del Valle



organizativas:

Tipo de producto:	Pasantía de investigación
Nombre General:	Programa de Internacionalización de Doctorado, Universidad Técnica Federico Santa María – Valparaíso, Chile. Línea: Analysis & Mathematical Modeling
Nombre Particular:	Umbrales Viables para modelos cooperativos.
Ciudad y fechas:	Valparaíso, Chile; Abril 5 – Mayo 26 de 2017
Participantes:	Edwin Barrios (estudiante de doctorado), Pedro Gajardo (supervisor)
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Programa de Doctorado en Ciencias Matemáticas, Universidad del Valle; Grupo AM2V – <i>Analysis & Mathematical Modeling Valparaíso</i> , Universidad Técnica Federico Santa María – Valparaíso, Chile; REALMA (Red Europa – América Latina en Matemáticas Aplicadas)

C. PRODUCTOS DE DIVULGACIÓN

Tipo de producto:	Ponencia en evento nacional
Nombre General:	Tercer seminario taller en Matemática Aplicada: "Modelos y métodos matemáticos para el control y vigilancia del Dengue"
Nombre Particular:	Título: " <i>Modelo para la dinámica del Dengue considerando infectados asintomáticos</i> "
Ciudad y fechas:	Cali, Colombia Enero 11-13, 2017
Participantes:	Miguel Santiago Rada
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Universidad Autónoma de Occidente

**Ponencias:**

Tipo de producto:	Ponencia en evento nacional
Nombre General:	XXX Jornada de Matemática de la Zona Sur
Nombre Particular:	Título: <i>"Modelo de transmisión del dengue de dos parches"</i>
Ciudad y fechas:	Concepción, Chile Abril 26-28, 2017
Participantes:	Edwin Barrios, Olga Vasilieva
Sitio de información:	https://www.ucsc.cl/wp-content/uploads/2017/04/Cronograma-XXX-JM-ZS.pdf
Formas organizativas:	SOMACHI – Sociedad Matemática de Chile

Tipo de producto:	Ponencia en evento nacional
Nombre General:	X Congreso de la Sociedad Latinoamérica de Biología Matemática – SOLABIMA 2017
Nombre Particular:	Título: <i>"Control óptimo del dengue en un modelo de dos parches"</i>
Ciudad y fechas:	Cusco, Perú Agosto 7-11 de 2017
Participantes:	Edwin Barrios Rivera
Sitio de información:	
Formas organizativas:	SOLABIMA – Sociedad Latinoamericana de Biomatemática

Tipo de producto:	Ponencia en evento nacional
Nombre General:	X Congreso de la Sociedad Latinoamérica de Biología Matemática – SOLABIMA 2017
Nombre Particular:	Título: <i>"Human mobility and the spread of vector-borne diseases"</i>
Ciudad y fechas:	Cusco, Perú Agosto 7-11 de 2017
Participantes:	Juddy Heliana Arias Castro



Sitio de información:	
Formas organizativas:	SOLABIMA – Sociedad Latinoamericana de Biomatemática

Tipo de producto:	Póster en evento internacional
Nombre General:	Dynamics Days Latin America and the Caribbean 2016
Nombre Particular:	Título: " <i>Vector Borne Diseases in Metapopulations Zika case</i> "
Ciudad y fechas:	Puebla, México Octubre 24 – Noviembre 1, 2016
Participantes:	Juddy Heliana Arias C
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Tipo de producto:	Póster en evento internacional
Nombre General:	International Conference on Applied Mathematics and Informatics, ICAMI 2017
Nombre Particular:	Título: " <i>Optimal strategies for dengue prevention in spatially separated human populations</i> "
Ciudad y fechas:	San Andrés, Colombia Noviembre 26-Diciembre 1, 2017
Participantes:	Daniel Lasluisa, Olga Vasilieva
Sitio de información:	www.icami2017.org/
Formas organizativas:	REALMA: Red Europa – América Latina en Matemáticas Aplicadas

Tipo de producto:	Póster en evento internacional
Nombre	International Conference on Applied Mathematics and Informatics,



General:	ICAMI 2017
Nombre Particular:	Título: <i>"Effect of asymptomatic infected people in the transmission of dengue in Cali, Colombia"</i>
Ciudad y fechas:	San Andrés, Colombia Noviembre 26-Diciembre 1, 2017
Participantes:	Héctor Jairo Martínez, Heliana Arias
Sitio de información:	www.icami2017.org/
Formas organizativas:	REALMA: Red Europa – América Latina en Matemáticas Aplicadas

Tipo de producto:	Póster en evento internacional
Nombre General:	International Conference on Applied Mathematics and Informatics, ICAMI 2017
Nombre Particular:	Título: <i>"A metapopulation model for dynamics of dengue"</i> (ganador del premio AXIOMS "mejor poster")
Ciudad y fechas:	San Andrés, Colombia Noviembre 26-Diciembre 1, 2017
Participantes:	Aarom Marcel Llanos, Heliana Arias
Sitio de información:	www.icami2017.org/
Formas organizativas:	REALMA: Red Europa – América Latina en Matemáticas Aplicadas

Tipo de producto:	Póster en evento internacional
Nombre General:	Primera conferencia Colombiana de Matemáticas Aplicadas e Industriales
Nombre Particular:	Título: <i>"Propuestas de control de la transmisión del dengue considerando población de asintomáticos"</i>
Ciudad y fechas:	Bogotá, Colombia Agosto 10 al 11 de 2018
Participantes:	Tatiana Girón, Héctor Jairo Martínez
Sitio de información:	



Formas organizativas:	Sociedad Colombiana de Matemáticas
-----------------------	------------------------------------

D. PROPUESTAS DE INVESTIGACIÓN

Tipo de producto:	Propuesta de investigación
Nombre General:	Programa de cooperación regional MATH-AmSud (Francia – Latinoamérica)
Nombre Particular:	Título: <i>"MOVECO – Modeling, Optimization and Viability for Epidemics Control"</i> Código: 18-MATH-05
Ciudad y fechas:	Rio-de-Janeiro, Brasil; Noviembre 22, 2017 (fecha de aprobación)
Participantes:	Olga Vasilieva, Héctor Jairo Martínez, Heliana Arias; Edwin Barrios, Oscar Eduardo Escobar
Sitio de información:	http://www.sticmathamsud.org/
Formas organizativas:	ParisTech, Université Paris Est (Francia); Groupe de Recherche en Économie Théorique et Appliquée (GREThA), Université de Bordeaux, (Francia); CMM – Universidad de Chile (Chile); Centro de Epidemiología y Políticas de Salud (CEPS), Universidad del Desarrollo (Chile); Center for Analysis and Mathematical Modeling Valparaíso (AM2V), Universidad Técnica Federico Santa María (Chile); Departamento de Matemáticas, Universidad del Valle (Colombia); Departamento de Matemáticas, Universidad Autónoma de Occidente (Colombia); Red Europa – América Latina en Matemáticas Aplicadas (REALMA)

Tipo de producto:	Propuesta de investigación
Nombre General:	Concurso 2017 de CONICYT-Chile – Apoyo a la Formación de Redes Internacionales entre Centros de Investigación
Nombre Particular:	Título: <i>"AM2V-MobiMat Network on Modeling and Control of communicable and infectious diseases"</i> Código: REDES170059
Ciudad y fechas:	Santiago, Chile; Noviembre 21, 2017 (fecha de aprobación)



VICERRECTORIA DE INVESTIGACIONES

**ELABORACIÓN DE INFORMES
FINALES - PROYECTOS DE
INVESTIGACIÓN**

Participantes:	Olga Vasilieva, Héctor Jairo Martínez, Heliana Arias Castro, Pedro Gajardo, Edwin Barrios, Oscar Eduardo Escobar
Sitio de información:	http://www.conicyt.cl/pci/2017/08/apoyo-a-la-formacion-de-redes-internacionales-para-investigadoresas-en-etapa-inicial/
Formas organizativas:	CMM – Universidad de Chile (Chile); Center for Analysis and Mathematical Modeling Valparaíso (AM2V), Universidad Técnica Federico Santa María (Chile); Departamento de Matemáticas, Universidad del Valle (Colombia); Departamento de Matemáticas, Universidad Autónoma de Occidente (Colombia); Red Europa – América Latina en Matemáticas Aplicadas (REALMA)

La presente versión del informe contiene las observaciones de los evaluadores:

Firma del investigador principal

VoBo. Vicedecano de Investigaciones

Por favor presente su informe impreso y en formato digital en hoja tamaño carta, letra arial 11, con espacios de 1 1/2

Bibliografía

[Sepulveda2015] Sepulveda L., 2015, Manejo optimo y viable en modelos epidemiológicos de dengue. PhD tesis, Universié Paris-Est.



Assessing the effects of daily commuting in two-patch dengue dynamics: A case study of Cali, Colombia

Edwin Barrios^a, Sunmi Lee^b, Olga Vasilieva^{a,*}

^a Department of Mathematics, Universidad del Valle, Calle 13 No. 100-00, Cali 760032, Colombia

^b Department of Applied Mathematics, University Kyung Hee, 1732 Deokyoungdaero, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 446-701, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received 4 July 2017

Revised 7 May 2018

Accepted 10 May 2018

Available online 24 May 2018

Keywords:

Dengue dynamics

Two-patch model

Residence times

Effective population sizes

Effective vectorial density

ABSTRACT

There are many infectious diseases that can be spread by daily commuting of people and dengue fever is one of them. The absence of vaccine and irregularities in ongoing vector control programs make this disease the most frequent and persistent in many tropical and subtropical regions of the world. This paper targets to access the effects of daily commuting on dengue transmission dynamics by using a deterministic two-patch model fitted to observed data gathered in Cali, Colombia where dengue fever is highly persistent and exhibits endemo-epidemic patterns.

The two-patch dengue transmission model with daily commuting of human residents between patches (that is, between the city and its suburban areas) is presented using the concept of residence times, which certainly affect the disease transmission rates by inducing variability in human population sizes and vectorial densities at each patch.

The same modeling framework is applied to two primary scenarios (epidemic outbreaks and endemic persistence of the disease) and for each scenario two coupling cases (one-way and asymmetric commuting) with different inflow and outflow intensities are analyzed.

The concept of *effective vectorial density*, introduced in this paper, allows to explain in very simple terms why the daily commuting affects quite differently the dengue morbidity among human residents in both patches. In particular, residents of the patch with a greater share of incoming than outgoing commuters may actually “benefit” from inflow of daily commuter by avoiding a considerable number of infections. However, residents of the patch with a greater share of outgoing than incoming commuters, especially those who stay at home patch, incur more risk of getting infected. Additionally, the model shows that daily commuting enhance the total number of human infections acquired in both patches and may even provoke an epidemic outbreak in one patch while moderately lowering the level of the disease persistence in another patch.

© 2018 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Among vector-borne viral infections, dengue fever has been ranked by the World Health Organization (WHO) as the most frequent and persistent in the world (WHO, 2009). Dengue morbidity is strongly correlated with the presence and abundance of *Aedes aegypti* mosquitoes which act as the principal transmitters of five serotypes (or strains) of the dengue virus (DENV1–5)¹. The

pathogen of DENV is transmitted from female mosquitoes to human hosts (and vice versa) during their cycle of blood-feeding since only females need to ingest human blood in order to mature their eggs (male mosquitoes do not bite people).

In recent decades, the incidence of dengue has increased dramatically worldwide, and this is attributed to various reasons, among which many scholars point out:

- the global warming that provides more favorable conditions for mosquito reproduction and stimulate their expansion into new geographic areas;
- mosquitoes abilities to develop resistance to pesticides that jeopardizes the established vector control programs;
- uncontrolled urbanization and poor sanitation conditions of growing metropolitan areas in many tropical countries;

* Corresponding author.

E-mail addresses: edwin.barrios@correounivalle.edu.co (E. Barrios), sunmilee@khu.ac.kr (S. Lee), olga.vasilieva@correounivalle.edu.co (O. Vasilieva).

¹ While four serotypes of dengue virus (DENV1–4) are currently circulating in various tropical countries worldwide, the discovery of the fifth dengue strain DENV5 has been recently claimed by Normile (2013).

Impact of human-human contagions in the spread of vector-borne diseases

D. Soriano-Paños^{1,2}, H. Arias-Castro³, F. Naranjo-Mayorga⁴, and J. Gómez-Gardeñes^{1,2,a}

¹ Departamento de Física de la Materia Condensada, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza, Spain

² GOTHAM lab, Instituto de Biocomputación y Física de Sistemas Complejos BIFI, Universidad de Zaragoza, 50018 Zaragoza, Spain

³ Departamento de Matemáticas, Universidad del Valle, 25360 Santiago de Cali, Colombia

⁴ Departamento de Física, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 150003 Tunja, Colombia

Received 20 October 2017 / Received in final form 26 March 2018
Published online 4 October 2018

Abstract. This article is aimed at proposing a generalization of the Ross-Macdonald model for the transmission of Vector-borne diseases in which human-to-human contagions are also considered. We first present this generalized model by formulating a mean field theory, checking its validity by comparing to numerical simulations. To make the premises of our model more realistic, we adapt the mean field equations to the case in which human contacts are described by a complex network. In this case we are also able to derive an analytical expression for the epidemic threshold. In both the mean-field and network-based models, we estimate the value of the epidemic threshold which corresponds to the boundary between the disease-free and epidemic regimes. The expression of this threshold allows us to discuss the impact that human-to-human contagions have on the spread of vector-borne diseases.

1 Introduction

Vector-borne diseases (VBD) are transmitted indirectly among humans by the intermediation of vectors such as mosquitoes, ticks or sand-flies. According to the World Health Organization (WHO), these diseases represent over the 20 % of all infectious diseases causing more than one billion of infections and one million deaths per year [1]. In the recent years there is a growing global concern about VBD since, despite being mainly localized in tropical and ecuatorial areas, these diseases have started to spread across more tempered latitudes due to human impact [2,3] and the adaptability of the vectors to urban areas. For instance, *Aedes albopictus* species, which are responsible for the transmission of some important VBD like Dengue or Chikungunya, can survive in cool temperatures and their eggs had the ability to diapause during winter [4]. These facts have resulted in a wide geographical distribution of



Universidad del Valle

RECTORÍA

ACTA DE GRADO No 930

En la ciudad Santiago de Cali del Departamento del Valle del Cauca, de conformidad con lo dispuesto en la Resolución No 942 emanada de la Rectoría de la Universidad del Valle; el día 16 de Diciembre de 2017, en nombre de la República de Colombia y por autorización del Ministro de Educación Nacional, confiere el título de:

MATEMÁTICO

RG 120345100007600111100 SNIES

a:

AAROM MARCELL LLANOS ANDRADE

Identificado con C.C. 1144161836

El diploma correspondiente le será entregado en la fecha prevista en la Resolución No. 942 y anotado en el libro 3 Folio 545 Registro 5 de la Universidad del Valle.

(Fdo) Edgar Varela Barrios

- Rector

(Fdo) Luis Carlos Castillo Gomez

- Secretario General

Se firma en Santiago de Cali, el 16 de Diciembre de 2017

MARTA SOFÍA COTACIO TORRES

Jefa División de Admisiones y Registro Académico

ESTE DOCUMENTO NO REQUIERE AUTENTIFICACIÓN EN VIRTUD DEL DECRETO No 1024 DE 1982


 Departamento del Valle del Cauca
 Secretaría de Hacienda y Finanzas Públicas
 Estampillas Departamentales

0000644936-6

99010000000106683120170929

AARON MANUEL LEONOR ANDRADE — UNIVERSIDAD DEL VALLE
 CERTIFICADOS O CONSTANCIAS EXPEDIDAS POR FUNCIONARIOS O SERVIDO

0.3% DEL SMLV PRO-UCEVA	1500
0.4% SMLV EST. PRO-CULTURA DEPTAL LV6	4300
0.4% SMLV EST. PRO-UNIVALLE	3000
0.88% SMLV EST. PRO-SEGURIDAD ALIMENTARIA	8300
0.4% SMLV EST. PRO-DESARROLLO	3000
0.4% SMLV EST. PRO-HOSPITALES	3000
0.4% SMLV EST. PRO-SALUD	3000

VALOR TOTAL DEL ACTO O DOCUMENTO 24100
 8526508 29/09/2017 07:50:22 a.m. 1 DE 1



República de Colombia
Ministerio de Educación Nacional



La Universidad del Valle

Confiere el Título de

Matemático

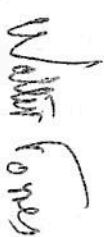
a

Aarom Marcell Llanos Andrade

Identificado con C.C. 1144161836

En testimonio de ello le expide el presente Diploma,
en la ciudad de Santiago de Cali, Valle del Cauca,
a los 16 días del mes de diciembre de 2017


El Rector


El Decano

Departamento del Valle del Cauca
 Secretaría de Hacienda y Finanzas Públicas

0000544837-7
 9901000000180883020170828

SECTOR PRODUCTORES AGROPECUARIOS - UNIDAD PRODUCTIVA VALLE
 COMPOGO DE LOS HULOS AGUACAPAN DE MAGUILLER Y CAJUNARI

3720	3720
3000	3000
7400	7400

EN EL VALLE DEL CAUCA
 EN EL MUNICIPIO DE CAJUNARI
 EN EL VALLE DEL CAUCA

VALOR TOTAL DEL ACTO O DOCUMENTO 13295
 2006/05/17 07:06:08 a.m. 1 DE 1



República de Colombia
Ministerio de Educación Nacional



La Universidad del Valle

Confiere el Título de

Matemático

a

Daniel Lasluisa Castaño

Identificado con C.C. 1143951914

En testimonio de ello le expide el presente Diploma,
en la ciudad de Santiago de Cali, Valle del Cauca,
a los 02 días del mes de junio de 2018

Edgar Virela Becerra
El Rector

Walter Torres
El Decano

Registro al folio 591-21 del Libro 3 de Diplomas, a los 02 días del mes de junio de 2018

101006



República de Colombia
Ministerio de Educación Nacional



La Universidad del Valle

Confiere el Título de

Matemático

a

Juan Carlos Payan Lugo

Identificado con C.C. 1144061687

En testimonio de ello le expide el presente Diploma,
en la ciudad de Santiago de Cali, Valle del Cauca,
a los 26 días, del mes de Noviembre de 2016

Edgar Valencia

El Rector

Walter Torres

El Decano

Regístro al folio 381-16 del Libro 3 de Diplomas, a los 26 días, del mes de Noviembre de 2016

094452



FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS
CONSEJO DE FACULTAD
RESOLUCIÓN No. 0267
Octubre 03 de 2016

EL CONSEJO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS, en uso de sus atribuciones y en especial las conferidas en el Artículo 34 Literal a), k), y l) del Estatuto General de la Universidad del Valle.

RESUELVE:

ARTÍCULO UNICO: Aprobar conceder la mención de calificación **MERITORIA** al Trabajo de Grado Titulado: **"ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DEL DENGUE EN CALI A PARTIR DE UN MODELO MATEMÁTICO QUE INCLUYE LATENCIA E INMUNIDAD"**, presentado por el estudiante **JUAN CARLOS PAYÁN LUGO**, código 1034498 del Programa Académico de Matemáticas (3147) periodo agosto - diciembre 2016.

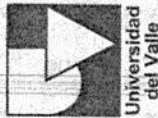
COMUNÍQUESE, NOTIFÍQUESE Y CÚMPLASE

WALTER TORRES HERNANDEZ.
Decano

MARIA ELENA MARTINEZ M.
Secretaria del Consejo



República de Colombia
Ministerio de Educación Nacional



La Universidad del Valle

Confiere el Título de

Matemático

a

Miguel Santiago Rada Sanchez

Identificado con c.c. 1107083802
En testimonio de ello le expide el presente Diploma,
en la ciudad de Santiago de Cali, Valle del Cauca,
a los 24 días, del mes de Junio de 2017

Edson Vazquez Sanchez
El Rector

Walter Forero
El Decano

096807



Facultad de
Ciencias Naturales y Exactas

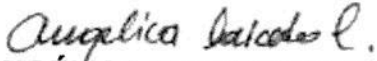
LA SUSCRITA DIRECTORA DEL PROGRAMA ACADÉMICO
DE POSGRADO EN CIENCIAS-MATEMÁTICAS

HACE CONSTAR QUE:

El estudiante **EDWIN BARRIOS RIVERA**, identificado con Cédula de Ciudadanía No. 94531318, código 1304658, del Programa Académico de Doctorado en Ciencias-Matemáticas (9196), sustentó y aprobó su Tesis Doctoral el día 04 de diciembre de 2018, obteniendo Mención LAUREADA y completando todos los requisitos exigidos por el programa para recibir el título de *Doctor en Ciencias-Matemáticas*.

Actualmente, el señor Barrios tiene pendiente la realización de los trámites administrativos para la solicitud de Grado, que se realizará en el periodo académico FEBRERO-JUNIO de 2019.

Esta constancia se expide a solicitud del interesado. Se firma en Santiago de Cali, el día 11 de enero de 2018.


ANGÉLICA CAICEDO CASSO Ph.D.
Directora
Posgrado en Ciencias-Matemáticas

Posgrados
Universidad del Valle
Ciudad Universitaria Meléndez – A.A.25360
Teléfono: 3155251
Cali - Colombia



Facultad de
Ciencias Naturales y Exactas

LA SUSCRITA DIRECTORA DEL PROGRAMA ACADÉMICO
DE POSGRADO EN CIENCIAS-MATEMÁTICAS,

HACE CONSTAR QUE:

La profesora **OLGA VASILIEVA Ph.D**, del Departamento de Matemáticas de la Universidad del Valle dirigió la siguiente Tesis Doctoral en Ciencias-Matemáticas (9196):

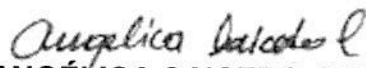
"CONTROL ÓPTIMO DEL DENGUE EN METAPOBLACIONES"

Estudiante: **Edwin Barrios Rivera** Código: 201304658

Fecha de sustentación: 04 de diciembre de 2018

Mención Laureada

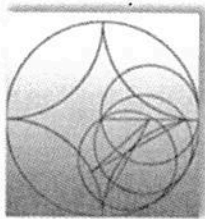
Esta constancia se expide en Santiago de Cali, a los 16 días del mes de enero de 2019.


ANGÉLICA CAICEDO CASSO Ph.D.
Directora
Posgrado en Ciencias-Matemáticas

Posgrados
Universidad del Valle
Ciudad Universitaria Meléndez – A.A.25360
Teléfono: 3155251
Cali - Colombia



UCSC



XXX JORNADA DE
MATEMÁTICA
DE LA
ZONA SUR

Se confiere el presente certificado a:

Edwin Barrios

Por su participación como expositor de la charla

“Modelo de transmisión del dengue de dos parches”

Presentada en la Sesión *Biomatemática* de la XXX Jornada de Matemática de la Zona Sur,
realizada los días 26, 27 y 28 Abril 2017

Luis Gatica Simpertigue
Presidente Comité Científico

Violeta Vivanco Orellana
Presidente Comité Organizador

Dynamics Days Latin America and the Caribbean 2016

Puebla, Mexico, October 24 - November 01, 2016

The organizing committee acknowledges the participation of

Juddy Heliana Arias Castro

Universidad del Valle
Colombia

who presented the work entitled

"Vector Borne Diseases in Metapopulations Zika case"

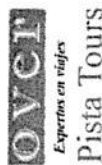
in the poster session in the ***"Dynamics Days Latin America and the Caribbean 2016"***, held at the Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, Mexico, October 24 - November 01, 2016.



Dr. Carlos L. Pando Lambruschini - Chairman
IFUAP-BUAP

October 2016





Certificado of Attendance

The present certificate is conferred upon

Aarom Llanos Andrade

in the category of
Poster presenter

Awarded in San Andrés Island, Republic of Colombia
on the 1st day of december, 2017

Munrode

Program Committee

[Signature]

Organizing Committee



CERTIFICADO DE PARTICIPACIÓN

Este certificado es otorgado a:

Tatiana Girón

por haber participado con el poster:

Propuestas de control de la transmisión del dengue considerando población de
asintomáticos

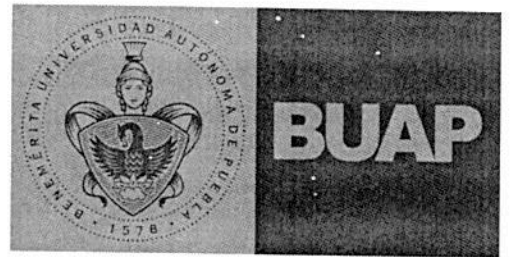
en la

**Primera Conferencia Colombiana
de Matemáticas Aplicadas e Industriales**

en la Universidad de los Andes y la Universidad Nacional de Colombia,
Bogotá D.C. - Colombia, del 10 al 11 de agosto de 2018.

Bernardo Uribe
Presidente
Sociedad Colombiana de Matemáticas

Álvaro Riascos
Presidente Comisión de Matemáticas Aplicadas e Industriales
Sociedad Colombiana de Matemáticas



CERTIFICATE

Puebla, Mexico, 29th September 2017

TO WHOM THIS MAY CONCERN:

This is to certify that **JUDDY HELIANA ARIAS CASTRO** registered and attended the **1st LATIN AMERICAN CONFERENCE ON COMPLEX NETWORKS (LANET 2017)**, where the following contribution was presented:

- **"HUMAN MOBILITY AND THE SPREAD OF VECTOR-BORNE DISEASES" as ORAL CONTRIBUTION**

The conference was held in September 25-29, 2017, at Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, Mexico.

Sincerely,

ANTONIO MÉNDEZ BERMÚDEZ
Chair of the Local Organizing Committee of LANET 2017



La Sociedad Latinoamericana de Biomatemática y la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
certifican que

HELIANA ARIAS-CASTRO

participó en calidad de ponente
de la Conferencia

MOVILIDAD HUMANA Y PROPAGACIÓN DE ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTORES

del X Congreso Latinoamericano de Biomatemática, realizado en la Universidad Nacional de San
Antonio Abad del Cusco, Perú, del 07 al 11 de agosto de 2017.



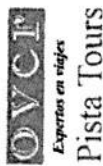
ALEJANDRO TITO TTICA
DECANO
FACULTAD DE CIENCIAS
UNSAAC



ROXANA LÓPEZ CRUZ
PRESIDENTA
SOCIEDAD LATINOAMERICANA
DE BIOMATEMÁTICA



GUIDO ALVAREZ JAUREGUI
PRESIDENTE
COMITÉ ORGANIZADOR
UNSAAC



Certificado of Attendance

The present certificate is conferred upon

Héctor Jairo Martínez

in the category of

Speaker, Poster Presenter, Program Committee Member,
Session Chairperson

Awarded in San Andrés Island, Republic of Colombia

on the 1st day of december, 2017

Alfonso

Program Committee

[Signature]

Organizing Committee



Institución vigilada por **MinEduación**

El departamento de Matemáticas de la facultad de Ciencias Básicas

Hace constar que:

Miguel Santiago Rada Sanchez

Participó como expositor en el

Tercer Seminario Taller en Matemática Aplicada:

‘Modelos y métodos matemáticos para el control y vigilancia del Dengue’

Realizado en Santiago de Cali del 11 al 13 de enero de 2017

Oswaldo Rodríguez Díaz

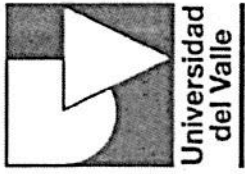
Oswaldo Rodríguez
Jefe del departamento de Matemáticas

Hernán Montaña Motato

Hernán Montaña Motato
Decano de la facultad de Ciencias Básicas



UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA



Certificate of Attendance

The present certificate is conferred upon

Daniel Lasluisa Castaño

in the category of
Poster presenter

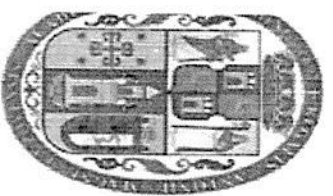
Awarded in San Andrés Island, Republic of Colombia
on the 1st day of december, 2017

Murponde

Program Committee

[Signature]

Organizing Committee



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO

ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELAS PROFESIONALES: MATEMÁTICA Y BIOLOGÍA

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE MATEMÁTICA Y ESTADÍSTICA



X CONGRESO LATINOAMERICANO DE BIOMATEMÁTICA

X SOLABIMA PERU-2017

CERTIFICADO

OTORGADO A: **EDWIN BARRIOS RIVERA**

En calidad de **ASISTENTE** en el X Congreso Latinoamericano de Biomatemática:
X SOLABIMA PERÚ 2017, realizado en la ciudad del Cusco del 07 al 11 de agosto,
con una duración de 40 horas académicas, en mérito a la Resolución N° D-247-2017-FC.

Cusco, Agosto de 2017



Decano de la Facultad de Ciencias
LNSAAC



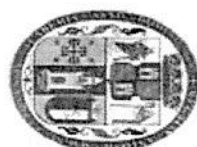
Presidenta
Sociedad Latinoamericana de Biomatemática



Comité Organizador
LNSAAC

SOLABIMA
SOCIEDAD LATINOAMERICANA DE BIOMATEMÁTICA

SOLABIMA
PERU - 2017



La Sociedad Latinoamericana de Biomatemática y la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
certifican que

EDWIN BARRIOS RIVERA

participó en calidad de ponente
de la Conferencia

CONTROL ÓPTIMO DEL DENGUE EN UN MODELO DE DOS PARCHES

del X Congreso Latinoamericano de Biomatemática, realizado en la Universidad Nacional de San
Antonio Abad del Cusco, Perú, del 07 al 11 de agosto de 2017.



ALEJANDRO TITO TTICA
DECANO
FACULTAD DE CIENCIAS
UNSAAC



ROXANA LÓPEZ CRUZ
PRESIDENTA
SOCIEDAD LATINOAMERICANA
DE BIOMATEMÁTICA



GUIDO ALVAREZ JAUREGUI
PRESIDENTE
COMITÉ ORGANIZADOR
UNSAAC