

# SUSCEPTIBILIDAD A LA DISTRIBUCIÓN DEL VIRUS CHIKUNGUÑA BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

Wendy Johana Sánchez Forero  
José Leonardo Méndez Aranda



Modalidad de trabajo de grado investigación-innovación

Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Ingeniería Ambiental

Bogotá D.C.

2020

**Susceptibilidad a la distribución del virus Chikunguña bajo escenarios de cambio climático, departamento del Tolima**

Wendy Johana Sánchez Forero  
José Leonardo Méndez Aranda

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:  
Ingeniero Ambiental

Director  
Ph, D. Juan Carlos Alarcón Hincapié

**Línea de investigación:**

Ordenamiento territorial

**Semillero de investigación:**

ATELOPUS

Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Ingeniería Ambiental

Bogotá D.C.

2020

## Tabla de contenido

1.	DEDICATORIA.....	10
2.	AGRADECIMIENTOS .....	11
3.	RESUMEN.....	12
4.	ABSTRACT.....	13
5.	INTRODUCCIÓN .....	14
6.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	15
7.	OBJETIVOS.....	17
	7.1.Objetivo	general
	.....	17
	7.2.Objetivos	específicos
	.....	17
8.	MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO.....	18
	8.1 CAMBIO CLIMÁTICO.....	18
	8.2 CAMBIO CLIMÁTICO ACTUAL .....	18
	8.3 NUEVOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO .....	19
	8.3.1 El Clima De Referencia (1976-2005).....	20
	8.3.2 El forzamiento radiactivo como medida de los RCP .....	21
	8.4 ELEMENTOS CONCEPTUALES RESPECTO A LA SUSCEPTIBILIDAD DE DISTRIBUCIÓN DEL VIRUS DE CHIKUNGUÑA .....	22
	8.4.1 Susceptibilidad .....	22
	8.4.2 Amenaza.....	23
	8.4.3 Vector .....	23
	8.4.4 Virus de Chikunguña.....	26
	8.5 METODOLOGÍAS Y MODELOS UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN DE ENFERMEDADES TROPICALES .....	30
	8.5.1 Modelo .....	30
	8.5.2 Modelos matemáticos.....	31
	8.5.3 Modelos computacionales.....	32
9.	MARCO NORMATIVO.....	34
	9.1 INTERNACIONAL .....	34
	9.2 NACIONAL .....	35
	9.3 DEPARTAMENTAL Y MUNICIPAL.....	37
10.	DESCRIPCIÓN ÁREA DE ESTUDIO .....	38

10.1 GENERALIDADES.....	38
10.2 SÍMBOLOS.....	39
10.3 MUNICIPIOS.....	39
10.4 GEOGRAFÍA.....	40
10.5 CLIMA.....	41
10.6 DEMOGRAFÍA.....	43
10.7 ECONOMÍA.....	44
10.8 EL TOLIMA FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO: RIESGOS Y CONFLICTOS ..	44
11. METODOLOGÍA.....	46
11.1 PRIMERA ETAPA.....	46
11.1.1 Objetivo específico.....	46
11.1.2 Actividades generales:.....	46
11.1.3 Descripción Metodológica.....	47
11.2 SEGUNDA ETAPA.....	52
11.2.1 Objetivo específico 2:.....	52
11.2.2 Actividades generales:.....	52
11.2.3 Descripción metodológica.....	52
11.3 TERCERA ETAPA.....	53
11.3.1 Objetivo específico 2:.....	53
11.3.2 Actividades generales:.....	53
11.3.3 Descripción metodológica.....	54
12. RESULTADOS.....	54
<b>12.1 TEMPERATURA.....</b>	<b>54</b>
12.1.1. Temperatura actual.....	54
12.1.2 Temperatura escenario 4.5.....	55
12.1.3 Temperatura escenario 6.0.....	56
12.2. PRECIPITACIÓN.....	57
12.2.1 Precipitación actual.....	57
12.2.2 Precipitación escenario 4.5.....	58
12.2.3 Precipitación escenario 6.0.....	59
12.3. HUMEDAD RELATIVA.....	60
12.3.1 Humedad relativa actual.....	60
12.3.2 Humedad relativa escenario 4.5.....	61

12.3.3 Humedad relativa escenario 6.0 .....	62
12.4. ELEVACIÓN .....	63
12.5. PENDIENTES .....	64
12.6. COBERTURA DEL SUELO .....	65
12.6.1 Cobertura actual .....	65
12.6.1 Cobertura futura .....	67
12.7. DENSIDAD POBLACIONAL .....	68
12.7.1 Densidad poblacional actual.....	69
12.7.2 Densidad poblacional futura.....	70
12.8. ÍNDICE CLIMÁTICO .....	71
12.8.1 Índice climático actual .....	71
12.8.2 Índice climático escenario 4.5 .....	72
12.8.3 Índice climático escenario 6.0.....	73
12.9. ÍNDICE DE RELIEVE .....	74
12.10. SUSCEPTIBILIDAD .....	75
12.10.1 Susceptibilidad actual.....	75
12.10.2 Susceptibilidad escenario 4.5 .....	78
12.10.3 Susceptibilidad escenario 6.0 .....	79
12.11. SUSCEPTIBILIDAD POR MUNICIPIO .....	80
12.11.1 Susceptibilidad actual por municipio .....	80
12.11.2 Susceptibilidad escenario 4.5 por municipio.....	86
12.11.3 Susceptibilidad escenario 6.0 por municipio.....	92
13. DISCUSIÓN.....	98
13.1 ÍNDICE CLIMÁTICO .....	98
13.2 ÍNDICE DE COBERTURA.....	98
13.3 DENSIDAD POBLACIONAL .....	99
13.4 ÍNDICE DE RELIEVE .....	99
13.5 SUSCEPTIBILIDAD ACTUAL VS ESCENARIO 4.5 Y ESCENARIO 6.0 EN EL DEPARTAMENTO .....	100
13.6 SUSCEPTIBILIDAD ACTUAL VS. ESCENARIO 4.5 Y ESCENARIO 6.0 POR MUNICIPIO.....	103
13.7 LINEAMIENTOS O MEDIDAS PARA LA GESTIÓN INTERINSTITUCIONAL	105
13.7.1 Lineamientos prioritarios urgentes:.....	105

13.7.2	Lineamientos prioritarios: .....	107
13.7.3	Lineamientos complementarios: .....	107
13.8	LINEAMIENTOS COMPLEMENTARIOS.....	107
13.8.1	Cooperación y organización interinstitucional.....	107
13.8.2	Investigación y vigilancia de la enfermedad y el vector .....	108
13.8.3	Transmisión de la información a la población. ....	108
13.8.4	Prevención primaria .....	109
13.9	LINEAMIENTOS PRIORITARIOS.....	109
13.9.1	Control biológico.....	109
13.10	LINEAMIENTOS PRIORITARIOS URGENTES.....	110
13.10.1	Control químico.....	110
14.	CONCLUSIONES .....	110
15.	RECOMENDACIONES .....	111
16.	BIBLIOGRAFÍA.....	112
17.	ANEXOS.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
17.1	Temperatura actual.....	119
17.2	Temperatura escenario 4.5 .....	119
17.3	Temperatura escenario 6.0 .....	119
17.4	Precipitación actual .....	119
17.5	Precipitación escenario 4.5.....	119
17.6	Precipitación escenario 6.0.....	119
17.7	Humedad relativa actual.....	119
17.8	Humedad relativa escenario 4.5 .....	119
17.9	Humedad relativa escenario 6.0 .....	119
17.10	Elevación.....	119
17.11	Pendientes.....	119
17.12	Cobertura Actual .....	119
17.13	Cobertura Futura .....	119
17.14	Densidad poblacional actual.....	119
17.15	Densidad poblacional futura.....	119
17.16	Casos reportados .....	119
17.17	Índice climático actual .....	119
17.18	Índice climático escenario 4.5.....	119

17.19 Índice climático escenario 6.0.....	119
17.20 Índice de relieve .....	119
17.21 Susceptibilidad actual.....	119
17.22 Susceptibilidad escenario 4.5 .....	119
17.23 Susceptibilidad escenario 6.0 .....	119
17.24 Susceptibilidad actual por municipio .....	119
17.25 Susceptibilidad escenario 4.5 por municipio.....	119
17.26 Susceptibilidad escenario 6.0 por municipio.....	119

## Tabla de ilustraciones

Ilustración 1. Marco normativo .....	38
Ilustración 2. Bandera y escudo que representan el departamento del Tolima .....	39
Ilustración 3. Mapa geográfico del departamento del Tolima, fuente .....	41
Ilustración 4. Estructura de población: Tolima, CG 2005 y CNPV 2018, .....	43
Ilustración 5. Mapa de temperatura actual .....	54
Ilustración 6. Mapa de temperatura escenario 4.5 (periodo 2011-2040) .....	55
Ilustración 7. Mapa de temperatura escenario 6.0 (periodo 2011-2040) .....	56
Ilustración 8. Mapa de precipitación actual .....	57
Ilustración 9. Mapa de precipitación escenario 4.5 (periodo 2011-2040).....	58
Ilustración 10. Mapa de precipitación escenario 6.0 (periodo 2011-2040).....	59
Ilustración 11. Mapa de humedad relativa actual.....	60
Ilustración 12. Mapa de humedad relativa escenario 4.5 (periodo 2011-2040).....	61
Ilustración 13. Mapa de humedad relativa escenario 6.0 (periodo 2011-2040).....	62
Ilustración 14. Mapa de elevación.....	63
Ilustración 15. Mapa de pendientes.....	64
Ilustración 16. Mapa de cobertura actual .....	65
Ilustración 17. Mapa de cobertura futura .....	67
Ilustración 18. Mapa de densidad poblacional actual .....	69
Ilustración 19. Mapa de densidad poblacional futura .....	70
Ilustración 20. Mapa de índice climático actual.....	71
Ilustración 21. Mapa índice climático escenario 4.5 .....	72
Ilustración 22. Mapa de índice climático escenario 6.0 .....	73
Ilustración 23. Mapa de relieve .....	74
Ilustración 24. Mapa de susceptibilidad actual .....	75
Ilustración 25. Casos reportados virus Chikunguña.....	76
Ilustración 26. Mapa de susceptibilidad escenario 4.5.....	78
Ilustración 27. Mapa de susceptibilidad escenario 6.0.....	79
Ilustración 28. Susceptibilidad actual por municipio .....	80
Ilustración 29. Susceptibilidad escenario 4.5 por municipio .....	86
Ilustración 30. Susceptibilidad escenario 6.0 por municipio .....	92
Ilustración 31. Susceptibilidad actual, escenario 4.5 y 6.0 (%) .....	101
Ilustración 32. Susceptibilidad actual, escenario 4.5 y 6.0 (km <sup>2</sup> ).....	102
Ilustración 33. Municipios con susceptibilidad alta y muy alta (áreas superiores al 80%).....	103
Ilustración 34. Variación susceptibilidad % (Carmen de Apicalá, Honda y San Sebastián de Mariquita).....	104

## Tablas

Tabla 1. Los cuatro caminos de Forzamiento Radiactivo (FR) seleccionados por el IPCC para evaluar el comportamiento de la concentración de emisiones GEI .....	20
Tabla 2. Marco normativo internacional .....	34
Tabla 3. Marco jurídico nacional .....	35
Tabla 4. Marco normativo departamental y municipal .....	37
Tabla 5. Municipios del departamento del Tolima .....	39
Tabla 6. Rangos susceptibilidad.....	48
Tabla 7. Rangos índice centros poblados .....	48
Tabla 8. Rangos índice climático .....	49
Tabla 9. Rangos temperatura.....	49
Tabla 10. Rangos precipitación.....	49
Tabla 11. Rangos humedad relativa .....	50
Tabla 12. Rangos índice de relieve .....	50
Tabla 13. Rangos elevación .....	50
Tabla 14. Rangos pendientes.....	51
Tabla 15. Rangos cobertura.....	51
Tabla 16. Rangos de temperatura actual .....	55
Tabla 17. Rangos de temperatura y su área, escenario 4.5.....	56
Tabla 18. Rangos de temperatura y su área, escenario 6.0.....	57
Tabla 19. Rangos de precipitación actual.....	58
Tabla 20.. Rangos de precipitación y su área, escenario 4.5.....	59
Tabla 21. Rangos de precipitación y su área, escenario 6.0.....	60
Tabla 22. Rangos de humedad relativa actual.....	61
Tabla 23. Rangos de humedad relativa y su área, escenario 4.5 .....	62
Tabla 24. Rangos de humedad relativa y su área, escenario 6.0.....	62
Tabla 25. Rangos de elevación.....	63
Tabla 26. Rango de pendientes .....	64
Tabla 27. Clasificación de cobertura actual .....	66
Tabla 28. Clasificación de cobertura futura .....	67
Tabla 29. Rango de densidad poblacional actual .....	69
Tabla 30. Rango de densidad poblacional futura .....	70
Tabla 31. Rangos de índice climático y su área .....	72
Tabla 32. Rangos índice climático escenario 4.5 y sus áreas.....	72
Tabla 33. Rangos de índice climático escenario 6.0 y sus áreas .....	73
Tabla 34. Rangos de índice de relieve por área.....	74
Tabla 35. Rangos de susceptibilidad actual por área .....	76
Tabla 36. Casos reportados virus Chikunguña.....	77
Tabla 37. Rangos de susceptibilidad escenario 4.5 por área.....	78
Tabla 38. Rangos de susceptibilidad escenario 6.0 por área.....	79
Tabla 39. Susceptibilidad actual por municipios .....	81
Tabla 40. Susceptibilidad escenario 4.5 por municipio .....	86
Tabla 41. Susceptibilidad escenario 6.0 por municipio .....	92



## 1. DEDICATORIA

A Dios por ser nuestro guía y darnos la fuerza para seguir adelante.

A nuestros padres quienes han sido un claro ejemplo de amor, acompañamiento y apoyo incondicional.

A nuestros amigos y docentes quienes nos han dado sus mejores consejos y ayuda.

Y a todos aquellos que estuvieron con nosotros acompañándonos en este proceso.



## **2. AGRADECIMIENTOS**

Al docente Juan Carlos Alarcón Hincapié por sus enseñanzas, paciencia, guía, apoyo y sobre todo por sus valiosas recomendaciones y consejos que fueron de importancia para llevar a término este proyecto.

A la Universidad Distrital Francisco José de Caldas por ser nuestro segundo hogar y nos dio la oportunidad de formarnos como ingenieros.

### 3. RESUMEN

Debido a los acelerados cambios que se han presentado a causa del cambio climático, Colombia es uno de los países más afectados por estar ubicado en el trópico, en donde se han observado problemas en salud pública como la aparición de enfermedades tropicales que se han ido expandido por gran parte del país. Por su variedad climática encontramos que departamentos como el Tolima han presentado un aumento en el número de casos reportados por enfermedades tropicales en la que está presente el virus del Chikunguña, como en los municipios de Melgar, Flandes, Ibagué y El Espinal. Es por ello, que se propone una metodología que permita estudiar y determinar la relación del clima con la extensión o distribución del virus por la transmisión del mosquito vector de la especie *Aedes*, (*A. aegypti* y *A. albopice*) en posibles condiciones climáticas a futuro.

Se inicia con la recopilación de información secundaria para tener conocimiento de las características del mosquito y la enfermedad del Chikunguña, posteriormente se recopilaron los datos del número de casos reportados desde la aparición de la enfermedad hasta la actualidad. Se representaron la temperatura media, precipitación anual y la humedad relativa en el periodo de referencia de 1976-2005, un modelo de elevación digital en la cual se obtuvieron la elevación y pendiente, un mapa de coberturas reciente y se desarrolló un mapa de densidad poblacional. Luego se estableció un modelo espacial en relación del clima para determinar la distribución del Chikunguña.

Una vez validado el modelo, se procedió a realizar una modificación del clima simulando escenarios futuros de cambio climático RCPs 4.5 y 6.0, utilizando como periodo de referencia 2011-2040, también se realizó una proyección de las coberturas para el año 2040 por medio del software Terrset y de densidad poblacional. A través de la comparación de los escenarios planteados se pudo determinar las transformaciones dentro del departamento a causa del cambio climático en una mayor aparición de la enfermedad en los municipios de Honda, San Sebastián de Mariquita, Lérida, Líbano, El Guamo, Natagaima, Chaparral, Coyaima, Valle de San Juan, Rovira, Ortega e Ibagué, entre otros.

Finalmente se proponen lineamientos bases para que los entes gubernamentales implementen las medidas de manejo a mediano y largo plazo con el fin de que se reduzcan o eviten el número de casos en la población por el virus del Chikunguña en el departamento del Tolima.

#### 4. ABSTRACT

Due to the rapid changes that have occurred due to climate change, Colombia is one of the countries most affected by being located in the tropics, where problems have been observed in public health such as the emergence of tropical diseases that have expanded for much of the country. Due to its climatic variety, we find that departments such as Tolima have presented an increase in the number of cases reported for tropical diseases in which the Chikungunya virus is present, such as in the municipalities of Melgar, Flandes, Ibagué and El Espinal. For this reason, a methodology is proposed that allows studying and determining the relationship of the climate with the spread or distribution of the virus by the transmission of the Aedes vector mosquito (*A. aegypti* and *A. albopictus*) in possible climatic conditions. future.

It begins with the collection of secondary information to gain knowledge of the characteristics of the mosquito and Chikungunya disease, subsequently the data on the number of cases reported from the onset of the disease to the present were collected. The average temperature, annual precipitation and relative humidity in the reference period of 1976-2005 were represented, a digital elevation model in which the elevation and slope were obtained, a recent coverage map and a population density map was developed. A spatial model was then established in relation to the climate to determine the distribution of Chikungunya.

Once the model was validated, a climate modification was carried out simulating future climate change scenarios RCPs 4.5 and 6.0, using as a reference period 2011-2040, a projection of the coverage for the year 2040 was also made through the software Terrset and population density. Through the comparison of the scenarios proposed, it was possible to determine the transformations within the department due to climate change in a greater occurrence of the disease in the municipalities of Honda, San Sebastián de Mariquita, Lerida, Libano, El Guamo, Natagaima, Chaparral, Coyaima, Valle de San Juan, Rovira, Ortega and Ibagué, among others.

Finally, basic guidelines are proposed for government entities to implement management measures in the medium and long term in order to reduce or avoid the number of cases in the population due to the Chikungunya virus in the department of Tolima.

## 5. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los problemas más representativos para la humanidad son las repercusiones y consecuencias asociadas al cambio climático que amenazan la sostenibilidad del planeta y por ende de la humanidad. Sucesos como el deshielo de los polos, el ascenso del nivel de mares y océanos, y el incremento en la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos pueden tener efecto sobre la salud humana debido a la estrecha relación entre el clima (temperatura, vientos, humedad y precipitación) y las condiciones de hábitat adecuadas para la reproducción de los vectores propagadores de enfermedades infecciosas como la Malaria, Zika, fiebre amarilla, Chikunguña, entre otras, desencadenando de esta manera brotes y epidemias en áreas donde anteriormente no se presentaban y para las cuales la población ni las entidades prestadoras de servicios de salud se encuentran preparados.

El Chikunguña es provocado por el virus Chikunguña transmitido principalmente por los mosquitos de la especie *Aedes*, (*A. aegypti* y *A. albopices*) produciendo fiebre elevada, dolor de cabeza, fotofobia y erupciones, dolor intenso en las articulaciones e inclusive artritis crónica y abortos en madres gestantes. En el caso de los recién nacidos pueden tener problemas respiratorios, meningoencefalitis, miocarditis, dermatitis y pericarditiuno y en población vulnerable como personas de la tercera edad y niños puede causar la muerte.

En Colombia se han desarrollado en su mayoría estudios de distribución geográfica y muy pocos predictivos a enfermedades remanentes como la fiebre amarilla y el dengue, pero son aún más escasos aquellos que tienen por objeto enfermedades emergentes como el Chikunguña ya que la presencia de esta enfermedad en el país data del año 2014 (Pascuas, 2018). Por ello, la presente investigación tiene como objetivo evaluar la susceptibilidad a la distribución del virus del Chikunguña bajo escenarios de cambio climático RCPs 4.5 y 6.0 en el departamento de Tolima, a través de la modelación de elementos climáticos como la temperatura, humedad relativa y precipitación, elementos geográficos como la altitud, cobertura y pendiente, y demográficos como la densidad poblacional con el uso de softwares computacionales como ArcGiS y TerrSet que permiten proyectar cómo será en el futuro la distribución y propagación de la enfermedad de acuerdo a las condiciones reproductivas y de habitabilidad del vector transmisor, con esta información lograr que los entes gubernamentales generen medidas que reduzcan la morbilidad, mortalidad y las consecuencias económicas derivadas del cambio del paisaje epidemiológico en cada uno de los municipios y poblaciones del departamento.

## 6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad los acelerados efectos del cambio climático provenientes de los impactos generados de la actividad antrópica ocasionan importantes problemáticas para la salud humana, entre las cuales se destaca la multiplicación de vectores transmisores de enfermedades tropicales (Gorodner, Jorge, 2016). En general las infecciones transmitidas por mosquitos son particularmente afectadas por el calentamiento global debido al incremento del área geográfica “tropical” donde éstos se pueden reproducir fácilmente. El área tropical se está expandiendo y hay un incremento rápido de la “tropicalización” con la consecuente expansión de enfermedades infecciosas emergentes en regiones donde nunca habían existido como el Zika y el Chikunguña (Martino & Weissenbacher, 2017).

La susceptibilidad por las consecuencias derivadas del cambio climático y factores de vulnerabilidad como las reducidas medidas de salud públicas implementadas o el desconocimiento del manejo de la enfermedad y del vector por parte de la población, traen consecuencias negativas como el incremento de brotes y casos de enfermedades emergentes como el Chikunguña objeto de este estudio, además de efectos socioeconómicos adversos como sobrecostos al sistema de salud, pérdidas económicas y laborales, y la afectación en el sector turismo.

Colombia por su ubicación geográfica cercana al trópico y su variabilidad de climas presenta condiciones aptas para la presencia del principal vector transmisor del Chikunguña (*A. aegypti* y *A. albopices*). Uno de los departamentos más susceptibles a la presencia de dicho vector es el Tolima donde años atrás han sido registrados gran número de brotes de enfermedades relacionadas al mosquito *Aedes aegypti* y *Aedes albopices* como fiebre amarilla y dengue, adicionalmente el Tolima al ser un departamento que cuenta con todos los pisos térmicos es más sensible a cambios en la migración y dinámica epidemiológica relacionada al vector influenciada por el cambio climático (Rodelo, Comportamiento epidemiológico del Dengue, Chikungunya y Zika. Córdoba – Colombia. 2014-2017, 2017).

El Chikunguña llega a América en el año 2013 en los primeros nueve meses solo se reportan 50 casos, pero posteriormente el virus es propagado a todo Suramérica, parte de centro América y Estados Unidos. A Colombia llega en el año 2014 y debido a las características geográficas del país con más del 70% de municipios por debajo de los 2200 m.s.n.m. hábitat óptimo para que el vector transmisor se desarrolle y se propague la enfermedad rápidamente. El pico epidemiológico se alcanzó entre el año 2014 y 2015 con 74.566 casos infectados con el virus, los departamentos más afectados fueron: Norte de Santander con 29.444, seguido del departamento del Huila con 22.363, posterior a estos se encuentran Sucre, Bolívar, Córdoba, Antioquia y Tolima (Pascuas, 2018).

La tasa de mortalidad por Chikunguña es baja, pero existen factores que aumentan la probabilidad de la misma, algunas de ellas son: las personas mayores con alguna patología tienen más complicaciones y riesgo de muerte. Así mismo, las mujeres embarazadas presentan hasta un 49% de riesgo de transmisión del virus al feto, también se han evidenciado complicaciones neurológicas, enfermedades miocárdicas y hemorragias relacionadas a la transmisión del virus durante el parto, además de abortos durante el primer trimestre de gestación, por ello, la enfermedad del Chikunguña es considerado un problema de salud pública de gran importancia para la nación (Pascuas, 2018).

Una de las problemáticas respecto a la toma de decisiones, gestión y manejo de la enfermedad en el país son los escasos estudios efectuados en la distribución epidemiológica de la enfermedad y el vector trasmisor, más aún estimaciones, proyecciones, y modelación que permita conocer el comportamiento de estos a futuro frente a la influencia del cambio climático, impidiendo una planificación adecuada que minimice los efectos de la enfermedad, permita identificar zonas de mayor susceptibilidad y optimice los recursos destinados a la prevención y tratamiento de la enfermedad.

## 7. OBJETIVOS

### 7.1. Objetivo general

- Evaluar la susceptibilidad a la distribución del virus del Chikunguña bajo escenarios de cambio climático RCPs 4.5 y 6.0 en el departamento de Tolima.

### 7.2. Objetivos específicos

- Analizar y determinar la susceptibilidad a la distribución del virus Chikunguña bajo las condiciones climáticas en el periodo de referencia 1976-2005 en el departamento del Tolima.
- Modelar la susceptibilidad a la distribución del Chikunguña en el departamento de Tolima, bajo los escenarios de cambio climático RCPs 4.5 y 6.0 para el periodo 2011-2040.
- Formular lineamientos que permitan la gestión institucional para el virus Chikunguña.

## 8. MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO

### 8.1 CAMBIO CLIMÁTICO

La Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC), en su artículo 1, define el “cambio climático” como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante períodos de tiempo comparables. Para el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), el término denota un cambio en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos) a raíz de un cambio en el valor medio y en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos. Sin embargo, Milner G, (2007) sostiene que el cambio climático global se refiere a las modificaciones en cualquier aspecto del clima del planeta, tales como la temperatura, precipitación e intensidad y las rutas de las tormentas.

En ese mismo orden, el Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), en su informe de Desarrollo Humano (2007-2008) establece que el cambio climático es el problema que determina el desarrollo humano en nuestra generación, este minará los esfuerzos que se emprenden en el ámbito internacional con el fin de combatir la pobreza. Los modelos climáticos actuales predicen un calentamiento mundial de cerca de 1.4-5.8 grados Celsius entre 1990 y 2100, proyecciones que se basan en un conjunto de hipótesis acerca de las principales fuerzas que dirigen las emisiones futuras; tales como el crecimiento poblacional y el cambio tecnológico (Díaz Cordero, 2012).

### 8.2 CAMBIO CLIMÁTICO ACTUAL

La primera parte del Quinto Informe del IPCC (2013) concluye que la influencia humana en el sistema climático es clara y evidente en la mayoría de las regiones del planeta, que el calentamiento en el sistema climático es inequívoco y que, desde 1950 son muchas las evidencias de los cambios observados en todo el sistema climático que no tienen precedentes en los últimos decenios y milenios, siendo cada uno de los tres últimos decenios sucesivamente más cálidos en la superficie de la Tierra que cualquier otro decenio anterior, partiendo como referente el decenio de 1850 (Alarcón, 2017).

Actualmente ya se puede observar cómo el calentamiento global, que intensifica los eventos climáticos naturales, impacta en forma diferente según el nivel de desarrollo. Si bien los desastres climáticos están comenzando a afectar cada vez a más personas en el mundo entero, la inmensa mayoría de las víctimas de éstos viven en países en desarrollo. Así, durante el período 2000 a 2004, y sobre un promedio anual, se puede notar que una de cada 19 personas que viven

en el mundo en desarrollo se vio afectada por un desastre climático, según el Informe de Desarrollo Humano del PNUD (2008).

Por otro lado, según el informe Stern (2007) sobre la economía del cambio climático, los incrementos de temperatura globales de sólo 1–2 °C (por encima de los niveles preindustriales) podrían llevar a la extinción del 15-40% de las especies. Indica además que, a medida que las temperaturas ascienden por encima de los 2-3 °C de media, como muy probablemente sucederá en el tramo final del presente siglo, aumentarán los daños de forma brusca y a gran escala, y los costes relacionados con el cambio climático en sus tres dimensiones: mortalidad, ecosistemas y renta, tenderán a incrementarse acusadamente a pesar de que los ecosistemas terrestres, principalmente los bosques y por otro lado los océanos, remueven un promedio cada año el 54% del dióxido de carbono emitido por la deforestación y el uso de combustibles fósiles. Desafortunadamente, la tasa de captura no será suficiente para incidir en la mitigación del daño ambiental en tanto no se reduzcan las tasas de emisión (Alarcón, 2017).

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), indicó en su informe de 2010 que Colombia puede verse muy afectada por los impactos del cambio climático. La mayor parte de la población se encuentra en las partes altas de las cordilleras, donde se prevén problemas de escasez hídrica e inestabilidad de suelos, y en las costas, donde el aumento del nivel del mar y las inundaciones pueden afectar los asentamientos humanos y las actividades económicas claves. El país tiene, además, una alta recurrencia de eventos extremos, con una gran incidencia de emergencias asociadas al clima que va en aumento.

La última estimación de tendencias realizada por el (IDEAM, 2015) mostró que ha venido ocurriendo un aumento de la temperatura media del orden de 0,13°C/década para el período 1971-2000. El ensamble multimodelo de los escenarios de cambio climático proyectan que la temperatura promedio del aire en el país aumentará con respecto al período de referencia 1971-2000 en 1,4°C para el 2011-2040; 2,4°C para 2041-2070; y 3,2°C para el período 2071-2100. A lo largo del siglo XXI los volúmenes de precipitación decrecerían entre un 15% y 36% para amplias zonas de las regiones Caribe y Andina, e igualmente existirán incrementos de precipitación hacia el centro y norte de la Región Pacífica. La humedad relativa disminuiría especialmente en la Guajira, Cesar, Tolima y Huila

### 8.3 NUEVOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Un escenario es una descripción estimable sobre cómo puede desarrollarse el futuro. Esta descripción está basada en un conjunto de variables y supuestos sobre fuerzas y relaciones de cambio claves, que pueden originar un convincente posible estado futuro sobre algo. Los escenarios son una de las principales herramientas de la investigación prospectiva, la cual permite prever con anticipación lo que ocurrirá si se presentan cada uno de los eventos modelados, es la representación del clima que se observaría bajo una concentración determinada de gases de efecto invernadero y aerosoles en la atmósfera en las diferentes épocas futuras (En

este caso para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100). El objetivo de trabajar con Escenarios de Cambio Climático no es predecir el futuro climático, es evaluar un amplio espectro de posibilidades respecto al posible comportamiento del clima en el futuro y entender las incertidumbres asociadas, con el fin de orientar decisiones robustas que permitan anticiparse a los posibles hechos y generar desde hoy un accionar eficaz que permita introducir los cambios sociales, ambientales, económicos y políticos necesarios para no llegar a la situación proyectada de un futuro desfavorable.

Los Escenarios de Cambio Climático para Colombia siguen las rutas metodológicas propuestas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change) en su Quinto Informe de Evaluación (AR5) del año 2013. Para su desarrollo los científicos del IDEAM tomaron los 16 modelos globales que mejor representan el clima de referencia de Colombia (1976-2005) y que modelan la temperatura y la precipitación hasta el año 2100. Estos modelos fueron regionalizados con métodos estadísticos con el fin de proyectarlas en el contexto nacional (IDEAM, 2015).

### **8.3.1 El Clima De Referencia (1976-2005)**

Este periodo fue seleccionado ya que corresponde a un tiempo en el que existe una robustez estadística en los datos observados. Es muy importante mantener en este estudio el mismo clima de referencia usado internacionalmente para poder generar comparabilidades entre regiones en lapsos de tiempo similares.

En el Quinto Informe del IPCC (AR5), se han definido cuatro nuevos escenarios de emisión, denominados “Camino Representativo de Concentración” (RCPs, por sus siglas en inglés). Éstos se caracterizan por su Forzamiento Radiativo (FR) total para el año 2100 que oscila entre 2,6 y 8,5 vatios por metro cuadrado (W/m<sup>2</sup>). La palabra “representativo” significa que cada RCP proporciona sólo uno de los muchos posibles escenarios que pueden conducir a las características de ese Forzamiento Radiativo. El término “camino” hace hincapié en que no sólo los niveles de concentración en el largo plazo son de interés, sino también la trayectoria que ha tomado en el tiempo para llegar a ese resultado. En resumen, el nuevo proceso en paralelo comienza con la selección de cuatro RCPs, cada uno de los cuales corresponde a un camino de Forzamiento Radiativo específico

*Tabla 1. Los cuatro caminos de Forzamiento Radiativo (FR) seleccionados por el IPCC para evaluar el comportamiento de la concentración de emisiones GEI*

<b>Escenario</b>	<b>Forzamiento Radiante (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>CO<sub>2eq</sub> atmosférico (ppm)</b>	<b>Anomalía de temperatura °C</b>	<b>Trayectoria</b>
RCP8.5	8.5	>1370	4.9	2100, en aumento
RCP6.0	6.0	850	3	Estabilización después de 2100

RCP4.5	4.5	650	2.4	Estabilización después de 2100
RCP2.6	2.6	490	1.5	Picos antes de 2100 y después declina

Fuente (IDEAM, 2015)

### **8.3.2 El forzamiento radiactivo como medida de los RCP**

El Forzamiento Radiativo (FR) es un proceso que altera el equilibrio de energía del sistema Tierra – atmósfera, a raíz de un cambio en la concentración de dióxido de carbono o en la energía emitida por el Sol. Si el FR es positivo tiende a calentar el sistema (más energía recibida que emitida), mientras que un FR negativo lo enfría (más energía perdida que recibida). El FR se expresa en unidades de medida de vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ). El FR puede deberse a cambios en la radiación solar incidente, a incrementos en la concentración de gases como los GEI y los aerosoles, o a cambios en las propiedades reflectivas superficiales del planeta (cambios en los usos del suelo a coberturas que reflejan más la radiación solar, por ejemplo, las áreas de construcciones urbanas). Así, al hablar de escenarios RCP 2.6, 4.5, 6.0 u 8.5, no se están indicando aumentos de temperatura en grados centígrados, se indica la cantidad de energía que retiene el planeta, producto del FR: 2.6, 4.5, 6.0 u 8.5  $W/m^2$  (IDEAM, 2015).

A Nivel Nacional Estos Escenarios nos indican que el país en su conjunto estaría afectado por el Cambio Climático; sin embargo, el aumento esperado en la temperatura, así como el comportamiento de las precipitaciones no será el mismo para todas las regiones de Colombia. Esto implica que las medidas para hacer frente a posibles fenómenos extremos deben ser diferentes para cada región del territorio nacional. Si los niveles de emisiones globales de GEI aumentan (como es lo más probable), la temperatura media anual en Colombia podría incrementarse gradualmente para el fin del Siglo XXI (año 2100) en 2.14°C.

Los mayores aumentos de temperatura para el periodo 2071 – 2100, se esperan en los departamentos de Arauca, Vichada, Vaupés y Norte de Santander (+2,6 °C). Las consecuencias que estos aumentos en la temperatura podrían traer al país son entre muchos otros, el mayor aumento en el nivel del mar que comprometería no sólo parte de las fronteras (por cambios en la línea de costa), sino a las poblaciones y ciudades asentadas en estos espacios; el derretimiento acelerado de los nevados y glaciares, así como el retroceso de páramos de los que dependen una gran cantidad de los acueductos en el país; la reducción en la productividad agropecuaria y la potencial mayor incidencia de fenómenos climáticos extremos. Este aumento en la temperatura sumado a los cambios en el uso del suelo, puede incrementar los procesos de desertificación, disminución de la productividad de los suelos agrícolas y la pérdida de fuentes y cursos de agua. Así mismo, puede ocasionar mayor incidencia de olas de calor especialmente en áreas urbanas.

Un cambio gradual en la temperatura y la precipitación en el país generado por el cambio climático, podría ocasionar que los efectos de fenómenos de variabilidad climática como El Niño o La Niña tengan mayor impacto en los territorios y sectores. Las regiones del país donde se espera un aumento paulatino de la temperatura y disminuciones en la precipitación, pueden afectarse severamente en los años donde se presente el fenómeno de El Niño, el cual típicamente reduce las precipitaciones y aumenta la temperatura promedio. Así mismo, en los años en que se presente el fenómeno de La Niña, las regiones donde se esperan aumentos de precipitación podrán ser más afectadas, ya que este fenómeno se caracteriza por el aumento de las lluvias.

Para el periodo 2071 – 2100, se espera que la precipitación media disminuya entre 10 a 30% en cerca del 27% del territorio nacional (Amazonas, Vaupés, sur del Caquetá, San Andrés y Providencia, Bolívar, Magdalena, Sucre y norte del Cesar). Estas reducciones en las lluvias sumadas a los cambios en el uso del suelo pueden acelerar e intensificar los procesos de desertificación y pérdida de fuentes y cursos de agua, con los consecuentes impactos sobre la salud humana, la producción agropecuaria y forestal, la economía y la competitividad regional. De otro lado, para el mismo periodo se espera que la precipitación aumente entre 10 a 30% en cerca del 14% del territorio nacional (Nariño, Cauca, Huila, Tolima, Eje Cafetero, occidente de Antioquia, norte de Cundinamarca, Bogotá y centro de Boyacá). Estos aumentos en las lluvias sumados a los cambios en el uso del suelo pueden incrementar la posibilidad de deslizamientos, afectación de acueductos veredales y daño de la infraestructura vial en áreas de montaña, así como de inundaciones en áreas planas del país (IDEAM, 2015).

## 8.4 ELEMENTOS CONCEPTUALES RESPECTO A LA SUSCEPTIBILIDAD DE DISTRIBUCIÓN DEL VIRUS DE CHIKUNGUÑA

### **8.4.1 Susceptibilidad**

El clima es un componente importante de numerosos ecosistemas, cualquier variación que éste experimente afectará a los demás componentes, entre los cuales se incluyen microorganismos, vectores insectarios, reservorios animales y seres humanos, generando un cambio en la incidencia y distribución de numerosas patologías, mayoritariamente infecciosas. Al respecto, existe preocupación mundial en torno al impacto que el cambio climático puede producir sobre la distribución y carga de enfermedades, especialmente en países en vías de desarrollo (Diaz Sjostrom & Cruz Quintana, 2017).

Las enfermedades que se transmiten por insectos vectores suelen estar circunscriptas a las áreas geográficas donde estos insectos logran reproducirse fácilmente. En consecuencia, los brotes epidémicos surgen siempre que las condiciones ambientales favorezcan tal proliferación. El origen y desenlace de las infecciones transmitidas por vectores depende de una creciente complejidad de factores, principalmente de la interacción entre el agente etiológico, el vector, el huésped y el ambiente. Entre otras causas, el calentamiento global y el cambio climático al

modificar el ambiente favorece la proliferación de reservorios y vectores de agentes patógenos y facilitan la emergencia de enfermedades infecciosas.

Muchas actividades humanas como el talado de bosques y la extensión de áreas agrícolas, la construcción de represas, la producción industrial intensiva, la quema masiva de combustibles fósiles y otras actividades, alteran los ciclos climáticos naturales. Los desplazamientos humanos por turismo, trabajo, estudio o migraciones por guerras u otras causas, son también una forma eficiente de diseminación rápida de enfermedades virales emergentes. En general las infecciones transmitidas por mosquitos son particularmente afectadas por el calentamiento global debido al incremento del área geográfica “tropical” donde éstos se pueden reproducir fácilmente. El área tropical se está expandiendo y hay un incremento rápido de la “tropicalización” del planeta tanto hacia el norte como hacia el sur, con la consecuente existe la susceptibilidad de expansión de enfermedades infecciosas reemergentes a regiones donde ya habían sido eliminadas como el dengue y la fiebre amarilla o infecciones emergentes donde nunca habían existido como el Zika y el Chikunguña en muchos países del mundo (Martino, Olindo; Weissenbacher, Mercedes, 2017).

La susceptibilidad generalmente expresa la facilidad que un fenómeno pueda ocurrir sobre un determinado espacio geográfico (Jaime, 2015). Un posible enfoque para evaluar la incidencia del cambio climático sobre la distribución espacio temporal de la enfermedad es a partir de la modelación de las posibles afectaciones que sufrirá el departamento del Tolima en la distribución espacial de las variables climáticas que inciden en el establecimiento y proliferación del vector y de esta manera servir como una herramienta a la prevención de posibles casos que se puedan llegar a presentar más adelante.

#### **8.4.2 Amenaza**

La amenaza se define como el potencial de ocurrencia de eventos físicos con efectos adversos en la salud y el bienestar de la población, daños a la propiedad, pérdidas económicas, entre otras (Díaz Caravantes, 2018). El presente estudio tiene como objetivo identificar el clima (aumento de temperatura y variaciones de precipitación) como factor determinante para la ampliación de zonas donde se desarrolle el virus de la Chikunguña a causa del cambio climático.

#### **8.4.3 Vector**

Es un mosquito de la familia Culicidae llamado *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*. Se distribuye en forma permanente entre los 35° de latitud norte y 35° de latitud sur pero puede extenderse hasta los 45° norte y hasta los 40° sur, la altitud promedio en donde se encuentra es por debajo de los 1.200 metros, aunque se ha registrado en alturas de alrededor de los 2.400 metros sobre el nivel del mar.

*Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* es un mosquito con hábitos típicamente domiciliarios. Si bien se ha urbanizado, cuando la presión sobre sus poblaciones ha sido muy marcada se comprobó

su existencia en ámbitos periurbanos e incluso silvestres. Los sitios de cría son fundamentalmente artificiales: urbanos (en baldíos, cementerios, desarmaderos, basurales) o domésticos (neumáticos, floreros, botellas, bebederos de animales, latas abiertas o contenedores de cualquier tipo, depósito de agua de bebida, cisternas, vasijas, tinajas, todo tipo de recipientes en desuso, aun pequeños). En determinadas condiciones de presión sobre la población de mosquitos, se los ha encontrado colocando sus huevos en sitios naturales: axilas de plantas como las bromeliáceas y bananeros, huecos de árboles, de cañas (bambú, por ejemplo). Cuando las condiciones son propicias, el mosquito no suele desplazarse a grandes distancias de los sitios de oviposición, pero, eventualmente bajo condiciones artificiosas puede reconocerse un rango de dispersión activa de hasta 1-2 kilómetros. Por otro lado, la dispersión pasiva a través de medios de transporte (automóviles, trenes, camiones, ómnibus, barcos, aviones, otros) es uno de los factores más importantes de diseminación de estos mosquitos y de los virus dengue de una región a otra. Su ciclo de vida manifiesta una metamorfosis completa, es decir que las formas inmaduras salidas del huevo son completamente diferentes al adulto, las primeras son de vida acuática, las segundas de vida aérea (Ministerio de Salud de la Nación, 2016).

#### 8.4.3.1 Historia

A nivel mundial, *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* son dos de las especies más importantes de mosquitos, en lo que se refiere a la transmisión de enfermedades. Ambas se consideran especies invasoras, ya que han colonizado exitosamente muchos sitios fuera de sus ámbitos nativos. *Aedes aegypti*, originaria de África, migró al Nuevo Mundo durante los siglos XV al XVII a bordo de los barcos que transportaban esclavos. Las múltiples invasiones de *Ae. albopictus* en América son de origen mucho más reciente y han ocurrido durante las últimas dos o tres décadas. Esta especie, originaria del Oriente e India, se extendió hacia el oeste hasta las islas Mauricio, las Seychelles y Madagascar, transportada por humanos hace más de un siglo, e invadió islas del Pacífico Sur cien años antes de llegar al Nuevo Mundo a bordo de buques que transportaban neumáticos (Philip, 2015)

#### 8.4.3.2 Ciclo de vida

El desarrollo del mosquito puede ser dividido en cuatro fases:

- a) Luego de una alimentación sanguínea las hembras pueden colocar entre 50 y 150 huevos pequeños (de 0.8 Mm) en las paredes de los recipientes, sobre el nivel del agua; cuando el recipiente recibe agua nuevamente los huevos son inundados y se produce la eclosión de los mismos. Se ha visto que, en condiciones ecológicas particulares, las hembras colocan un 10-20% directamente en el agua y el resto pegado a la superficie del recipiente. Cada vez que sube el nivel del agua en el recipiente eclosiona un grupo de huevos, de este modo, se aseguran una eclosión escalonada que permite la supervivencia aún en condiciones desfavorables (Ej. épocas de sequía). Al momento de la postura son

de coloración blanca, casi transparentes, en contacto con el aire van adoptando la coloración oscura característica. Los huevos son formas de resistencia que pueden sobrevivir durante muchos meses en clima adverso hasta que las condiciones ambientales favorezcan su eclosión. Al parecer los sitios, horarios y épocas en que la hembra pone los huevos podrían corresponder a patrones de comportamiento previsibles, útiles para definir acciones de prevención.

- b) Los huevos eclosionan dando lugar a formas larvarias, acuáticas, nadadoras, de respiración aérea, que se alimentan por filtración de material en suspensión o acumulado en paredes y fondo del recipiente, para lo cual utilizan las cerdas bucales en forma de abanico. Se asemejan a otras larvas de mosquitos por la cabeza y tórax ovoides y el abdomen con 9 segmentos. El segmento posterior (anal) del abdomen tiene 4 branquias lobuladas para la regulación osmótica y un sifón corto (que las distingue de otras especies de mosquitos) para la respiración en la superficie del agua. La posición en reposo en el agua es casi vertical y se desplazan en el medio líquido con un movimiento serpenteante característico. Son fotosensibles (sensibles a la luz), al iluminarlas se desplazan al fondo del recipiente casi de inmediato. La fase larval es el período de mayor alimentación, crecimiento y vulnerabilidad en el ciclo de vida de *Aedes aegypti*. La duración del desarrollo larval depende de la temperatura, la disponibilidad de alimento y la densidad de larvas en el recipiente. En condiciones óptimas (temperaturas de 25°C a 29°C) el período desde la eclosión hasta la pupación es de 5 a 7 días, habitualmente es de 7 a 14 días. Las larvas no pueden resistir temperaturas inferiores a 10°C o superiores a 45°C, a menos de 13°C se interrumpe el pasaje a estado de pupa.
- c) Posteriormente las larvas mudan al estado de pupa, las cuales no se alimentan y tienden a moverse poco, presentan un estado de reposo donde se producen importantes modificaciones y cambios anatómo-fisiológicos que conducirán a la última fase del desarrollo. Reaccionan inmediatamente a estímulos externos y se mantienen en la superficie del agua debido a su flotabilidad, propiedad que favorece la emergencia del insecto adulto. Este período dura de 1 a 3 días en condiciones favorables, en tanto que las variaciones extremas de temperatura pueden prolongarlo. Disponen en la base del tórax de un par de tubos o trompetas respiratorias que atraviesan la superficie del agua para permitir la respiración, en la base del abdomen poseen un par de remos, paletas o aletas que le permiten desplazarse en el agua.
- d) El último estado es el adulto alado. Inmediatamente luego de emerger de la pupa permanecen en reposo para lograr el endurecimiento del exoesqueleto y de las alas. Dentro de las 24 horas siguientes, machos y hembras se aparean, generalmente por única vez en el caso de las hembras y se inicia la etapa reproductora. El apareamiento se realiza

por lo general durante el vuelo, una sola inseminación del macho es suficiente para fecundar todos los huevos que una hembra produce durante toda su vida. Las formas adultas tienen dimorfismo sexual, pueden diferenciarse machos y hembras por las características de las antenas (plumosas y palpos más largos en los primeros y desnudas en las segundas). Ambos son fitófagos, la hembra además hematófaga (necesita de proteínas disponibles en la sangre para la producción de sus huevos), y se mantienen siempre en las cercanías de las viviendas del hombre. Las hembras vuelan siguiendo los olores y gases emitidos por las personas que serán su fuente de alimentación, cuando están cerca disponen de estímulos visuales mientras sus receptores olfativos, táctiles y térmicos las guían hacia el sitio de alimentación, ésta y la ovipostura se realizan por lo general durante el día (Ministerio de Salud de la Nación, 2016)

#### 8.4.3.3 Enfermedades transmitidas

El mosquito doméstico *Aedes aegypti* es considerado en América como el principal vector transmisor de enfermedades ya que es capaz de transmitir dengue, zika, fiebre amarilla y chikunguña, estas son enfermedades propias de zonas con climas cálidos y/o húmedos, de países ubicados en la región tropical del planeta. Presenta una distribución mundial y se le puede encontrar entre los 45° de latitud norte y los 35° de latitud sur (Victor, 2015).

### **8.4.4 Virus de Chikunguña**

#### 8.4.4.1 Virus

El virus chikunguña es un alfavirus, de tipo RNA, de polaridad positiva, perteneciente a la familia *Togaviridae*. Su diámetro es de 60-70 nm. Tiene cápside icosaédrica envuelta por una membrana lipídica; por ser un virus envuelto es sensible a la desecación, a temperaturas mayores de 60 °C y a sustancias como paraformaldehído, formaldehído y ácidos acético y peracético.

#### 8.4.4.2 Transmisor

El principal mecanismo de transmisión del virus chikunguña a los humanos es la picadura de la hembra hematófaga del vector *Aedes aegypti* o *Aedes albopictus*, vectores antropofílicos responsables de la transmisión humano-mosquito-humano. Sin embargo, se han informado otros tipos de transmisión: por la placenta, exposición en el laboratorio, transfusión sanguínea y trasplante de órganos o tejidos; no hay evidencia de transmisión de este virus por la leche materna. El mosquito *A. aegypti* es originario de África, pero debido a la migración poblacional hay una alta tasa mundial de infestación por él. Por otra parte, *A. albopictus*, es originario de Asia, se encuentra principalmente en Estados Unidos, México, Guatemala, Bolivia, Argentina y Brasil. Los momentos pico donde el mosquito transmite el virus son en las horas de la mañana y en el atardecer. Los huevos y larvas de *Aedes* spp., se encuentran en abundancia en el peridomicilio lo cual pone en riesgo a los habitantes si no cuentan con las medidas adecuadas de saneamiento (Zuluaga Gómez & Vanegas Isaza, 2015).

#### 8.4.4.3 Población vulnerable

Es importante tener en cuenta que la infección es silenciosa en 15 %, en promedio, de los individuos infectados. La fiebre Chikunguña puede derivar a enfermedades graves. Esta capacidad del virus depende de factores de riesgo, principalmente la edad y el sexo del paciente, aunque. En cuanto a la edad, los niños suelen presentar menor gravedad que los adultos, además la reiteración de las recaídas y su duración se incrementan con la edad del paciente, aunque los jóvenes presentan mayor riesgo de infección. Los adultos, sobre todo los mayores de 65 años, suelen presentar mayor riesgo de enfermedad atípica grave, e incluso la muerte, registrándose una tasa de mortalidad 50 veces superior a la de los adultos menores de 45 años. La posible causa de presentar mayor riesgo es una reducida respuesta inmunológica y la existencia de más enfermedades concomitantes como hipertensión arterial, diabetes o problemas sanguíneos.

Las mujeres presentan mayor proporción de infección por el virus Chikunguña y suele ser más grave que en los hombres. También es considerado un factor de riesgo que la mujer esté infectada por Chikunguña durante el embarazo, ya que puede provocar la enfermedad en el recién nacido. El momento de mayor riesgo de transmisión de madre a hijo es en el momento del parto, presentando un 49% más de riesgo sobre todo el periodo del embarazo. Aunque los bebés nacen asintomáticos, suelen desarrollar con el tiempo fiebre, dolor, erupción cutánea, e incluso, afecciones neurológicas, provocando posibles discapacidades a largo plazo.

#### 8.4.4.4 Enfermedad

La infección por Chikunguña puede provocar manifestaciones inusuales, como afectar al sistema nervioso central, provocando encefalitis, convulsiones o accidente cerebrovascular, o provocar alteración cardiovascular, renal, ocular o dermatológica, como hiperpigmentación o úlceras cutáneas. Muchas de estas manifestaciones aparecen como consecuencia de la existencia de comorbilidades previas en el paciente. Las más frecuentes son hipertensión, enfermedades respiratorias, cardíacas y diabetes, donde estas dos últimas están mayormente implicadas en enfermedad articular persistente. También se indican indicios de relación entre el desarrollo de enfermedad crónica y la presencia previa de artritis y otras enfermedades articulares (Vergara, 2017).

##### 8.4.4.4.1 Fase aguda:

Fiebre alta de más de 39 °C, de comienzo brusco y dolores articulares severos, de tres a 10 días de duración. Se acompaña de cefaleas, dolor de espalda difuso, mialgias, fatiga, náuseas, vómitos, poliartritis migratoria y conjuntivitis. Los síntomas articulares son simétricos en manos y pies, pero pueden estar presentes en articulaciones más proximales. Esta afectación articular obliga a los pacientes a permanecer postrados. Una vez que desciende la fiebre, a los dos o tres días, aparece exantema máculo-papular en tronco y extremidades. En los niños se presentan ampollas similares a las quemaduras.

#### 8.4.4.4.2 Fase Subaguda:

La mayoría de los pacientes a los 10 días evolucionan a la mejoría clínica. Sin embargo, a los dos o tres meses los síntomas reaparecen y presentar síntomas reumáticos como poliartritis distal, exacerbación del dolor articular y tenosinovitis hipertrófica subaguda de muñecas y tobillos. Algunos pacientes desarrollan trastornos vasculares periféricos transitorios (síndrome de Raynaud), así como síntomas depresivos, fatiga general y debilidad.

#### 8.4.4.4.3 Fase Crónica:

Esta forma de presentación se define cuando los síntomas se mantienen por más de tres meses; y pueden permanecer durante un año o más. El síntoma más frecuente es la artralgia inflamatoria persistente en las articulaciones afectadas en la etapa aguda. También los pacientes presentan fatiga y depresión. Los factores de riesgo para las formas crónicas de la enfermedad son: edad menor de cinco años y mayor a 65 años, cuadro agudo severo y enfermedades articulares subyacentes. Estudios realizados en Sudáfrica, reportan que 12 a 18% de los pacientes infectados persisten con síntomas hasta tres años después de contraer la enfermedad.

#### 8.4.4.5 Epidemiología

Los primeros casos de fiebre Chikunguña se informaron en Tanzania (África) en el año 1952, se presentó un brote de enfermedad febril aguda similar al dengue, hubo en total 115 pacientes hospitalizados por fiebre de comienzo agudo, dolor articular intenso y exantema. Se logró aislar un nuevo arbovirus en 1953 a partir de suero humano y de mosquitos y se le dio el nombre de *chikungunya*, que en la lengua Makonde (grupo étnico de Tanzania y Mozambique) significa "el hombre que camina encorvado", pues entre los síntomas se destacaban los cambios posicionales asociados a la intensa artralgia y la limitación funcional que desencadenaba la infección por dicho virus.

En los años posteriores al aislamiento del virus, entre 1960 y 1990, se describieron casos esporádicos en África y Asia. En el 2004 se reportó uno de los episodios con mayor número de casos en la isla Lamu, de Kenya, y en este país con una seroprevalencia hasta del 75 %, antes de empezar su diseminación por la región del océano Índico, India y el resto de Asia gracias al paso de personas desde las islas Comoros.

El virus tiene la capacidad de reemerger rápidamente en ciertas áreas climáticas, y los viajeros son quienes lo propagan de un país a otro; ello plantea una amenaza especialmente para los países que no cuentan con los recursos de prevención y tratamiento para afrontar un brote masivo interno

El primer caso de Chikunguña en el continente americano se presentó en diciembre del 2013 en San Martín. En el mismo mes se confirmaron alrededor de 50 casos, con evidencia de transmisión autóctona, en Martinica. Desde su llegada hasta el día de hoy se han confirmado casos en 31 países de América. El número tan alto de personas infectadas se asocia a la

migración, las condiciones climáticas de ciertos países que hacen posible la supervivencia del vector y del virus y la falta de inmunidad de la población. Según datos del Centro para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC), hasta el 9 de enero del 2015 se habían hallado más de un millón de casos sospechosos y confirmado por laboratorio alrededor de 30.000 en 42 países del Caribe, Centroamérica, Suramérica y Norteamérica.

La situación geográfica de Colombia facilita la circulación y transmisión del virus; se presentan los dos vectores (*Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*) del Chikunguña aproximadamente en 845 municipios en los que residen alrededor de 24 millones de personas. El 72 % de los municipios están a menos de 2.220 m.s.n.m., lo que los hace susceptibles a la presencia del vector. Según el Ministerio de Salud y Protección Social, hasta el 20 de diciembre del 2014 se habían presentado en Colombia 74.566 casos confirmados del virus, y los departamentos con mayor número de personas afectadas eran Norte de Santander, Bolívar, Sucre, Atlántico, Guajira y Cesar

El Instituto Nacional de Salud (INS) informó, para la tercera semana de marzo del 2015, que el número total de casos de esta infección confirmados por clínica era de 231.392, con 1.528 confirmados por laboratorio y 3.848 sospechosos, para un total general de 236.768, lo que confirma que la infección por el virus aún tiene tendencia al aumento. El tratamiento actual de la infección por virus chikunguña es sintomático y ha sido difícil en muchos departamentos colombianos por escasez de analgésicos y antipiréticos, e incluso, del repelente utilizado para evitar la picadura del vector. (Zuluaga Gómez & Vanegas Isaza, 2015).

#### 8.4.4.6 Tratamiento

No existe un tratamiento farmacológico antiviral específico ni vacuna comercializada para esta enfermedad. El tratamiento es sintomático, En la enfermedad aguda se indica reposo, abundantes líquidos y paracetamol. En pacientes con dolor severo se aconseja valorar la indicación de corticoides o narcóticos a corto plazo. En la fase subaguda y crónica y según la severidad, deben evaluarse si se utilizan corticoides orales o intraarticulares, antiinflamatorios no esteroideos tópicos (Frías, 2014).

#### 8.4.4.7 Mecanismos de control

Los únicos medios existentes para controlar la propagación de la enfermedad son los que se enfocan en el mosquito transmisor, como lo son:

##### 8.4.4.7.1 Control mecánico:

Este mecanismo se basa principalmente en la gestión realizada por las entidades gubernamentales y de salud en busca de que los habitantes de una región endémica usen mecanismos de protección como repelentes o toldillos y estén limpiando regularmente las paredes de los contenedores de agua como tanques, baldes, latas, entre otros para eliminar los posibles huevecillos depositados por los mosquitos *Aedes aegypti* hembra

#### 8.4.4.7.2 Control químico:

El control químico consiste en la aplicación de productos insecticidas como el Malathion y larvicidas como el Temephos 1 % en busca de la erradicación del mosquito.

#### 8.4.4.7.3 Control biológico:

En este tipo de control se usan otros seres vivos que alteren la propagación del mosquito o que sirvan como depredadores en cualquiera de sus estados. Entre los depredadores más conocidos encontramos los mosquitos *Toxorhynchites* en cuyo estado larval se alimentan de otras larvas y peces como la tilapia que son larvívoros. Además, bacterias como el *Bacillus thuringiensis* producen la muerte a las larvas o la bacteria *Wolbachia* altera la reproducción del mosquito e imposibilita la transmisión del virus (López Montenegro, 2018).

## 8.5 METODOLOGÍAS Y MODELOS UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN DE ENFERMEDADES TROPICALES

El acelerado desarrollo de medios de transporte masivos en un mundo globalizado induce una alta movilidad de la población, bienes y servicios. Al mismo tiempo se ha producido una rápida evolución de los agentes patogénicos inducida por el cambio climático. Ambos factores han provocado que, en los últimos años, en diversos países alrededor del mundo se enfrenten a la emergencia, reemergencia, persistencia y propagación de diversas enfermedades infecciosas.

Como parte de las medidas de prevención, control y erradicación llevadas a cabo por distintas entidades sanitarias, se están usando modelos matemáticos y técnicas computacionales, dentro del marco de las ciencias de la complejidad, como medio para entender, estudiar, caracterizar y en algunos casos predecir la ocurrencia de una enfermedad infecciosa.

### **8.5.1 Modelo**

Un modelo es una generalización o abstracción de algún fenómeno o sistema utilizado para transmitir información cualitativa y/o cuantitativa, sobre el fenómeno/sistema que representa (Martínez, Gil, Guzmán, Castañeda, & Buitrago, 2016). Los modelos poseen las siguientes propiedades:

- Incluyen los aspectos cualitativos y cuantitativos de los sistemas vivos.
- Se pueden utilizar para determinar la evolución dinámica de un fenómeno/sistema con el tiempo, a partir de una condición conocida estado inicial.
- Son susceptibles de simulación en un ordenador, lo que implica que tienen una sola semántica, es decir, un significado inequívoco.

Entre estos modelos, se han distinguido como una alternativa eficiente para simular la propagación de epidemias. Estos modelos incorporan la evolución de la enfermedad en reglas simples y locales que deciden el próximo estado de la enfermedad con base en modelos

matemáticos o estadísticos usando técnicas computacionales para analizar la propagación de la misma.

Los espacios geográficos que representan las poblaciones de mosquitos y humanos se discretizan en celdas asociadas con subáreas geográficas. La dinámica global y local de la enfermedad se modela con base en reglas de transición local y la teoría de los modelos matemáticos, se estima la transición mediante los factores climatológicos ya que como es sabido la temperatura es un factor importante en el desarrollo del virus, pues afecta la reproducción del mosquito vector, por tanto, la prevalencia de la enfermedad. Además de las características geográficas, ambientales y climáticas, el modelo también toma en cuenta los ciclos de actividad económica de la población y movilidad de humanos y moscos como medio importante para explicar la propagación de la enfermedad (Lárraga & Álvarez Icaza, 2018)

Actualmente se encuentran diferentes metodologías que permiten conocer e identificar la distribución de enfermedades tropicales como el de transmisión y distribución en función de la temperatura que consiste en utilizar los escenarios de cambio climático para estimar los riesgos de transmisión futuros.

### **8.5.2 Modelos matemáticos**

#### **8.5.2.1 Modelo de Yakob, Kucharski, Hue, & Edmunds, 2016**

Un tipo de modelo es el matemático ento-epidemiológico del Zika, impulsado por el clima dentro de un marco bayesiano, que se basa en ecuaciones diferenciales ordinarias que describen la dinámica de las infecciones virales en las poblaciones de humanos y mosquitos (Yakob, Kucharski, Hue, & Edmunds, 2016).

#### **8.5.2.2 Modelo de Lopez Montenegro 2012**

Este modelo se enfoca en el planteamiento y estudio de modelos matemáticos que representan el crecimiento y control óptimo poblacional del *Aedes aegypti*, mosquito transmisor del virus de la enfermedad del dengue. Dichos modelos son planteados mediante sistemas de ecuaciones diferenciales no lineales, que incluyen ecuaciones diferenciales ordinarias y con retardo de tiempo en las variables de estado. Para el estudio de estos modelos se tiene en cuenta un análisis de estabilidad y/o algunos resultados numéricos de las soluciones (Montenegro, 2012).

#### **8.5.2.3 Modelo de Camargo 2012**

El modelo matemático se basa en la estructura clásica SIR (Susceptible - Infectado - Removido) propuesta por Kermack-McKendrick. Es un modelo determinístico que cuenta con 19 ecuaciones diferenciales ordinarias, de las cuales 16 representan la dinámica del virus en los humanos y las otras tres, las del vector. En, este modelo busca conocer la dinámica del virus del dengue que, a través del ajuste de parámetros, representa la situación de epidemiológica en Colombia desde 1997 (Camargo, 2012)

### **8.5.3 Modelos computacionales.**

#### **8.5.3.1 Sistemas de información geográfica SIG**

Es un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para soportar la captura, administración, manipulación, análisis, modelamiento y graficación de datos u objetos referenciados espacialmente, para resolver problemas complejos de planeación y administración. Es un sistema diseñado para soportar la captura, administración, manipulación, análisis, modelamiento y graficación de datos u objetos referenciados espacialmente, para resolver problemas complejos de planeación y administración.

Dentro de las funciones básicas de un sistema de información podemos describir la captura de la información, esta se logra mediante procesos de digitalización, procesamiento de imágenes de satélite, fotografías, videos, procesos aerofotogramétricos, entre otros.

Otra función básica de procesamiento de un SIG hace referencia a la parte del análisis que se puede realizar con los datos gráficos y no gráficos, se puede especificar la función de contigüidad de objetos sobre un área determinada, del mismo modo, se puede especificar la función de coincidencia que se refiere a la superposición de objetos dispuestos sobre un mapa.

La manera como se agrupan los diversos elementos constitutivos de un SIG quedan determinados por una serie de características comunes a varios tipos de objetos en el modelo, estas agrupaciones son dinámicas y generalmente obedecen a condiciones y necesidades bien específicas de los usuarios.

##### **8.5.3.1.1 Aplicaciones**

La utilidad principal de un Sistema de Información Geográfica radica en su capacidad para construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales y para utilizar esos modelos en la simulación de los efectos que un proceso de la naturaleza o una acción antrópica produce sobre un determinado escenario en una época específica. La construcción de modelos constituye un instrumento muy eficaz para analizar las tendencias y determinar los factores que las influyen, así como para evaluar las posibles consecuencias de las decisiones de planificación sobre los recursos existentes en el área de interés ( Carmona Alvaro., Monsalve, Jhon Jairo, 2013)

#### **8.5.3.2 Software ArcGIS**

Conjunto de herramienta destinadas a el análisis y procesamiento de datos espaciales mediante un conjunto de aplicaciones relacionadas entre sí destinadas al manejo y el tratamiento de la información geográfica, siendo su característica más reseñable el ser un SIG diseñado para trabajar a nivel multiusuario (ArcGis, 2010).

#### 8.5.3.3 Software TerrSet

Software para el seguimiento y el modelado de los sistemas terrestres que ofrece innovadoras herramientas para abordar de forma inteligente los principales desafíos del crecimiento global: cambio climático, cambios en los usos del suelo, variaciones en los ecosistemas, mediante análisis SIG y el procesado de imágenes de satélite (clarklabs, 2018).

#### 8.5.3.4 Modelo de Delgado, Córdova, & Rodríguez, 2004

En el caso de un estudio realizado en Venezuela se utilizaron imágenes meteorológicas y los modelos climáticos predictivos, insumos que permitieron evaluar y validar las tendencias climáticas tanto locales como regionales. Esta información integrada en un sistema de información geográfica SIG, se constituye en una excelente herramienta de prevención de los parámetros ambientales que pueden influir sobre la expresión espacial de alguna de estas enfermedades, en este caso, malaria, aportando al sistema de control sanitario, insumos para la toma de decisiones y de alertas tempranas. Grupos de investigación han ido manejando y estudiando estas enfermedades como es el caso de la malaria, dengue, etc. con estas tecnologías (Delgado, Córdova, & Rodríguez, 2004).

Por otra parte, es posible analizar la transmisión de la malaria, dengue y Chikunguña y su distribución geográfica considerando cambios climáticos, como el de estabilidad de transmisión para regionalizar el riesgo, que tiene en cuenta parámetros particulares de cada mosquito vector y la temperatura del aire (Kiszewski, Mellinger, Spielman, & Malaney, 2004).

#### 8.5.3.5 Modelo de Craig et al. 1999

Otra opción de análisis ha sido el trabajo realizado por Craig et al. (1999) Donde se propone un modelo de lógica difusa para la zonificación de la distribución estable de la malaria en el África subsahariana, basándose en la precipitación y temperatura; demostrando ser compatible con datos de campo y mapas históricos a escala continental, y estimando de manera conservadora la distribución de la malaria al no considerar las anomalías territoriales a escalas con mayor resolución espacial que pudieran afectar la distribución.

Rincón-Romero y Londoño (2009) adaptaron el modelo de Craig et al. (1999) a la resolución espacial y a las condiciones húmedas y heterogéneas propias de Buenaventura en el Valle del Cauca, Colombia, en su modelo incluyen variables geomorfológicas y antrópicas para identificar áreas de riesgo de transmisión de la malaria (Alarcón, 2017).

#### 8.5.3.6 Modelo de Alarcón, 2017

Este modelo determina la distribución espacial de las condiciones ambientales para la malaria (CAM) en Colombia para un período de referencia (1971-2000) y es proyectado bajo los escenarios de cambio climático 4.5 y 6.0 para los periodos (2011-2040) y (2070-2100) este modelo es una adaptación de la metodología de Rincón Romero y Londoño (2009). Para la determinación de las áreas CAM se usó la combinación de mapas de conveniencia de malaria

mediante el uso de software computacionales, producto de una evaluación de múltiples criterios ambientales (climáticos, paisaje y vegetación), este estudio a diferencia del de Rincón, no llega a la zonificación de riesgos de malaria, solamente a la zonificación de las condiciones ambientalmente óptimas para la aparición de la malaria (Alarcón, 2017).

#### 8.5.3.7 Modelo de Castañeda & Tunjano, 2018

Consiste en la implementación de modelos espacio temporales operados desde plataformas tecnológicas tipo SIG, con el fin de realizar una predicción del posible comportamiento de las enfermedades transmitidas por vectores (ETV's) por parte del mosquito *Aedes Aegypti* y Flebótomos, relacionando la información obtenida con las herramientas y metodologías IDW (interpolación lineal con ponderación de la distancia inversa) y LUR (Regresión Del Uso Del Suelo) aplicables del software Arcmap, junto con resultados obtenidos de imágenes satelitales, para complementar la información cartográfica digital de la zona de estudio y geoestadística avanzada por medio del software SPSS, obteniendo así relaciones del comportamiento de las enfermedades del dengue, Zika, chikungunya y leishmaniasis, y la incidencia en la salud ambiental de la región (Castañeda & Tunjano, 2018)

## 9. MARCO NORMATIVO

### 9.1 INTERNACIONAL

*Tabla 2. Marco normativo internacional*

<b>Norma</b>	<b>Contenido</b>
Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1992)	Convenio con la finalidad estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmosfera a un nivel que impida interferencias antropologías peligrosas en el sistema climático (ONU, Organizacion de las naciones unidas, 2016)
Protocolo de Kyoto (1995)	Este protocolo compromete a los países industrializados a estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero. (ONU, Organizacion de las naciones unidas, 2016)
Acuerdo de París (2016)	Acuerdo con el objetivo de combatir el cambio climático acelerar e intensificar las acciones y las inversiones necesarias para un futuro sostenible y reducir los efectos del cambio climático. (ONU, Organizacion de las naciones unidas, 2016)
Cumbre del clima (2019)	Reforzar el cumplimiento del Acuerdo de París e incrementar y acelerar la acción climática (ONU, Organizacion de las naciones unidas, 2016)

Objetivos de desarrollo sostenible 2015, agenda 2030	Objetivo 3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades. (ONU, Programa de las naciones unidas para el desarrollo , 2015)
Reglamento Sanitario Internacional (2005)	Instrumento jurídico internacional concebido para ayudar a proteger a todos los estados contra la propagación internacional de enfermedades, incluidos los riesgos para la salud pública y las emergencias de salud pública. (OMS, 2005)

*Fuente: Autores*

## 9.2 NACIONAL

*Tabla 3. Marco jurídico nacional*

<b>Norma</b>	<b>Contenido</b>
Constitución política 1991.	<p>Artículo 49. La atención de la salud y el saneamiento ambiental son servicios públicos a cargo del Estado. Se garantiza a todas las personas el acceso a los servicios de promoción, protección y recuperación de la salud.</p> <p>Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo (Colombia, Senado de la republica de, 2005).</p>
Política nacional de cambio climático 2017	Tiene por objetivo incorporar la gestión del cambio climático en las decisiones públicas y privadas para avanzar en una senda de desarrollo resiliente al clima y baja en carbono, que reduzca los riesgos del cambio climático y permita aprovechar las oportunidades que este genera (Ministerio de ambiente y recursos naturales, 2017).
Plan decenal de salud pública 2012-2021	Promover la salud de las poblaciones que, por sus condiciones sociales, son vulnerables a procesos ambientales, mediante la modificación positiva de los determinantes sociales, sanitarios y ambientales, fortaleciendo la gestión intersectorial, la participación comunitaria y social en el nivel local, regional, nacional e internacional (Ministerio de Salud y Protección Social, 2013).

<p>Plan nacional de respuesta frente a la introducción del virus Chikunguña en Colombia 2014</p>	<p>El propósito del Plan es preparar el sistema de vigilancia y respuesta frente al riesgo de introducción del virus Chikunguña en territorio nacional, con énfasis en regiones con infestación del vector <i>Aedes aegypti</i> y <i>Aedes albopictus</i> (Ministerio de Salud y Protección Social, 2013).</p>
<p>Ley 164 de 1994</p>	<p>Por medio de la cual se aprueba la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecha en Nueva York el 9 de mayo de 1992 (Senado de la republica de Colombia, 1994).</p>
<p>Ley 1955 de 2019</p>	<p>Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 Pacto por Colombia, pacto por la equidad (Departamento Nacional de Planeación, 2019).</p>
<p>Ley 1931 de 2018</p>	<p>Por la cual se establecen directrices para la gestión del cambio climático (Colombia, 2018).</p>
<p>Ley 388 de 1997</p>	<p>El establecimiento de los mecanismos que permitan al municipio, en ejercicio de su autonomía, promover el ordenamiento de su territorio, el uso equitativo y racional del suelo, la preservación y defensa del patrimonio ecológico y cultural localizado en su ámbito territorial y la prevención de desastres en asentamientos de alto riesgo, así como la ejecución de acciones urbanísticas eficientes (Senado de Colombia, 1997).</p>
<p>Decreto 780 de 2016</p>	<p>Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Salud y Protección Social (Ministerio de Salud y Protección Social, 2016).</p>
<p>Decreto 3518 de 2006</p>	<p>Por el cual se crea y reglamenta el Sistema de Vigilancia en Salud Pública, Sivigila, para la provisión en forma sistemática y oportuna, de información sobre la dinámica de los eventos que afecten o puedan afectar la salud de la población. Tomar decisiones para la prevención y control de enfermedades y factores de riesgo en salud, optimizar el seguimiento y evaluación de las intervenciones y racionalizar y optimizar los recursos disponibles para lograr la efectividad de las acciones frente a la protección de la salud individual y colectiva (Ministerio de salud y protección social, 2006).</p>

Resolución 1841 de 2013	Por el cual se define el Plan Decenal de Salud Pública 2012 – 2021 y en la dimensión Vida Saludable y Enfermedades Transmisibles la Estrategia de Gestión Integrada de las enfermedades transmitidas por vectores (Ministerio de Salud y Protección Social, 2013).
-------------------------	--

*Fuente: Autores*

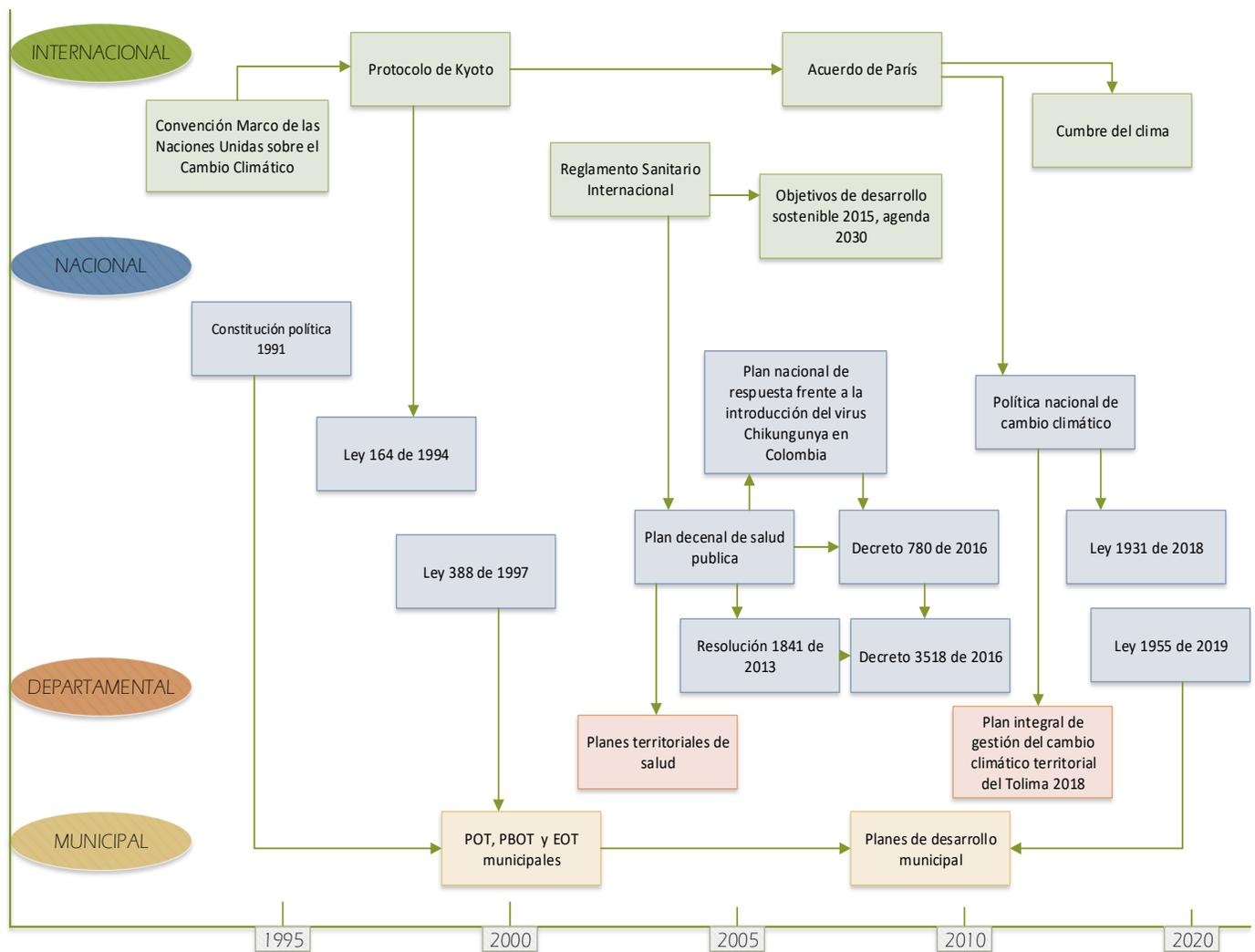
### 9.3 DEPARTAMENTAL Y MUNICIPAL

*Tabla 4. Marco normativo departamental y municipal*

<b>Norma</b>	<b>Contenido</b>
Plan integral de gestión del cambio climático territorial del Tolima 2018	Establecer las directrices para la gestión del cambio climático en las decisiones de las entidades públicas, privadas y demás actores sociales del Departamento del Tolima, destinadas a la adaptación al cambio climático, así como a la mitigación de los efectos del mismo (Cortolima, 2018).
Planes territoriales de salud	Instrumento estratégico e indicativo de política pública en salud, que permite a las entidades territoriales contribuir con el logro de las metas estratégicas del Plan Decenal de Salud Pública. (Ministerio de salud y protección social, 2012).
Planes de desarrollo municipal	instrumento de planificación con el que las administraciones locales definen los programas y proyectos que ejecutarán durante su período de gobierno (Departamento Nacional de Planeación, 2019).
POT, PBOT y EOT municipales	Instrumento básico definido en la Ley 388 de 1997, para que los municipios y distritos del país planifiquen el ordenamiento del territorio. (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2000).

*Fuente: Autores*

Ilustración 1. Marco normativo



Fuente: Autores

## 10. DESCRIPCIÓN ÁREA DE ESTUDIO

### 10.1 GENERALIDADES

El Departamento del Tolima se encuentra localizado en el centro del país entre las cordilleras Central y Oriental de Colombia, haciendo parte de la región Andina por lo que se presentan alturas que van desde los 220 m.s.n.m., hasta encima de los 5000 m.s.n.m. Cuenta con una superficie de 24.139 km<sup>2</sup> que representa el 2,1% del territorio nacional. El Tolima está dividido en 47 municipios, 30 corregimientos, 217 inspecciones de policía, así como en numerosos caseríos y sitios poblados. Su capital es la ciudad de Ibagué.

## 10.2 SÍMBOLOS



Ilustración 2. Bandera y escudo que representan el departamento del Tolima



Fuente: (Uniibague, 2015)

## 10.3 MUNICIPIOS

A continuación, se presentan los municipios que conforman en departamento:

Tabla 5. Municipios del departamento del Tolima

No.	Municipio
1	Ibagué
2	Alpujarra
3	Alvarado
4	Ambalema
5	Anzoátegui
6	Armero Guayabal
7	Ataco
8	Cajamarca
9	Carmen de Apicalá
10	Casabianca
11	Chaparral
12	Coello
13	Coyaima
14	Cunday
15	Dolores
16	Espinal
17	Guamo

<b>18</b>	Falan
<b>19</b>	Flandes
<b>20</b>	Fresno
<b>21</b>	Herveo
<b>22</b>	Honda
<b>23</b>	Icononzo
<b>24</b>	Lérida
<b>25</b>	Líbano
<b>26</b>	Melgar
<b>27</b>	Murillo
<b>28</b>	Natagaima
<b>29</b>	Ortega
<b>30</b>	Palocabildo
<b>31</b>	Piedras
<b>32</b>	Planadas
<b>33</b>	Prado
<b>34</b>	Purificación
<b>35</b>	Rioblanco
<b>36</b>	Roncesvalles
<b>37</b>	Rovira
<b>38</b>	Saldaña
<b>39</b>	San Antonio
<b>40</b>	San Luis
<b>41</b>	San Sebastián de Mariquita
<b>42</b>	Santa Isabel
<b>43</b>	Suarez
<b>44</b>	Valle de San Juan
<b>45</b>	Venadillo
<b>46</b>	Villahermosa
<b>47</b>	Villarrica

*Fuente: Autores*

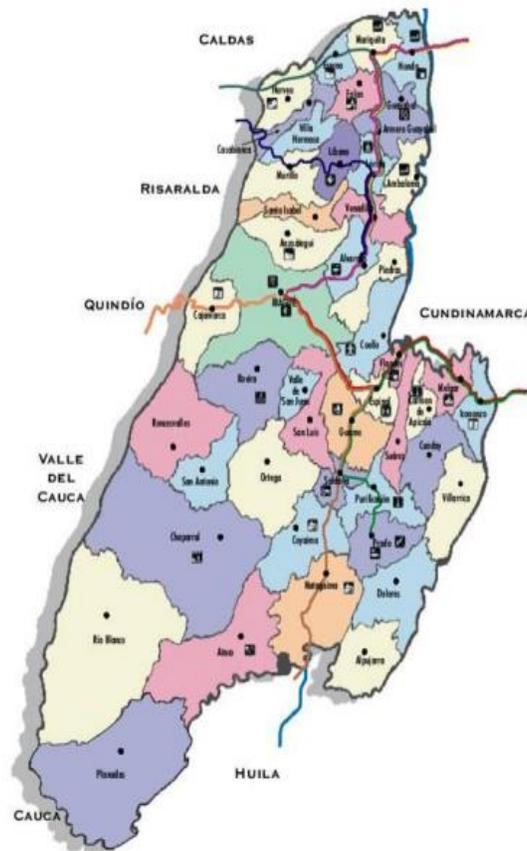
## 10.4 GEOGRAFÍA

Su ubicación geográfica limita al norte con el Departamento de Caldas; al oriente con los departamentos de Cundinamarca y Huila; al sur con los departamentos de Huila y Cauca y al occidente con los departamentos de Valle del Cauca, Quindío y Risaralda. Presenta 9.673 Km de piso térmico cálido, 5789 Km de templado, 4.856 Km de piso frío y 3.087 Km de páramo (IGAC, 1996).

En el Tolima se pueden distinguir tres zonas: una plana, que corresponde a los Valles de los ríos Magdalena y Saldaña; y otra localizada al Sureste y que forma la vertiente Occidental de la

cordillera Oriental de donde se desprende la cordillera que encajona el cauce del río Cabrera; y una montañosa, ocupada por la cordillera Central. Dentro de este departamento encontramos el Río Magdalena que lo atraviesa de sur a norte y son afluentes los principales ríos del Tolima, entre ellos cabe señalar al río Saldaña, el Cabrera, el Coello, el Tetuán, el Gualí, el Río Recio y el Río Prado, donde se encuentra la represa que recibe su mismo nombre y es un centro turístico de Colombia (SISBEN, 2018).

*Ilustración 3. Mapa geográfico del departamento del Tolima, fuente*



*Fuente: (Uniibague, 2015)*

## 10.5 CLIMA

El departamento del Tolima existe una variada clasificación climática, en donde se diferencian cuatro áreas climáticas: una semihúmeda localizada en la parte alta de la cordillera Central y Oriental, que tiene precipitaciones superiores a los 2.000 mm anuales. De oeste a suroeste se distingue una pequeña área catalogada como ligeramente húmeda, con un rango de precipitaciones de 1.500 a 2.000 mm; esta misma unidad se extiende longitudinalmente sobre ambos piedemontes, los climas extremadamente fríos, se localizan en jurisdicción de Murillo y

Santa Isabel. Sobre el valle del río Magdalena se tipifica un sector subhúmedo, presentándose un clima cálido, con precipitaciones entre 1.000 y 1.500 mm y temperaturas medias anuales superiores a los 24°C (SISBEN, 2018).

El régimen de lluvias durante el año es bimodal, en la cual presenta dos épocas secas, la primera en los meses de junio, julio y agosto; y la segunda en los meses de diciembre, enero y febrero, siendo la principal la correspondiente a mitad de año, la segunda se ve más reflejada en dirección del centro y sur del departamento. Las temporadas de lluvias ocurren en los meses de marzo, abril y mayo y la segunda temporada en septiembre, octubre y noviembre.

Las mayores temperaturas se registran a lo largo de las riberas del río Magdalena, en municipios como Ambalema, Lérída, Espinal, Purificación, Coyaima y Natagaima, con valores medios superiores a los 28°C, constituyéndose una de las regiones más calientes del país. Al sur del valle del río Magdalena, las temperaturas disminuyen ligeramente. Sobre la cordillera central en límite con el departamento de Caldas se alcanzan temperaturas extremadamente frías sobre los picos nevados cercanas a 0°C e incluso por debajo de los -2°C, se dan en la parte más alta (Gobernación del Tolima, 2019).

La humedad media del aire en la parte alta de las cuencas del Río Saldaña, Coello y Gualí es muy alta, ya que puede sobrepasar el 80%, “esto correspondería a la altitud cercana al nivel de condensación en donde se ubican los denominados bosques de niebla”. Incluso hay sectores sobre la cordillera oriental que superan el 85% de humedad. En el sector del valle del río Magdalena se obtienen valores de humedad entre el 65 y 75% (Cortolima, 2016).

Una de las características geográficas más representativas del departamento es que se encuentran cuatro volcanes nevados de los seis glaciares ecuatoriales de montaña remanentes que quedan en el país; estos son el Ruiz, Santa Isabel, Tolima y Huila. Los glaciares, son ecosistemas de gran importancia y para la sociedad tolimense representan un componente fundamental de sus paisajes; a nivel hidrológico representan un rol significativo en la regulación y aporte de agua en las corrientes hídricas y los cuerpos de agua presentes los ecosistemas colindantes. Adicionalmente, juegan un rol vital en las condiciones climáticas de las montañas ya que “enfrian las masas de aire y aumentan su humedad relativa, favoreciendo la precipitación y circulan por los valles glaciares y demás espacios circundantes, lo que supone un enfriamiento de las zonas circundantes, generando condiciones ambientales específicas para las distintas especies de plantas y animales que habitan cerca de las altas cumbres” (Cortolima, 2018).

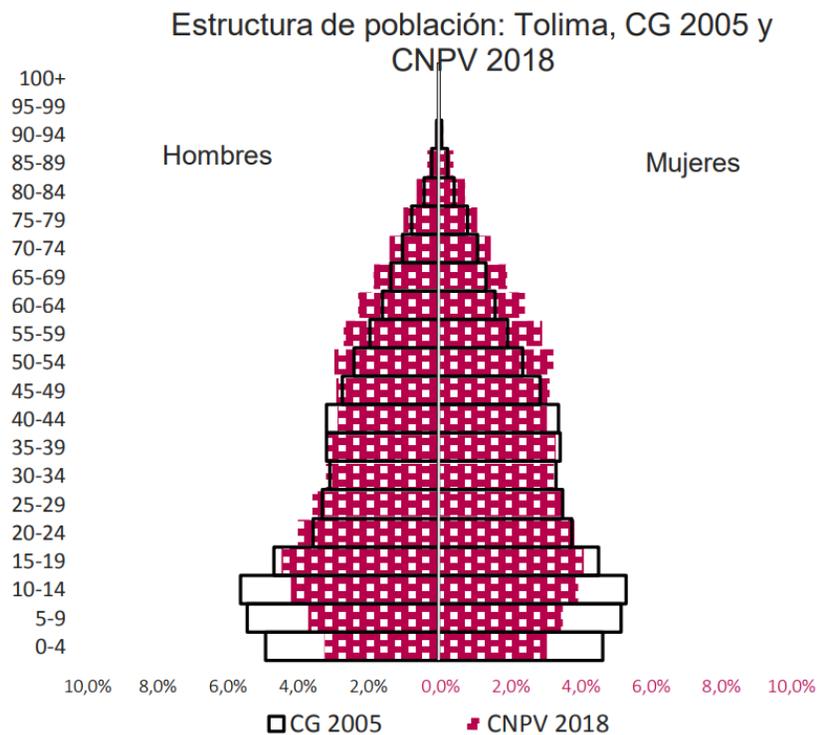
El Departamento cuenta con 3 Parques Nacionales Naturales (Parque Nacional Natural Las Hermosas, Parque Nacional Natural Los Nevados, y Parque Nacional Natural Nevado del Huila).

## 10.6 DEMOGRAFÍA

El Tolima cuenta con una densidad poblacional de 55.81 Hab/Km<sup>2</sup>. De acuerdo al censo realizado en el año 2018, el Tolima cuenta con una población de 1.228.793 habitantes de las cuales 609.017 son hombres (49,6%) y 619.746 son mujeres (50,4%). La mayoría de los habitantes del departamento vive en las cabeceras municipales con 907.506 personas (71%) y el resto vive en centros poblados y rural disperso con 422.681 habitantes (29%). Más del 45% de población se encuentra asentada en las dos principales ciudades: Ibagué y Espinal. respecto a la distribución de población. Por otra parte, el 3,7% de la población es indígena.

En el momento de realizar una comparación de la población en el departamento para los años 2005 y 2018, se observa que la población menor de quince años ha venido reduciéndose, paso de representar hace 13 años de un 30,7% a 22,6%. Por otra parte, la población de Tolima mayor de 60 años también viene en aumento para el año de 2005 era de 9% y en 2018 es de 13,3% (DANE, 2019). En la siguiente grafica se observa cómo ha sido el cambio en la estructura de la población en el departamento entre los años de 2005 y 2018.

Ilustración 4. Estructura de población: Tolima, CG 2005 y CNPV 2018,



Fuente: (DANE, 2018)

En cuanto a la tasa bruta de natalidad en el Tolima ha disminuido para el periodo 2015-2020 de 17,75 nacimientos por mil habitantes en comparación con el periodo 2005-2010 que presento

una tasa de 19.51 nacimientos por mil habitantes. Por otra parte, se observa que la esperanza de vida aumento (2005 a 2020) en 2 años, al pasar de 72,23 a 74,21, y la tasa de mortalidad infantil disminuyo para periodo 2015-2020 es de 18,50 por mil habitantes en paralelo con el periodo 2005-2010 con una tasa de 23 por mil habitantes (DANE, 2005).

## 10.7 ECONOMÍA

Entre sus actividades económicas se encuentra la agricultura, esta es altamente tecnificada e industrializada con la producción de arroz, ajonjolí, sorgo, café, algodón, caña panelera, soya, maíz, tabaco, yuca, y árboles frutales.

El maíz y el tabaco fueron los productos con más exportaciones en el siglo XX. La pesca también ha sido de gran provecho, gracias a los ríos Magdalena y el río Saldaña. La ganadería se desarrolla en varios municipios, pero más que todo para satisfacer la demanda local, principalmente es ganadería vacuna y le sigue la crianza de porcinos. También la económica se sustenta en la prestación de servicios comerciales, de transporte y comunicaciones. En cuanto a la industria, se desarrolla la producción de alimentos, bebidas, jabones, textiles, cemento y algunos materiales para construcción. Por otro lado, la minería ha prosperado en el municipio de Mariquita donde especialmente se extrae oro; en algunas zonas se extrae petróleo.

Sus atractivos turísticos se han desarrollado en diferentes municipios con sus centros y museos históricos como es el caso de los centros históricos de Mariquita y Honda. El ecoturismo también se ha pronunciado con los diferentes parques naturales como los Nevados y las Hermosas. En algunas épocas del año se celebran varias festividades culturales como las fiestas de San Pedro y San Juan (Gobernacion del Tolima, 2019)

El Tolima tuvo una taza de crecimiento del 5,1% y una participación departamental al PIB nacional del 2,4% y una contribución del 0,1 % al 1,8% crecimiento nacional del PIB de acuerdo al DANE en sus cuentas departamentales para el año 2017.

## 10.8 EL TOLIMA FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO: RIESGOS Y CONFLICTOS

Dentro de los conflictos que se han encontrado a causa del cambio climático en el departamento ha sido es la reducción de los glaciares, el IDEAM (2012) ha llevado a cabo monitoreos en los cuales se ha encontrado que para Colombia en el periodo 2016 – 2017, los resultados demuestran una tendencia al derretimiento acelerado, debido a que se extinguió un 5,8% del área glaciar en el país, los que equivale a 2,3 km<sup>2</sup>. Es de resaltar que esta situación está altamente influenciada por la situación del nevado Santa Isabel, debido a que, entre enero de 2016 y febrero de 2018, se extinguió el 37% de su área, posiblemente debido a cuatro causas: efectos del fenómeno de “El Niño” 2015 – 2016 en la baja nubosidad y alta radiación solar; depósitos de ceniza volcánica en el interior del hielo que quedaron expuestos sobre la superficie después de “El Niño”, lo cual cambia drásticamente el albedo y acelera la fusión; la masa de hielo se encuentra por debajo de

los 5000 msnm (actualmente los glaciares tropicales por debajo de los 5000 metros son más sensibles al incremento de las temperaturas); en la última década se ha presentado una reducción de la precipitación, lo cual afecta la producción de nieve, el alimento esencial del glaciar. Teniendo en cuenta los datos del monitoreo, se proyecta que el “declive total de este nevado tomaría una década” y podría ser más acelerado en caso de presentarse de nuevo “El Niño”, como consecuencia de la ausencia de nubosidad y aumento de la radiación solar (Corporación Autónoma Regional del Tolima, 2018).

Por otra parte, los volcanes nevados del Ruiz y Tolima presentan una reducción de área del 7%, mientras que el volcán nevado del Huila presenta una reducción de área del 2,7%. Esta puede ser una situación crítica, teniendo en cuenta la importancia de los glaciares en la regulación hídrica y climática para los municipios que hacen parte de los complejos y las zonas circundantes. Por ejemplo, los municipios de Planadas y Rioblanco hacen parte del complejo páramo Nevado Huila – Moras. Por otra parte, el glaciar Nevado del Tolima alimenta directamente las cuencas de los Ríos Totare y Combeima, siendo este último la principal fuente de suministro de agua de Ibagué. El complejo Los Nevados (Tolima, Santa Isabel y Nevado del Ruiz) hace parte de las subzonas hidrográficas Guarinó, Gualí, Río Lagunilla, Totaré, Opia y Coello. También se debe contemplar que estas subzonas son tributantes del Río Magdalena, por lo que los efectos del deshielo de los glaciares por cambio climático serán percibidos por una gran mayoría de habitantes del país.

(Cortolima, 2018) señala que en el departamento del Tolima:

- Los patrones climatológicos del Departamento del Tolima se perturban de manera recurrente por la variabilidad climática cuyas fases extremas alteran temporalmente la frecuencia de diversos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos.
- Aún es deficiente el conocimiento sobre el impacto de los fenómenos climáticos señalados en los ecosistemas del departamento.
- Los incendios forestales, los deslizamientos y las inundaciones son los eventos más recurrentes en el Departamento, y en cada decenio se registra el menos una sequía muy fuerte y un período de lluvias extremadamente intensos.

Para el periodo de 2000-2013, se reportaron en la plataforma de la UNGRD, que en el departamento de Tolima se presentaron: 17 avalanchas, 158 deslizamientos, 44 incendios forestales, 363 inundaciones, 2 sequías y 105 vendavales.

De acuerdo al (IDEAM, 2007) las anomalías climáticas más marcadas en el Departamento del Tolima son asociadas a los fenómenos de El Niño y de La Niña. han precisado que bajo la influencia del fenómeno de El Niño en el Departamento se generan aumentos de temperatura media del aire hasta de más de 2°C por encima del promedio (lo común en cada mes), mientras

que el efecto del fenómeno de La Niña se manifiesta con reducción de la misma hasta 1°C por debajo de los valores usuales en cada mes.

Dado que bajo la influencia del fenómeno de El Niño predominan condiciones secas y el fenómeno hidrológico de la sequía cubre la mayor parte del Departamento, los incendios forestales se incrementan substancialmente. En el caso de la influencia del fenómeno de La Niña, el mayor número de días con lluvia y la mayor frecuencia de lluvias intensas, se incrementan los deslizamientos, las crecientes e inundaciones súbitas y, para las zonas bajas o planas cerca del Magdalena se presenta el fenómeno hidrológico de las inundaciones de largo plazo. Las fases extremas de la variabilidad interanual causadas por los fenómenos de El Niño y de La Niña traen para el Departamento impactos importantes como un claro ejemplo es el déficit hídrico, en periodos de “El Niño” especialmente el de 2007 la afectación fue significativa para producción lechera, así como en la disponibilidad de agua para la población. Otro ejemplo claro fue en el periodo 2010- 2011 el fenómeno de la “niña” afecto 1.165.413 de hectáreas equivalentes al 3% de la superficie ganadera afectadas por las inundaciones. La afectación fue de 2.068.385 de animales el 5,1% del inventario proyectado por el MADR para 2011. Se estima murieron 160.965 animales orientados a la producción de carne o leche y el valor del perjuicio sufrido por el inventario de ganado durante este periodo fue de \$108.652 millones (Cortolima, 2018)

## 11.METODOLOGÍA

### 11.1 PRIMERA ETAPA

#### 11.1.1 Objetivo específico

Analizar y determinar la susceptibilidad a la distribución del virus Chikunguña bajo las condiciones climáticas actuales en el departamento del Tolima.

#### 11.1.2 Actividades generales:

En esta fase se realizó la recopilación de la información primaria y secundaria y el modelo de susceptibilidad actual del virus:

• Recolección de información primaria: Se recolectaron los datos de los casos presentados desde la semana epidemiológica 1 del año 2014 hasta la semana 40 de 2019 en el Departamento de Tolima por municipios, la información fue obtenida mediante la plataforma del SIVIGILA (Sistema de Vigilancia de Salud Pública) de los archivos vigilancia rutinaria años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019.

• Recolección Información secundaria: Se recopiló información respecto a las características óptimas para el crecimiento, reproducción y distribución del vector *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*, así como aquellos factores que son limitantes para la propagación del mismo de

investigaciones, documentos y estudios del Ministerio de Salud y Protección Social, Organización Mundial de la Salud, Instituto Nacional de Salud, Organización Panamericana de la Salud y demás fuentes representativas.

•Modelamiento de la susceptibilidad actual: Con la información adquirida tanto primaria, así como secundarias, se realizó un modelo de susceptibilidad actual del virus Chikunguña para el departamento de Tolima, con ayuda del software ArcGis 10.5 y la aplicación de metodologías de (Pizano, 2015) y (Castañeda & Tunjano, 2018).

•Validación: Dentro del modelo realizado, se ubicó los casos hallados desde la semana epidemiológica 1 del año 2014 hasta la semana 40 de 2019, para de esta manera dar validez al modelo desarrollado a través de la correlación entre la proyección propuesta de municipios más susceptibles a casos de la enfermedad y las zonas donde se presentan casos reales reportados al sistema de vigilancia de salud pública durante el periodo mencionado.

### **11.1.3 Descripción Metodológica**

Con base en las metodologías de (Pizano, 2015) y (Castañeda & Tunjano, 2018) y la información secundaria recolectada del departamento obtenida de fuentes como el IDEAM, SIAC, IGAC y DANE. Se utilizó el complemento de herramientas de análisis predictivo de ArcGIS (PATools), que permite modelar e identificar todas las ubicaciones donde la elevación, pendiente, humedad relativa, la precipitación, la temperatura la cobertura de tierra y densidad poblacional son similares a los lugares donde se han producido brotes previos de infecciones transmitidas por *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*.

Finalmente, se validó el modelo, ubicando los casos reportados para el departamento desde la semana epidemiológica 1 del año 2015 hasta la 40 del 2019 dentro del mapa elaborado en la actividad anterior.

A continuación, se representó el modelo de susceptibilidad formulado a la distribución actual del virus del Chikunguña para el departamento de Tolima de la siguiente forma:

- 11.1.3.1 Susceptibilidad

$$Su = Idp + Icli. + Ire + ico .$$

Donde:

Su=susceptibilidad

Icl = Índice climático

Ire = Índice relieve

Ico = Índice cobertura (óptimo tejido urbano continuo, tejido urbano discontinuo)

Idp= Índice densidad poblacional óptimo mayor a 150 hab/Km<sup>2</sup>)

Tabla 6. Rangos susceptibilidad

<b>SUSCEPTIBILIDAD</b>	
<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>RANGO</b>
Muy bajo	1 a 4
Bajo	5 a 8
Medio	9 a 12
Alto	13 a 16
Muy Alto	17 a 20

Fuente: Autores

- 11.1.3.2 Índice de densidad poblacional

Para el índice de densidad poblacional fueron utilizados los datos del último censo efectuado por el DANE año 2018

Tabla 7. Rangos índice centros poblados

<b>ÍNDICE DENSIDAD POBLACIONAL</b>		
<b>VALORACIÓN</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>RANGO (hab/km<sup>2</sup>)</b>
1	Muy bajo	Menor a 20
2	Bajo	21-50
3	Medio	51-100
4	Alto	101-150
5	Muy Alto	Mayor a 150

Fuente: Autores

- 11.1.3.3 Índice climático (temperatura, precipitación y humedad relativa)

Los datos utilizados para determinar el índice climático fueron obtenidos de (Alarcón, 2017) precipitación total anual, temperatura en °C y humedad relativa en % de las estaciones climatológicas de la región y fueron interpolados mediante la herramienta del software ArcGis como Kriging.

$$Icl = T^{\circ} * pp * Hr$$

Icl = Índice climático

T°= Temperatura (optimo 26 a 30 °C)

Pp= Precipitación (optimo mayor a 1000mm anuales)

Hr= Humedad relativa (optimo mayor al 70%)

Tabla 8. Rangos índice climático

INDICE CLIMÁTICO		
VALORACIÓN	CLASIFICACIÓN	RANGO
1	Muy bajo	1 a 3
2	Bajo	4 a 6
3	Medio	7 a 9
4	Alto	10 a 12
5	Muy Alto	13 a 15

Fuente: Autores

Tabla 9. Rangos temperatura

TEMPERATURA		
VALORACIÓN	CLASIFICACIÓN	RANGO (°C)
1	Muy bajo	menor a 10 y mayor 45
2	Bajo	10.1 a 16 y de 35 a 44
3	Medio	16.1 a 21
4	Alto	21.1 a 25
5	Muy Alto	25.1 a 35

Fuente: Autores

Tabla 10. Rangos precipitación

PRECIPITACIÓN		
VALORACIÓN	CLASIFICACIÓN	RANGO (mm anual)
1	Muy bajo	Mayor a 3500
2	Bajo	Menor a 500
3	Medio	500 a 1000
4	Alto	1000 a 2000
5	Muy Alto	2000 a 3000

Fuente: Autores

Tabla 11. Rangos humedad relativa

<b>HUMEDAD RELATIVA</b>		
<b>VALORACIÓN</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>RANGO (%)</b>
1	Muy bajo	menor a 70
5	Muy Alto	mayor a 70

Fuente: Autores

- 11.1.3.4 Índice de relieve (elevación y pendiente)

El índice de relieve tanto elevación como pendiente fueron estimados mediante la información de un modelo digital de elevación DEM del área de estudio obtenido de (Alarcón, 2017), la elevación fue determinada mediante el uso de la herramienta Contour y la pendiente mediante la herramienta Slope.

$$Ire = Ele * Pe$$

Ire = Índice relieve

Ele= Elevación (optimo 0 a 1200m.s.n.m.)

Pe= Pendiente (optimo 0 a 3%)

Tabla 12. Rangos índice de relieve

<b>ÍNDICE ELEVACIÓN</b>		
<b>VALORACIÓN</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>RANGO</b>
1	Muy bajo	1 a 2
2	Bajo	3 a 4
3	Medio	5 a 6
4	Alto	7 a 8
5	Muy Alto	9 a 10

Fuente: Autores

Tabla 13. Rangos elevación

<b>ELEVACIÓN</b>		
<b>VALORACIÓN</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>RANGO (msnm)</b>
1	Muy bajo	mayor a 2200
2	Bajo	1901 a 2200
3	Medio	1601 a 1900
4	Alto	1201 a 1600

5	Muy Alto	0 a 1200
---	----------	----------

Fuente: Autores

Tabla 14. Rangos pendientes

<b>PENDIENTES</b>		
<b>VALORACIÓN</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>RANGO (%)</b>
1	Muy bajo	mayor a 11
3	Medio	5.1 a 11
5	Muy Alto	0 a 5

Fuente: Autores

- 11.1.3.5 Índice de cobertura

El índice de cobertura se estimó mediante el mapa de cobertura de la tierra encontrado en el portal web del SIAC (sistema de información ambiental de Colombia).

Tabla 15. Rangos cobertura

<b>ÍNDICE COBERTURA</b>		
<b>VALORACIÓN</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>RANGO</b>
1	Muy bajo	Otras coberturas (Tierras desnudas y degradadas, Zonas de extracción minera, Zonas quemadas, Afloramientos rocosos, Zonas glaciares y nivales)
2	Bajo	Zonas pantanosas, Bosque abierto, Zonas arenosas naturales, Plantación forestal, Herbazal, Arbustal, Bosque fragmentado, Bosque denso, Bosque de galería y Vegetación secundaria)
3	Medio	Mosaico de pastos y cultivos, Pastos limpios, Pastos arbolados, Mosaico de cultivos pastos y espacios naturales
4	Alto	Mosaico de cultivos, cultivos transitorios y permanentes, mosaicos de cultivos con espacios naturales, Ríos, Lagunas, Logos y Ciénagas
5	Muy Alto	Cuerpos de agua artificiales, Instalaciones recreativas, Tejido urbano continuo y discontinuo, Zonas comerciales.

Fuente: Autores

## 11.2 SEGUNDA ETAPA

### 11.2.1 Objetivo específico 2:

Modelar la susceptibilidad a la distribución del Chikunguña en el departamento de Tolima, bajo los escenarios de cambio climático RCPs 4.5 y 6.0 para el periodo 2011-2040.

### 11.2.2 Actividades generales:

En esta etapa se desarrolló las actividades que permitieron transformar los resultados de la primera etapa en una nueva información, que servirá como sustento para determinar los lineamientos para la gestión integral en la susceptibilidad de propagación del virus.

- Se elabora el modelamiento de la proyección de susceptibilidad en la distribución del virus Chikunguña, bajo el escenario RCP 4.5 (optimista) en el periodo 2011-2040.
- Se elabora el modelamiento de la proyección de susceptibilidad en la distribución del virus Chikunguña, bajo el escenario RCP 6.0 (pesimista) en el periodo 2011-2040.

### 11.2.3 Descripción metodológica

A partir de la caracterización tanto del vector como del virus (condiciones de supervivencia) se realiza el modelo de distribución bajo el escenario *a*) RCP 4.5 (optimista) y *b*) RCP 6.0 (pesimista) para el periodo 2011-2040.

Del mismo modo, se utiliza el complemento de herramientas de análisis predictivo de ArcGIS (PATools), para la elaboración de los modelos bajo los escenarios de cambio climático.

- 11.2.3.1 Susceptibilidad bajo es escenarios de cambio climático

Para la estimación de la susceptibilidad futura se usó el mismo modelo propuesto en la etapa uno pero con la variación en los datos producto de factores como la variación climática de los escenarios de cambio climático, el cambio de coberturas producto de la influencia del cambio climático y el crecimiento poblacional.

$$a) Suf_{4.5} = Idpfut + Icli_{(RCP^{4.5})} \cdot Ire + icofut$$

$$b) Suf_{6.0} = Idpfut + Icli_{(RCP^{6.0})} \cdot Ire + icofut$$

Donde:

Suf= Susceptibilidad futura

Icl = Índice climático escenario RCP 4.5 (optimista) ó 6.0 (pesimista)

Ire = Índice relieve

Icofut = Índice cobertura futuro

Idpfut= Índice densidad poblacional futuro

- 11.2.3.2 Índice de densidad poblacional futura

Para la estimación de la densidad poblacional futura se usó la información de los censos de 1993, 2005 y 2018 obtenida del DANE y con la cual se efectuó la proyección poblacional al año 2040 mediante los métodos aritmético, geométrico y exponencial no fue seleccionado un único método ya que por las características diferentes de cada uno de los municipios no se encontraba uno que se adaptara a todos por lo cual fue usado un promedio de los métodos descritos anteriormente.

- 11.2.3.3 Índice climático futuro

La estimación del índice climático fue mediante la información actual de precipitación, temperatura y humedad relativa variando los rangos proyectos en cada escenario encontrados en (Alarcón, 2017) y realizando nuevamente la interpolación a través de la herramienta Kriging para conocer los valores por cada uno de los municipios del departamento.

- 11.2.3.4 Índice de relieve futuro

Para la estimación de índice de relieve se usó la misma información de altitud actual y pendiente actual debido a que existen fenómenos influenciados por la actividad antrópica que pueden influir pero que no son posibles determinar como por ejemplo obras civiles o de ingeniería.

- 11.2.3.5 Índice de cobertura futuro

El índice de cobertura fue estimado mediante la proyección de cada una de las coberturas actuales en el departamento al año 2040 a través del software TerrSet que tiene en cuenta factores geográficos y sociales para su estimación como elevación, pendiente, cercanía a centros poblados, obras civiles cercanas, etc.

## 11.3 TERCERA ETAPA

### 11.3.1 Objetivo específico 2:

Formular lineamientos que permitan la gestión institucional para el virus Chikunguña.

### 11.3.2 Actividades generales:

- Se llevaron a cabo los análisis y relaciones que permitieron establecer las zonas con mayor susceptibilidad como puntos de intervención principal.
- Se generaron lineamientos para que diferentes instituciones puedan tomar decisiones frente a la gestión integral de la susceptibilidad a la distribución del virus.

### **11.3.3 Descripción metodológica**

En la tercera etapa se elaboró el análisis de los resultados obtenidos a partir de los modelos, identificando las zonas con mayor susceptibilidad.

A partir de lo anterior, se formuló lineamientos para que diferentes instituciones puedan realizar sus respectivos procesos de gestión integral de susceptibilidad del virus y planes de contingencia.

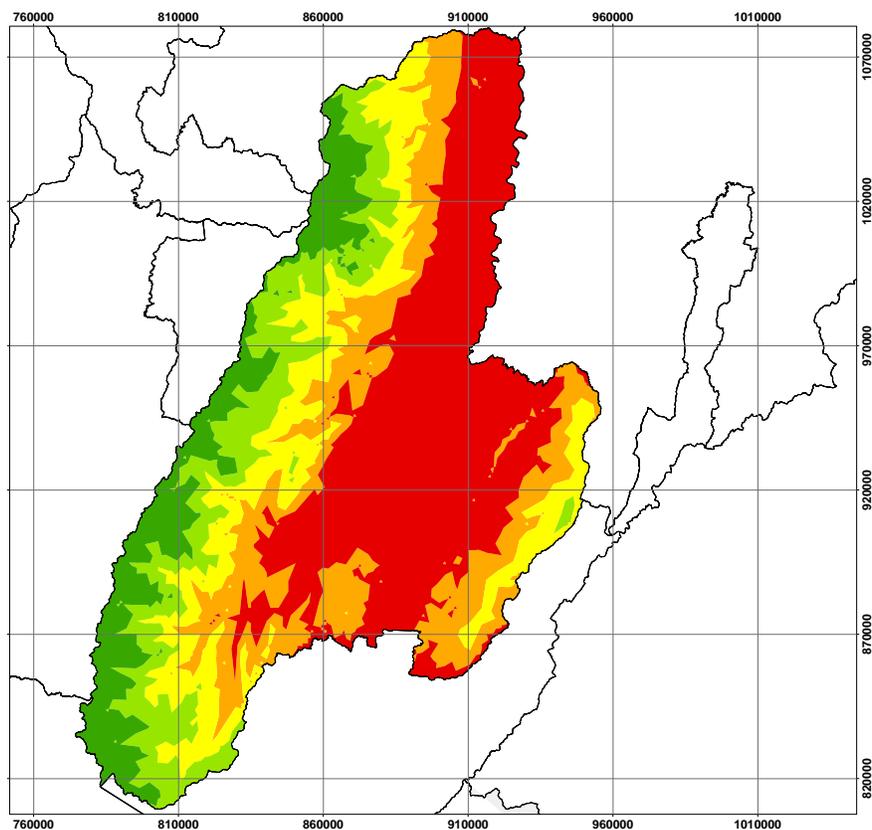
## **12. RESULTADOS**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos al desarrollar la metodología para cada uno de los indicadores:

### **12.1 TEMPERATURA**

#### **12.1.1. Temperatura actual**

*Ilustración 5. Mapa de temperatura actual*



*Fuente: (Alarcón, 2017)*

Tabla 16. Rangos de temperatura actual

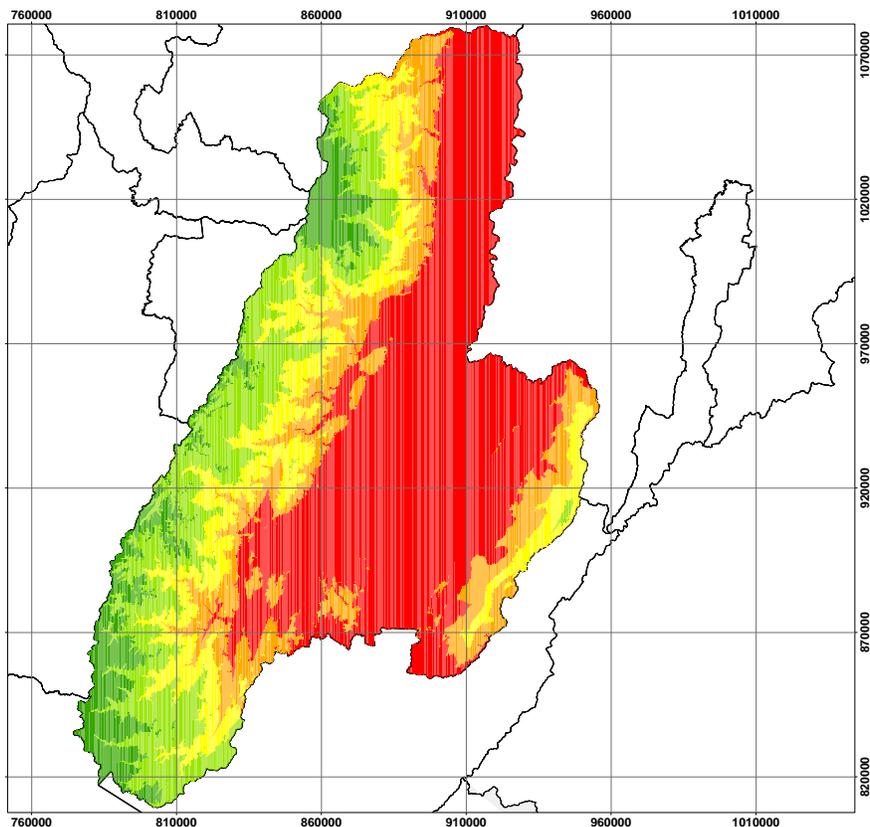
TEMPERATURA	SÍMBOLO	ÁREA Km <sup>2</sup>	% ÁREA
Muy bajo (menor a 10 °C y mayor 45°C)		2924.193125	12.114
Bajo (10.1°C a 16 °C y de 35°C a 44°C)		3412.569383	14.137
Medio (16.1°C a 21°C)		3968.425241	16.440
Alto (21.1°C a 25 °C)		4769.825387	19.760
Muy alto (25.1°C a 35°C)		9064.336306	37.550
<b>ÁREA TOTAL</b>		24139.34944	100.000

Fuente: Autores

En la ilustración 5. Se observa que el departamento del Tolima actualmente presenta en la mayoría de su territorio (más del 57%) una temperatura que va de 21 a 35°C siendo el rango más óptimo para la reproducción y el desarrollo del mosquito vector de la enfermedad. Las zonas que se encuentran a temperaturas inferiores a 10 °C, corresponden a la cordillera oriental donde se encuentran ubicados los nevados del Tolima y del Ruiz.

### 12.1.2 Temperatura escenario 4.5

Ilustración 6. Mapa de temperatura escenario 4.5 (periodo 2011-2040)



Fuente: (Alarcón, 2017)

Tabla 17. Rangos de temperatura y su área, escenario 4.5

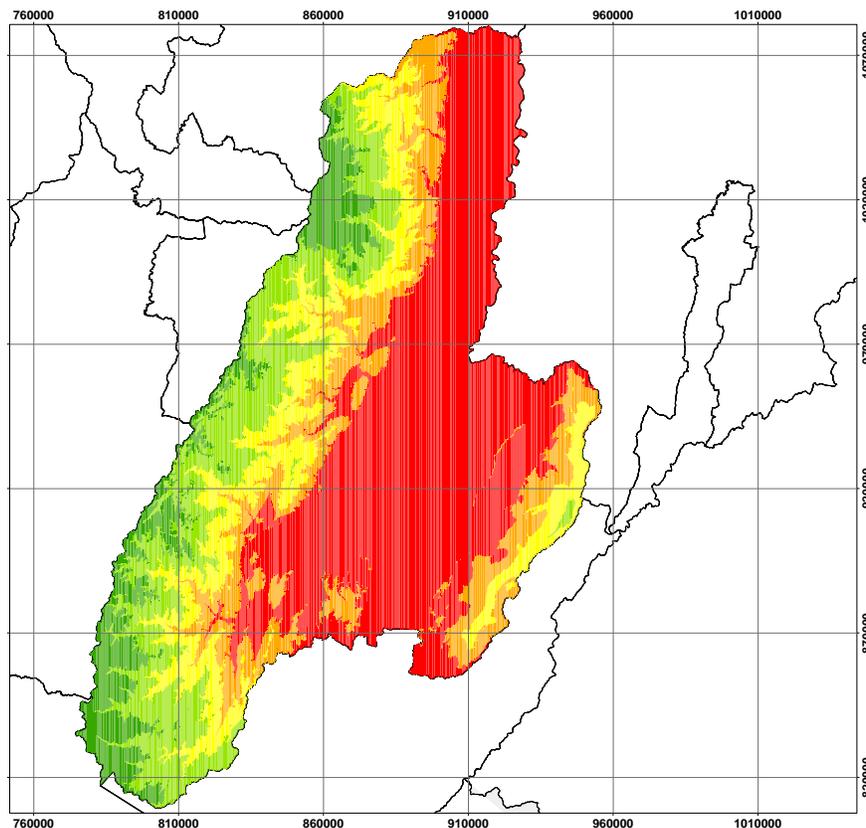
TEMPERATURA	SÍMBOLO	ÁREA Km <sup>2</sup>	% ÁREA
Muy bajo (menor a 10 °C y mayor 45°C)		1922.42956	7.964
Bajo (10.1°C a 16 °C y de 35°C a 44°C)		4113.99014	17.043
Medio (16.1°C a 21°C)		3623.94033	15.013
Alto (21.1°C a 25 °C)		3676.49078	15.230
Muy alto (25.1°C a 35°C)		10802.4986	44.751
<b>ÁREA TOTAL</b>		24139.3494	100.000

Fuente: Autores

Para el escenario de cambio climático 4.5, considerado el escenario optimista a futuro, el área de temperatura óptima para el vector transmisor aumento, siendo casi de un 60%, el área que disminuyó considerablemente son las zonas de una temperatura inferior a 10 °C. Sin embargo, se encontró una variación de las áreas en los rangos de bajo, medio y alto, aumentando para el rango bajo y disminuyendo para los rangos medio y alto.

### 12.1.3 Temperatura escenario 6.0

Ilustración 7. Mapa de temperatura escenario 6.0 (periodo 2011-2040)



Fuente: (Alarcón, 2017)

Tabla 18. Rangos de temperatura y su área, escenario 6.0

TEMPERATURA	SÍMBOLO	ÁREA Km <sup>2</sup>	% ÁREA
Muy bajo (menor a 10 °C y mayor 45°C)		2152.23629	8.916
Bajo (10.1°C a 16 °C y de 35°C a 44°C)		4082.7775	16.913
Medio (16.1°C a 21°C)		3699.46211	15.325
Alto (21.1°C a 25 °C)		3830.25302	15.867
Muy alto (25.1°C a 35°C)		10374.6205	42.978
<b>ÁREA TOTAL</b>		24139.3494	100.000

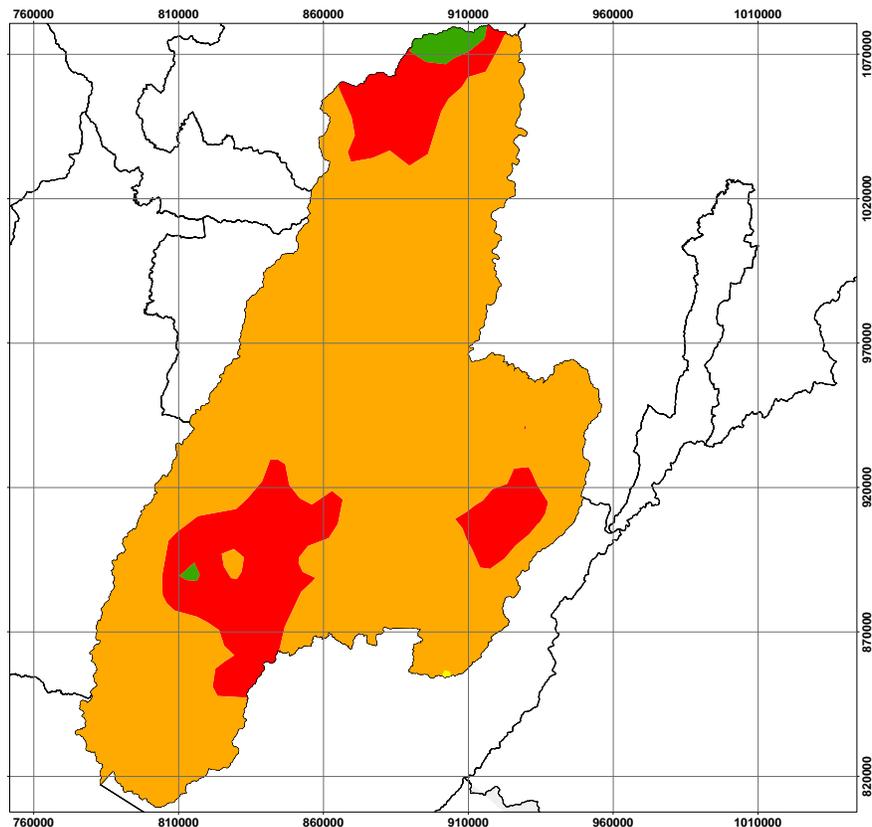
Fuente: Autores

En cuanto al escenario de cambio climático 6.0, considerado el escenario pesimista a futuro, el área de temperatura óptima para el vector transmisor aumento en comparación con la temperatura actual, siendo aproximadamente de un 58%, también se observan variaciones para los rangos de bajo y muy bajo, en el cual hubo un ligero aumento en el área en este último.

## 12.2. PRECIPITACIÓN

### 12.2.1 Precipitación actual

Ilustración 8. Mapa de precipitación actual



Fuente: (Alarcón, 2017)

Tabla 19. Rangos de precipitación actual

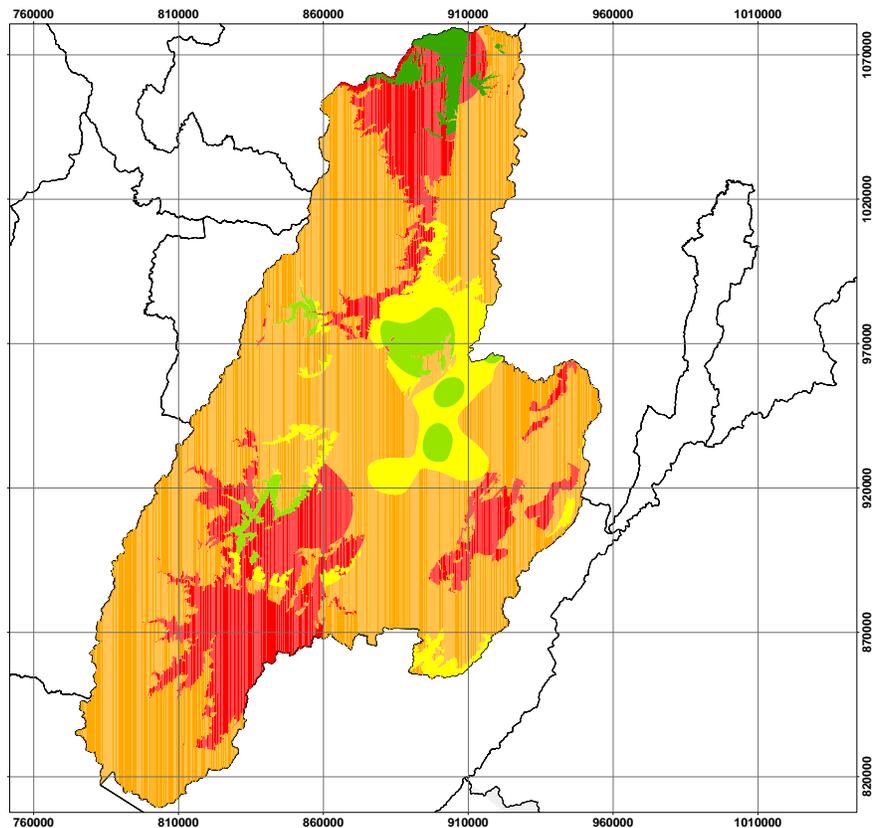
PRECIPITACIÓN	SÍMBOLO	ÁREA Km <sup>2</sup>	% ÁREA
Muy bajo (menor a 100mm anual)		234.940529	0.973
Medio (301 a 500mm anual)		4.85547895	0.020
Alto (501 a 999mm anual)		19649.9462	81.402
Muy alto (mayor a 1000mm anual)		4249.60719	17.604
<b>ÁREA TOTAL</b>		24139.3494	100.000

Fuente: Autores

La precipitación promedio anual para el departamento en su mayoría se encuentra cubierta por un rango de 500 a mayor de 1000mm representando un área mayor al 98%, esto nos indica que en casi la totalidad del territorio la precipitación es óptima para el desarrollo del vector transmisor.

### 12.2.2 Precipitación escenario 4.5

Ilustración 9. Mapa de precipitación escenario 4.5 (periodo 2011-2040)



Fuente: (Alarcón, 2017)

Tabla 20.. Rangos de precipitación y su área, escenario 4.5

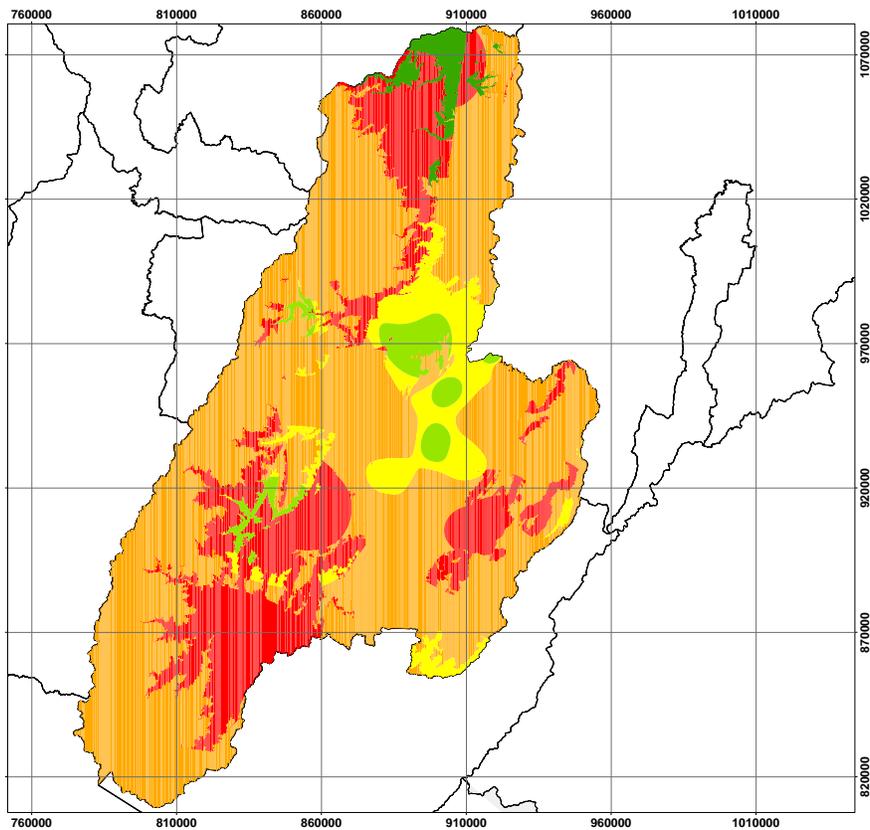
PRECIPITACIÓN	SÍMBOLO	ÁREA Km <sup>2</sup>	% ÁREA
Muy bajo (menor a 100mm anual)		427.608244	1.771
Bajo (101 a 300mm anual)		820.573674	3.399
Medio (301 a 500mm anual)		1882.76615	7.800
Alto (501 a 999mm anual)		15810.8646	65.498
Muy alto (mayor a 1000mm anual)		5197.53672	21.531
<b>ÁREA TOTAL</b>		24139.3494	100.000

Fuente: Autores

Los resultados obtenidos para el escenario 4.5 el área de precipitación óptima disminuyó un 12%, siendo ahora de 87%. Los demás rangos, medio, bajo y muy bajo, tuvieron un aumento, especialmente para las áreas que presentan una precipitación de 300 a 500mm.

### 12.2.3 Precipitación escenario 6.0

Ilustración 10. Mapa de precipitación escenario 6.0 (periodo 2011-2040)



Fuente: (Alarcón, 2017)

Tabla 21. Rangos de precipitación y su área, escenario 6.0

PRECIPITACIÓN	SÍMBOLO	ÁREA Km <sup>2</sup>	% ÁREA
Muy bajo (menor a 100mm anual)		487.01866	2.018
Bajo (101 a 300mm anual)		776.25873	3.216
Medio (301 a 500mm anual)		1881.25474	7.793
Alto (501 a 999mm anual)		15387.1151	63.743
Muy alto (mayor a 1000mm anual)		5607.70217	23.231
<b>ÁREA TOTAL</b>		24139.3494	100.000

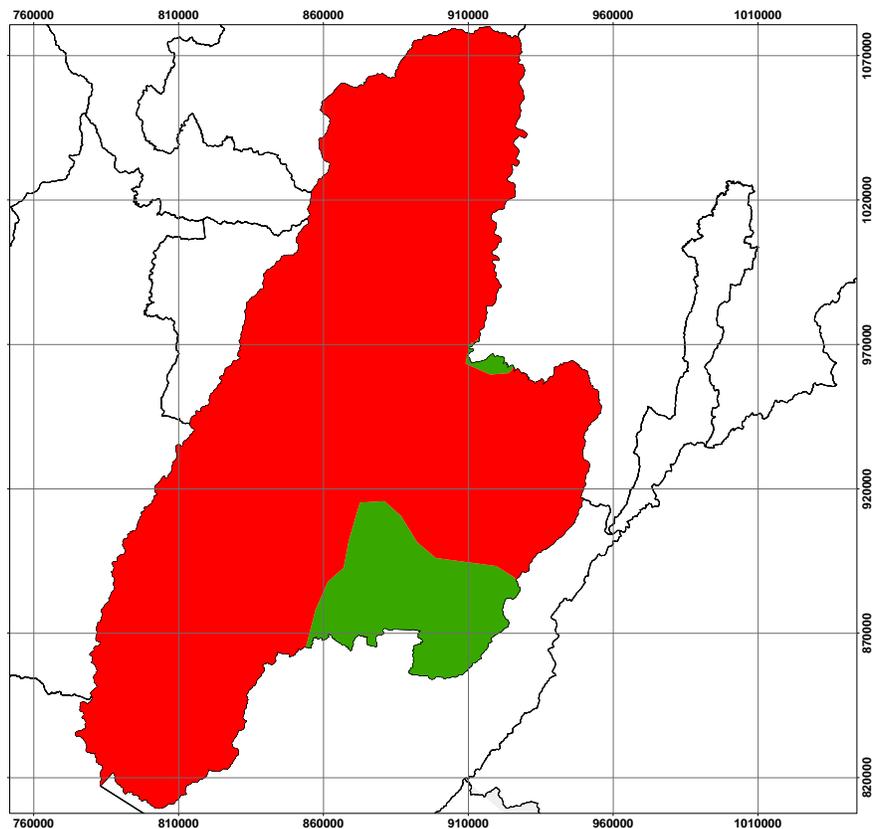
Fuente: Autores

Para la precipitación del escenario 6.0 se observa un ligero cambio en el porcentaje de los diferentes rangos. Igualmente, como en el escenario 4.5, la precipitación promedio anual de 500 a mayor de 1000mm conserva un área aproximada del 87%, sin embargo, existe una disminución en el área en comparación con la precipitación actual ya que esta última es mayor al 98% en el territorio Tolimense. También para las zonas que conservan una precipitación menor a 100mm hubo un pequeño aumento en su área.

### 12.3. HUMEDAD RELATIVA

#### 12.3.1 Humedad relativa actual

Ilustración 11. Mapa de humedad relativa actual



Fuente: (Alarcón, 2017)

Tabla 22. Rangos de humedad relativa actual

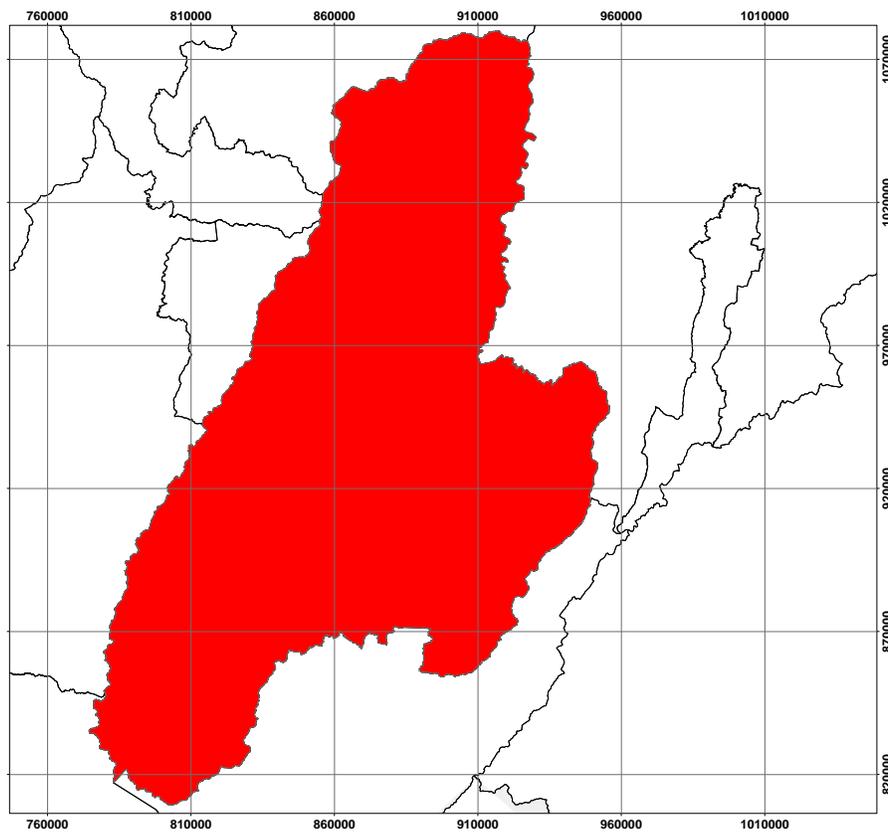
HUMEDAD RELATIVA	SÍMBOLO	ÁREA Km <sup>2</sup>	% ÁREA
Muy Bajo (menor al 70 %)		2451.53484	10.156
Muy Alto (mayor al 70%)		21687.8146	89.844
<b>ÁREA TOTAL</b>		24139.3494	100.00

Fuente: Autores

La humedad relativa actual del Tolima es mayor al 70%, siendo esta la más óptima para el mosquito transmisor de la enfermedad, el cual abarca un área aproximada del 90%. Solo el 10% cuenta con una humedad relativa inferior al 70%.

### 12.3.2 Humedad relativa escenario 4.5

Ilustración 12. Mapa de humedad relativa escenario 4.5 (periodo 2011-2040)



Fuente: (Alarcón, 2017)

Tabla 23. Rangos de humedad relativa y su área, escenario 4.5

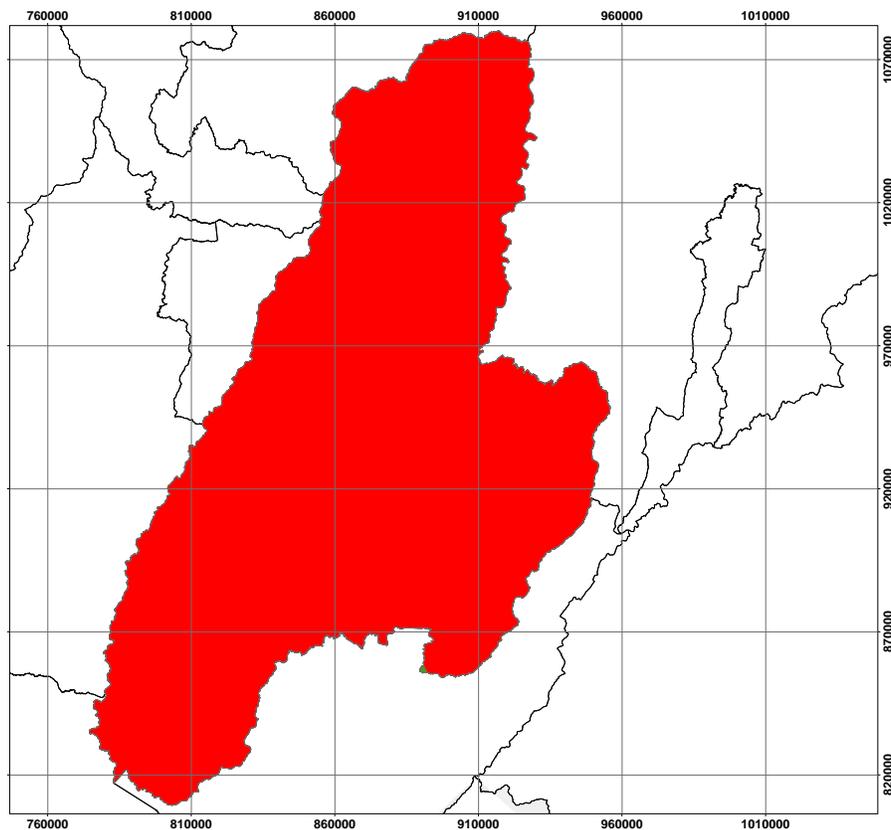
HUMEDAD RELATIVA	SÍMBOLO	ÁREA Km <sup>2</sup>	% ÁREA
Muy Alto (mayor al 70%)		24139.3494	100.000

Fuente: Autores

Para el escenario 4.5 se observa que la totalidad del territorio Tolimense cuenta con una humedad relativa mayor al 70%.

### 12.3.3 Humedad relativa escenario 6.0

Ilustración 13. Mapa de humedad relativa escenario 6.0 (periodo 2011-2040)



Fuente: (Alarcón, 2017)

Tabla 24. Rangos de humedad relativa y su área, escenario 6.0

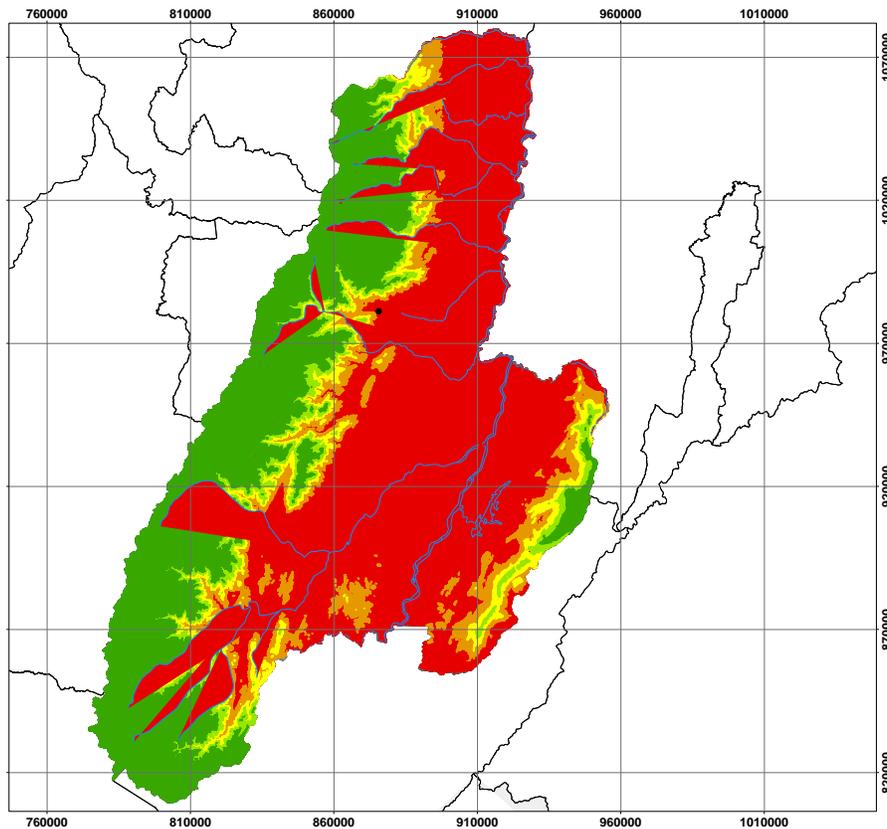
HUMEDAD RELATIVA	SÍMBOLO	ÁREA Km <sup>2</sup>	% ÁREA
Muy Bajo (menor al 70 %)		3.65778631	0.015
Muy Alto (mayor al 70%)		24135.6917	99.985
<b>ÁREA TOTAL</b>		24139.3494	100.00

Fuente: Autores

En el escenario 6.0 hay un pequeño cambio en comparación al escenario 4.5 y las condiciones actuales, pues aquí se observa una reducida área de humedad relativa menor al 70%.

## 12.4. ELEVACIÓN

Ilustración 14. Mapa de elevación



Fuente: (Alarcón, 2017)

Tabla 25. Rangos de elevación

ELEVACIÓN	
	Muy bajo (mayor a 2200 m.s.n.m.)
	Bajo (1901 a 2200 m.s.n.m.)
	Medio (1601 a 1900 m.s.n.m.)
	Alto (1201 a 1600 m.s.n.m.)
	Muy alto (0 a 1200 m.s.n.m.)

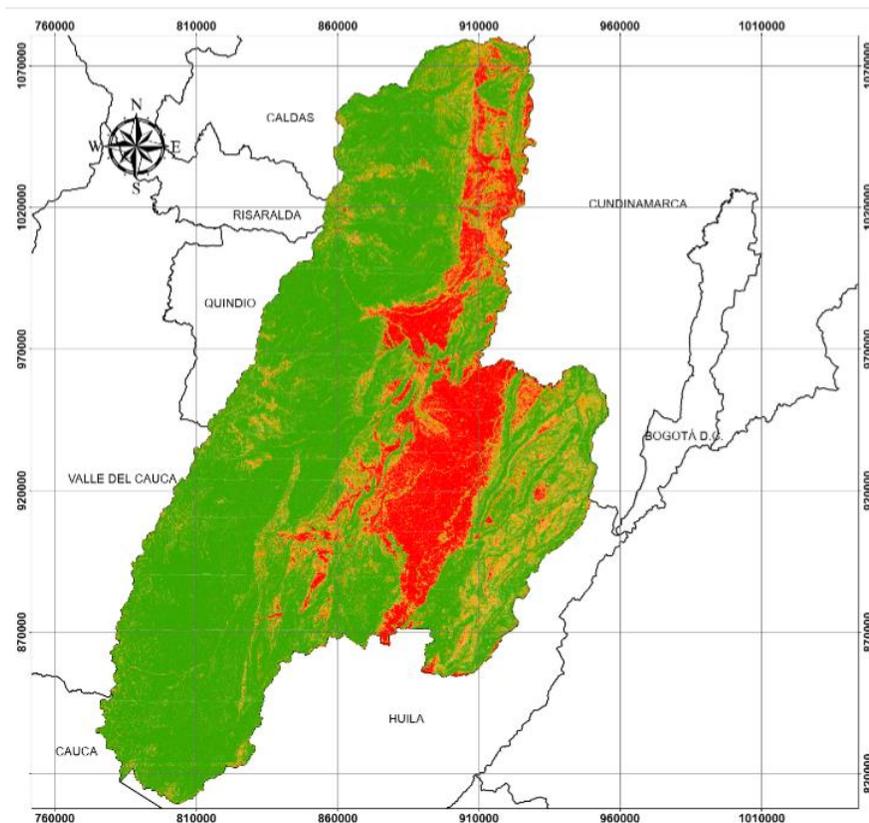
Fuente: Autores

La elevación del Tolima en su mayoría corresponde a una altura que se encuentra entre los 0 a los 1200m.s.n.m., en este rango de altura se encuentran las condiciones más apropiadas para que se presente el mosquito transmisor. También se observa que en el departamento la segunda zona que abarca más área es la que está a una altura mayor a los 2200 m.s.n.m., siendo favorable para el territorio, ya que a esta altura el riesgo de la transmisión de la enfermedad es muy bajo.

## 12.5. PENDIENTES

El mapa de pendientes se obtuvo a partir de un modelo digital de elevación

*Ilustración 15. Mapa de pendientes*



*Fuente: (Alarcón, 2017)*

*Tabla 26. Rango de pendientes*

RANGO DE PENDIENTES	SÍMBOLO	ÁREA Km <sup>2</sup>	% ÁREA
Muy bajo (> 11%)		15726.323	65.15
Medio (6-11%)		3599.32676	14.91
Muy alto (0-5%)		4813.6997	19.94
<b>ÁREA TOTAL</b>		24139.3494	100.00

*Fuente: Autores*

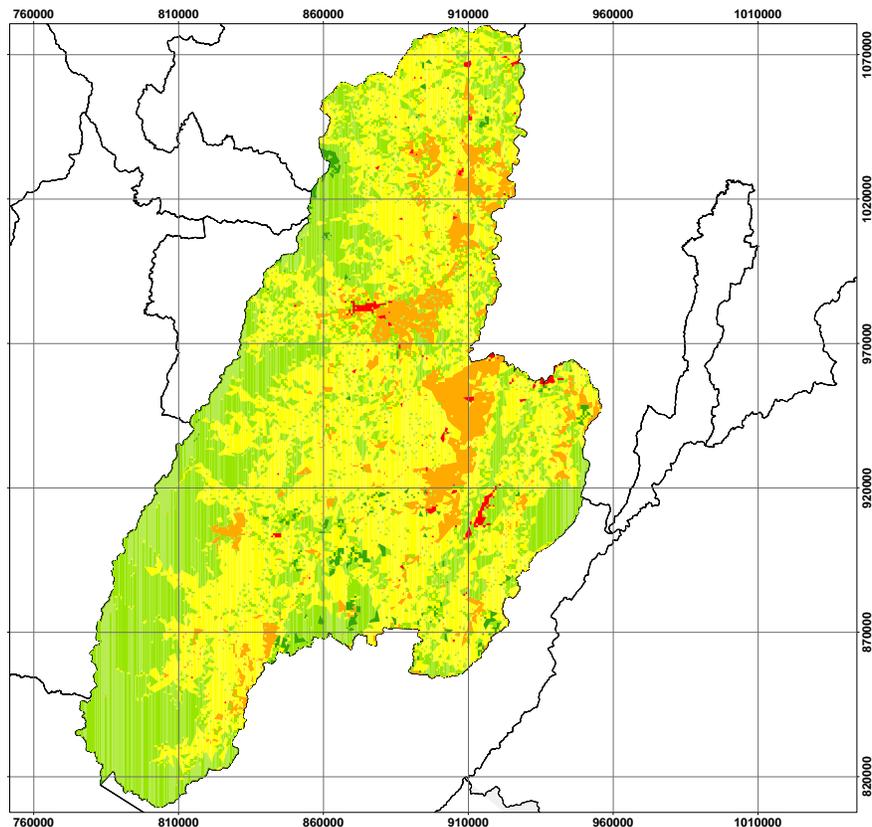
Dentro del territorio las pendientes óptimas para el desarrollo del mosquito se encuentran entre 0-5%, y representan un 20% del Tolima. El rango muy bajo (pendientes mayores al 11%) favorablemente es la que tiene mayor área en el departamento con un 65%.

## 12.6. COBERTURA DEL SUELO

Los mapas de cobertura se obtuvieron a partir de los mapas suministrados por el catálogo de mapas del IDEAM. Para el mapa de cobertura actual se tuvo en cuenta el mapa de cobertura de la tierra 2010-2012; para el mapa de cobertura futura se obtuvo usando los mapas de cobertura de la tierra 2000-2002 y el mapa de cobertura de la tierra 2010-2012, posteriormente se realizó una proyección para el año 2040 empleando el software Terrset.

### 12.6.1 Cobertura actual

*Ilustración 16. Mapa de cobertura actual*



*Fuente: IDEAM, (2012)*

Tabla 27. Clasificación de cobertura actual

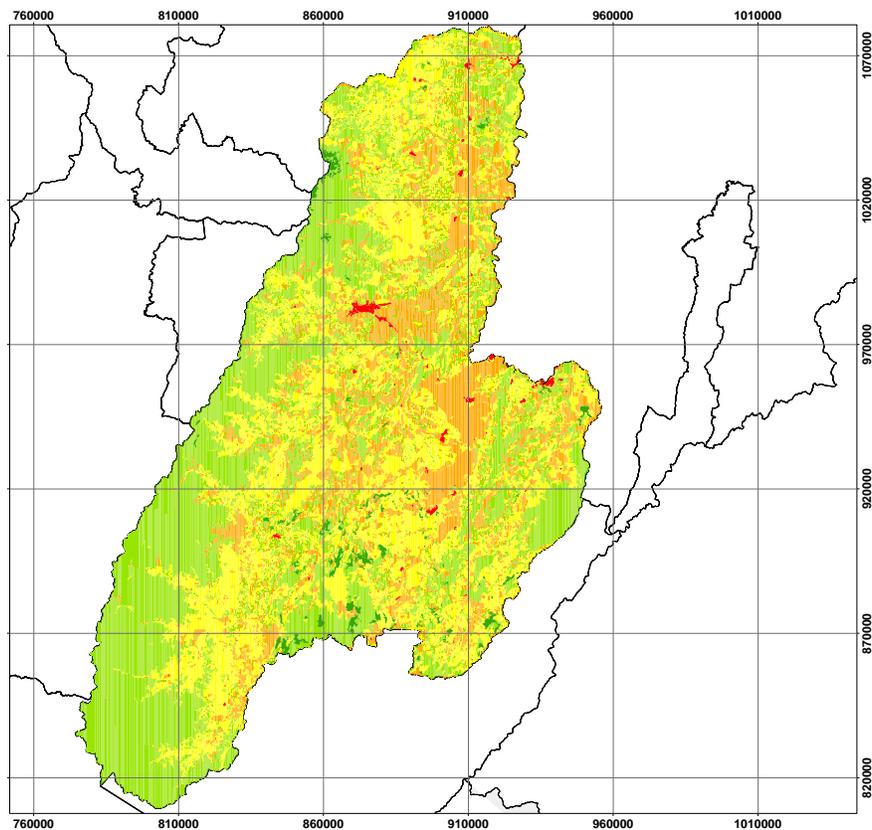
COBERTURA		SÍMBOLO	ÁREA Km <sup>2</sup>	% ÁREA
RANGO	CLASIFICACIÓN			
Muy Bajo	Otras coberturas (Tierras desnudas y degradadas, Zonas de extracción minera, Zonas quemadas, Afloramientos rocosos, Zonas glaciares y nivales)		306.984288	1.272
Bajo	Zonas pantanosas, Bosque abierto, Zonas arenosas naturales, Plantación forestal, Herbazal, Arbustal, Bosque fragmentado, Bosque denso, Bosque de galería y Vegetación secundaria)		9125.46268	37.803
Medio	Mosaico de pastos y cultivos, Pastos limpios, Pastos arbolados, Mosaico de cultivos pastos y espacios naturales		12171.0245	50.420
Alto	Mosaico de cultivos, cultivos transitorios y permanentes, mosaicos de cultivos con espacios naturales, Ríos, Lagunas, Lagos y Ciénagas		2387.44567	9.890
Muy Alto	Cuerpos de aguas artificiales, Instalaciones recreativas, Tejido urbano continuo y discontinuo, Zonas comerciales.		148.432313	0.615
<b>ÁREA TOTAL</b>			24139.3494	100.000

Fuente: Autores

Dentro del departamento la cobertura de suelo actual presenta en su mayoría (50% del área total) mosaico de pastos, mosaico de cultivos y pastos con espacios naturales y pastos limpios, el cual cuenta con un rango medio para el crecimiento y reproducción del vector. Seguidamente encontramos un rango bajo con la segunda área del Tolima con un 37%, compuesta por bosque abierto, zonas pantanosas, zonas arenosas, herbazal, entre otras. Las que presentan una susceptibilidad en cobertura alta y muy alta cuentan con un área aproximada del 11% del territorio.

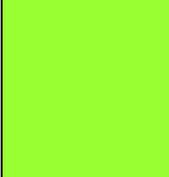
## 12.6.1 Cobertura futura

Ilustración 17. Mapa de cobertura futura



Fuente: Autores, Proyección usando software Terrset

Tabla 28. Clasificación de cobertura futura

COBERTURA		SÍMBOLO	ÁREA Km <sup>2</sup>	% ÁREA
RANGO	CLASIFICACIÓN			
Muy Bajo	Otras coberturas (Tierras desnudas y degradadas, Zonas de extracción minera, Zonas quemadas, Afloramientos rocosos, Zonas glaciares y nivales)		302.871672	1.255
Bajo	Zonas pantanosas, Bosque abierto, Zonas arenosas naturales, Plantación forestal, Herbazal, Arbustal, Bosque fragmentado, Bosque denso, Bosque de galería y Vegetación secundaria)		9303.50535	38.541

Medio	Mosaico de pastos y cultivos, Pastos limpios, Pastos arbolados, Mosaico de cultivos pastos y espacios naturales		9456.68248	39.175
Alto	Mosaico de cultivos, cultivos transitorios y permanentes, mosaicos de cultivos con espacios naturales, Ríos, Lagunas, Logos y Ciénagas		4956.72667	20.534
Muy Alto	Cuerpos de agua artificiales, Instalaciones recreativas, Tejido urbano continuo y discontinuo, Zonas comerciales.		119.563273	0.495
<b>ÁREA TOTAL</b>			24139.3494	100.000

*Fuente: Autores*

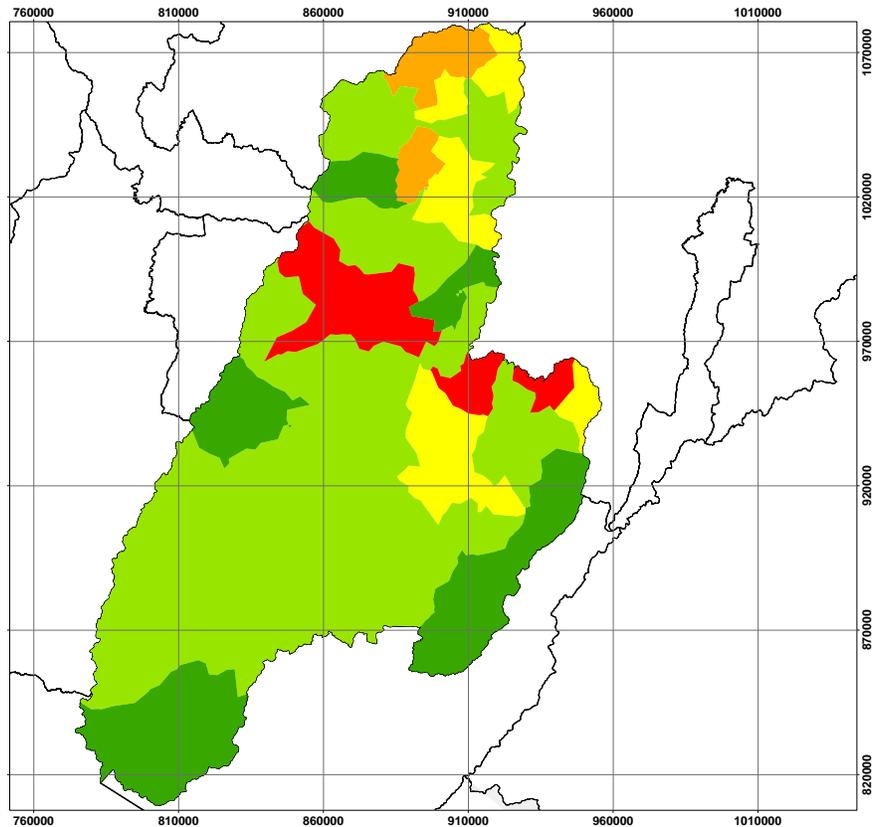
La cobertura futura sigue presentando una mayor área en el rango medio con un 39% del territorio, sin embargo, esta área es menor en comparación a la cobertura actual, lo que demuestra que, si hubo un claro cambio a través del tiempo de algunas coberturas especialmente en pastos limpios, pastos arbolados, mosaico de pastos y cultivos y espacios naturales. También sigue siendo el rango bajo el de la segunda mayor área con un 38%. Por otra parte, hubo un mayor crecimiento en el rango alto pasando del 10% en la cobertura actual a un 20% lo que indica que igualmente se encontró un cambio de coberturas a través del paso de los años existiendo una mayor susceptibilidad en el aumento del área en la que se encuentra el mosquito vector.

## 12.7. DENSIDAD POBLACIONAL

Los datos obtenidos para la densidad poblacional actual del departamento fueron del DANE a partir del censo realizado en el año 2018. Para la densidad poblacional futura se realizó una proyección a partir de los métodos aritmético, geométrico y exponencial, el cual se realizó un promedio de los tres, usando los censos de los años de 1993, 2005 y 2018.

## 12.7.1 Densidad poblacional actual

Ilustración 18. Mapa de densidad poblacional actual



Fuente: DANE, (2018)

Tabla 29. Rango de densidad poblacional actual

DENSIDAD POBLACIONAL	SÍMBOLO	ÁREA Km <sup>2</sup>	% ÁREA
Muy bajo (menor a 20km <sup>2</sup> )		4894.76113	20.277
Bajo (21-50km <sup>2</sup> )		14086.1026	58.353
Medio (51-100km <sup>2</sup> )		2407.10583	9.972
Alto (101-150km <sup>2</sup> )		861.540076	3.569
Muy Alto (Mayor a 150km <sup>2</sup> )		1889.83979	7.829
<b>ÁREA TOTAL</b>		24139.3494	100.000

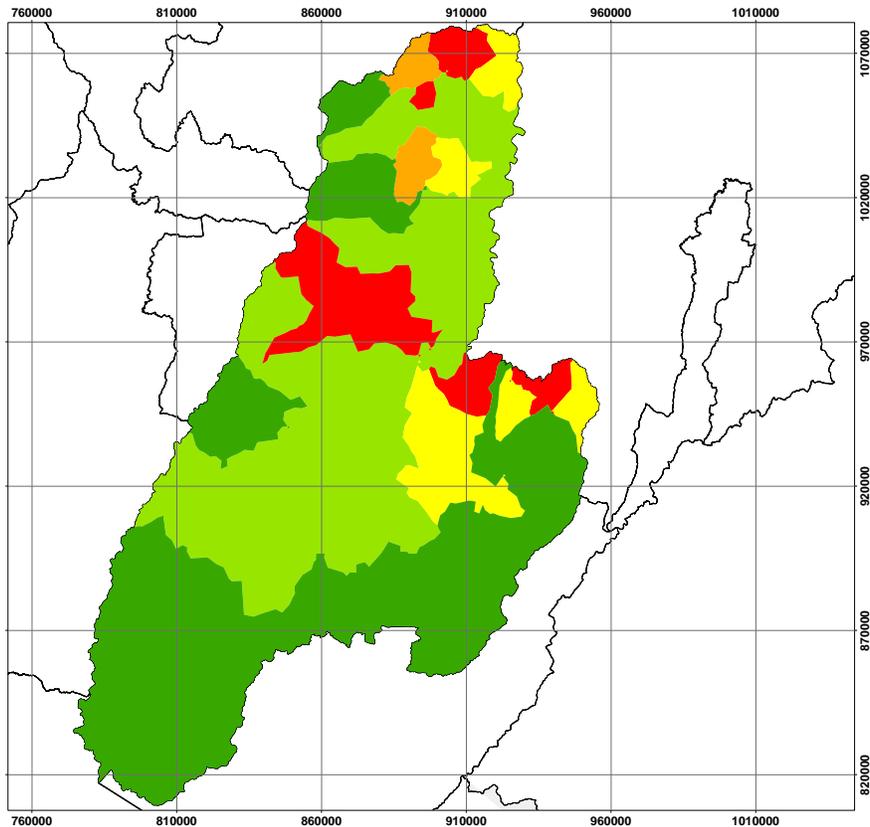
Fuente: Autores

De acuerdo a los datos obtenidos del DANE existe una densidad poblacional mayor a 150Km<sup>2</sup> en los municipios de Ibagué, Flandes, Melgar y el Espinal, dichos municipios se encuentran en un rango muy alto para la presencia del mosquito transmisor del virus del chikunguña. Los

demás municipios del departamento se encuentran ubicados en su mayoría en rangos bajos y muy bajos por su reducida densidad poblacional, con un porcentaje de área del 20% y 58% seguidamente.

### 12.7.2 Densidad poblacional futura

Ilustración 19. Mapa de densidad poblacional futura



Fuente: Autores

Tabla 30. Rango de densidad poblacional futura

DENSIDAD POBLACIONAL	SÍMBOLO	ÁREA Km <sup>2</sup>	% ÁREA
Muy bajo (menor a 20km <sup>2</sup> )		10178.7239	42.167
Bajo (21-50km <sup>2</sup> )		9124.0047	37.797
Medio (51-100km <sup>2</sup> )		2076.30377	8.601
Alto (101-150km <sup>2</sup> )		507.824664	2.104
Muy Alto (Mayor a 150km <sup>2</sup> )		2252.4924	9.331
<b>ÁREA TOTAL</b>		<b>24139.3494</b>	<b>100.000</b>

Fuente: Autores

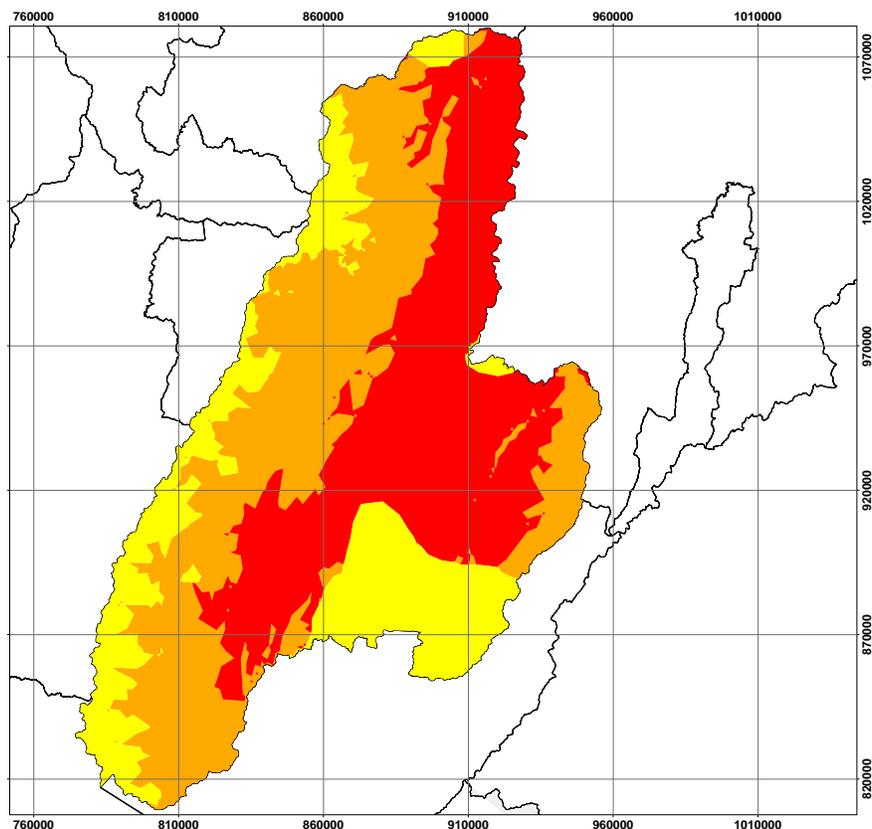
De acuerdo a la proyección realizada siguen encontrándose en susceptibilidad muy alta los municipios de Ibagué, Flandes, Melgar y el Espinal, y también los municipios de San Sebastián de Mariquita y Palocabildo por su densidad poblacional mayor a 150Km<sup>2</sup>. Por otra parte, aumento el área de los municipios que se encuentran en un rango muy bajo, sin embargo, sigue conservando la mayor área del municipio los rangos bajo y muy bajo con un 80% del área del departamento.

## 12.8. ÍNDICE CLIMÁTICO

El mapa de índice climático actual se obtuvo a partir de los mapas de temperatura actual, precipitación actual y humedad relativa actual. Los mapas de índice climático para los escenarios 4.5 y 6.0, se construyeron de la misma manera que el índice climático actual.

### 12.8.1 Índice climático actual

*Ilustración 20. Mapa de índice climático actual*



*Fuente: Autores*

Tabla 31. Rangos de índice climático y su área

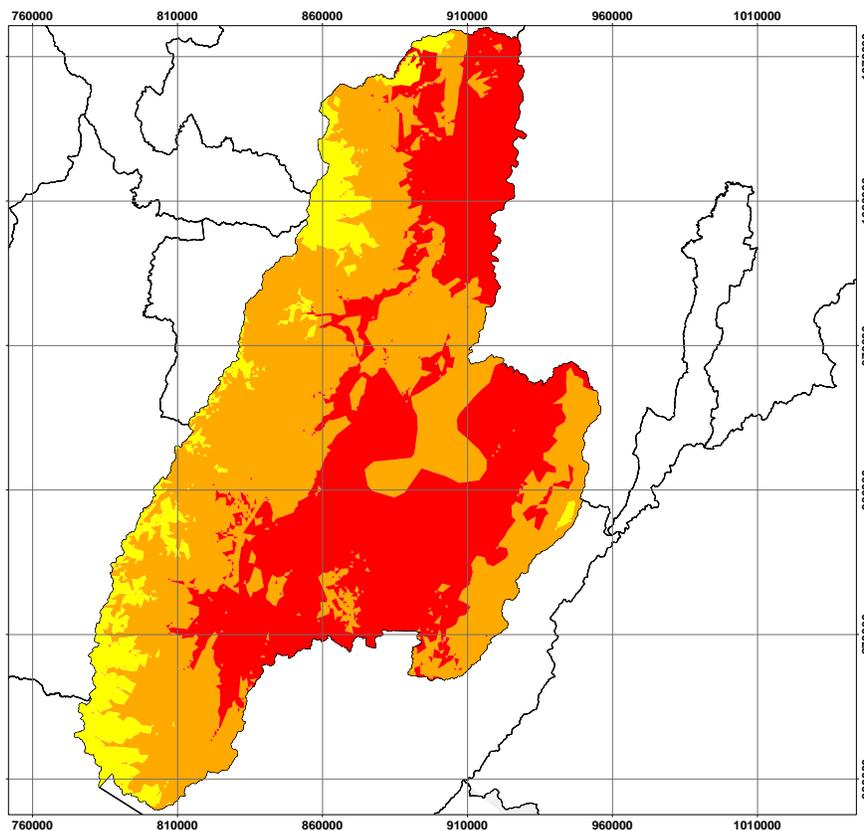
INDICE CLIMATICO	SÍMBOLO	ÁREA Km <sup>2</sup>	% ÁREA
Medio		5511.29985	22.831
Alto		9485.43415	39.294
Muy alto		9142.61544	37.874
<b>ÁREA TOTAL</b>		24139.3494	100.000

Fuente: Autores

El índice climático actual demuestra que el rango alto presenta mayor área con un 39,2%, seguidamente del rango muy alto que cuenta con un área de 37,8%, el área restante corresponde a un rango medio con un área de 22,8%.

### 12.8.2 Índice climático escenario 4.5

Ilustración 21. Mapa índice climático escenario 4.5



Fuente: Autores

Tabla 32. Rangos índice climático escenario 4.5 y sus áreas

ÍNDICE CLIMÁTICO	SÍMBOLO	ÁREA Km <sup>2</sup>	% ÁREA
Medio		2090.48258	8.660

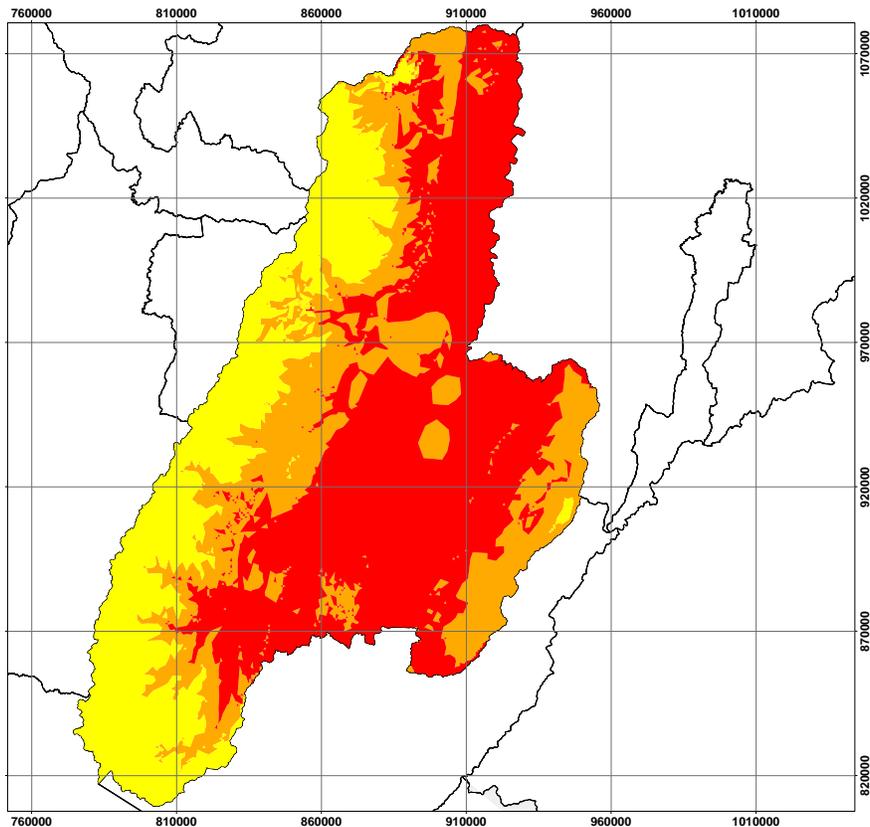
Alto		12138.304	50.284
Muy alto		9910.56282	41.056
<b>ÁREA TOTAL</b>		24139.3494	100.000

Fuente: Autores

El índice climático para el escenario 4.5 indica que el rango que cuenta con mayor área es el rango alto con el 50,2%, dicha área aumento en comparación con el índice climático actual. La segunda mayor área es la que se encuentra en el rango muy alto con 41% y finalmente se vio considerablemente reducida el área para el rango medio pasando de 22,8% en el caso del índice climático actual a 8,6% para el escenario 4.5.

### 12.8.3 Índice climático escenario 6.0

Ilustración 22. Mapa de índice climático escenario 6.0



Fuente: Autores

Tabla 33. Rangos de índice climático escenario 6.0 y sus áreas

ÍNDICE CLIMATICO	SÍMBOLO	ÁREA Km <sup>2</sup>	% ÁREA
Medio		6246.27117	25.876
Alto		6693.35921	27.728

Muy alto		11199.7191	46.396
<b>ÁREA TOTAL</b>		24139.3494	100.000

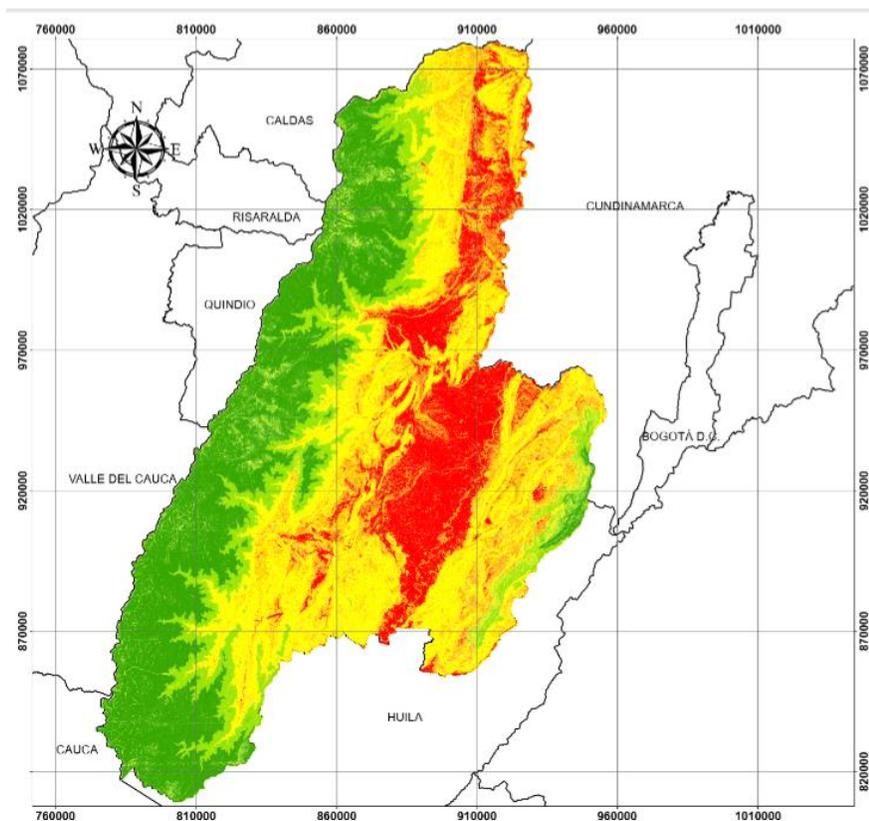
Fuente: Autores

Para el escenario 6.0 aumento el rango de muy alto (46,3%), en comparación con los índices climáticos anteriores. Por otra parte, hubo una variación considerable en los rangos de medio y alto el cual paso en el caso del índice climático actual de 22,8 y 39,2% a 25,8% y 27,7% respectivamente.

## 12.9. ÍNDICE DE RELIEVE

El índice de Relieve se construyó a partir de los mapas de elevación y pendiente, y se obtuvieron los siguientes resultados:

Ilustración 23. Mapa de relieve



Fuente: Autores

Tabla 34. Rangos de índice de relieve por área

ÍNDICE DE RELIEVE	SÍMBOLO	ÁREA Km <sup>2</sup>	% ÁREA
Muy bajo		6295.75485	26.08
Bajo		3126.352729	12.95
Medio		7408.456876	30.69

Alto		2748.286445	11.39
Muy Alto		4560.498541	18.89
<b>ÁREA TOTAL</b>		24139.34944	100.00

Fuente: Autores

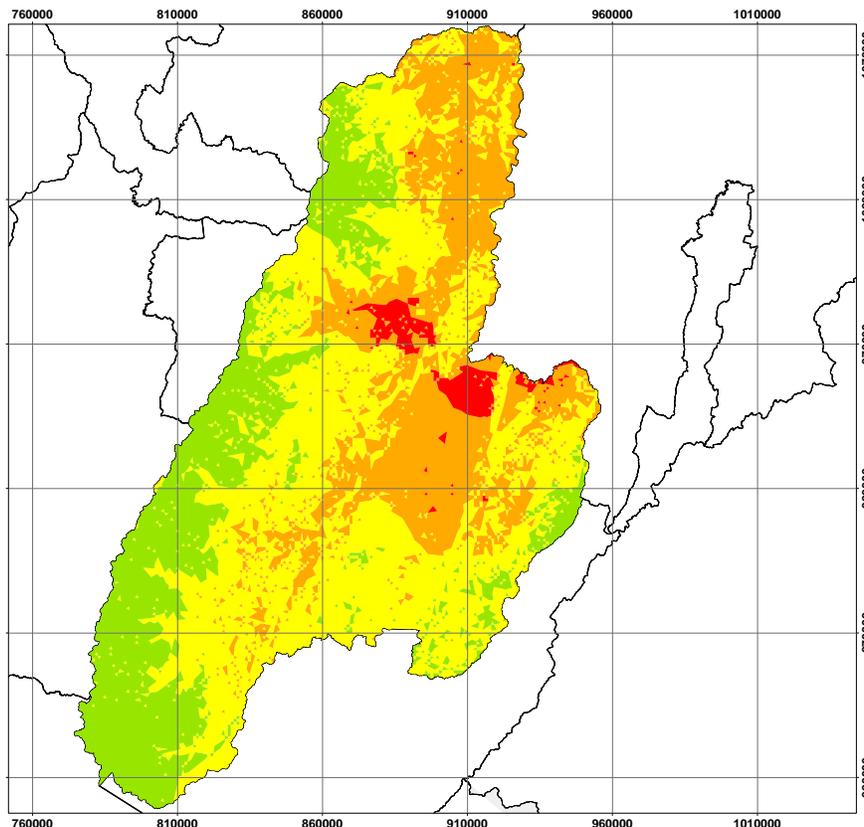
En el índice de relieve se observa que el rango muy alto se encuentra en la zona central del departamento y abarca un 18,8%. El rango que cuenta con mayor área es el rango medio con un 30,6% y se localiza específicamente en las cordillera oriental y parte de la cordillera central. La segunda mayor área del índice de relieve en el Tolima se encuentra en el rango muy bajo con un 26% y se ubica en la cordillera central.

## 12.10. SUSCEPTIBILIDAD

Los mapas de susceptibilidad se obtuvieron a partir del índice climático, índice de relieve, cobertura y densidad poblacional. Los mapas son los siguientes:

### 12.10.1 Susceptibilidad actual

Ilustración 24. Mapa de susceptibilidad actual



Fuente: Autores

Tabla 35. Rangos de susceptibilidad actual por área

SUSCEPTIBILIDAD	SÍMBOLO	ÁREA Km <sup>2</sup>	% ÁREA
Bajo		5874.12584	24.334
Medio		11391.5139	47.191
Alto		6301.71603	26.106
Muy Alto		571.993647	2.370
<b>ÁREA TOTAL</b>		24139.3494	100.000

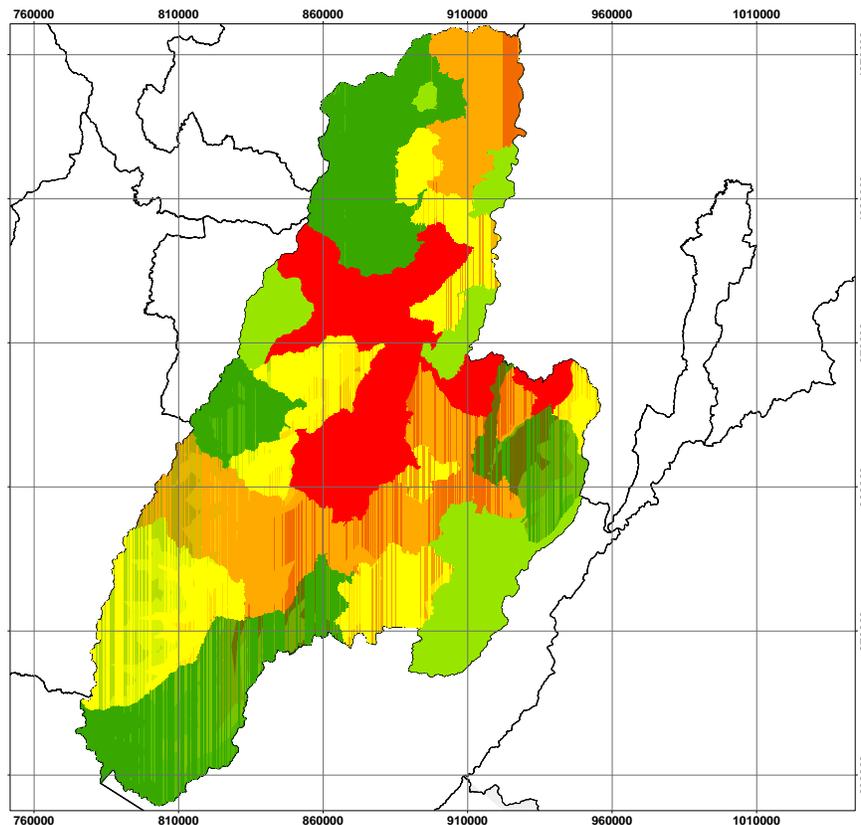
Fuente: Autores

La susceptibilidad actual obtenida cuenta con un área mayor para el rango medio con un 47,1%. Los rangos bajo y alto cuentan con un porcentaje de área de 24,3% y 26,1% respectivamente. El rango que presenta menor área es muy alto con 2,3%. Cabe relatar que no se presenta susceptibilidad muy baja.

#### 12.10.1.1 Casos reportados del virus del chikunguña

Los casos reportados del virus del chikunguña fueron obtenidos a partir de los informes suministrados por el Instituto Nacional de Salud de los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019.

Ilustración 25. Casos reportados virus Chikunguña



Fuente: Instituto Nacional de Salud, (2019)

Tabla 36. Casos reportados virus Chikunguña

CASOS REPORTADOS CHIKUNGUÑA	SÍMBOLO	ÁREA Km <sup>2</sup>	% ÁREA
Muy bajo (menor a 10)		7017.319	29.070
Bajo (10 a 30)		2731.61585	11.316
Medio (30 a 90)		5408.78256	22.406
Alto (80 a 300)		5180.7077	21.462
Muy Alto (mayor 300)		3800.92434	15.746
<b>ÁREA TOTAL</b>		24139.3494	100.000

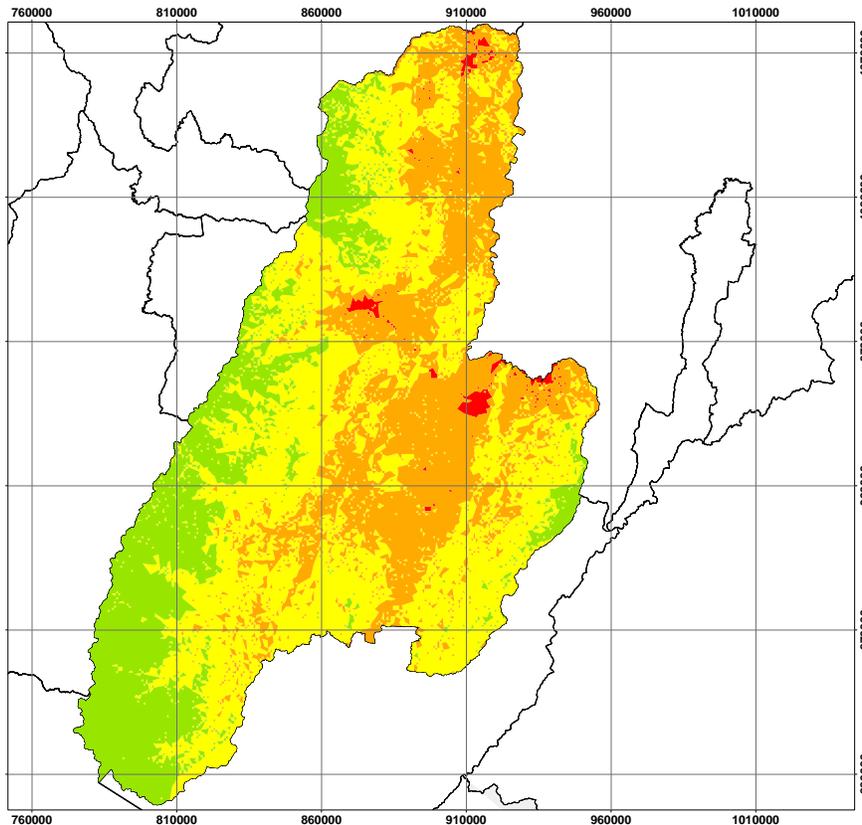
Fuente: Autores

Según los registros del Instituto Nacional de Salud los mayores casos que han sido reportados se encuentran en el centro del departamento en los municipios de Ibagué, Flandes, Melgar, Espinal, San Luis, Valle de San Juan y Ortega, dichos municipios representan el 15,7% del departamento. Los municipios que se encuentran en un rango alto de casos reportados son Honda, San Sebastián de Mariquita, Armero, Lérída, Carmen de Apicalá, Guamo, Purificación, Coyaima y Chaparral, el cual representan un 21,4% del Tolima. Los municipios que se encuentran en el rango medio son Natagaima Rioblanco, Saldaña, Icononzo, San Antonio, Rovira, Líbano, Venadillo y Piedras. Los demás municipios están en un rango de bajo y muy bajo con un porcentaje del 40,3%.

La ilustración 25 permite verificar y darle validez al modelo de susceptibilidad propuesto, para corroborarlo se hizo la comparación entre los municipios con mayor número de casos de la ilustración mencionada con los municipios con susceptibilidad alta y muy alta del mapa de susceptibilidad actual ilustración 24. se observa que en ambos casos los municipios coinciden en su totalidad, por ende, se confirma que el modelo propuesto si permite identificar las áreas o municipios que presenta mayor número de casos y cuales pueden llegar a presentar mayor número de casos en el futuro.

## 12.10.2 Susceptibilidad escenario 4.5

Ilustración 26. Mapa de susceptibilidad escenario 4.5



Fuente: Autores

Tabla 37. Rangos de susceptibilidad escenario 4.5 por área

SUSCEPTIBILIDAD	SÍMBOLO	ÁREA Km <sup>2</sup>	% ÁREA
Bajo		5289.24102	21.911
Medio		11411.8704	47.275
Alto		7199.753	29.826
Muy Alto		238.485073	0.988
<b>ÁREA TOTAL</b>		24139.3494	100.000

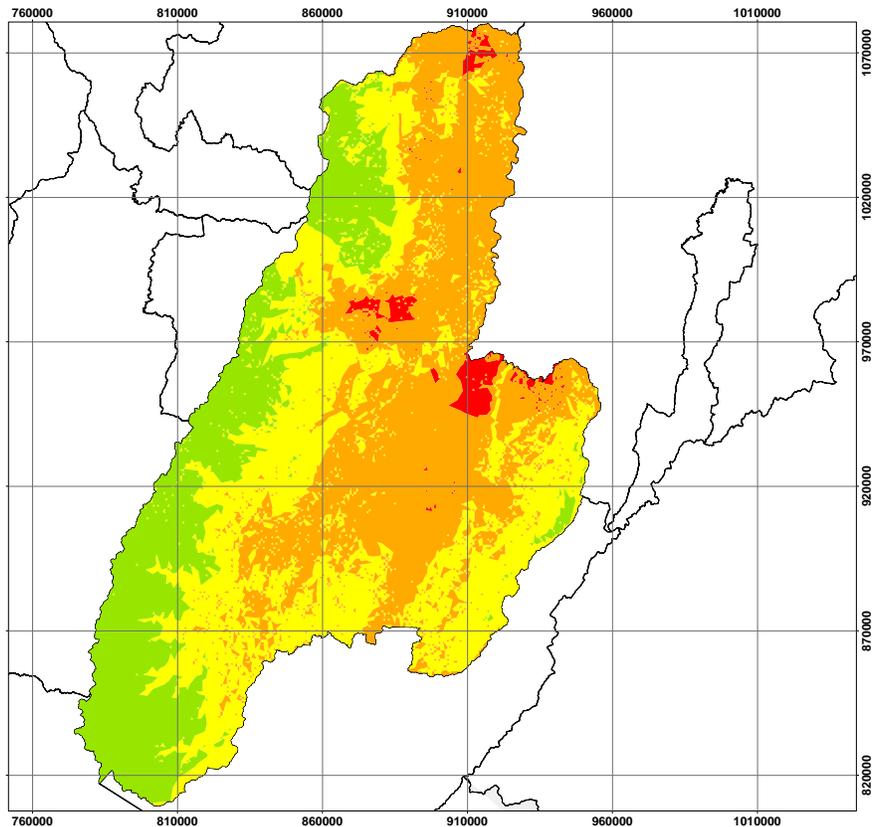
Fuente: Autores

Para la susceptibilidad del escenario 4.5 se presenta de igual manera que el rango medio cuenta con la mayor área con un 47,2%. Existe una variación para los rangos bajo y alto donde se redujo en comparación con la susceptibilidad actual para el rango bajo pasando de 24,3% a 21,9%; para el rango medio hubo un aumento pasando de 26,1% a 29,8%. Cabe resaltar que hubo una considerable reducción en el rango muy alto de 1,4%, pasando de 2,3% a 0,9%, sin embargo,

en el mapa se observa que este rango se encuentra en zonas donde en la susceptibilidad actual no se encontraba, específicamente en el norte del territorio.

### 12.10.3 Susceptibilidad escenario 6.0

Ilustración 27. Mapa de susceptibilidad escenario 6.0



Fuente: Autores

Tabla 38. Rangos de susceptibilidad escenario 6.0 por área

SUSCEPTIBILIDAD	SÍMBOLO	ÁREA Km <sup>2</sup>	% ÁREA
Bajo		5586.20203	23.141
Medio		8768.02101	36.323
Alto		9283.0829	38.456
Muy Alto		502.043503	2.080
<b>ÁREA TOTAL</b>		24139.3494	100.000

Fuente: Autores

Para la susceptibilidad del escenario 6.0 presenta una ligera similitud en el rango muy alto en comparación con la susceptibilidad actual, el cual es de 2% del área del departamento, en el mapa se observa que en el norte del territorio hubo una ampliación de dicho rango. Para la

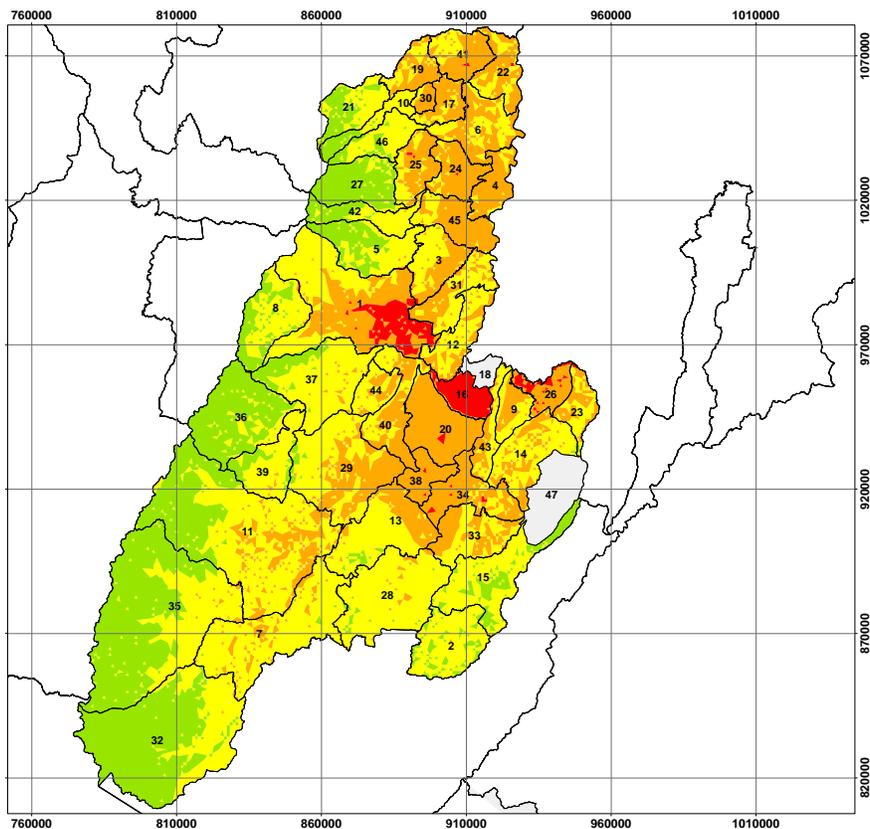
susceptibilidad que presenta mayor área es el alto, el cual también hubo un aumento pasando de 26,1% a 38,4%, esto se evidencio en el sur del departamento. Sin embargo, hubo una clara reducción para la susceptibilidad media pasando de 47,1% a 36,3%. Finalmente se encontró que el rango bajo no presento una variación considerable en su área pasando de 24,3% a 23,1%.

## 12.11. SUSCEPTIBILIDAD POR MUNICIPIO

A partir de los mapas de susceptibilidad observados anteriormente, se realizó una unión con el shape de municipios para identificar el área que cada uno presenta en los diferentes rangos (bajo, medio, alto y muy alto de susceptibilidad). de esta manera se pudo determinar los municipios más propensos a la distribución del virus chikunguña para el periodo 2011-2040 bajo los dos escenarios de cambio climático 4.5 y 6.0.

### 12.11.1 Susceptibilidad actual por municipio

*Ilustración 28. Susceptibilidad actual por municipio*



*Fuente: Autores*

Tabla 39. Susceptibilidad actual por municipios

No.	MUNICIPIO	CLASIFICACIÓN	ÁREA Km <sup>2</sup>	% ÁREA
1	IBAGUÉ	Bajo	14.13754342	1.027
		Medio	569.5618289	41.355
		Alto	546.360036	39.670
		Muy alto	247.1958318	17.948
		ÁREA TOTAL	1377.25524	100.000
2	ALPUJARRA	Bajo	100.4051764	20.021
		Medio	400.4290912	79.844
		Alto	0.677053051	0.135
		ÁREA TOTAL	501.5113206	100.000
3	ALVARADO	Medio	174.8867647	50.790
		Alto	167.5001234	48.644
		Muy alto	1.948704577	0.566
		ÁREA TOTAL	344.3355926	100.000
4	AMBALEMA	Medio	31.65908006	13.300
		Alto	206.385746	86.700
		ÁREA TOTAL	238.044826	100.000
5	ANZOÁTEGUI	Bajo	226.2003904	48.157
		Medio	239.0247387	50.888
		Alto	4.486196001	0.955
		ÁREA TOTAL	469.7113251	100.000
6	ARMERO	Medio	175.0479969	39.727
		Alto	265.0389433	60.150
		Muy alto	0.543903546	0.123
		ÁREA TOTAL	440.6308437	100.000
7	ATACO	Bajo	8.841311701	0.869
		Medio	890.8317704	87.539
		Alto	117.9713563	11.593
		ÁREA TOTAL	1017.644438	100.000
8	CAJAMARCA	Bajo	202.9408097	39.911
		Medio	299.5067258	58.902
		Alto	6.039511375	1.188
		ÁREA TOTAL	508.4870469	100.000
9	CARMEN DE APICALÁ	Medio	98.66706325	51.703
		Alto	92.15811482	48.292
		Muy alto	0.010952541	0.006
		ÁREA TOTAL	190.8361306	100.000
10	CASABIANCA	Bajo	70.72766327	40.348
		Medio	103.7015928	59.158

		Alto	0.866923593	0.495
		ÁREA TOTAL	175.2961797	100.000
11	CHAPARRAL	Bajo	668.3491059	31.795
		Medio	1089.230087	51.817
		Alto	344.4840422	16.388
		ÁREA TOTAL	2102.063235	100.000
12	COELLO	Medio	219.902192	64.000
		Alto	120.2171214	34.988
		Muy alto	3.478806344	1.012
		ÁREA TOTAL	343.5981197	100.000
13	COYAIMA	Bajo	22.37716316	3.345
		Medio	429.6474836	64.217
		Alto	217.0310409	32.438
		ÁREA TOTAL	669.0556877	100.000
14	CUNDAY	Bajo	3.794014907	0.748
		Medio	333.91317	65.794
		Alto	169.8080976	33.459
		ÁREA TOTAL	507.5152825	100.000
15	DOLORES	Bajo	194.2269451	29.792
		Medio	456.8965008	70.081
		Alto	0.826954453	0.127
		ÁREA TOTAL	651.9504003	100.000
16	ESPINAL	Medio	0.281072372	0.130
		Alto	18.91499709	8.737
		Muy alto	197.3028759	91.133
		ÁREA TOTAL	216.4989454	100.000
17	FALAN	Bajo	0.450515696	0.248
		Medio	45.80383134	25.261
		Alto	135.0678663	74.491
		ÁREA TOTAL	181.3222133	100.000
18	FLANDES	Medio	0.001748191	0.002
		Alto	51.05495552	52.744
		Muy alto	45.74047077	47.254
		ÁREA TOTAL	96.79717448	100.000
19	FRESNO	Bajo	0.2330045	0.106
		Medio	82.91817674	37.746
		Alto	136.5216759	62.148
		ÁREA TOTAL	219.6728572	100.000
20	GUAMO	Medio	7.838022633	1.550
		Alto	491.7756439	97.238
		Muy alto	6.130160258	1.212
		ÁREA TOTAL	505.7438268	100.000

21	HERVEO	Bajo	147.37004	45.668
		Medio	175.3253536	54.332
		ÁREA TOTAL	322.6953936	100.000
22	HONDA	Medio	103.5486981	33.963
		Alto	200.3536997	65.714
		Muy alto	0.986530926	0.324
		ÁREA TOTAL	304.8889287	100.000
23	ICONONZO	Bajo	1.538478902	0.715
		Medio	107.010559	49.731
		Alto	104.5298803	48.578
		Muy alto	2.09930484	0.976
		ÁREA TOTAL	215.178223	100.000
24	LÉRIDA	Medio	28.23320758	10.382
		Alto	242.2377856	89.073
		Muy alto	1.483483494	0.545
		ÁREA TOTAL	271.9544767	100.000
25	LÍBANO	Bajo	4.438891273	1.572
		Medio	88.09133822	31.197
		Alto	187.1923485	66.293
		Muy alto	2.650034004	0.938
		ÁREA TOTAL	282.372612	100.000
26	MELGAR	Medio	3.539834306	1.751
		Alto	155.3293213	76.835
		Muy alto	43.29127216	21.414
		ÁREA TOTAL	202.1604278	100.000
27	MURILLO	Bajo	368.536894	86.933
		Medio	55.3859662	13.065
		Alto	0.009316073	0.002
		ÁREA TOTAL	423.9321763	100.000
28	NATAGAIMA	Bajo	21.34053617	2.482
		Medio	807.2267849	93.882
		Alto	31.26259141	3.636
		ÁREA TOTAL	859.8299125	100.000
29	ORTEGA	Bajo	27.75991882	2.910
		Medio	526.0893485	55.157
		Alto	399.9550572	41.933
		ÁREA TOTAL	953.8043245	100.000
30	PALOCABILDO	Medio	11.98809795	18.440
		Alto	53.02303145	81.560
		ÁREA TOTAL	65.0111294	100.000
31	PIEDRAS	Medio	199.5051765	56.290
		Alto	152.7128039	43.087

		Muy alto	2.20734	0.623
		ÁREA TOTAL	354.4253203	100.000
32	PLANADAS	Bajo	1213.653477	69.189
		Medio	537.3075604	30.631
		Alto	3.140785273	0.179
		ÁREA TOTAL	1754.101822	100.000
33	PRADO	Bajo	0.534225536	0.126
		Medio	205.4655445	48.572
		Alto	217.0132325	51.302
		ÁREA TOTAL	423.0130026	100.000
34	PURIFICACIÓN	Medio	57.4949336	14.295
		Alto	336.8909085	83.761
		Muy alto	7.818965272	1.944
		ÁREA TOTAL	402.2048074	100.000
35	RIOBLANCO	Bajo	1372.43843	67.071
		Medio	656.2789339	32.073
		Alto	17.51642838	0.856
		ÁREA TOTAL	2046.233792	100.000
36	RONCESVALLES	Bajo	647.0968225	83.405
		Medio	128.7527054	16.595
		ÁREA TOTAL	775.8495279	100.000
37	ROVIRA	Bajo	140.456636	18.994
		Medio	576.6008161	77.974
		Alto	22.18878092	3.001
		Muy alto	0.229962322	0.031
		ÁREA TOTAL	739.4761954	100.000
38	SALDAÑA	Medio	0.104657166	0.054
		Alto	191.0958469	98.897
		Muy alto	2.026277199	1.049
		ÁREA TOTAL	193.2267813	100.000
39	SAN ANTONIO	Bajo	84.21821812	21.966
		Medio	292.5901782	76.313
		Alto	6.598573033	1.721
		ÁREA TOTAL	383.4069694	100.000
40	SAN LUIS	Medio	164.3249402	39.863
		Alto	247.8396572	60.122
		Muy alto	0.061628969	0.015
		ÁREA TOTAL	412.2262264	100.000
41	SAN SEBASTIÁN DE MARIQUITA	Medio	84.35576538	28.758
		Alto	206.9965594	70.568
		Muy alto	1.977434343	0.674
		ÁREA TOTAL	293.3297592	100.000

42	SANTA ISABEL	Bajo	109.8950647	40.674
		Medio	155.5260826	57.562
		Alto	4.765493136	1.764
		<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>270.1866404</b>	<b>100.000</b>
43	SUARÉZ	Medio	105.9870926	55.760
		Alto	79.95736418	42.066
		Muy alto	4.133729718	2.175
		<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>190.0781865</b>	<b>100.000</b>
44	VALLE DE SAN JUAN	Medio	132.280376	66.860
		Alto	65.5660317	33.140
		<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>197.8464077</b>	<b>100.000</b>
45	VENADILLO	Medio	69.44972835	20.754
		Alto	264.5070511	79.044
		Muy alto	0.675978098	0.202
		<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>334.6327576</b>	<b>100.000</b>
46	VILLAHERMOSA	Bajo	69.79175992	25.028
		Medio	208.0685227	74.617
		Alto	0.989658443	0.355
		<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>278.849941</b>	<b>100.000</b>
47	VILLARRICA	Bajo	152.3727986	35.397
		Medio	261.2327786	60.686
		Alto	16.85743503	3.916
		<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>430.4630122</b>	<b>100.000</b>
<b>ÁREA TOTAL DEPARTAMENTO</b>			<b>24139,34944</b>	<b>100.000</b>

*Fuente: Autores*

La susceptibilidad actual en el departamento se encuentra que el municipio más afectado por la enfermedad del virus Chikunguña es el Espinal el cual presenta aproximadamente un 91% de su territorio en susceptibilidad muy alta, seguida de una susceptibilidad alta con un 8,7% del área. Le sigue el municipio de Flandes con un rango de muy alto con un porcentaje de 47,2% del área del municipio, y un 52,7% en rango alto. También encontramos los municipios de Melgar e Ibagué con una susceptibilidad muy alta con un porcentaje de área de 21,7% y 17,9% respectivamente, igualmente presentan un rango de alto con un área de 76.8% y 39,6% de su área municipal.

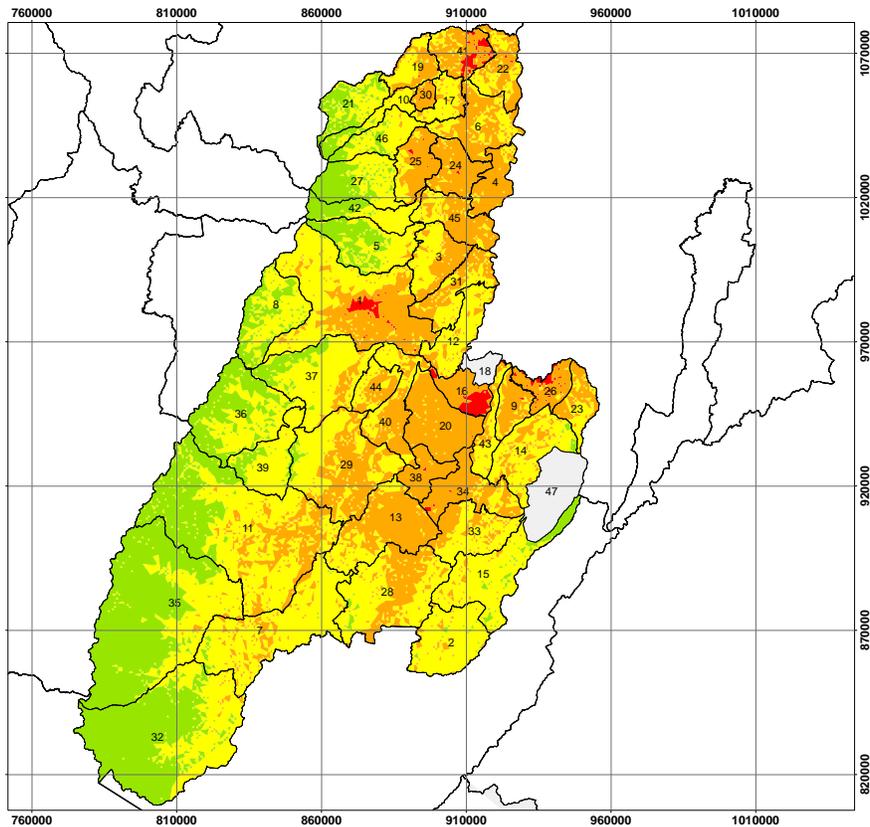
Por otra parte, Los municipios de Saldaña, el Guamo, Purificación, Venadillo, Lérica, Ambalema, Falan, Palocabildo y San Sebastián de Mariquita presentan una susceptibilidad alta en sus territorios, mostrando un alto riesgo para la transmisión de la enfermedad.

Los municipios de Alpujarra, Villalarica, Villahermosa, Valle de San Juan, Suarez, Santa Isabel, San Antonio, Rovira, Piedras, Natagaima, Herveo, Dolores, Cayaima, Cunday, Coello, Chaparral, Casabianca, Carmen de Apicalá, Cajamarca, Anzoátegui, Ataco y Alvarado

presentan en la mayoría de su territorio una susceptibilidad media. Los demás municipios cuentan en la mayoría de su territorio una susceptibilidad baja.

### 12.11.2 Susceptibilidad escenario 4.5 por municipio

Ilustración 29. Susceptibilidad escenario 4.5 por municipio



Fuente: Autores

Tabla 40. Susceptibilidad escenario 4.5 por municipio

No.	MUNICIPIO	CLASIFICACIÓN	ÁREA Km <sup>2</sup>	% ÁREA
1	IBAGUÉ	Bajo	11.665118	0.847
		Medio	701.915512	50.965
		Alto	612.262878	44.455
		Muy alto	51.4117328	3.733
		ÁREA TOTAL	1377.25524	100.000
2	ALPUJARRA	Bajo	9.8212139	1.958
		Medio	459.032883	91.530
		Alto	32.657224	6.512

		ÁREA TOTAL	501.511321	100.000
3	ALVARADO	Medio	173.834309	50.484
		Alto	170.501283	49.516
		ÁREA TOTAL	344.335593	100.000
4	AMBALEMA	Medio	29.5118521	12.398
		Alto	208.532974	87.602
		ÁREA TOTAL	238.044826	100.000
5	ANZOÁTEGUI	Bajo	219.913219	46.819
		Medio	239.293496	50.945
		Alto	10.5046104	2.236
		ÁREA TOTAL	469.711325	100.000
6	ARMERO	Medio	155.794371	35.357
		Alto	284.738757	64.621
		Muy alto	0.09771546	0.022
		ÁREA TOTAL	440.630844	100.000
7	ATACO	Bajo	19.6117418	1.927
		Medio	856.002994	84.116
		Alto	142.029703	13.957
		ÁREA TOTAL	1017.64444	100.000
8	CAJAMARCA	Bajo	211.013584	41.498
		Medio	297.073517	58.423
		Alto	0.39994673	0.079
		ÁREA TOTAL	508.487047	100.000
9	CARMEN DE APICALÁ	Medio	48.7384334	25.539
		Alto	140.27594	73.506
		Muy alto	1.8217574	0.955
		ÁREA TOTAL	190.836131	100.000
10	CASABIANCA	Bajo	60.8980123	34.740
		Medio	106.026012	60.484
		Alto	8.37215494	4.776
		ÁREA TOTAL	175.29618	100.000
11	CHAPARRAL	Bajo	655.700465	31.193
		Medio	1020.11032	48.529
		Alto	426.25245	20.278
		ÁREA TOTAL	2102.06323	100.000
12	COELLO	Medio	274.901292	80.007
		Alto	68.6212707	19.971
		Muy alto	0.07555737	0.022
		ÁREA TOTAL	343.59812	100.000
13	COYAIMA	Medio	197.295354	29.489

		Alto	471.530464	70.477
		Muy alto	0.22986914	0.034
		<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>669.055688</b>	<b>100.000</b>
14	CUNDAY	Bajo	14.9846133	2.953
		Medio	368.011673	72.512
		Alto	124.300868	24.492
		Muy alto	0.21812793	0.043
		<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>507.515283</b>	<b>100.000</b>
15	DOLORES	Bajo	90.0671068	13.815
		Medio	532.452182	81.671
		Alto	29.4311118	4.514
		<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>651.9504</b>	<b>100.000</b>
16	ESPINAL	Medio	2.64976666	1.224
		Alto	139.350838	64.366
		Muy alto	74.4983406	34.410
		<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>216.498945</b>	<b>100.000</b>
17	FALAN	Bajo	0.00017224	0.0001
		Medio	133.262206	73.4947
		Alto	47.9458138	26.4423
		Muy alto	0.11402155	0.0629
		<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>181.322213</b>	<b>100.0000</b>
18	FLANDES	Medio	0.18205979	0.188
		Alto	88.1206724	91.036
		Muy alto	8.49444228	8.776
		<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>96.7971745</b>	<b>100.000</b>
19	FRESNO	Bajo	0.66579656	0.303
		Medio	110.725688	50.405
		Alto	107.940109	49.137
		Muy alto	0.34126303	0.155
		<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>219.672857</b>	<b>100.000</b>
20	GUAMO	Medio	20.3744936	4.029
		Alto	481.803839	95.266
		Muy alto	3.56549464	0.705
		<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>505.743827</b>	<b>100.000</b>
21	HERVEO	Bajo	166.683312	51.653
		Medio	154.84099	47.984
		Alto	1.17109184	0.363
		<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>322.695394</b>	<b>100.000</b>
22	HONDA	Medio	118.521318	38.874
		Alto	183.775892	60.276

		Muy alto	2.59171799	0.850
		ÁREA TOTAL	304.888929	100.000
23	ICONONZO	Bajo	0.1274443	0.059
		Medio	94.7399314	44.029
		Alto	120.02606	55.780
		Muy alto	0.28478733	0.132
		ÁREA TOTAL	215.178223	100.000
24	LÉRIDA	Medio	19.1886593	7.056
		Alto	250.872072	92.248
		Muy alto	1.89374505	0.696
		ÁREA TOTAL	271.954477	100.000
25	LÍBANO	Bajo	0.0429851	0.015
		Medio	70.8011383	25.074
		Alto	207.377012	73.441
		Muy alto	4.15147636	1.470
		ÁREA TOTAL	282.372612	100.000
26	MELGAR	Medio	8.16515076	4.039
		Alto	164.434841	81.339
		Muy alto	29.5604359	14.622
		ÁREA TOTAL	202.160428	100.000
27	MURILLO	Bajo	213.420139	50.343
		Medio	210.028294	49.543
		Alto	0.48374276	0.114
		ÁREA TOTAL	423.932176	100.000
28	NATAGAIMA	Bajo	15.1551086	1.763
		Medio	512.498748	59.605
		Alto	332.176055	38.633
		ÁREA TOTAL	859.829912	100.000
29	ORTEGA	Bajo	26.5841938	2.787
		Medio	474.465588	49.745
		Alto	452.754543	47.468
		ÁREA TOTAL	953.804324	100.000
30	PALOCABILDO	Medio	4.07296354	6.265
		Alto	58.7511291	90.371
		Muy alto	2.18703677	3.364
		ÁREA TOTAL	65.0111294	100.000
31	PIEDRAS	Medio	160.927137	45.405
		Alto	193.498184	54.595
		ÁREA TOTAL	354.42532	100.000
32	PLANADAS	Bajo	1135.27266	64.721

		Medio	604.470845	34.460
		Alto	14.3583226	0.819
		ÁREA TOTAL	1754.10182	100.000
33	PRADO	Bajo	0.30735067	0.073
		Medio	270.374396	63.916
		Alto	152.331256	36.011
		ÁREA TOTAL	423.013003	100.000
34	PURIFICACIÓN	Medio	68.0577943	16.921
		Alto	329.732525	81.981
		Muy alto	4.41448849	1.098
		ÁREA TOTAL	402.204807	100.000
35	RIOBLANCO	Bajo	1480.47418	72.351
		Medio	544.182008	26.594
		Alto	21.5776033	1.055
		ÁREA TOTAL	2046.23379	100.000
36	RONCESVALLES	Bajo	432.048467	55.687
		Medio	343.801061	44.313
		ÁREA TOTAL	775.849528	100.000
37	ROVIRA	Bajo	133.587256	18.065
		Medio	527.145883	71.286
		Alto	78.7430568	10.648
		ÁREA TOTAL	739.476195	100.000
38	SALDAÑA	Medio	4.30050297	2.226
		Alto	187.675661	97.127
		Muy alto	1.25061766	0.647
		ÁREA TOTAL	193.226781	100.000
39	SAN ANTONIO	Bajo	76.756753	20.020
		Medio	305.931394	79.793
		Alto	0.71882211	0.187
		ÁREA TOTAL	383.406969	100.000
40	SAN LUIS	Medio	174.916376	42.432
		Alto	237.309851	57.568
		ÁREA TOTAL	412.226226	100.000
41	SAN SEBASTIÁN DE MARIQUITA	Medio	46.2665884	15.773
		Alto	198.622892	67.713
		Muy alto	48.4402786	16.514
		ÁREA TOTAL	293.329759	100.000
42	SANTA ISABEL	Bajo	117.938753	43.651
		Medio	143.686379	53.180
		Alto	8.56150794	3.169

		ÁREA TOTAL	270.18664	100.000
43	SUARÉZ	Medio	128.0319	67.35749244
		Alto	59.2041195	31.14724555
		Muy alto	2.84216691	1.495262008
		ÁREA TOTAL	190.078187	100
44	VALLE DE SAN JUAN	Medio	98.6225695	49.848
		Alto	99.2238381	50.152
		ÁREA TOTAL	197.846408	100.000
45	VENADILLO	Medio	101.144272	30.225
		Alto	233.488486	69.775
		ÁREA TOTAL	334.632758	100.000
46	VILLAHERMOSA	Bajo	65.9570829	23.653
		Medio	207.197858	74.304
		Alto	5.69499968	2.042
		ÁREA TOTAL	278.849941	100.000
47	VILLARRICA	Bajo	130.544285	30.326
		Medio	288.302193	66.975
		Alto	11.6165339	2.699
		ÁREA TOTAL	430.463012	100.000
<b>ÁREA TOTAL DEPARTAMENTO</b>			24139.3494	100.000

*Fuente: Autores*

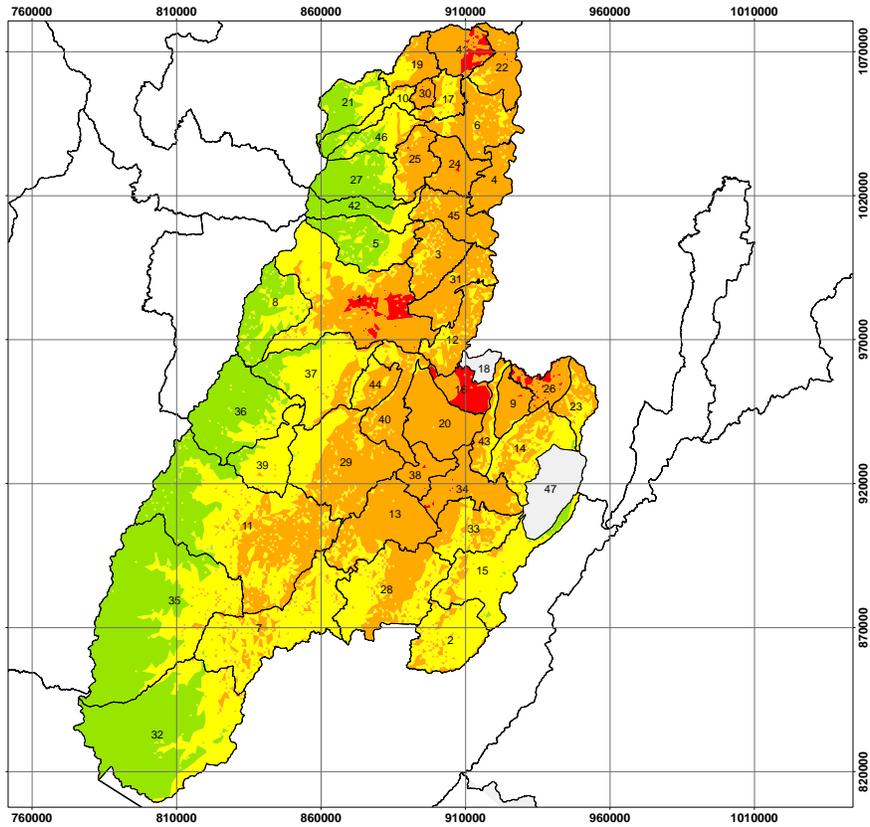
Para la susceptibilidad del escenario 4.5 se observa que en el municipio del Espinal hubo una reducción en cuanto al rango muy alto en comparación con la susceptibilidad actual pasando de 91% a 34,4%. También se observa una reducción para los municipios de Melgar, Flandes e Ibagué. Sin embargo, en otros municipios se observa un aumento en este rango como los municipios de San Sebastián de Mariquita con un área de 16,5% y Palocabildo con un área de 3,3%.

Cabe resaltar que para el escenario 4.5 existe un claro aumento en el rango alto encontrándose que, en los municipios de Venadillo, Valle de San Juan, San Sebastián de Marquita, San Luis, Saldaña, Purificación, Piedras, Palocabildo, Melgar, Líbano, Lérica, Icononzo, Honda, el Guamo, Flandes, El Espinal, Coyaima, Carmen de Apicalá, Armero y Ambalema cuentan con una mayor área de este rango de susceptibilidad en su territorio.

Para los municipios de Ibagué, Alpujarra, Alvarado, Anzoátegui, Ataco, Cajamarca, Casabianca, Coello, Cunday, Dolores, Falan, Fresno, Natagaima, Prado, Rovira, San Antonio, Santa Isabel, Suarez, Villahermosa y Villarrica presenta mayor área en susceptibilidad media. Los demás municipios como Roncesvalles, Herveo, Murillo, Planadas, Rioblanco cuentan con mayor área en la susceptibilidad baja en la presencia del mosquito vector.

### 12.11.3 Susceptibilidad escenario 6.0 por municipio

Ilustración 30. Susceptibilidad escenario 6.0 por municipio



Fuente: Autores

Tabla 41. Susceptibilidad escenario 6.0 por municipio

No.	MUNICIPIO	CLASIFICACIÓN	ÁREA Km <sup>2</sup>	% ÁREA
1	IBAGUÉ	Bajo	7.48305388	0.543
		Medio	564.316504	40.974
		Alto	673.357344	48.891
		Muy alto	132.098338	9.591
		<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>1377.25524</b>	<b>100.000</b>
2	ALPUJARRA	Medio	419.727555	83.693
		Alto	81.7837659	16.307
		<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>501.511321</b>	<b>100.000</b>
3	ALVARADO	Medio	55.0578962	15.990
		Alto	288.958857	83.918

		Muy alto	0.31883969	0.093
		ÁREA TOTAL	344.335593	100.000
4	AMBALEMA	Medio	5.1356866	2.157
		Alto	232.909139	97.843
		ÁREA TOTAL	238.044826	100.000
5	ANZOÁTEGUI	Bajo	279.439977	59.492
		Medio	146.53779	31.197
		Alto	43.7335585	9.311
		ÁREA TOTAL	469.711325	100.000
6	ARMERO	Medio	72.8121934	16.525
		Alto	367.780807	83.467
		Muy alto	0.03784311	0.009
		ÁREA TOTAL	440.630844	100.000
7	ATACO	Bajo	3.07071811	0.302
		Medio	827.669351	81.332
		Alto	186.90437	18.366
		ÁREA TOTAL	1017.64444	100.000
8	CAJAMARCA	Bajo	330.367765	64.971
		Medio	175.602644	34.534
		Alto	2.51663794	0.495
		ÁREA TOTAL	508.487047	100.000
9	CARMEN DE APICALÁ	Medio	5.76265345	3.020
		Alto	182.542192	95.654
		Muy alto	2.5312856	1.326
		ÁREA TOTAL	190.836131	100.000
10	CASABIANCA	Bajo	61.9596334	35.346
		Medio	100.171826	57.144
		Alto	13.1647199	7.510
		ÁREA TOTAL	175.29618	100.000
11	CHAPARRAL	Bajo	584.791585	27.820
		Medio	792.70784	37.711
		Alto	724.56381	34.469
		ÁREA TOTAL	2102.06323	100.000
12	COELLO	Medio	98.5573816	28.684
		Alto	244.247797	71.085
		Muy alto	0.79294061	0.231
		ÁREA TOTAL	343.59812	100.000
13	COYAIMA	Medio	81.8416284	12.232
		Alto	587.129787	87.755
		Muy alto	0.08427179	0.013

		ÁREA TOTAL	669.055688	100.000
14	CUNDAY	Bajo	3.45762939	0.681
		Medio	309.58909	61.001
		Alto	194.447591	38.314
		Muy alto	0.02097256	0.004
		ÁREA TOTAL	507.515283	100.000
15	DOLORES	Bajo	41.1022405	6.305
		Medio	546.044164	83.755
		Alto	64.8039961	9.940
		ÁREA TOTAL	651.9504	100.000
16	ESPINAL	Medio	0.92720876	0.428
		Alto	67.2041922	31.041
		Muy alto	148.367544	68.530
		ÁREA TOTAL	216.498945	100.000
17	FALAN	Medio	88.0415936	48.555
		Alto	93.2111291	51.406
		Muy alto	0.06949062	0.038
		ÁREA TOTAL	181.322213	100.000
18	FLANDES	Alto	15.4055345	15.915
		Muy alto	81.3916399	84.085
		ÁREA TOTAL	96.7971745	100.000
19	FRESNO	Bajo	0.03697346	0.017
		Medio	64.7422638	29.472
		Alto	154.89362	70.511
		ÁREA TOTAL	219.672857	100.000
20	GUAMO	Medio	6.79489123	1.344
		Alto	495.688132	98.012
		Muy alto	3.2608038	0.645
		ÁREA TOTAL	505.743827	100.000
21	HERVEO	Bajo	196.733284	60.966
		Medio	125.215551	38.803
		Alto	0.74655912	0.231
		ÁREA TOTAL	322.695394	100.000
22	HONDA	Medio	26.2454425	8.608
		Alto	276.101003	90.558
		Muy alto	2.54248275	0.834
		ÁREA TOTAL	304.888929	100.000
23	ICONONZO	Bajo	0.01524562	0.007
		Medio	92.6508133	43.058
		Alto	122.211405	56.795

		Muy alto	0.3007593	0.140
		ÁREA TOTAL	215.178223	100.000
24	LÉRIDA	Medio	3.91770938	1.441
		Alto	265.643536	97.679
		Muy alto	2.39323101	0.880
		ÁREA TOTAL	271.954477	100.000
25	LÍBANO	Medio	59.5975722	21.106
		Alto	220.417871	78.059
		Muy alto	2.35716898	0.835
		ÁREA TOTAL	282.372612	100.000
26	MELGAR	Medio	1.60391712	0.793
		Alto	158.091887	78.201
		Muy alto	42.4646234	21.005
		ÁREA TOTAL	202.160428	100.000
27	MURILLO	Bajo	358.431661	84.549
		Medio	65.0581268	15.346
		Alto	0.44238888	0.104
		ÁREA TOTAL	423.932176	100.000
28	NATAGAIMA	Medio	466.985538	54.311
		Alto	392.844374	45.689
		ÁREA TOTAL	859.829913	100.000
29	ORTEGA	Bajo	1.84491366	0.193
		Medio	309.227563	32.420
		Alto	642.731848	67.386
		ÁREA TOTAL	953.804325	100.000
30	PALOCABILDO	Medio	0.69674784	1.072
		Alto	61.7604046	95.000
		Muy alto	2.55397694	3.929
		ÁREA TOTAL	65.0111294	100.000
31	PIEDRAS	Medio	36.8351186	10.393
		Alto	316.79294	89.382
		Muy alto	0.79726167	0.225
		ÁREA TOTAL	354.42532	100.000
32	PLANADAS	Bajo	1179.0958	67.219
		Medio	553.104708	31.532
		Alto	21.9013159	1.249
		ÁREA TOTAL	1754.10182	100.000
33	PRADO	Medio	217.72845	51.471
		Alto	205.284552	48.529
		ÁREA TOTAL	423.013003	100.000

34	PURIFICACIÓN	Medio	11.6431873	2.895
		Alto	386.164306	96.012
		Muy alto	4.39731455	1.093
		ÁREA TOTAL	402.204807	100.000
35	RIOBLANCO	Bajo	1438.96802	70.323
		Medio	576.815475	28.189
		Alto	30.450295	1.488
		ÁREA TOTAL	2046.23379	100.000
36	RONCESVALLES	Bajo	619.192516	79.808
		Medio	156.542167	20.177
		Alto	0.11484511	0.015
		ÁREA TOTAL	775.849528	100.000
37	ROVIRA	Bajo	118.722921	16.055
		Medio	507.658193	68.651
		Alto	113.089132	15.293
		Muy alto	0.00594977	0.001
ÁREA TOTAL	739.476195	100.000		
38	SALDAÑA	Alto	191.61131	99.164
		Muy alto	1.61547147	0.836
		ÁREA TOTAL	193.226781	100.000
39	SAN ANTONIO	Bajo	48.5390313	12.660
		Medio	328.674118	85.725
		Alto	6.19382011	1.615
		ÁREA TOTAL	383.406969	100.000
40	SAN LUIS	Medio	82.678074	20.056
		Alto	329.548152	79.944
		ÁREA TOTAL	412.226226	100.000
41	SAN SEBASTIÁN DE MARIQUITA	Medio	0.59764748	0.204
		Alto	220.181261	75.063
		Muy alto	72.5508505	24.734
		ÁREA TOTAL	293.329759	100.000
42	SANTA ISABEL	Bajo	184.175142	68.166
		Medio	80.1100208	29.650
		Alto	5.90147772	2.184
		ÁREA TOTAL	270.18664	100.000
43	SUARÉZ	Medio	72.762429	38.280
		Alto	116.225314	61.146
		Muy alto	1.09044381	0.574
		ÁREA TOTAL	190.078187	100.000
44	VALLE DE SAN JUAN	Medio	68.2890596	34.516

		Alto	129.557348	65.484
		<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>197.846408</b>	<b>100.000</b>
45	VENADILLO	Medio	27.4861588	8.214
		Alto	307.146599	91.786
		<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>334.632758</b>	<b>100.000</b>
46	VILLAHERMOSA	Bajo	88.7206915	31.817
		Medio	162.67664	58.338
		Alto	27.45261	9.845
		<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>278.849941</b>	<b>100.000</b>
47	VILLARRICA	Bajo	40.053219	9.305
		Medio	371.180424	86.228
		Alto	19.2293696	4.467
		<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>430.463012</b>	<b>100.000</b>
<b>ÁREA TOTAL DEPARTAMENTO</b>			<b>24139.3494</b>	<b>100.000</b>

*Fuente: Autores*

De acuerdo al mapa obtenido para la susceptibilidad 6.0 se observa que el municipio que presenta una mayor área de susceptibilidad muy alta es el municipio de Flandes con un 84%, existiendo un considerable aumento en comparación con los mapas de susceptibilidad anteriores. También se identifica que hubo un crecimiento en el área para el municipio de El Espinal en comparación con el mapa de susceptibilidad actual pasando de un área de 91% a 68,5%. Por otra parte, este rango de susceptibilidad se encuentra en menor medida en los municipios de San Sebastián de Marquita, Melgar, Ibagué, Purificación y Carmen de Apicalá.

Para los municipios de Alvarado, Ambalema, Armero, Carmen de Apicalá, Coello, Coyaima, Falan, Fresno, Guamo, Honda, Icononzo, Lérica, Líbano, Melgar, Ortega, Palocabildo, Piedras, Purificación, Saldaña, San Luis, San Sebastián de Mariquita, Suarez, Valle de San Juan, Venadillo cuenta con una susceptibilidad alta.

Los municipios de Alpujarra, Ataco, Casabianca, Cunday, Dolores, Natagaima, Prado, Rovira, San Antonio, Villahermosa y Villarrica cuentan con una susceptibilidad media. Los municipios que presentan en la mayoría de su territorio susceptibilidad baja son Anzoátegui, Cajamarca, Herveo, Murillo, Planadas, Rioblanco, Roncesvalles y Santa Isabel.

## 13.DISCUSIÓN

### 13.1 ÍNDICE CLIMÁTICO

El índice climático es dentro de la modelación propuesta sumamente representativo ya que funciona como el principal indicador de como la influencia de los factores climáticos a consecuencia del calentamiento global afectan la dispersión del vector transmisor y, por ende, de la enfermedad, permitiendo conocer si la variación en los índices climáticos representara mayor cantidad de área en el departamento en condiciones óptimas para la reproducción del vector.

De acuerdo a los resultados expuestos en las tablas 31, 32 y 33 se puede observar que existe un aumento significativo de los rangos muy alto (óptimos para diseminación del vector) en los escenarios de cambio climático 4.5 y 6.0, pasando de 37.8% a 41% y 46.3% respectivamente, por lo cual se puede conocer como el cambio climático afecta significativamente propiciando áreas con las condiciones adecuadas para el vector. De alcanzar los niveles de precipitación y temperatura de los escenarios propuestos puede darse la llegada y reproducción del vector en áreas donde anteriormente no contaban con la condición de vida para su asentamiento, constituyendo una problemática en aquellas zonas que no se encuentren preparadas para el manejo de la enfermedad (Diaz Sjostrom & Cruz Quintana, 2017).

En el caso del escenario 6.0 donde el aumento de la temperatura es de 3° C, las áreas óptimas para la diseminación del vector aumentan más del 10% respecto a la actualidad pero en caso de aumentar aún más y sobrepasar este valor podríamos encontrar con más de la mitad del área del departamento con peligro frente a las enfermedades transmitidas por este vector a pesar de que en la zona occidental se encuentra principalmente terreno montañoso proveniente de la cordillera central donde no se esperaría la presencia del vector e históricamente son muy reducidos los casos de enfermedad presentes (Ministerio de Salud y Protección Social, 2016).

### 13.2 ÍNDICE DE COBERTURA

Los resultados del índice de cobertura es un factor sumamente relevante ya que este funciona como limitante en el área en la cual se puede propagar el vector. Las coberturas propicias para el vector son aquellas donde se encuentra alta presencia de población humana debido a que este desempeña un papel muy importante para la reproducción del mosquito (Zuluaga Gómez & Vanegas Isaza, 2015). El modelar las coberturas teniendo en cuenta los factores de cambio climático resulta indispensable ya que no conocer como el clima y la influencia antrópica tienen en el cambio de cobertura, impide la formulación correcta y determinación de las áreas que pudiera llegar a ser invadidas por el vector teniendo estimaciones sesgadas e incorrectas..

En la actualidad las zonas de rango muy alto representan un valor inferior al 1% del área del departamento, sin embargo, es debido a que este porcentaje representa las ciudades de tamaño considerable como Ibagué, Melgar, Mariquita, Líbano, Espinal, entre otras, este rango se mantiene en valores cercanos para la modelación futura. El rango alto está representado por coberturas asociadas a la presencia humana, pero con una menor densidad poblacional en un 9.8% del total del área del departamento como se puede observar en la tabla 27, pero al efectuar la modelación teniendo en cuenta la influencia del cambio climático el área de estas coberturas el rango alto alcanza el 20.5% del área total del departamento, observable en la tabla 28. La influencia de la actividad antrópica y del calentamiento global en las coberturas a futuro representa mayor susceptibilidad a la presencia del vector y la enfermedad, por ello, es sumamente importante efectuar medidas de control en estas coberturas dentro de cada uno de los municipios.

### 13.3 DENSIDAD POBLACIONAL

El índice de densidad poblacional permite conocer los municipios que presentan mayor cantidad de habitantes por  $\text{km}^2$  lo que representa un indicador para la fácil reproducción del vector, en municipios de alta densidad poblacional las hembras pueden obtener de manera más fácil la sangre necesaria para su proceso reproductivo, adicionalmente áreas de alta densidad representan zonas donde por la cercanía de persona a persona la proliferación de la enfermedad es más rápida y con un control más difícil para los organismos de salud (Díaz Caravantes, 2018).

Los resultados contenidos en la tabla 29 y 30 muestran el área y porcentaje de área de los municipios con densidad poblacional en cada uno de los rangos, en este caso, el rango muy alto en el escenario actual tiene un incremento ligero que la modelación futura pasando de 7.8% a 9.3% debido al crecimiento de las principales urbes del departamento. Sin embargo, el área en los rangos alto y medio tiende a reducirse puesto que a futuro en la mayoría de los municipios con características rurales se proyecta un crecimiento bajo e inclusive un decrecimiento en la población total, debido a que esta tiende a desplazarse a zonas urbanas donde consideran obtienen mejores oportunidades laborales y mejores condiciones de vida. Este índice de densidad poblacional brinda un importante factor a tener en cuenta en la modelación de la susceptibilidad como lo es que los grandes centros poblados al ser los que presentan mayor densidad tendrán en un futuro a causa del desplazamiento de habitantes de zonas rurales fortalecer sus estrategias de prevención, así como de preparación frente a epidemias a cargo del personal y equipo de centro médicos.

### 13.4 ÍNDICE DE RELIEVE

Este índice es construido a partir de la elevación y pendiente del departamento bajo el criterio de que la elevación es un factor determinante para la presencia del vector el cual no puede alcanzar alturas superiores a 2200 m.s.n.m. mientras que por lo contrario a menores alturas que

presentan mayor temperatura la presencia es propicia. Por otra parte, la pendiente es determinante para encontrar cuerpos de agua en reposo y depósitos de agua estancados que permite la postura de huevos a las hembras de la especie y la reproducción rápida del mosquito (Victor, 2015).

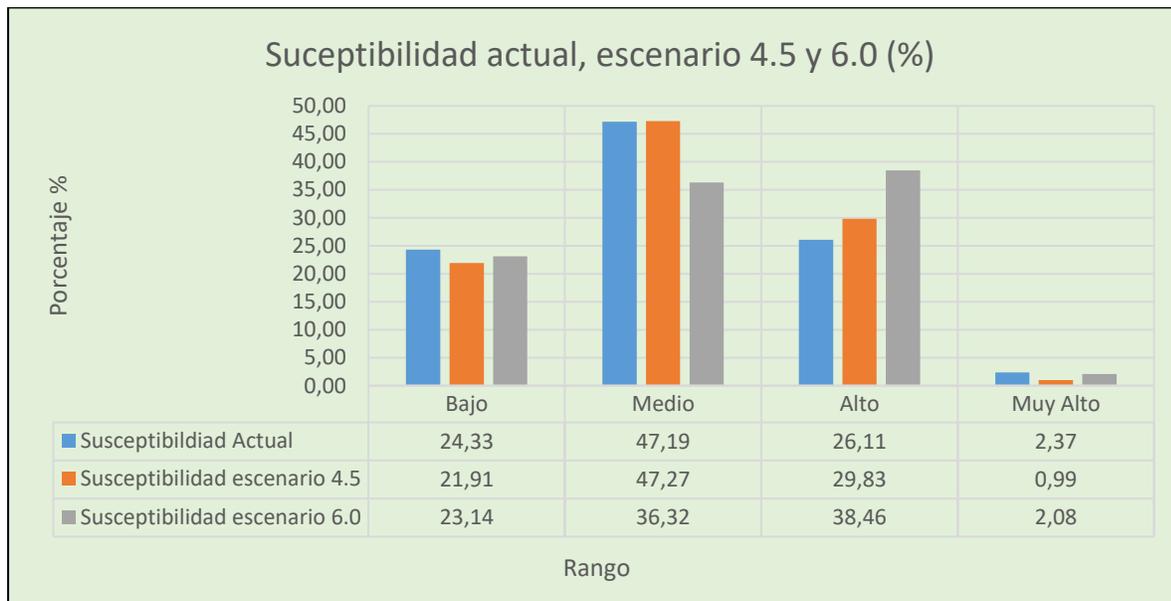
El índice de relieve es manejado constante tanto para la actualidad como para la proyección futura ya que la variación en pendiente y elevación es influenciada en su mayoría por procesos de remoción en masa y obras antrópicas de proyección muy puntuales que en el caso del área del departamento es poco predecible. Los resultados de la tabla 34 muestran como el 60% del área del municipio se encuentran en los tres rangos más altos medio, alto y muy alto zonas óptimas para la reproducción y propagación del vector que deben ejecutar medidas preventivas en todo momento así no se encuentre un registro histórico de alto número de casos, ya que las condiciones si pueden favorecer la reproducción del mosquito en el momento que llegue a desplazarse a dichas áreas.

### 13.5 SUSCEPTIBILIDAD ACTUAL VS ESCENARIO 4.5 Y ESCENARIO 6.0 EN EL DEPARTAMENTO

El índice de susceptibilidad conjuga cada uno de los índices propuestos anteriormente (índice climático, índice de cobertura, índice de densidad poblacional e índice de relieve) así como los variables presentes en estos para de esta manera poder tener en cuenta cada uno de los factores que pueden influir y sean más representativos en la distribución del vector transmisor de la enfermedad.

El escenario actual presenta una susceptibilidad media o superior en cerca del 75% del área del departamento, como se puede observar en las ilustraciones 31 y 32. Lo cual es indicador de lo necesario que es contemplar como una problemática primordial para el departamento la propagación del vector y de la enfermedad, y ser tenida en cuenta como una de las prioridades de los entes gubernamentales y de salud para que eviten y reduzcan la presencia de casos de la enfermedad y epidemias que puedan desencadenar una emergencia de salud pública (Diaz Sjostrom & Cruz Quintana, 2017).

Ilustración 31. Susceptibilidad actual, escenario 4.5 y 6.0 (%)



*Fuente: Autores*

De acuerdo a la modelación podemos observar que la problemática acentúa la influencia del cambio climático para los escenarios modelados, debido a que en áreas que anteriormente eran libres de casos de la enfermedad o eran poco susceptibles a esta incrementaron su predisposición al vector. La variación más representativa se encuentra en el rango alto de susceptibilidad donde se pasa de un 26.1% a 29.8% y 38.4% para los escenarios 4.5 y 6.0 respectivamente como se puede observar en las ilustraciones 31 y 32, esta variación es producida por la disminución en áreas de susceptibilidad media y por el contrario han incrementado drásticamente las áreas expuestas a una susceptibilidad alta. Por esta razón, se debe priorizar en el control del vector y el manejo de la enfermedad que propenda a la reducción de la morbilidad a futuro, prevenga condiciones epidémicas en gran parte del departamento y mitiguen los efectos de los posibles casos producidos.

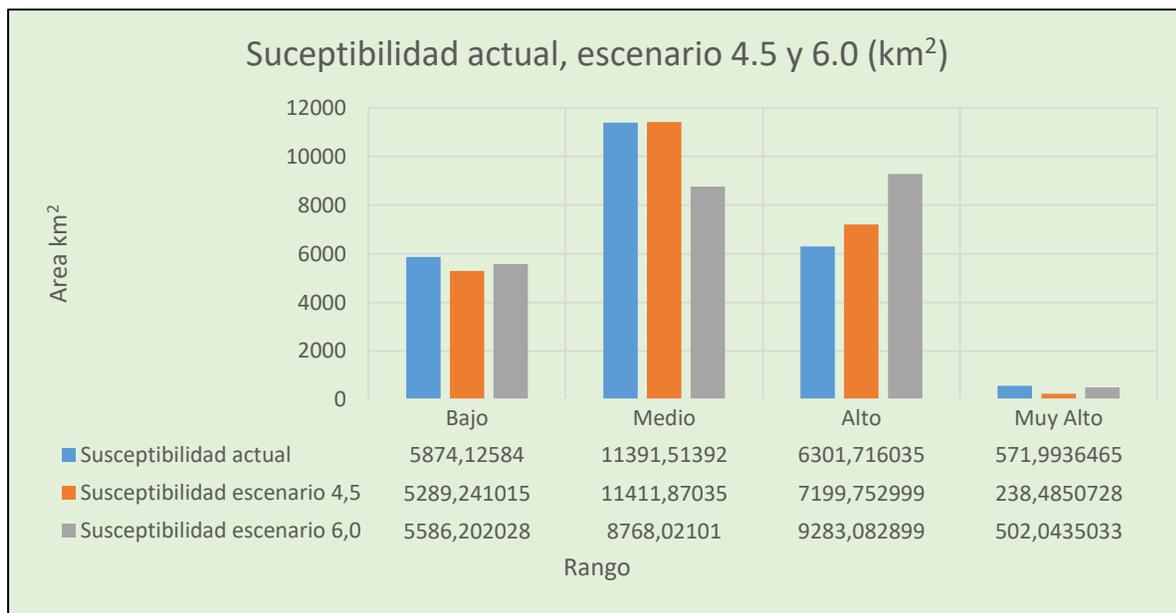
Es necesario mencionar que en ningún municipio del departamento del Tolima se presenta sensibilidad muy baja respecto a la enfermedad, ni actualmente ni en la modelación de los escenarios de cambio climático observable en la ilustración 32, por ende, aunque se encuentren municipios distribuidos principalmente en el sector occidental del departamento y presenten rangos medios y bajos, no quiere decir que no deban ser aplicadas medidas de manejo que eviten que pueda llegar a producir casos esporádicos, por el contrario estas medidas deben tener un enfoque orientado a la prevención sensibilización y educación de la comunidad (Zuluaga Gómez & Vanegas Isaza, 2015).

En el caso de la susceptibilidad muy alta primero es necesario destacar que tanto para el escenario actual como para los dos modelados futuros se mantienen en valores bajos inferiores

al 3% indicados en la ilustración 31, esto es debido a que las áreas de susceptibilidad muy alta están relacionadas principalmente con los centros poblados de mayor densidad poblacional en el departamento, ciudades como Ibagué, Melgar, Espinal, Guamo y Líbano a pesar de no representar un alto porcentaje de área son centros que por su alta densidad poblacional son un foco de infección principal que debe priorizarse y tener la mayor cantidad tanto de recursos disponibles para prevención del vector y el tratamiento de la enfermedad. Algunos municipios como Chaparral debido a sus condiciones geográficas y climatológicas son exentos a pesar de su alta densidad poblacional de presentar áreas de susceptibilidad muy alta.

A pesar de que el área en susceptibilidad muy alta se mantiene en valores cercanos en el escenario actual respecto al escenario 6.0 sin superar el 2% del área total del municipio por el contrario en el escenario 4.5 el valor disminuye a cerca de 1%, pero es diseminado a mayor cantidad de municipios del departamento en este caso, aunque el área es menor trae la problemática del vector y la enfermedad a mayor cantidad de poblaciones. Los municipios y áreas que presentan áreas con susceptibilidad muy alta así sea un porcentaje bajo del área del municipio, debe encontrarse preparado tanto para la prevención como para el manejo de la enfermedad ya que pueden constituirse como los principales centros generadores y propagadores del Chikunguña.

Ilustración 32. Susceptibilidad actual, escenario 4.5 y 6.0 (km<sup>2</sup>)



Fuente: Autores

### 13.6 SUSCEPTIBILIDAD ACTUAL VS. ESCENARIO 4.5 Y ESCENARIO 6.0 POR MUNICIPIO

La evaluación de la susceptibilidad por municipio facilita la identificación de las áreas más propensas a la reproducción y asentamiento del vector donde las instituciones locales gubernamentales y de salud de cada municipio deben centrar sus medidas de control dirigidas vector. En el escenario de referencia o actual la principal problemática identificada se encuentra en municipios donde más del 80% de la totalidad del área de los mismos, se encuentra en un nivel de susceptibilidad alto o superior como los son Ambalema, Espinal, Flandes, Guamo, Lérída, Melgar, Palocabildo, Purificación y Saldaña (ilustración 33), estos municipios en muchos de los casos no están ejecutando medidas de prevención y control del vector lo que propicia una epidemia en caso de la aparición de casos puntuales en sus áreas o en municipios vecinos (Ministerio de Salud de la Nación, 2016).

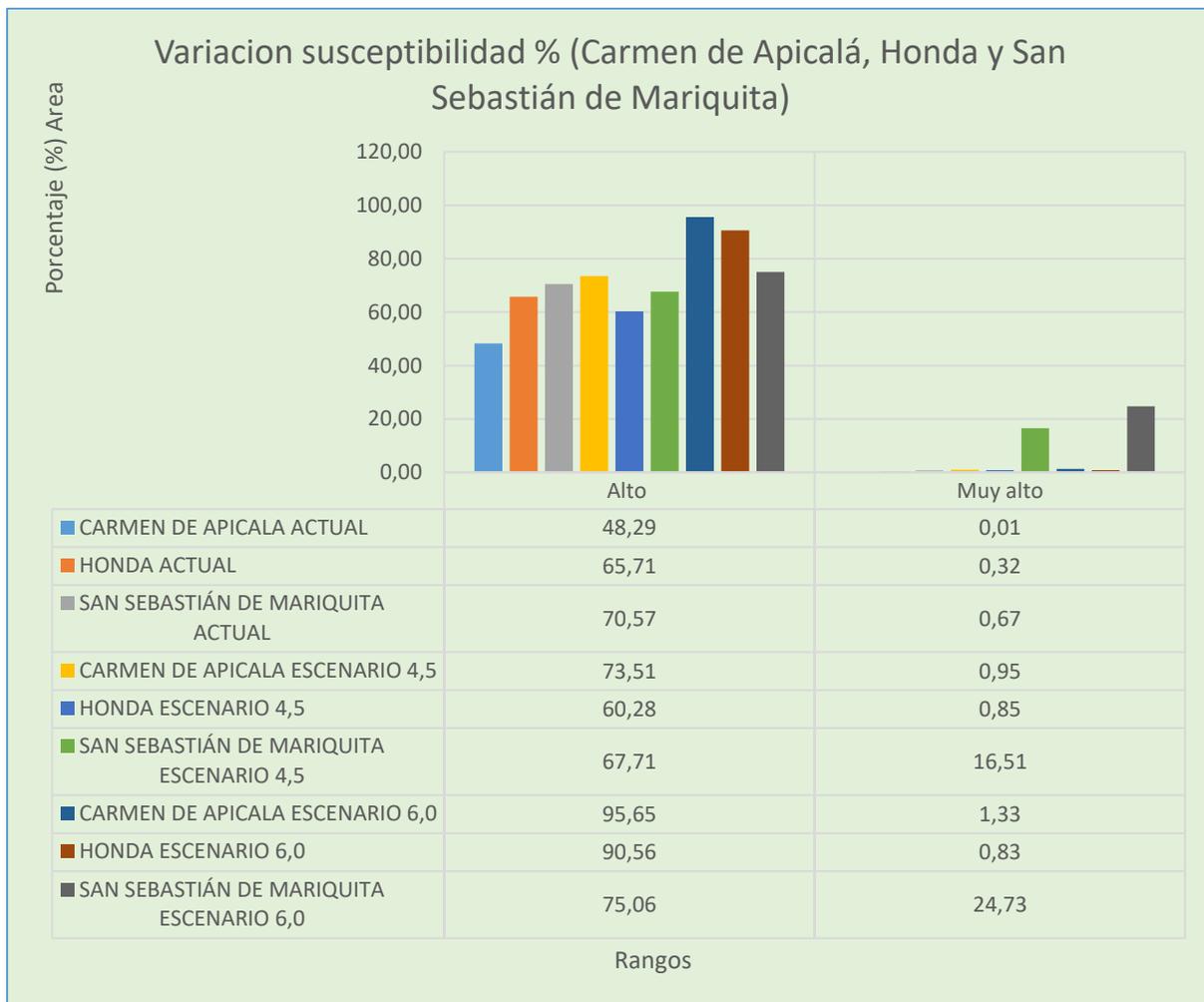
*Ilustración 33. Municipios con susceptibilidad alta y muy alta (áreas superiores al 80%)*



*Fuente: Autores*

La problemática mencionada anteriormente se acentúa bajo los escenarios de cambio climático 4.5 y 6.0 donde el porcentaje de área en rango alto y muy alto de los municipios mencionados anteriormente crece inclusive a más del 90%. Algunos municipios que en la actualidad no cuentan con el 80% en el rango alto y muy alto para el escenario 6.0 superan el 90% como el caso de Carmen de Apicalá, San Sebastián de Mariquita y Honda (Ilustración 34), todos ellos deben ejecutar medidas que aseguren el manejo adecuado del vector y la enfermedad no solo centradas a la prevención, si no también, deben planearse y ejecutarse lineamientos que aborden el control biológico o químico de ser necesario, así como la capacitación constante del personal de salud y el mejoramiento y dotación de equipos e instrumentos para el tratamiento de la enfermedad (Ministerio de salud y protección social, 2016).

Ilustración 34. Variación susceptibilidad % (Carmen de Apicalá, Honda y San Sebastián de Mariquita)



Fuente: Autores

De los resultados obtenidos de la modelación del escenario de cambio climático 6.0 además de acentuarse y crecer en el porcentaje de los municipios con zonas susceptiblemente altas y muy altas en más del 80% y 90%, en este caso también existen algunos municipios que no presentaban siquiera áreas en el nivel alto de susceptibilidad o eran de un porcentaje muy bajo respecto al área total del municipio, pero ahora presentan un porcentaje considerable de áreas expuestas y con condiciones óptimas para la propagación y reproducción del vector como lo son Natagaima, Chaparral y Coello donde las acciones de manejo deben centrarse en la información educación y capacitación de la población y personal de salud que propendan la toma de decisiones acertadas en caso de presencia de la enfermedad.

Es necesario destacar las zonas de susceptibilidad muy alta ya que a pesar de presentarse en áreas de bajo porcentaje respecto al total del área de los municipios para cada uno de los escenarios propuestos, son zonas de alta densidad poblacional donde la aparición de casos de enfermedad sin el manejo adecuado de los mismos que evite su propagación podría desencadenar contagios múltiples en cortos periodos de tiempo llegando inclusive a representar riesgo de epidemia y emergencias de salud pública, este es el caso de municipios como Ibagué, Flandes, Melgar y Espinal (Ilustración 30).

### 13.7 LINEAMIENTOS O MEDIDAS PARA LA GESTIÓN INTERINSTITUCIONAL

De acuerdo al análisis formulado anteriormente se pudieron establecer las zonas y municipios más susceptibles a casos de la enfermedad o posibles epidemias, tanto actualmente como para cada uno de los escenarios de cambio climático futuro, determinando de esta manera áreas en las cuales se deben efectuar medidas intervención prioritarias urgentes, medidas prioritarias y medidas complementarias a cargo de las instituciones que tienen como responsabilidad garantizar la salud pública de la comunidad, y de esta manera reducir los efectos que posiblemente pueden llegar a repercutir sobre la población de cada uno de los municipios que actualmente no presentan mayor presencia de la enfermedad y por ende, no se encuentran preparados para el manejo eficiente y eficaz frente al aumento significativo del número de casos, por ello, a continuación se formulan una serie de lineamientos que permiten a cada una de las instituciones tanto departamentales como municipales encargadas de los servicios de salud estar más preparados y llevar a cabo un mejor manejo frente al incremento de casos de la enfermedad que se presentaran en algunos municipios a consecuencia de los efectos del cambio climático.

#### **13.7.1 Lineamientos prioritarios urgentes:**

Son medidas de estricta premura que buscan evitar la generación de epidemias y reduzcan el número de casos de la enfermedad presentados, se debe aplicar dentro de toda el área de aquellos municipios que presentan zonas con niveles de susceptibilidad muy alto principalmente en las veredas o zonas de mayor susceptibilidad (Ministerio de salud y protección social, 2014).

#### 13.7.1.1 Municipios susceptibilidad muy alta Escenario 4.5

- Carmen de Apicalá: (Cabecera Municipal y vereda La Bolivia)
- Espinal: (Cabecera Municipal, Vereda Guadualejo, Canastos, Coyarco, Talura, Caimanera, Talura, Las Mercedes y Guayabal)
- Flandes: (Cabecera Municipal y Veredal El paraíso)
- Guamo: Vereda la Chamba
- Honda (Cabecera Municipal y Vereda Caimatal)
- Ibagué: (Cabecera Municipal y veredas de, Buenos Aires, Alto de Cobeima, Poteritos, Martinica Baja, Martinica Alta, Alaska, Los Pijaos, El Jaguo , La Elena, La Flor y Los Cauchos Baja)
- Lerida (Cabecera Municipal)
- Líbano (Cabecera Municipal, Vereda Tierra Dentro, Naranjos, La Trinidad y Pradera Vieja)
- Melgar: (Cabecera Municipal, Vereda Salero, La Palma, Cualamana, Calcuta, Alto de la Palma, San Cristóbal, Seboruco, Bombote, La Esmeralda, Guacamayas, Aguila, El Salero, Inali, El Floral y La Apicalá)
- Palocabildo (Cabecera Municipal Vereda Abejas, Puajil, Las Pavas y El Reposo)
- Purificación (Cabecera Municipal, Vereda Hilarco, El Salitre y Ovejera)
- Saldaña (Cabecera Municipal)
- San Sebastián de Mariquita: (Cabecera Municipal, Vereda Peñas Blancas, Caucho Llano Grande, Malabar, Pantano Grande y Malabar Bajo)
- Suarez: (Vereda Cañaberales)

#### 13.7.1.2 Municipios susceptibilidad muy alta escenario 6.0

- Carmen de Apicalá: (Cabecera Municipal y vereda La Bolivia)
- Espinal: (Todo el municipio)
- Flandes: (Todo el Municipio)
- Honda (Cabecera Municipal y Vereda Caimatal)
- Ibagué: (Cabecera Municipal y veredas de, Buenos Aires, Alto de Cobeima, Poteritos, Martinica Baja, Martinica Alta, Alaska, Los Pijaos, El Jaguo, Cueva, Puente Blanco, Rodeo, Santa Teresa, Cural, Crisales, La Coqueta La Elena, La Flor y Los Cauchos Baja)
- Icononzo (Vereda la Cafreria)
- Lerida (Cabecera Municipal)
- Líbano (Cabecera Municipal, Vereda TierraDentro, Naranjos, La Trinidad y Pradera Vieja)
- Melgar: (Todo el Municipio)
- Palocabildo (Cabecera Municipal Vereda Abejas, Puajil, Las Pavas y El Reposo)
- Purificación (Cabecera Municipal, Vereda Hilarco, El Salitre y Ovejera)
- Saldaña (Cabecera Municipal y Vereda Jabalon)
- San Sebastián de Mariquita: (Cabecera Municipal, Vereda Peñas Blancas, Caucho Llano Grande, Lano del Piñal, San Antonio. Malabar, Pantano Grande y Malabar Bajo)
- Suarez: (Vereda Cañaberales)

### **13.7.2 Lineamientos prioritarios:**

Son medidas de suma importancia necesarias de aplicar buscando reducir al mínimo el número de casos de la enfermedad y evitar la propagación de los mismos se debe aplicar dentro de toda el área de aquellos municipios que presentan zonas con niveles de susceptibilidad alto principalmente en las veredas o zonas de mayor susceptibilidad (Ministerio de salud y protección social, 2014).

#### **13.7.2.1 Municipios susceptibilidad alta Escenario 4.5**

Alvarado, Ambalema, Armero, Carmen de Apicalá, Chaparral, Coyaima, Cunday, Espinal, Flandes, Fresno, Guamo, Honda, Ibagué, Icononzo, Lérica, Líbano, Melgar, Natagaima, Ortega, Palocabildo, Piedras, Prado, Purificación, Saldaña, San Luis, San Sebastián de Mariquita, Valle de San Juan Rovira y Venadillo

#### **13.7.2.2 Municipios susceptibilidad alta escenario 6.0**

Alvarado, Alvarado, Ambalema, Anzoátegui, Armero, Ataco, Carmen de Apicalá, Chaparral, Coello, Coyaima, Cunday, Dolores, Espinal, Falan, Flandes, Fresno, Guamo, Honda, Ibagué, Icononzo, Lérica, Líbano, Melgar, Natagaima, Ortega, Palocabildo, Piedras, Prado, Purificación, Rovira, Saldaña, San Luis, San Sebastián de Mariquita, Suarez, Valle de San Juan Rovira, Venadillo y Villa Hermosa

### **13.7.3 Lineamientos complementarios:**

Son medidas necesarias efectuar buscando fortalecer y disminuir los efectos a consecuencia de casos de la enfermedad, se debe aplicar dentro de toda el área de aquellos municipios que presentan zonas con niveles de susceptibilidad medio principalmente en las veredas o zonas de mayor susceptibilidad (Ministerio de salud y protección social, 2014).

#### **13.7.3.1 Municipios susceptibilidad media Escenario 4.5**

Bajo el escenario de cambio climático 4.5 es necesario llevar a cabo la implementación de medidas complementarias en todos los municipios del departamento de Tolima.

#### **13.7.3.2 Municipios susceptibilidad media escenario 6.0**

Bajo el escenario de cambio climático 6.0 es necesario llevar a cabo la implementación de medidas complementarias en todos los municipios del departamento de Tolima.

## **13.8 LINEAMIENTOS COMPLEMENTARIOS**

### **13.8.1 Cooperación y organización interinstitucional**

El manejo conjunto entre instituciones de carácter nacional, regional y local tanto del sector salud, así como gubernamentales para enfrentar el aumento de casos y epidemias de la enfermedad derivados de la influencia del cambio climático es uno de los principales pilares para mejorar la toma de decisiones, la articulación, trabajo mancomunado y el destino de recursos que aseguren reducir los efectos esta problemática de salud pública.

#### 13.8.1.1 Acciones

- Identificar instituciones involucradas y de interés en el Chikunguña, tanto del sector salud como gubernamentales
- Establecer las áreas involucradas de cada una de las instituciones, determinar funciones y responsabilidades de estas mismas
- Elaborar un plan estratégico interinstitucional que permita conocer el avance, seguimientos y mejoras a realizar para mejorar la respuesta frente a la enfermedad en zonas susceptibles
- Definir y destinar recursos adicionales y su distribución en zonas potencialmente de susceptibilidad muy alta, alta y media.
- Transmitir información entre entidades e instituciones.

#### **13.8.2 Investigación y vigilancia de la enfermedad y el vector**

El Desarrollo de investigación y adquisición de información tanto del vector como de la enfermedad asegura el desarrollo científico, tecnológico y la optimización de procesos que permitan reducir los efectos de la enfermedad y disminuyan la presencia del vector en las zonas de mayor susceptibilidad, adicionalmente constituyen la primera línea de respuesta frente a brotes de la enfermedad y aseguran un mejor manejo de los mismo.

#### 13.8.2.1 Acciones

- Priorizar la investigación y el desarrollo científico frente a la enfermedad de Chikunguña y el manejo del vector *Aedes Aegypti* y *Aedes albopictus*.
- Implementar medidas de monitoreo en centros hospitalarios y de salud frente a casos con sintomatología de la enfermedad.
- Desarrollar programas de vigilancia y salud periódicos en sectores rurales que carezcan de centros hospitalarios.
- Definir y unificar técnicas y procedimientos de control tanto del vector como de la enfermedad.
- Fortalecer la capacidad hospitalaria tanto de personal del sector salud, así como de equipo e instrumentación necesarios para enfrentar una epidemia
- Capacitación constante de funcionarios y personal del sector salud y profesionales encargados del control del vector

#### **13.8.3 Transmisión de la información a la población.**

Asegura el conocimiento por parte de la población tanto del riesgo de la enfermedad, así como el manejo tratamiento y prevención a través de profesionales capacitados que orienten a la comunidad de las zonas de mayor susceptibilidad para que tomen decisiones acertadas que aseguren su bienestar.

#### 13.8.3.1 Acciones

- Establecer los mejores canales de transmisión de información a la población que aseguren la veracidad de la misma y evite la información sesgada o deficiente.
- Elaborar planes apropiados a cada población para la difusión de información principalmente de prevención de manera asertiva

- Designar lides comunitarias que fomenten actividades de integración donde se lleve a cabo transmisión de la información persona a persona y mediante medios físicos como folletos, conferencias, infografías entre otros.
- Adelantar reuniones con medios de comunicación informativas que propendan y funcionen de apoyo para la transmisión de información asertiva.
- Implementar las redes sociales como un método adicional de información.
- Elaborar campañas informativas por sectores susceptibles periódicas
- Desarrollar jornadas de sobre la enfermedad en centros hospitalarios.

#### **13.8.4 Prevención primaria**

Son aquellas medidas y procedimientos que procuran evitar la presencia de condiciones que permitan la reproducción y crecimiento del vector, así como de la transmisión de la enfermedad, siendo la medida que conjuga la acción de los lineamientos anteriores y tienen como principal enfoque las viviendas, instituciones comunitarias y los hábitos de la población.

##### **13.8.4.1 Acciones**

- Definir riesgos ambientales sociales y culturales de cada una de las instalaciones en las que desarrollan sus actividades diarias los habitantes de las zonas susceptibles.
- Implementar campañas de lavado de recipientes con agua de uso doméstico, lavado de tanques de agua, limpieza de cuerpos de agua estancados o cercanos, limpieza y aseo constante de viviendas, adecuado manejo y disposición de basuras entre otras.
- Entrega de instrumentos, materiales y herramientas que contribuyan a la prevención en población vulnerable como mosquiteros, tapas de tanques, mayas o carpas de cubierta, repelentes entre otros.
- Llevar acabo recorridos informativos sobre el que hacer en caso de contagio como manejar la sintomatología y en qué caso acudir al médico.
- Implementar canales de comunicación que logren asegurar la información de casos presentados el lugar y las condiciones que procure el manejo adecuado de las áreas y la población aledaña.

### **13.9 LINEAMIENTOS PRIORITARIOS**

#### **13.9.1 Control biológico**

Se fundamenta en la adición de organismos que se alimentan, parasitan o eliminan larvas del vector *Aedes Aegypti* y *Aedes albopictus* impidiendo de esta manera la reproducción del mosquito y su proliferación, como ventajas principales tiene la no contaminación de cuerpos de agua o ecosistemas y como desventajas al ser una especie introducida competirá con especies autóctonas por lo cual es necesario la evaluación de qué consecuencias puede traer este tipo de tratamiento en los ecosistemas, al igual que una evaluación de las características fisicoquímicas de los cuerpos de agua donde se introducirán para asegurar su supervivencia (Ministerio de salud y protección social, 2016).

##### **13.9.1.1 Acciones**

- Identificar zonas con características óptimas para la proliferación del vector que no pueda ser objeto de medidas preventivas

- Evaluar las condiciones de los cuerpos de agua y determinar la especie adecuada para estas condiciones sean peces larvivoros (*Gambusia affinis* y *Poecilia reticulata*) pequeños invertebrados (*Macrocyclop salbidus*, *M. longisetus*, *M. termocyclopoides*, *Mesocyclops aspericornis* y *Mesocyclops sp.*).
- Capacitar a las personas residentes y vecinas de las zonas donde se aplicará este tipo de tratamiento para su preservación y manejo.
- Realizar vigilancia periódica del estado actual de los organismos y del control efectuado.

## 13.10 LINEAMIENTOS PRIORITARIOS URGENTES

### 13.10.1 Control químico

Consiste en el uso de plaguicidas para el control de larvas e individuos adultos y esta manera reducir la densidad poblacional a pesar de que se encuentren las condiciones adecuadas para la proliferación del vector y por ende de la enfermedad, esta medida solo debe ser aplicada en condiciones de emergencia donde los métodos anteriores no han sido efectivos y el vector se ha diseminado inclusive a áreas vecinas, adicionalmente debe ejecutarse por personas capacitadas para el uso de los mismos y de una manera racional (Ministerio de salud y protección social, 2016).

#### 13.10.1.1 Acciones

- Identificar zonas con características óptimas para la proliferación del vector que no pueda ser objeto de medidas preventivas o control biológico o la eficiencia de estas medidas fuera limitada.
- Evaluar las condiciones del lugar de aplicación que eviten la contaminación, afectación a organismos o población.
- Establecer el método plaguicida más efectivo sea de tratamiento focal (usado para estados larvales del vector aplicado en depósitos de agua doméstica que no pueden ser eliminados o cubiertos), tratamiento perifocal (usado en estados adultos del vector mediante la aplicación de insecticidas en recipientes que tengan presencia constante del vector, su objetivo es la reducción de hembras propicias para reproducirse) y la aplicación espacial (usado para el control rápido de la población del vector es de aplicación mediante vía aérea por aerosoles o nebulización su efectividad aumenta si los individuos están en el aire).
- Capacitar a las personas residentes y vecinas de las zonas donde se aplicará este tipo de tratamiento para supervisar su efectividad e informar en caso de algún efecto negativo derivado de los mismos.
- Realizar vigilancia periódica del estado de las áreas de aplicación para validar la efectividad del tratamiento.

## 14. CONCLUSIONES

- La intervención a la enfermedad mediante la aplicación de los lineamientos propuestos permitirá la reducción del número de casos de la enfermedad y la sobre carga a las

instituciones de salud de cada municipio, facilitando la atención a la población con mayor grado de morbilidad garantizando un mejor tratamiento para esta.

- Existe un claro aumento en las áreas de distribución del vector lo que demuestra que el cambio climático si afecta considerablemente la propagación de la enfermedad, existiendo una alta susceptibilidad de padecimiento en la zona norte y central del departamento del Tolima.
- De acuerdo a los resultados obtenidos se puede observar un claro aumento en la distribución del mosquito transmisor especialmente en lugares donde anteriormente no se presentaba lo que nos demuestra que el cambio climático si afecta considerablemente la propagación del vector y por ende de la enfermedad, existiendo una alta susceptibilidad en el padecimiento de la enfermedad en la zona norte y central del departamento en el valle del río Magdalena.
- Los efectos del cambio climático en la propagación de la enfermedad se acentúan en su mayoría en el escenario 6.0 representando más del 40% del departamento del Tolima encontrándose en una susceptibilidad alta y muy alta. El aumento de los 3°C en la modelación influye notablemente en presentarse mayor número de municipios afectados ya que el mosquito encuentra condiciones óptimas que ayudan a su reproducción y desarrollo.
- Municipios como Melgar, Ibagué, Flandes y Espinal presentan áreas de susceptibilidad muy alta, y adicionalmente alta densidad poblacional por lo cual se concentran gran cantidad de personas en un espacio reducido fomentando el crecimiento exponencial de casos de la enfermedad.
- La zona occidental del departamento se encuentra cubierta por paisajes de alta montaña, este lugar cuenta con menos susceptibilidad a la aparición del mosquito por las condiciones climáticas y de elevación, sin embargo, dentro de la modelación ninguna municipio se encuentra en una susceptibilidad muy baja por lo que deben ser ejecutadas medidas de prevención para el vector.
- Este tipo de modelación puede ser de gran utilidad para predecir la susceptibilidad en la distribución futura de otro tipo de virus que afecten a la población y sean transmitidos por el mosquito *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* como es el caso del Zika, Fiebre Amarilla y Dengue, realizando ciertas modificaciones en la modelación de acuerdo a las características propias del virus.

## 15.RECOMENDACIONES

- En base a los resultados obtenidos se recomienda priorizar las medidas de manejo en los municipios que han presentado mayor cambio en la susceptibilidad bajos los escenarios de cambio climático 4.5 y 6.0 como Chaparral, Natagaima, Coyaima, Valle de San Juan, Rovira, Ortega e Ibagué.
- Se deben orientar medidas de manejo estrictas en centros poblados de gran densidad poblacional ya que él no control en estas áreas puede desencadenar la proliferación de epidemias por la cercanía de persona a persona.
- Implementar medidas y estrategias que permitan disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero en los procesos productivos que se llevan a cabo en el departamento

y sean reemplazados por tecnologías más limpias con el fin de ayudar a reducir los efectos del cambio climático que influyen y potencien el aumento de la distribución del virus del Chikunguña.

- Se recomienda que las entidades a cargo capaciten a toda la población en general para que conozcan la enfermedad y tomen las medidas necesarias y se disminuya o evite la propagación y reproducción del mosquito vector.
- Se recomienda que la mayoría de las medidas implementadas hacia la enfermedad del Chikunguña sean enfocadas hacia la prevención, para evitar sobre costos en el sistema de salud y el contagio de la enfermedad en la población en especial la población más vulnerable.

## 16. BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, J. C. (2017). *El cambio climático como factor transformador del territorio*. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia.
- Alcaldía Armero-Guayabal. (2011). *Plan de desarrollo Armero-Guayabal 2008-2011*. Armero: Alcaldía Armero-Guayabal.
- Alcaldía Armero-Guayabal. (Mayo de 2019). *Alcaldía Armero Guayabal*. Obtenido de <http://www.armeroguayabal-tolima.gov.co/>
- Alcaldía Municipal Armero-Guayabal. (2018). *Plan de desarrollo municipal 2016-2019*. Armero.
- Alcaldía San Juan de río Seco. (2008). *Plan de desarrollo municipal 2008-2011*. Cundinamarca.
- ArcGis. (2010). *www.arcgis.com*. Obtenido de <https://www.arcgis.com/index.html>
- Attaway, D. W. (2017). Zika virus: Endemic and epidemic ranges of Aedes mosquito transmission. *Journal of Infection and Public Health*,. *Journal of Infection and Public Health*, 123.
- Beltrán, J. P. (2010). *CRECIMIENTO URBANO, POBREZA Y MEDIO AMBIENTE*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas .
- Bogotá, a. m. (18 de octubre de 2012). *alcaldía mayor de Bogotá*. Obtenido de <http://www.bogota.gov.co/>
- Bogotá, F. h. (2016). *Humedales en Bogotá* . Bogotá.
- Cali, A. d. (2014). *POT Cali 2014*.
- Camargo, G. F. (2012). *Modelamiento de la dinámica del dengue en Colombia*. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia.

- Carmona Alvaro., Monsalve, Jhon Jairo. (2013). *Sistemas de informacion geograficos*. Bogota D.C.
- Castañeda, S., & Tunjano, L. (2018). *Implementación de modelos espacio temporales para predecir la distribución de las enfermedades transmitidas por vectores en zonas críticas de Sasaima-Cundinamarca*. Bogota: Universidad de la Salle.
- clarklabs. (2018). *www.clarklabs.org*. Obtenido de <https://clarklabs.org/terrest/>
- Colombia, P. d. (2018). *www.dapre.presidencia.gov.co*. Obtenido de <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY%201931%20DEL%2027%20DE%20JULIO%20DE%202018.pdf>
- Colombia, Senado de la republica de. (2005). *Senado.gov.co*. Obtenido de <http://www.senado.gov.co/index.php/el-senado/normatividad/constitucion-politica>
- Corporacion regional del Tolima. (2011). *Agenda ambiental del municipio Armero-Guayabal*. Armero : Cortolima.
- Cortolima. (2016). *www.cortolima.gov.co*. Obtenido de [https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/Documento\\_tecnico\\_DTS\\_cambio\\_climatico.pdf](https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/Documento_tecnico_DTS_cambio_climatico.pdf)
- cortolima. (2018). *www.cortolima.gov.co*. Obtenido de <https://www.cortolima.gov.co/>
- Cortolima. (2018). *www.cortolima.gov.co*. Obtenido de [https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/Documento\\_tecnico\\_DTS\\_cambio\\_climatico.pdf](https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/Documento_tecnico_DTS_cambio_climatico.pdf)
- CVC. (2014). *Calidad del aire Cali*.
- DAGMA. (2014). *Fauna y flora de Cali*.
- DANE. (2005). *www.dane.gov.co*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-general-2005-1>
- DANE. (2018). *dane.gov.co*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018/cuantos-somos>
- Delgado, L., Córdova, K., & Rodríguez, A. (2004). Utilidad de los sensores remotos climáticos en la prevención y diagnostico de condiciones ambientales asociada a la dinamica de enfermedades tropicales: la malaria en el estado Sucre-Venezuela. *Instituto de Zoología Tropical*, 12.
- Departamento Nacional de Planeación. (2019). *dnp.gov.co*. Obtenido de <https://www.dnp.gov.co/DNPN/Paginas/Plan-Nacional-de-Desarrollo.aspx>

- Departamento nacional de planeacion. (s.f.). *www.dpn.gov.co*. Obtenido de <https://www.dnp.gov.co/programas/desarrollo-territorial/Fortalecimiento-Gestion-y-Finanzas-Publicas-Territoriales/Paginas/Planes-de-Desarrollo-2016---2020.aspx>
- Díaz Caravantes, R. E. (2018). Vulnerabilidad y riesgo como conceptos indisociables para el estudio del impacto del cambio climático en la salud. *Región y sociedad*, 10.
- Diaz Cordero, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y sociedad Republica Dominicana*, 15.
- Diaz Sjostrom, P., & Cruz Quintana, S. (2017). Cambio climático: efecto sobre la reemergencia de enfermedades infecciosas y parasitarias. *Revista electrónica de veterinaria*, 14.
- Ecopetrol. (2000). *Zonificación ambiental para áreas de interés petrolero*.
- Frías, J. A. (2014). Actualización de aspectos clínicos epidemiológicos de la fiebre Chikungunya 2014. *Hospital Central Militar*, 5.
- Gobernación del Tolima. (2019). *www.tolima.gov.co*. Obtenido de [www.departamento-del-tolima66.webnode.com.co/clima/](http://www.departamento-del-tolima66.webnode.com.co/clima/)
- Gorodner, J. (2016). Dengue, fiebre Zika y fiebre Chikungunya.
- Gorodner, Jorge. (2016). Dengue, fiebre Zika y fiebre Chikungunya. *Educación médica continua*, 32.
- IDEAM. (2007). *www.ideam.gov.co*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/440517/Modelo+Institucional+El+Ni%C3%B1o++La+N%C3%B1a.pdf/232c8740-c6ee-4a73-a8f7-17e49c5edda0>
- IDEAM. (2011). *ideam.gov.co*. Obtenido de Nuevos escenarios de cambio climático 2011-2100: [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022964/documento\\_nacional\\_departamental.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022964/documento_nacional_departamental.pdf)
- IDEAM. (2015). *Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011-2100. Herramientas científicas para toma de decisiones- enfoque nacional- departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*. Bogotá: IDEAM.
- IGAC. (1996). *www.igac.gov.co*. Obtenido de <https://www.igac.gov.co/>
- Instituto interamericano de cooperación para la agricultura . (2002). *Aspectos generales sobre el desarrollo rural integrado*. Bogotá : IICA .
- Jaime, S. (2015). *Deslizamiento: Analisis geotecnico*. Lima.
- Kiszewski, A., Mellinger, A., Spielman, A., & Malaney, P. (2004). A global index representing the stability of Malaria transmission. *The American Society of Tropical Medicine and Hygiene*.
- Lárraga, M. E., & Álvarez Icaza, L. (2018). *La modelación de propagación de epidemias: un problema complejo*. Mexico: La coordinación eléctrica y computación.

- López Montenegro, L. E. (2018). *Modelación Matemática de la Transmisión y Control de la Enfermedad del Dengue*. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Lopez, P. (2017). Historia natural de enfermedades emergentes y reemergentes en la Argentina: Zika, chikungunya y. *La Prensa Médica*, 371.
- Malagon, J. (2014). Cambio climático y salud humana: una revisión desde la perspectiva colombiana. *Salud uninorte*, 19.
- Martínez, F., Gil, G., Guzmán, N., Castañeda, T., & Buitrago, N. (2016). *Modelado predictivo de la epidemia de Chikungunya*. Bogotá: Universidad EAN.
- Martínez, R. M. (2010). Guía Técnica para la Implementación de un Sistema Regional de Información Aplicada a la Gestión de Riesgo Agrícola en los Países Andinos. *Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño –CIIFEN*, 160.
- Martino, O., & Weissenbacher, M. (2017). Historia natural de enfermedades emergentes y reemergentes en la Argentina: Zika, Chikungunya y dengue (2016-2017). *Prensa Medica Argentina*, 10.
- Martino, Olindo; Weissenbacher, Mercedes. (2017). Historia natural de enfermedades emergentes y reemergentes en la Argentina: Zika, Chikungunya y dengue (2016-2017). *Prensa Medica Argentina*, 10.
- Milner G. (2007). *Ciencia ambiental: Desarrollo sostenible, un enfoque integral, 8va edición*. Mexico: Editores internacionales Thompson.
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2017). Obtenido de [https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Politica\\_Nacional\\_de\\_Cambio\\_Climatico\\_-\\_PNCC\\_/PNCC\\_Políticas\\_Publicas\\_LIBRO\\_Final\\_Web\\_01.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Politica_Nacional_de_Cambio_Climatico_-_PNCC_/PNCC_Políticas_Publicas_LIBRO_Final_Web_01.pdf)
- Ministerio de ambiente y recursos naturales. (2017). *minambiente.gov.co*. Obtenido de [https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Politica\\_Nacional\\_de\\_Cambio\\_Climatico\\_-\\_PNCC\\_/PNCC\\_Políticas\\_Publicas\\_LIBRO\\_Final\\_Web\\_01.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Politica_Nacional_de_Cambio_Climatico_-_PNCC_/PNCC_Políticas_Publicas_LIBRO_Final_Web_01.pdf)
- Ministerio de Salud de la Nación. (2016). *Directrices para la prevención y control de Aedes aegypti y Aedes albopictus*. Argentina.
- Ministerio de salud y protección social. (1979). Obtenido de [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/LEY%200009%20DE%201979.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/LEY%200009%20DE%201979.pdf)
- Ministerio de salud y protección social. (2006). Obtenido de [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/DECRETO%203518%20DE%202006.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/DECRETO%203518%20DE%202006.pdf)
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2012). *Plan Decenal de Salud Pública 2012-2021*. Bogotá D.C.: Grupo de comunicaciones. Obtenido de Plan Decena de Salud Pública 2012-2021:



<https://www.minsalud.gov.co/Documentos%20y%20Publicaciones/Plan%20Decenal%20-%20Documento%20en%20consulta%20para%20aprobaci%C3%B3n.pdf>

Ministerio de salud y protección social. (2012). *www.minsalud.gov.co*. Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/salud/publica/epidemiologia/Paginas/planes-territoriales-de-salud.aspx>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2013). *MinSalud*. Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/Documentos%20y%20Publicaciones/Plan%20Decenal%20-%20Documento%20en%20consulta%20para%20aprobaci%C3%B3n.pdf>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2014). *PLAN NACIONAL DE RESPUESTA FRENTE A LA INTRODUCCIÓN*. Bogotá D.C.: INSTITUTO NACIONAL DE SALUD. Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/ET/PLAN%20NACIONAL%20DE%20RESPUESTA%20CHIKUNGUNYA%20COLOMBIA%202014.pdf>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2016). *MinSalud*. Obtenido de Decreto 0780 de 2016.: [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/Decreto%200780%20de%202016.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Decreto%200780%20de%202016.pdf)

Ministerio de salud y proteccion social. (2016). *www.paho.org*. Obtenido de [https://www.paho.org/col/index.php?option=com\\_docman&view=download&category\\_slug=publicaciones-ops-oms-colombia&alias=1215-gestion-para-la-vigilancia-entomologica-y-control-de-la-transmision-de-dengue&Itemid=688](https://www.paho.org/col/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=publicaciones-ops-oms-colombia&alias=1215-gestion-para-la-vigilancia-entomologica-y-control-de-la-transmision-de-dengue&Itemid=688)

Ministerio de salud y proteccion social. (2014). *www.minsalud.gov.co*. Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/ET/PLAN%20NACIONAL%20DE%20RESPUESTA%20CHIKUNGUNYA%20COLOMBIA%202014.pdf>

Ministerio de vivienda, ciudad y territorio. (2000). *www.minvivienda.gov.co*. Obtenido de <http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-vivienda/espacio-urbano-y-territorial/plan-de-ordenamiento-territorial>

Ministerio de salud y proteccion social. (2006). *www.minsalud.gov.co*. Obtenido de [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/DECRETO%203518%20DE%202006.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/DECRETO%203518%20DE%202006.pdf)

Montenegro, L. E. (2012). *Models and Optimal Control of Aedes*. Manizales : Universidad nacional de Colombia.

Moreno, M. d. (2013). *El trabajo en equipo la colaboracion en la educacion*. Sevilla: Wanceulen.

OMS. (2005). *OMS.co*. Obtenido de <https://www.who.int/ihr/publications/9789241580496/es/>

ONU. (2015). *Programa de las naciones unidas para el desarrollo*. Obtenido de <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>

- ONU. (2016). *Organizacion de las naciones unidas*. Obtenido de <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>
- Parques nacionales naturales de Colombia. (2018). *Parques nacionales naturales de Colombia*. Obtenido de <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/organizacion/objetivos-y-funciones/>
- Pascuas, J. L. (2018). Estado actual del Chikungunya en Colombia. *Revista Navarra medica* , 62.
- Philip, L. (2015). Ecología de *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*. *Biomedica*, 185.
- Pizano, G. y. (2015). Distribución espacial de áreas susceptibles a la propagación del vector *Aedes* (Chikungunya) en el Departamento de Nariño año 2015. 20.
- republica, P. d. (2018). Obtenido de <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY%201931%20DEL%2027%20DE%20JULIO%20DE%202018.pdf>
- Rincón-Romero, M. y. (2009). Mapping malaria risk using environmental and. 54.
- ROBINSON. (2016). *MANUAL DE SISTEMA DE GESTION MEDIO AMBIENTAL* . THOMPSON.
- Rodelo, A. C. (2017). Comportamiento epidemiológico del Dengue, Chikungunya y Zika. Córdoba – Colombia. 2014-2017. *Revista colombiana salud libre*, 14.
- Rodelo, A. C. (2017). Comportamiento epidemiológico del Dengue, Chikungunya y Zika. Córdoba – Colombia. 2014-2017. *Revista colombiana salud libre*, 14.
- Senado de Colombia. (1997). [www.secretariasenado.gov.co](http://www.secretariasenado.gov.co). Obtenido de [http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_0388\\_1997.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0388_1997.html)
- Senado de la republica de Colombia. (1994). [www.senado.gov.co](http://www.senado.gov.co). Obtenido de [http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_0164\\_1994.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0164_1994.html)
- Servicio Geologico Colombiano. (2000). *Estudio de riesgos volcanicos potenciales*. Bogota: Servicio Geologico Colombiano.
- SISBEN. (2018). [www.sisben.gov.co](http://www.sisben.gov.co). Obtenido de [www.sisben.gov.co/Paginas/inicio.aspx](http://www.sisben.gov.co/Paginas/inicio.aspx)
- sostenible, M. d. (2017). Obtenido de [https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Politica\\_Nacional\\_de\\_Cambio\\_Climatico\\_-\\_PNCC\\_/PNCC\\_Politiclas\\_Publicas\\_LIBRO\\_Final\\_Web\\_01.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Politica_Nacional_de_Cambio_Climatico_-_PNCC_/PNCC_Politiclas_Publicas_LIBRO_Final_Web_01.pdf)
- Uniibague. (2015). [www.uniibague.edu.co](http://www.uniibague.edu.co). Obtenido de [www.unibague.edu.co/sitios/biblioteca/tolima/tolima/aspectos.html](http://www.unibague.edu.co/sitios/biblioteca/tolima/tolima/aspectos.html)
- Vergara, J. (2017). *La fiebre Chikungunya, una enfermedad emergente en los países desarrollados*. Sevilla: Universidad de Sevilla.



- Victor, O. (2015). Ecología del *Aedes Aegypti* en un pueblo de Colombia, sur america. *Biomedica*, 10.
- Yakob, L., Kucharski, A., Hue, S., & Edmunds, W. (2016). *Low risk of a sexually-transmitted Zika virus outbreak. The Lancet Infectious Diseases.*
- Zuluaga Gómez, M., & Vanegas Isaza, D. (2015). El virus Chikungunya en Colombia: aspectos clínicos y epidemiológicos y revisión de la literatura. *Revista Médica Universidad de Antioquia*, 10.

## 17. ANEXOS

- 17.1 Temperatura actual
- 17.2 Temperatura escenario 4.5
- 17.3 Temperatura escenario 6.0
- 17.4 Precipitación actual
- 17.5 Precipitación escenario 4.5
- 17.6 Precipitación escenario 6.0
- 17.7 Humedad relativa actual
- 17.8 Humedad relativa escenario 4.5
- 17.9 Humedad relativa escenario 6.0
- 17.10 Elevación
- 17.11 Pendientes
- 17.12 Cobertura Actual
- 17.13 Cobertura Futura
- 17.14 Densidad poblacional actual
- 17.15 Densidad poblacional futura
- 17.16 Casos reportados
- 17.17 Índice climático actual
- 17.18 Índice climático escenario 4.5
- 17.19 Índice climático escenario 6.0
- 17.20 Índice de relieve
- 17.21 Susceptibilidad actual
- 17.22 Susceptibilidad escenario 4.5
- 17.23 Susceptibilidad escenario 6.0
- 17.24 Susceptibilidad actual por municipio
- 17.25 Susceptibilidad escenario 4.5 por municipio
- 17.26 Susceptibilidad escenario 6.0 por municipio