

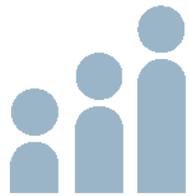


UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA

CCP

Centro Centroamericano  
de Población

Doi: <https://doi.org/10.15517/psm.v18i2.42242>  
Volumen 18, número 2, Art. Cient. Enero-junio 2021



# Población y Salud en Mesoamérica

## Determinación del índice de impacto del COVID-19 en El Salvador, por medio de la relación demográfica, ambiental y epidemiológica

César Armando Alvarado Batres y Leonel Ernesto Méndez Gutiérrez

### Como citar este artículo:

Alvarado, C. y Méndez, L. (2021). Determinación del índice de impacto del COVID-19 en El Salvador, por medio de la relación demográfica, ambiental y epidemiológica. *Población y Salud en Mesoamérica*, 18(2). Doi: <https://doi.org/10.15517/psm.v18i2.42242>



ISSN-1659-0201 <http://ccp.ucr.ac.cr/revista/>

Revista electrónica semestral  
[Centro Centroamericano de Población](#)  
[Universidad de Costa Rica](#)

## Determinación del índice de impacto del COVID-19 en El Salvador, por medio de la relación demográfica, ambiental y epidemiológica

*Determination of the Impact Index of Covid19 in El Salvador through demographic, environmental and epidemiological relationship*

César Armando Alvarado Batres<sup>1</sup> Leonel Ernesto Méndez Gutiérrez<sup>2</sup>

### Resumen

El presente estudio se realizó durante la pandemia generada por COVID-19, que se originó en la República de China a finales del año 2019 y se ha dispersado por todo el mundo desde entonces. Tomando registros oficiales de información de tipo demográfica, ambiental y epidemiológica en El Salvador, se realizó este estudio con el objetivo de desarrollar un proceso cuantitativo y cualitativo que demuestre las variaciones de casos de contagio por COVID-19 como consecuencia de la pandemia. Se basó en tres factores, entre ellos la variable ambiental; ya que este puede ser un agente que regula la movilidad de los vectores de la pandemia. Además, se demuestra la importancia del uso de sistemas de información geográfica y satelital, los cuales permiten un análisis más completo ante las problemáticas de salud a nivel nacional, regional o mundial. Lo anterior, particularmente en la toma de decisiones de políticas públicas sanitarias, ya que se ha evidenciado la carencia de conocimiento para la toma de decisiones ante esta nueva pandemia. El producto más sustancial de esta investigación es un mapa temático de impacto de la pandemia a nivel de país dividido por municipios, donde demuestra que las urbes de mayor densidad poblacional y menor calidad ambiental son las que se han visto más afectadas. Por lo que a futuro es necesario no centralizar toda la actividad económica en pocos lugares. Además, resalta la importancia de los ambientes que existen en cada municipio para el bienestar de las personas. Finalmente, se realiza un análisis estadístico por medio del árbol de decisión que sustenta lo antes mencionado.

**Palabras claves:** Covid19, pandemia, municipios, densidad poblacional, Índice de Impacto de Covid19

### Abstract

This study was carried out during the Covid19 pandemic that originated in the Republic of China at the end of 2019 and has spread throughout the world since then, taking official records of demographic, environmental and epidemiological information in El Salvador, with the aim of developing a quantitative and qualitative process that demonstrates the variations in cases of Covid19 contagion as a consequence of the pandemic, based on three factors, including the environmental variable; since this can be an agent that regulates the mobility of the pandemic vectors. In addition, the importance of the use of Geographic and Satellite Information Systems is demonstrated, which allow a more complete analysis of health problems at the national, regional and / or global level; above all in decision-making on public health policies, since the lack of knowledge for decision-making in the face of this new pandemic has been evidenced. The most substantial product of this research is a thematic map of the impact of the pandemic at the country level divided by municipalities, where it shows that the cities with the highest population density and the lowest environmental quality are those that have been most affected. Therefore, in the future it is necessary not to

centralize all economic activity in a few places, in addition to the importance of the environments that exist in each municipality for the well-being of people. Finally, a statistical analysis is carried out through the decision tree that supports the aforementioned.

**Key words:** Covid19, pandemic, municipalities, population density, Covid-19 Impact Index

**Recibido:** 09 jun 2020 | **Corregido:** 10 sep 2020 | **Aceptado:** 15 sep 2020

---

<sup>1</sup>Universidad de El Salvador, SAN SALVADOR, EL SALVADOR; [cesar.alvarado2@ues.edu.sv](mailto:cesar.alvarado2@ues.edu.sv); ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8501-4852>

<sup>2</sup>Universidad de El Salvador, SAN SALVADOR, EL SALVADOR; [leonel.mendez@ues.edu.sv](mailto:leonel.mendez@ues.edu.sv) ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2484-3059>

## 1. Introducción

La pandemia por el coronavirus (COVID-19) que está ocurriendo ha puesto de manifiesto que la Organización Mundial de la Salud (OMS) y los países del mundo no están plenamente preparados para evaluar con rapidez la gravedad de una pandemia de esta magnitud. A pesar de que las pandemias ya hayan existido en la humanidad, es sumamente necesario emplear el trabajo colaborativo de los aparatos estatales, comunidad científica y expertos para producir información que ayude a la generación de conocimiento científico sobre las características de propagación, impacto y efectos, no solo a la salud pública, sino, también, a la economía mundial.

En 2011, la Asamblea Mundial de la Salud adoptó un informe del Comité de Examen acerca del funcionamiento del Reglamento Sanitario Internacional (2005) en relación con la pandemia de gripe A(H1N1) (World Health Organization, 2009). El comité recomendó que la OMS elaborase y aplicase medidas que permitieran evaluar la gravedad de cualquier epidemia de gripe, estacional o pandémica. "La gravedad de una epidemia de gripe (o una pandemia en su caso) se establece en función de tres indicadores: la transmisibilidad del virus circulante, la gravedad de la enfermedad que produce y su impacto en la población" (OMS, 2009, p.5). Además, el informe señalaba que la

aplicación de las medidas de indicadores y parámetros para evaluar la gravedad de una epidemia o posible pandemia de gripe permiten prepararse para una próxima pandemia.

El Instituto de Geografía de la Universidad Autónoma de México publicó el 13 de mayo del 2020 la nueva herramienta que muestra un índice de vulnerabilidad en México ante el COVID-19 (Suárez Lastra, y otros, 2020). El artículo menciona las variables consideradas; a saber, demografía, salud y situación socioeconómica. En el ámbito demográfico, calcularon las densidades poblacionales y edades más vulnerables. En salud, se enfocaron en los accesos a camas hospitalarias y servicios médicos disponibles. En la situación socioeconómica, se contemplaron variables como la marginación urbana y el hacinamiento.

El presente trabajo tiene como objetivo estimar un índice de impacto del COVID-19 que pueda describir la situación epidemiológica en el Salvador, evaluar la variación de casos en función de la densidad de población y la cobertura espacial que lo rodea, obtenida a partir de la información disponible. En este caso particular, se emplea información demográfica, ambiental y epidemiológica oficial de El Salvador por medio del procesamiento de información geográfica y satelital.

## 2. Referente teórico

La palabra salud tiene diferentes conceptos, por lo que, para simplificar su conceptualización, la entendemos como la síntesis de una multiplicidad de procesos de lo que acontece con la biología del cuerpo, con el ambiente que nos rodea, con las relaciones sociales, con la política y la economía internacional (Alcántara Moreno, 2008). Agregado a esto, es necesario tomar en cuenta la definición descrita en los principios básicos de la constitución de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1946), donde se indica que “la salud es un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades” (p.1).

La epidemiología es la disciplina científica que estudia la frecuencia y distribución de los fenómenos relacionados con la salud, así como sus determinantes en poblaciones específicas. Además, aplica los conocimientos obtenidos al control de problemas de salud (Oliva, Delgado, & Larrauri, 2019).

Para la investigación de las epidemias se realizan estudios de diferentes tipos que están relacionados con la salud, entre los que podemos mencionar están causas de muerte, como los accidentes o suicidios; hábitos de vida, como el consumo de alcohol o la nutrición; el uso de servicios de salud o la calidad de vida relacionada con la salud, entre otros. Los factores que determinan estos fenómenos son todos los elementos físicos, biológicos, sociales, culturales y de comportamiento que influyen sobre la salud. Los motivos relacionados con la salud y sus posibles determinantes dan lugar a algunas de las clasificaciones de las ramas de la epidemiología. Así, cuando el eje de clasificación son los fenómenos sanitarios surgen ramas como la epidemiología cardiovascular, del cáncer, o de los servicios sanitarios. Cuando el eje son los determinantes, surgen la epidemiología nutricional, laboral o social.

Por último, la epidemiología se puede clasificar en dos áreas: la epidemiología general o de salud pública y la epidemiología clínica (Royo Bordonada & Moreno, 2009). La epidemiología clínica estudia la primera parte de la historia natural de una enfermedad, es decir, el conjunto de sucesos que van desde que una persona o grupo de personas resulta expuesta a las primeras causas de una enfermedad hasta que esta se desarrolla. Además, se involucra en las causas de la curación total, la curación con secuelas o la muerte. Mientras que la epidemiología de salud pública clínica estudia la frecuencia y distribución de las consecuencias de la enfermedad, sus determinantes y los factores pronósticos.

Un factor de riesgo es cualquier característica o circunstancia detectable de una persona o grupo de personas que se sabe asociada con un aumento en la probabilidad de padecer, desarrollar o estar especialmente expuesta a un proceso mórbido. Estos factores de riesgo (biológicos, ambientales, de comportamiento, socioculturales, económicos) pueden sumándose unos a otros y aumentar el

efecto aislado de cada uno de ellos, produciendo un fenómeno de interacción (Pita Fernández, Vila Alonso, & Carpenente Montero, 2002).

Recordando que el fin último de la epidemiología es controlar los problemas de salud y tomando en cuenta que en el trabajo multidisciplinario es necesario el trabajo colaborativo de diferentes disciplinas, se deben de tomar en cuenta otros aspectos para su vigilancia.

La gravedad de una pandemia se establece en función de tres indicadores: la transmisibilidad del virus circulante, la gravedad de la enfermedad que produce y su impacto en la población. Para esta investigación se han analizado algunos indicadores para la determinación del índice de impacto del COVID-19.

Los sistemas de información geográfica tienen muchas aplicaciones y la salud pública no es la excepción. El sistema de salud tiene que gestionar recursos sanitarios, logísticos o análisis de enfermedades para la optimización de recursos humanos y estudios epidemiológicos (Mejía, 2019). Aunque los sistemas de información en salud son una de las temáticas menos conocidas, son de las más extendidas dentro de los sistemas de información geográfica.

Un sistema de información geográfica (SIG) lo podemos definir como un sistema de información computarizado que procura capturar, salvar, manipular, analizar y visualizar los datos referenciados espacialmente y los atributos asociados para solucionar problemas complejos de investigación, planeación y administración de recursos (Aránguez Ruíz, Soto Zabalgozcoa, Iriso Calle, Collantes, & García García, 2005).

### 3. Metodología

El procedimiento general para identificar y usar los indicadores de impacto se divide en cuatro pasos: selección de indicadores relevantes (Welle, Witting, Birkmann, & Brossmann, 2014), cálculo de

índices de resultados agregados, normalización de variables y ponderación e integración de factores. Por último, se presenta el resultado.

La metodología consiste en una recolección de información de diferentes fuentes oficiales y bases de datos. Se asume que el vector de transmisión de la enfermedad es el humano y se considera que el incremento de la propagación del SARS-Cov-2 depende directamente de la movilidad de los vectores. Se indican las condiciones del entorno con las se formula el IIC. Es de notar que desde el 11 de marzo del 2020 El Salvador tomó medidas de aislamiento desde entonces, antes de detectar el primer caso confirmado de COVID-19. De tal manera que, cuando se registra el primer caso local, ya existían normas estrictas en las fronteras aéreas, terrestres y acuáticas que no permitieron ni siquiera el retorno de salvadoreños al país. Cuando el Ministerio de Salud revela el primer caso confirmado, se implementan regulaciones de movilidad local y cuarentena domiciliar obligatoria. Estas restricciones permiten considerar a cada municipio como un sistema medianamente restringido. Con estas condiciones impuestas, es posible considerar que, si el SARS-Cov-2 circula en un municipio, el impacto que pueda producir dependerá de la cantidad de habitantes en el municipio, la movilidad interna del municipio, el medio ambiente donde circulan y el número de personas que poseen el virus. El índice es de carácter exploratorio con un abordaje mixto que permite observar la variabilidad de casos por municipio y que implica consecuencias en las áreas de salud y socioeconómica de todo el país.

Según datos del Ministerio de Economía, El Salvador es el país más pequeño de Centroamérica en términos de extensión territorial y es considerado como uno de los países con mayor densidad poblacional del continente americano. La extensión territorial es aproximadamente 21 000 km<sup>2</sup>, dividido en 14 departamentos y distribuido en 262 municipios. En el año 2017, la población estimada por departamentos era de 6 581 860 habitantes y alrededor del 43 % de la población vive en centros urbanos (DIGESTYC, 2008). La población de estudio son todas las personas dentro de las fronteras del país.

### 3.1 Definición del índice de impacto del COVID-19

Un índice debe de reflejar de forma general en qué medida afecta a la población la epidemia o pandemia, por lo tanto, en esta investigación definimos el índice de impacto del COVID-19 como la variabilidad de casos de esta enfermedad por municipio, considerando las variables ambiental y densidad poblacional.

### 3.2 Selección de variables de las dimensiones demográficas, ambientales y epidemiológicas

Se consideraron las variables ambientales, demográficas y el número de casos por COVID-19. La información disponible se registra a nivel de municipio. En el caso de la variable ambiental, se consideró el porcentaje de vegetación por municipio. Con la variable demográfica, se optó por trabajar la densidad poblacional. Por último, la tercera variable son los casos confirmados de COVID-19 por municipio. Dicho registro es tomado desde el 18 de marzo, es decir, desde el primer caso confirmado revelado en El Salvador, hasta el 31 de mayo del 2020, fecha en la que el Gobierno declara entrar en fase 3 de la pandemia.

### 3.3 Estimación de variables.

#### 3.3.1 Variable ambiental

El índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI, por sus siglas en inglés) permite generar una imagen que muestra el vigor de la vegetación en ese momento, también conocida como biomasa relativa. Este índice aprovecha el contraste de características entre dos bandas de un *dataset raster* multiespectral: la absorción de pigmento de clorofila en la banda roja y la alta reflectividad del material de las plantas en la banda infrarroja cercana (NIR) (ESRI s.f.). La ecuación 1 muestra la combinación de bandas espectrales necesarias para calcular el índice NDVI.

$$\text{NDVI} = ((\text{Banda 5} - \text{Banda 4}) / (\text{Banda 5} + \text{Banda 4})) \quad \text{Ecuación 1}$$

Para el cálculo de la variable ambiental, se utilizó el NDVI con la intención de estimar el porcentaje de zonas boscosas y no urbanizadas por municipio. La fuente de información son imágenes del satélite Landsat8, que se obtienen de la plataforma Earth Explorer. Las imágenes disponibles fueron recuperadas el 16 de febrero y el 12 de marzo del 2020, correspondientes a la época seca en el país. En época seca, los bosques latifoliados cuentan con un vigor mínimo de su dosel. Esto significa que un porcentaje del bosque pudo pasar desapercibido al calcular el índice NDVI.

Las imágenes utilizadas en esta investigación son:

LC08\_L1TP\_018050\_20200312\_20200325\_01\_T1

LC08\_L1TP\_018051\_20200312\_20200325\_01\_T1

LC08\_L1TP\_019050\_20200216\_20200225\_01\_T1

LC08\_L1TP\_019051\_20200216\_20200225\_01\_T1

Al calcular el índice, se considera como zona vegetal los valores de 0.35 en adelante.

### 3.3.2 Variable demográfica

Según la Dirección General de Estadística y Censos de El Salvador (DIGESTYC), la población en el 2007 fue de 5 744 113 habitantes (DIGESTYC, 2008), que es el último censo oficial realizado a nivel de municipios. Para el 2017, la población estimada a nivel de departamentos es de 6 581 860 habitantes, es decir, un 14 % más de habitantes comparados con el 2007. Sin embargo, dado que los datos oficiales municipales más recientes son los del año 2007, son los que se utilizaron para esta investigación. Se selecciona esta variable como un elemento importante para el cálculo de un índice de impacto, dado que el vector del COVID-19 es el humano. Se espera una mayor posibilidad de contagios mientras más personas compartan el espacio físico.

### 3.3.3 Número de casos por COVID-19

La información acumulada de casos confirmados de COVID-19 por municipio seleccionada es desde el 18 de marzo del 2020 hasta el 30 de mayo del 2020, sin considerar los casos importados. Dichos datos están disponibles de la plataforma del Gobierno de El Salvador (Ministerio de Salud, 2020).

### 3.4 Ponderación e integración de factores.

Para las tres variables seleccionadas, se realizó una ponderación de valores con la intención de evitar valores cero al calcular el índice, además, se sopesaron sus características. En el caso de la variable demográfica, la mayoría de los municipios del país tiene densidades de población que oscilan entre 16 hab/km<sup>2</sup> y 2 000 hab/km<sup>2</sup>. La ponderación se dividió en valores enteros entre 1 y 10, de manera que se puedan apreciar las diferencias en el rango de datos donde se acumula la mayoría de los datos. Con el número de casos, se realizó una ponderación de 1 a 10, donde 0 (valor mínimo de casos) tiene un valor de 1 en la escala de ponderación y el valor máximo de casos (204 casos) tiene un valor 10 en la ponderación. Dado que los porcentajes de área boscosa oscilan entre el 2 % y el 97 %, la ponderación de 1 a 10 se calculó por cada 10 % de porcentaje de bosque. De esta manera se evita trabajar con datos crudos que, en este caso, no se consideran necesarios, pues solo se busca una comparación descriptiva entre municipios.

### 3.5 Formulación del índice

Para calcular el índice por municipio, se realizó un producto de cada una de las variables previamente ponderadas, que se muestra en la ecuación 2.

$$IIC_i = \rho_i B_i N_i \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde  $\rho_i$  es la densidad poblacional ponderada en  $i$  municipio.  $B_i$  es el ponderado del porcentaje de bosque en  $i$  municipio y  $N_i$  es el número de casos en  $i$  municipio.

Una vez calculado el índice, se normalizan los valores, aplicando el método de normalización de máximos y mínimos para que muestre valores entre 0 y 1. Luego, se multiplicaron los valores normalizados por 10 para tener valores en la escala de 1 a 10, donde cada rango incluya todos

valores correspondientes al rango; por ejemplo, el rango 1 equivale a los valores entre 0 y 1. Para realizar una categorización descriptiva de cuatro categorías que indique de forma simplificada el IIC, se reescribe una escala de medición, donde los valores de índice de 0.0 a 2.5 equivalen a un riesgo bajo, de 2.51 a 5.0 representan un riesgo medio, los valores de 5.1 a 7.5 indican un riesgo alto y los valores de 7.6 a 1 indican un riesgo crítico de contagio. Debe recordarse que el índice solo representa una comparación en la variabilidad de contagios entre unos municipios y otros, con el fin de mostrar cuales pueden ser más o menos afectados.

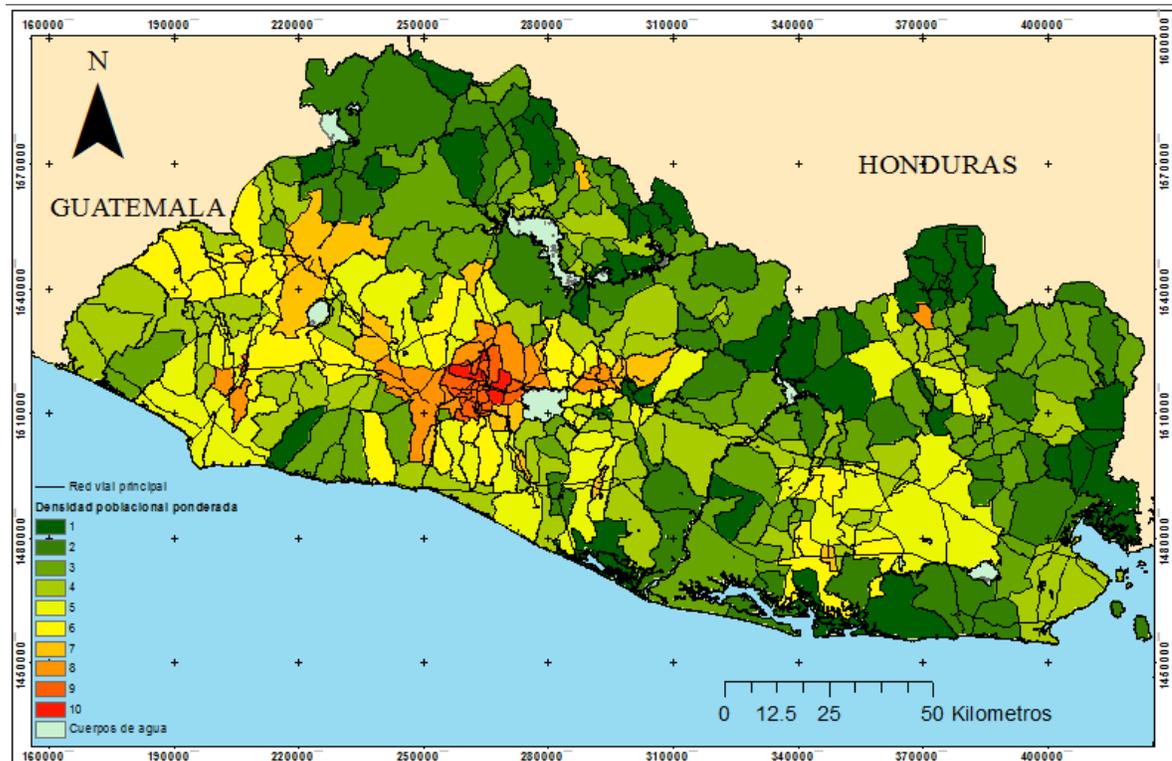
## 4. Resultados

### 4.1 La densidad poblacional.

La densidad poblacional está concentrada en el área metropolitana del país, específicamente, en los municipios de San Salvador, Nejapa, Tonacatepeque, Apopa, Delgado, Mejicanos, Cuscatancingo, Ayutuxtepeque, San Martín, Ilopango, Soyapango, San Marcos, Antiguo Cuscatlán y Santa Tecla (Figura 1). En estos municipios se concentra aproximadamente el 27 % de la población total que vive en el área metropolitana del país. Se observa, además, que la densidad de población generalmente es mayor en la cabecera departamental.

#### Figura 1

Densidad de población ponderada de menos denso (1) a más denso (10), por municipios en El Salvador.



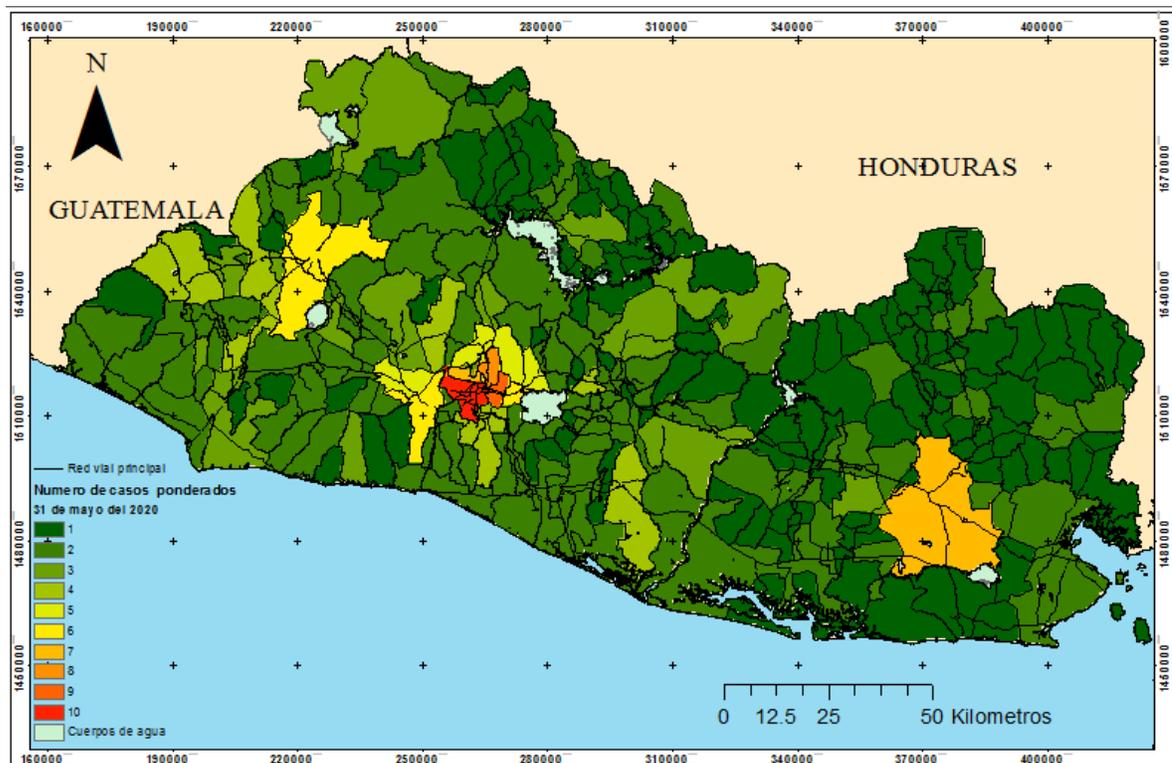
**Fuente:** Elaboración propia, 2020

## 4.2 Número de contagios

El Gobierno de El Salvador lleva un registro de número de contagios confirmados que es actualizado a diario por el Ministerio de Salud (Ministerio de Salud, 2020). Esta información está a disposición en sus medios oficiales. Hasta el 31 de mayo del 2020, de los 262 municipios, 115 han reportado al menos un caso de COVID-19. En la Figura 2, se representa el número ponderado de casos confirmados. La cantidad de casos se concentra en el área metropolitana del país y en los dos municipios con mayor actividad comercial del oriente (municipio de San Miguel) y occidente (municipio de Santa Ana) del país. Los municipios con el menor número de casos están en el norte del país, donde predominan las áreas rurales.

**Figura 2**

Número de contagios ponderado por municipio, de menor (1) a mayor (10).



**Fuente:** Elaboración propia, 2020.

El mayor número de contagios por COVID-19 se observa en la zona metropolitana y en las cabeceras de los departamentos de San Miguel y Santa Ana. Estos números pueden guardar relación con el flujo de personas que frecuentan las ciudades dentro de estos municipios. Por ejemplo, la ciudad de San Miguel tiene la mayor importancia comercial de la zona oriental del país y la ciudad de Santa Ana conserva el mismo rol en la zona occidental.

#### 4.3 Porcentaje de vegetación

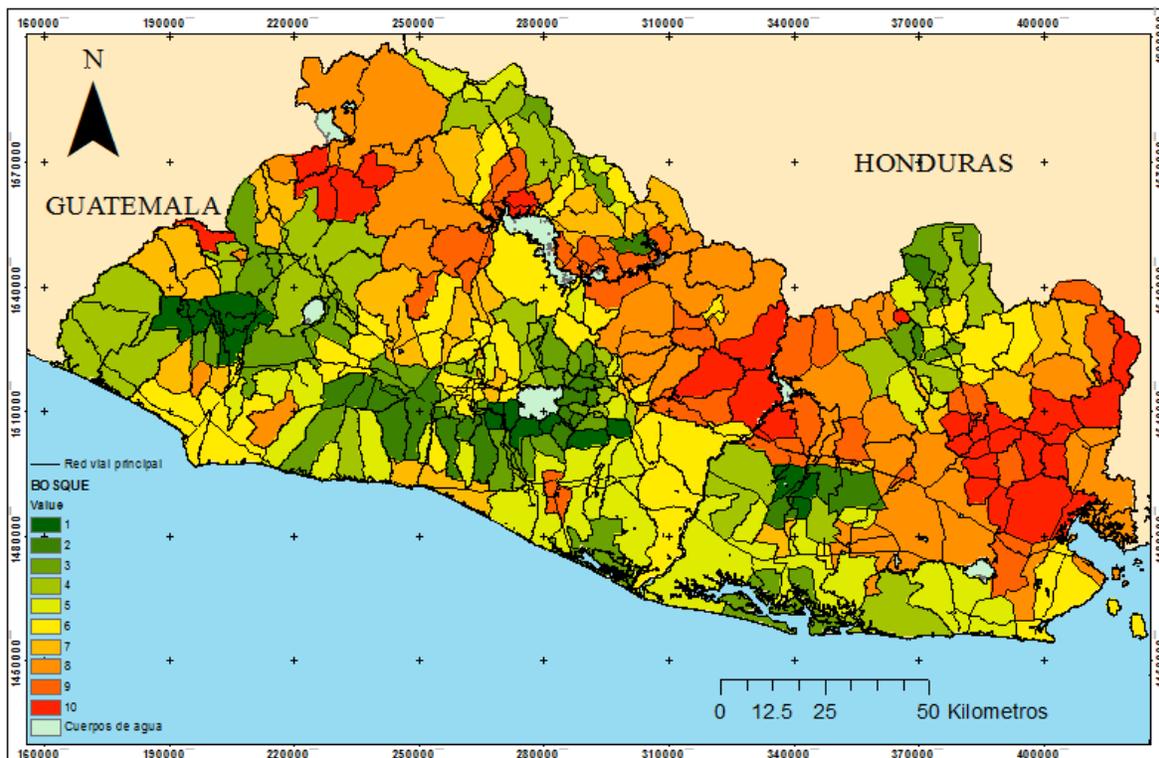
Según el Inventario Nacional de Bosque, en El Salvador hay 799 209 hectáreas de superficie de bosque. Esto incluye cafetales bajo sombra, que conforman el 37 % de superficie forestal (MARN, 2020). El Salvador tiene un promedio de cobertura de 29.61 % de bosque. Los departamentos que se encuentran bajo este porcentaje son Sonsonate, La Libertad, Ahuachapán, San Salvador, Santa Ana, La Paz y San Miguel y los departamentos que están por arriba de ese promedio son Usulután,

La Unión, Cabañas, San Vicente, Chalatenango, Cuscatlán y Morazán. En la Figura 3 se presenta el mapa de porcentaje de vegetación.

En el Inventario Nacional de Bosque se identificó cuatro estratos de vegetación; a saber, bosques latifoliado (árboles propio de los climas cálidos y húmedos), bosque coníferas (dominan más del 50 % de cobertura de los árboles de especies de pino y ciprés), los bosques salados (manglares, zona costera) y café bajo sombra (combinación simultánea de árboles y cultivos de café) (EDH, 2018).

**Figura 3**

El Salvador: Porcentaje de cobertura boscosa por Municipio ponderada de mayor (1) a menor (10) cobertura boscosa, 2020.



**Fuente:** Elaboración propia, 2020.

El porcentaje de vegetación calculada con el índice NDVI muestra una cobertura vegetal del 33.2 % a nivel nacional, mostrando una diferencia de 3.8 % comparada con los datos del Inventario Forestal de Bosque de El Salvador publicado en el 2018. Esta diferencia puede ser explicada debido a la fecha

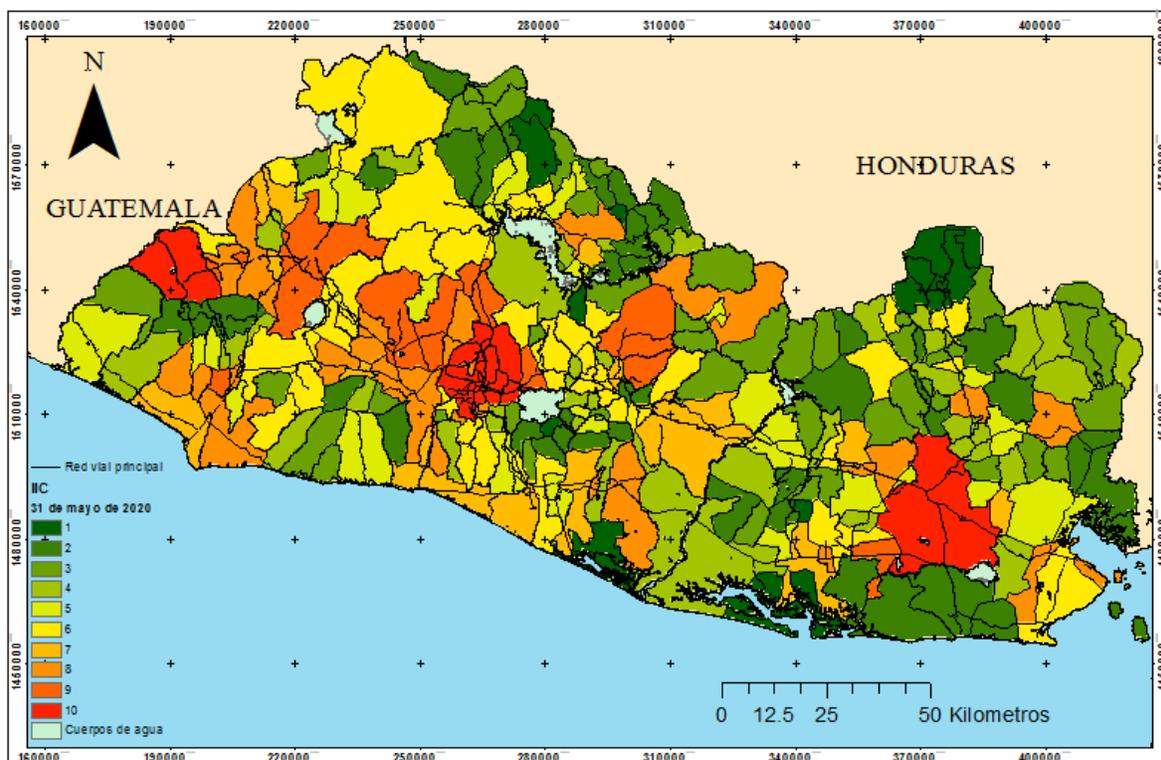
en la que fueron tomadas las imágenes satelitales utilizadas. En época seca los bosques latifoliados cuentan con un vigor mínimo de su dosel, lo que significa que un porcentaje del bosque pudo pasar desapercibido al calcular el índice NDVI.

#### 4.4 Índice de impacto de COVID-19

Pueden compararse visualmente los municipios con mayor y menor IIC. Los municipios que tienen altas densidades poblacionales, bajo porcentaje de cobertura boscosa y alto número de casos de COVID-19 presentan valores de IIC más cercanos a 10 (Figura 4).

**Figura 4**

Índice de impacto de COVID-19 ponderado de menor (1) a mayor (10).



**Fuente:** Elaboración propia, 2020.

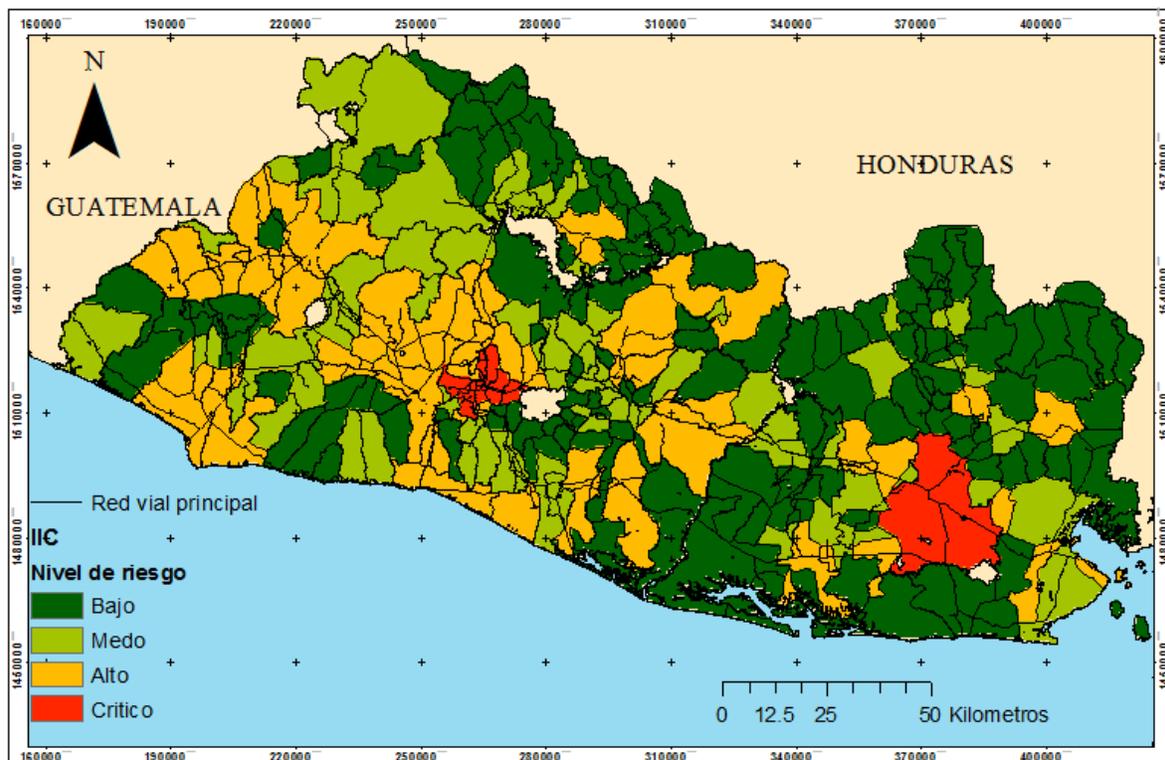
Los municipios con mayor IIC son los de la zona metropolitana y los municipios comerciales de San Miguel y Santa Ana, mientras que los municipios con menor IIC son los municipios más rurales ubicados en el Norte del país. La mayoría de los municipios con alto IIC están conectados por medio

de la carretera principal del país, conocida como carretera Panamericana. Los niveles de IIC intermedios están concentrados en la zona costera del país. En el oriente, los municipios de La Unión y Conchagua son los más cercanos al puerto de La Unión, que es el más grande del país. En el occidente, los municipios de Acajutla, Guaymango y Jujutla se encuentran en la periferia del puerto de Acajutla, que es el más transcurrido del país.

La categorización descriptiva muestra una zonificación más clara del ICC a nivel nacional (Figura 5) y lo vuelve un elemento más comprensible para identificar la variabilidad de contagios en el país.

**Figura 5**

Índice de impacto de COVID-19, indicando el nivel de riesgo de contagio.



Fuente: Elaboración propia, 2020.

El mapa del índice de impacto de COVID-19 presentado en esta investigación (Figura 6) se puede explicar de la siguiente manera. La categoría crítico está asociada a municipios que tienen valores muy altos o críticos de impacto del COVID-19 en todas las dimensiones, es decir, tienen los valores

más altos en una gran proporción de los indicadores que conforman las dimensiones. Comúnmente, se trata de municipios con la más alta densidad poblacional, número de contagios y pocos espacios geográficos entre habitantes, ya que existe una urbanización muy alta.

Los municipios asociados con el valor alto son aquellos que tienen valores altos de impacto del COVID-19 en todas las dimensiones. Al igual que la anterior, esto implica que tienen valores altos en una gran proporción de los indicadores que conforman las dimensiones. Usualmente, se trata de municipios con alta densidad poblacional, número de contagios y pocos espacios geográficos entre habitantes.

El valor medio de impacto está asociado con municipios que tienen valores altos en al menos dos dimensiones o muy altos en algunas dimensiones y altos o medios en otras. Muchos de estos municipios tienen poblaciones urbanas y, en algunos casos, se localizan en las periferias de las áreas metropolitanas.

Por último, la categoría bajo significa estos municipios tienen valores bajos en sus dimensiones. Generalmente, son los municipios más alejados de las urbes y con densidad poblacional baja, sin que esto signifique que sus poblaciones no sean impactadas por la COVID-19.

#### 4.5 Análisis estadístico de datos

A lo largo del tiempo se han desarrollado una gran cantidad de métodos y estrategias para el análisis de datos en una investigación, los cuales principalmente están basados en técnicas estadísticas tradicionales. Sin embargo, a medida que los registros obtenidos crecen significativamente, los procedimientos habituales han empezado a enfrentar problemas de eficiencia y escalabilidad. Se ha vuelto necesario buscar métodos alternativos para el análisis de este tipo de datos y, a partir de ellos, poder obtener información relevante y no explícita. En esta investigación se ha realizado el análisis de datos por medio de árboles de decisión. Un árbol de decisión se puede definir como un modelo de predicción, cuyo objetivo principal es el aprendizaje inductivo a partir de observaciones y construcciones lógicas (Barrientos, y otros, 2009). Las ventajas del uso de árboles de decisión son

que, prepara, sondea y explora los datos para sacar la información implícita en ellos. Se aborda la solución a problemas de predicción, clasificación y segmentación (Berlanga Silvente, Rubio Hurtado, & Vilà Baños, 2013). Para el procedimiento de este método se han planteado los siguientes criterios: la decisión final en el árbol de decisión se puede cuantificar como caso positivo (100) o caso negativo (-100) y los nodos de decisión y de evento se describen en Tabla 1.

**Tabla 1**

Datos asignados a los nodos de decisión y de evento para la aplicación del árbol de decisión.

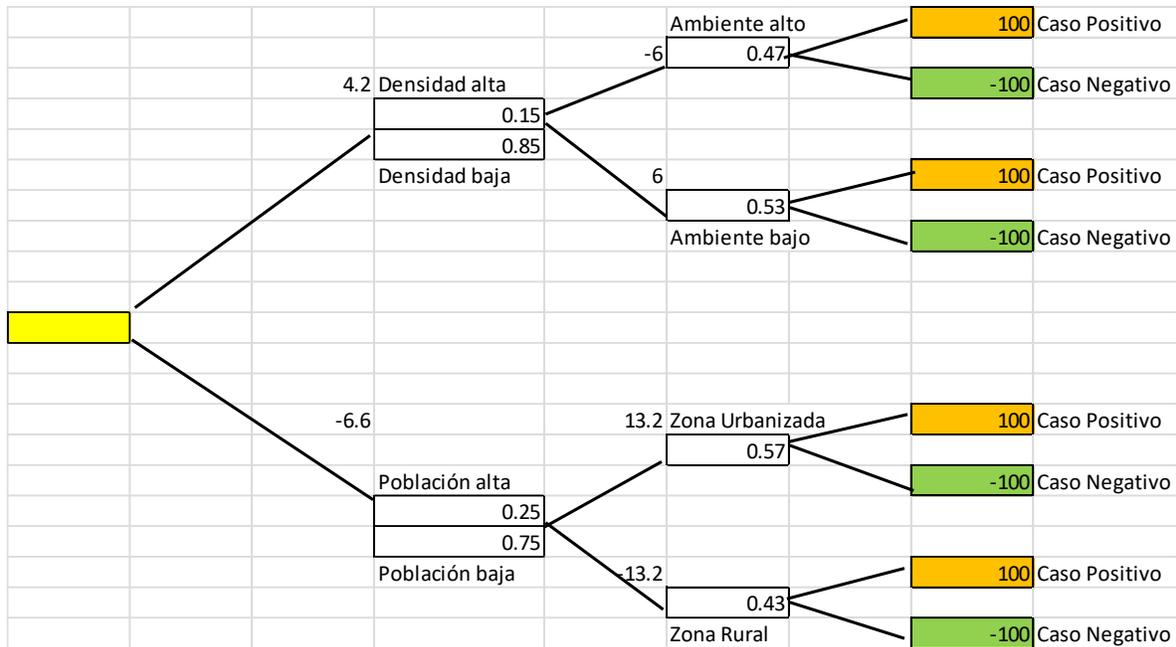
Nodo de decisión	%	Nodo de evento	Probabilidad
Municipio arriba del promedio del porcentaje ambiental	47	Caso Positivo/Caso Negativo-Ambiente	-6
Municipio arriba del promedio de la densidad poblacional	15	Ambiente Alto/Ambiente Bajo-Densidad poblacional	4.2
Municipio con un valor de urbanización arriba del promedio	25	Caso Positivo/Caso Negativo-Urbanización	13.2
Municipio con un valor de población arriba del promedio	57	Urbanización alta/baja-población	-6.6

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

La figura 6 muestra el árbol de decisión realizado.

**Figura 6**

Descripción gráfica del árbol de decisión.



**Fuente:** Elaboración propia, 2020.

Al considerar más variables en esta metodología de determinación de índices es posible alcanzar una modelación más representativa al comportamiento del virus SARS-Cov-2 y sus efectos para tomar medidas sanitarias que prevengan una crisis. Para ello, es necesario sopesar variables cuantitativas en materia de salud y socioeconómica. En el caso de salud, se debe incluir información sobre la accesibilidad a camas hospitalarias y en unidades de cuidados intensivos o el acceso a médicos generales y especialistas, así como a personal de enfermería. En el socioeconómico, se deben integrar índices como el de marginación urbana o el porcentaje de viviendas que cuentan con un solo cuarto.

Este trabajo es un primer acercamiento al impacto que está generando la pandemia en El Salvador. Se decide tomar como fecha límite el 31 de mayo, ya que a partir de ese día se comenzó la fase III de la pandemia y el número de pruebas se comienza a realizar de forma más específica.

## 5. Discusión

El Salvador ha tomado una serie de medidas para contener la propagación del virus COVID-19 y brindar atención médica a quienes presentan los síntomas de la enfermedad. Por lo que se detalla a continuación la situación epidemiológica en el país. Se lleva un registro de casos confirmados, los cuales se dividen en casos activos, fallecidos y recuperados. Los casos activos se dividen de la forma siguiente: asintomáticos, estables, moderados, graves y críticos. Según el informe de situación No. 7 de las Naciones Unidas, El Salvador tiene una tasa de letalidad por COVID-19 de 1.8 %. Entre otras acciones para el control epidemiológico detalladas en el informe están la cuarentena domiciliar, creación de centros de cuarentena, restricciones en el transporte público, el cierre temporal de la economía y la prohibición de actividades masivas y clases presenciales en todo el país.

Todos los actos ejecutados por las autoridades sanitarias del país han sido tomados de forma dinámica para mitigar los contagios, por lo que la necesidad de tener información actualizada de la realidad del país es decisiva para la resolución. Los sistemas de información geográfica fortalecen las acciones de prevención e intervención de los problemas de salud en El Salvador (Mejía, 2019).

La comunidad científica reflexiona sobre cómo responder ante la pandemia y los sistemas organizados de naciones han lanzado una serie de propuestas. El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente sugiere que revestir de un cariz ecológico los esfuerzos de recuperación puede ayudar a aumentar la resiliencia ante futuras crisis y garantizar un medio ambiente saludable que sustente a poblaciones sanas (PNUMA, 2020). Según el informe técnico-científico del Ministerio de Sanidad de España, una de las situaciones relacionadas con mayor vulnerabilidad epidemiológica a la COVID-19 es la precariedad de las condiciones habitacionales que dificultan la distancia física y el aislamiento (Centro de Coordinación de Alertas y Emergencias Sanitarias, 2020) Asimismo, Díaz-Castrillón y Toro Montoya concluyen que la COVID-19 depende de la comorbilidad y la situación geográfica (Díaz-Castrillón & Toro-Montoya, 2020). En general, se puede afirmar que en ambientes cerrados y con estrecho contacto interpersonal la transmisión es mayor. Este tipo de circunstancias esta sustancialmente relacionado al ambiente en que circula el ser humano y la densidad poblacional

que existe por los límites geográficos, los cuales intervienen en el cambio de número de casos confirmados por COVID-19.

El día 11 de marzo la OMS declaró la pandemia mundial, desde entonces en El Salvador se han declarado diferentes medidas de contención: desde el Estado de Excepción hasta la apertura de la economía sin control. Además, los diferentes órganos del Estado no han acordado las disposiciones de contención de la COVID-19 (Naciones Unidas El Salvador, 2020), porque no concuerdan con las normas que deben seguir las instituciones sanitarias para el combate de la pandemia. Esto evidencia la carencia de conocimiento del virus para la toma de decisiones de políticas públicas.

Los árboles de decisión binarios se usan como un método no paramétrico que no requiere supuestos distribucionales, permite detectar interacciones, modela relaciones no lineales y no es sensible a la presencia de datos faltantes y *outliers* (Cardona Hernandez, 2004), por lo que se adecua a este tipo de investigación.

En esencia un árbol de decisión es un modelo predictivo, que permite que las observaciones de las características de un evento conduzcan a una conclusión. Para verificar el modelo, se toman municipios al azar y se someten a la prueba, por ejemplo, los municipios de Apopa y Perquín. Estos son municipios opuestos en densidad poblacional y ambiental. Por un lado, Apopa es denso (2533 hab/Km<sup>2</sup>) y con un valor ambiental (38) por arriba del promedio, el primer caso registrado fue notificado el 19 de abril, un mes después se registraron 40 casos, el mes siguiente 94 y para el mes de julio fue de 215 casos confirmados, lo que demuestra un crecimiento exponencial. Por otro lado, Perquín es un municipio con densidad de 29 hab/Km<sup>2</sup> y con un valor ambiental muy por arriba del promedio (63), presentó una variación de casos muy baja, con su primer caso hasta el mes de agosto.

## 6. Conclusiones

El índice de impacto de COVID-19 es un mapa que refleja la variabilidad de casos de esta enfermedad por municipio, basado en la relación demográfica, ambiental y epidemiológica. Lo anterior, por medio de la integración de datos y la aplicación de sistemas de información geográfica. Esto permite una visión más completa, a nivel nación, sobre el fenómeno de la pandemia y de la influencia que pueden tener el ambiente y la densidad de población al número de casos confirmados de COVID-19.

Los municipios que presentan condiciones muy por debajo del promedio de las variables ambientales y densidad de población son los que reflejan un aumento de casos confirmados en el tiempo, mientras que los municipios que poseen condiciones favorables en dichas variables han mostrado un incremento muy bajo en el número de contagios. Tal como se comprueba con el análisis de árbol de decisión referido en esta investigación.

Adicionalmente, no se pueden dejar de lado las acciones específicas para la mitigación del número de contagios, ya que son sumamente importantes y tienen efectos directos para disminuir el efecto de la pandemia.

Para la reanudación de actividades socioeconómicas en el país durante un suceso como una pandemia, es necesario el auxilio de las recomendaciones técnica-científicas, que es la intención de esta investigación. Este mapa de índice de impacto demuestra la variación de casos por municipio, tomando en cuenta las características ambientales y de población intrínsecas de cada uno de ellos. Para el futuro es necesaria la sistematización de otras variables que aporten más información para la elaboración de un mapa más robusto e íntegro, que pueda determinar proyecciones de casos y que incida en las políticas públicas y en el desarrollo territorial autosostenible. Para lo anterior, es menester una investigación multidisciplinaria y profunda de todas las dimensiones que se involucran en un fenómeno tan amplio como lo es una pandemia. Pues, ante un evento de esta magnitud, la colaboración científica es la principal arma contra las alteraciones producidas por su causa.

## 7. Agradecimientos

Se agradece al Grupo de Investigación de Hidrogeología y Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad de El Salvador.

## 8. Referencias

- Alcántara Moreno, G. (2008). La definición de salud de la Organización Mundial de la Salud y la Interdisciplinariedad. *Revista Universitaria de Investigación*, 9(1), 93-107.
- Aránguez Ruíz, E., Soto Zabalgoceazcoa, M. J., Iriso Calle, A., Collantes, C. d., & García García, J. F. (2005). Sistemas de Información Geográfica y salud pública en la comunidad de Madrid. *Serie geográfica*, (12) 137-146.
- Barrientos, M. R., Cruz, R. N., Acosta, M. H., Rabatte, S. I., Gogeochea, T. M., Pavón, L., & Blázquez, M. S. (2009). Árboles de decisión como herramienta en el diagnóstico médico. *Revista Médica de la Universidad Veracruzana*, 9(2), 19-24.
- Berlanga Silvente, V., Rubio Hurtado, M. J., & Vilà Baños, R. (2013). Cómo aplicar árboles de decisión en SPSS. . *REIRE Revista de Innovación e Investigación en Educación*, 6(1), 65-79.
- Cabieses, B., Bernales, M., Obach, A., & Pedrero, V. (2016). *Vulnerabilidad social y su efecto en salud en Chile*. Santiago, Chile: Universidad del Desarrollo.
- Cardona Hernandez, P. A. (2004). Aplicación de árboles de decisión en modelos de riesgo crediticio. *Revista Colombiana de Estadística*, 27(2), 139-151.
- Centro de Coordinación de Alertas y Emergencias Sanitarias. (2020). *Enfermedad por coronavirus, COVID-19*. Madrid, España: Minsiterio de Sanidad .
- Díaz-Castrillón, F. J., & Toro-Montoya, A. I. (2020). SARS-CoV-2/COVID-19: el virus, la enfermedad y la pandemia. *Medicina y Laboratorio*, 24(3), 183-205.

- Dirección General de Estadística y Censos de El Salvador. (2008). *VI CENSO DE POBLACIÓN Y VIVIENDA 2007*. San Salvador, El Salvador: Ministerio de Economía.
- Hernández, E. (18 de octubre de 2018). ¿Sabes cuál es el departamento de El Salvador con más bosques?. *El diario de Hoy*, Recuperado de <https://www.elsalvador.com/noticias/nacional/sabes-cual-es-el-departamento-de-el-salvador-con-mas-bosques/530278/2018/>
- Mejía, R. (2019). Sistemas de información geográfica y su aporte a la salud pública en El Salvador. *Alerta*, 1(2), 71-74, DOI: <https://doi.org/10.5377/alerta.v2i1.7533>
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2014). *Quinto Informe Nacional para el Convenio sobre la Diversidad Biológica*. San Salvador, El Salvador: Quezada Díaz, J.E.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2020). *Inventario Nacional de Bosques de El Salvador*. Recuperado de <https://www.marn.gob.sv/inventario-nacional-bosques/>
- Ministerio de Salud. (22 de mayo de 2020). *Situación Nacional COVID-19* [Sitio web]. Recuperado de <https://covid19.gob.sv/>
- Oficina de la Coordinadora Residente y la Oficina para la Coordinación de Asuntos Humanitarios, Naciones Unidas El Salvador. (2020). *El Salvador: Covid-19*. San Salvador [Sitio web]. Recuperado de <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/El%20Salvador%20-%20COVID-19%20Informe%20de%20situaci%C3%B3n%20No.%207%20-%20AI%2011%20de%20mayo%202020.pdf>
- Oliva, J., Delgado, C., & Larrauri, A. (2019). *Guía para la evaluación de la gravedad de las epidemias y pandemias de gripe en España*. Madrid, España: Centro Nacional de Epidemiología & Instituto de Salud Carlos III.
- Pita Fernández, S., Vila Alonso, M., & Carpena Montero, J. (2002). *Determinación de factores de riesgo*. Coruña, España: Complejo Hospitalario Juan Canalejo.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2020). *Trabajar con el medio ambiente para proteger a las personas* [Sitio web]. Recuperado de

<https://www.unenvironment.org/es/resources/trabajar-con-el-medio-ambiente-para-proteger-las-personas-la-respuesta-del-pnuma-la-covid>

- Royo Bordonada, M. Á., & Moreno, J. D. (2009). *Método epidemiológico*. Madrid, España: Escuela Nacional de Sanidad.
- Suárez Lastra, M., Valdés González, C., Galindo Pérez, M., Salvador Guzmán, L., Ruiz Rivera, N., Alcántara-Ayala, I., . . . Oropeza Orozco, O. (2020). Índice de vulnerabilidad ante el COVID-19 en México. *Investigaciones Geográficas*, 102(2), 1-22. DOI: <https://doi.org/10.14350/rig.60140>
- Welle, T., Witting, M., Birkmann, J., & Brossmann, M. (2014). *Valoración y Seguimiento de la Resiliencia Climática*. Bonn, Alemania: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- World Health Organization. (22 de Mayo de 2020). *Preguntas y respuestas sobre la enfermedad por coronavirus (COVID-19)* [Sitio web]. Recuperado de [https://www.who.int/es/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/q-a-coronaviruses?gclid=EAlalQobChMImaaJ1cbe6QIVjonlCh0gTAY6EAAYASAAEgLpj\\_D\\_BwE](https://www.who.int/es/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/q-a-coronaviruses?gclid=EAlalQobChMImaaJ1cbe6QIVjonlCh0gTAY6EAAYASAAEgLpj_D_BwE)
- World Health Organization. (2009). *Strengthening Response to Pandemics and other Public-Health Emergencies*. Paris, France: WHO Library cataloguing.

# Población y en Mesoamérica

¿Quiere publicar?  
Ingrese [aquí](#)

O escribanos:  
revista@



1° Revista  
Electrónica

Población y Salud en Mesoamérica (PSM) es la revista electrónica que cambió el paradigma en el área de las publicaciones científicas electrónicas de la UCR.

Revista PSM de la UCR de la División de Estudios Demográficos  
Centro Centroamericano de Población  
Universidad de Costa Rica