



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA ESTADÍSTICA

**“ANÁLISIS ESTADÍSTICO EN VARIABLES COVID-19 EN EL
ECUADOR MEDIANTE LA APLICACIÓN Y CONTRASTE DE
MODELOS LOG-LINEAL Y SIR”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA ESTADÍSTICA

AUTORA:

JILYAN GABRIELA TOLEDO SALINAS

Riobamba - Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA ESTADÍSTICA

**“ANÁLISIS ESTADÍSTICO EN VARIABLES COVID-19 EN EL
ECUADOR MEDIANTE LA APLICACIÓN Y CONTRASTE DE
MODELOS LOG-LINEAL Y SIR”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA ESTADÍSTICA

AUTORA: JILYAN GABRIELA TOLEDO SALINAS

DIRECTORA: Ing. NANCY ELIZABETH CHARIGUAMAN MAURISACA Mgs

Riobamba - Ecuador

2022

©2022, Jilyan Gabriela Toledo Salinas

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, JILYAN GABRIELA TOLEDO SALINAS declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 14 de diciembre del 2022.


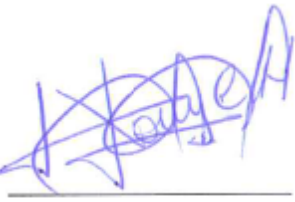



Jilyan Gabriela Toledo Salinas

140071221-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA ESTADÍSTICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, “ANÁLISIS ESTADÍSTICO EN VARIABLES COVID-19 MEDIANTE LA APLICACIÓN Y CONTRASTE DE MODELOS LOG-LINEAL Y SIR”, realizado por la señorita: **JILYAN GABRIELA TOLEDO SALINAS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular. El mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Johanna Enith Aguilar Reyes M. Sc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-12-14
Ing. Nancy Elizabeth Chariguaman Maurisaca Mgs. DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-12-14
Dra. Jaqueline Elizabeth Balseca Castro Mgs. ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-12-14

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mis padres, Gladis y Mesias quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo, responsabilidad y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo a donde quiera que vaya.

A mi abuelita Celia por su inmenso amor, cariño y los ánimos que me dio cada día para volver a casa por el calor de nuestro hogar, a mis hermanas Karla, Daniela, y a mi hermano David por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento les agradezco mucho. A mis familiares y amigos porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Jilyan

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser el fundamento de mi vida para poder alcanzar este sueño, por guiar mi camino, por darme fuerzas, sabiduría y ánimos en cada adversidad, a mis padres quienes son mi motor y mi mayor inspiración, quienes a través de su amor, paciencia, buenos valores, ayudan a trazar mi camino, mi agradecimiento infinito al personal académico y administrativo de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, quienes supieron impartir sus conocimientos con mucho esfuerzo, para hacer posible mi preparación profesional y de manera especial a mi tutora, Ing. Nancy Chariguaman y a la docente Dra. Jaqueline Balseca, por su aporte a la realización de este trabajo. A Silvia, Jhonnatan, Camila, Alex y Gabriela, unos grandes amigos a quienes estimo tanto y a quienes les debo su apoyo incondicional, por facilitarme los caminos para seguir, sin pedir nada a cambio y sin dudar de mi capacidad.

Jilyan

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	vii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	x
RESUMEN.....	xi
SUMMARY.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
1.1. Bases conceptuales.....	5
1.1.1. Análisis estadístico y exploratorio.....	5
1.1.1.1. Medidas de tendencia central.....	5
1.1.1.2. Medidas de dispersión.....	6
1.1.1.3. Representaciones gráficas.....	7
1.1.2. Análisis predictivo.....	9
1.1.2.1. Análisis de regresión.....	10
1.1.2.2. Modelo matemático.....	12
1.1.3. Análisis comparativo.....	15
1.2. Bases teóricas.....	16
1.2.1. Covid-19.....	16
1.2.2. Síntomas del covid-19.....	16
1.2.3. Covid-19 en distintos grupos de personas.....	16
1.2.4. Tratamiento contra el covid-19.....	17
1.2.5. Covid-19 en el Ecuador.....	17
1.2.5.1. Mortalidad por covid-19 en el Ecuador.....	18
1.2.5.2. Casos confirmados, probables y con sospecha por covid-19 en Ecuador.....	19
1.2.5.3. Concentración de casos por provincias del Ecuador.....	19
1.2.5.4. Capacidad resolutoria del MSP para la atención de los casos por contagio.....	20
1.2.5.5. Plan de vacunación en el Ecuador.....	21

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	25
2.1.	Tipo de la investigación	25
2.2.	Diseño de la investigación no experimental	25
2.2.1.	<i>Localización de estudio</i>	25
2.2.2.	<i>Población de estudio</i>	26
2.2.3.	<i>Método de muestreo</i>	26
2.2.4.	<i>Tamaño de la muestra</i>	26
2.2.5.	<i>Técnica de recolección de datos</i>	27
2.2.6.	<i>Identificación de variables</i>	27
2.2.7.	<i>Modelo estadístico</i>	27
2.2.8.	<i>Planteamiento de la hipótesis</i>	28
2.2.9.	<i>Variables en estudio</i>	28
2.2.9.1.	<i>Operacionalización de variables</i>	28

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	29
3.1.	Análisis exploratorio	29
3.2.	Análisis predictivo	47
3.2.1.	<i>Modelo de regresión log-lineal</i>	47
3.2.1.1.	<i>Parámetros del modelo log-lineal</i>	47
3.2.2.	<i>Modelo matemático SIR</i>	53
3.2.2.1.	<i>Parámetros del modelo SIR</i>	53
3.2.3.	<i>Estimaciones</i>	61
3.3.	Análisis comparativo	62

CONCLUSIONES	65
---------------------------	----

RECOMENDACIONES	66
------------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Población total.....	14
Tabla 2-1:	Situación pandemia por SARS-CoV 2 por provincia en el Ecuador.....	20
Tabla 3-1:	Incremento de camas hospitalarias en establecimientos de salud del MSP.....	21
Tabla 4-1:	Objetivo nacional de vacunación en el Ecuador.....	23
Tabla 1-2:	Operacionalización de variables.....	28
Tabla 1-3:	Incidencia acumulada mensual de contagios en el Ecuador.....	30
Tabla 2-3:	Incidencia mensual de contagios a nivel nacional.....	31
Tabla 3-3:	Análisis descriptivo.....	32
Tabla 4-3:	Incidencia de contagios por provincia en el periodo 2020-2021.....	33
Tabla 5-3:	Análisis descriptivo.....	34
Tabla 6-3:	Incidencia acumulada de contagios a nivel nacional de diciembre 2021.....	39
Tabla 7-3:	Incidencia diaria de contagios a nivel nacional de diciembre 2021.....	40
Tabla 8-3:	Análisis descriptivo.....	41
Tabla 9-3:	Incidencia por provincia en diciembre del 2021.....	43
Tabla 10-3:	Análisis descriptivo.....	43
Tabla 11-3:	Estimaciones de la tasa de crecimiento y tiempo de duplicación durante la fase de crecimiento en Ecuador, Pichincha, Guayas y Manabí.....	48
Tabla 12-3:	Los parámetros del modelo SIR estimados y los valores R_0 para Ecuador y sus provincias, en los 31 últimos días del año 2021.....	54
Tabla 13-3:	Incidencia acumulada vs incidencia acumulada estimada <i>por</i> los modelos SIR y Log-lineal durante el mes de diciembre.....	61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1:	Representación gráfica de un histograma.	8
Ilustración 2-1:	Representación gráfica de un diagrama de barras.....	8
Ilustración 3-1:	Representación gráfica de un diagrama de pastel	9
Ilustración 4-1:	Representación gráfica de un polígono de frecuencias acumuladas	9
Ilustración 5-1:	Modelo SIR.....	13
Ilustración 6-1:	COVID-19 en Ecuador	18
Ilustración 1-2:	Mapa del Ecuador	26
Ilustración 1-3:	Incidencia diaria de contagios por COVID-19 en el Ecuador.	29
Ilustración 2-3:	Incidencia acumulada mensual de contagios por COVID-19 en el Ecuador periodo 2020-2021.	31
Ilustración 3-3:	Incidencia mensual de contagios por COVID-19 en el Ecuador periodo 2020-2021.....	33
Ilustración 4-3:	Diagrama de barras del número de contagios por COVID-19 en las provincias del Ecuador con fecha corte 31 de diciembre del 2021.....	35
Ilustración 5-3:	Incidencia acumulada mensual de contagios en Pichincha, Guayas y Manabí.	37
Ilustración 6-3:	Incidencia mensual de contagios en Pichincha, Guayas y Manabí en el periodo 2020-2021.	38
Ilustración 7-3:	Incidencia acumulada a nivel nacional para el período del 01/12/2021 al 31/12/2021.....	40
Ilustración 8-3:	Incidencia diaria de contagios a nivel nacional en diciembre del 2021.....	42
Ilustración 9-3:	Incidencia por provincia en el mes de diciembre del 2021.....	44
Ilustración 10-3:	Incidencia acumulada de contagios en Pichincha del mes de diciembre 2021.	45
Ilustración 11-3:	Incidencia diaria de contagios en Pichincha, Guayas y Manabí del mes de diciembre del 2021.....	46
Ilustración 12-3:	Incidencia observada (Reales) para Ecuador, y el modelo logarítmico lineal ajustado (Predichos) con los límites superior e inferior de los intervalos de confianza del 95% para su respectivo tiempo de análisis.....	49
Ilustración 13-3:	Incidencia observada (Reales) para las provincias Pichincha, Guayas y Manabí, y el modelo logarítmico lineal ajustado (Predichos) con los límites superior e inferior de los intervalos de confianza del 95% para su respectivo tiempo de análisis.....	50

Ilustración 14-3: Incidencia acumulada observada (Reales) para Ecuador, y el modelo logarítmico lineal ajustado (Predichos).....	51
Ilustración 15-3: Incidencia acumulada observada (Reales) para las provincias Pichincha, Guayas y Manabí, y el modelo logarítmico lineal ajustado (Predichos).	52
Ilustración 16-3: Incidencia acumulada observada y ajustada de contagios con el modelo SIR, en el mes de diciembre del 2021 a nivel nacional.....	55
Ilustración 17-3: Incidencia acumulada observada y ajustada de contagios con el modelo SIR en el mes de diciembre del 2021, provincias Pichincha, Guayas y Manabí.	56
Ilustración 18-3: Incidencia acumulada observada (Reales) para Ecuador, y los valores ajustados de Susceptibles, Infectados y Recuperados durante un mes posterior al tiempo analizado.	57
Ilustración 19-3: Incidencia acumulada observada (Reales) para las provincias de Pichincha, Guayas y Manabí, y los valores ajustados de Susceptibles, Infectados y Recuperados durante un mes posterior al tiempo analizado.	58
Ilustración 20-3: Incidencia acumulada observada (Reales) para Ecuador, y los valores ajustados de Susceptibles, Infectados y Recuperados durante un mes posterior al tiempo analizado.	59
Ilustración 21-3: Incidencia acumulada observada (Reales) para las provincias de Pichincha, Guayas y Manabí, y los valores ajustados de $S(t)$ (Susceptibles), $I(t)$ (Infectados) y $R(t)$ (Recuperados) durante un mes posterior al tiempo analizado.	60
Ilustración 22-3: Incidencia acumulada observada (Reales) en Ecuador durante el mes de diciembre y la incidencia acumulada estimada utilizando el modelo SIR y el modelo Log-lineal.	63
Ilustración 23-3: Incidencia acumulada observada (Reales) en las provincias de Pichincha, Guayas y Manabí y la incidencia acumulada estimada utilizando el modelo SIR y el modelo Log-lineal durante el mes de diciembre del 2021.	64

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: PASTA

ANEXO B: PORTADA

ANEXO C: DERECHO DE AUTOR (COPYRIGHT)

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1:	Media aritmética	5
Ecuación 2-1:	Mediana	6
Ecuación 3-1:	Desviación estándar	6
Ecuación 4-1:	Varianza.....	7
Ecuación 5-1:	Coeficiente de variación	7
Ecuación 6-1:	Modelo de análisis de regresión.....	10
Ecuación 7-1:	Modelo Log-lineal	11
Ecuación 8-1:	Tasa básica de reproducción para el modelo Log-lineal.....	11
Ecuación 9-1:	Representación del estado susceptible del modelo SIR	12
Ecuación 10-1:	Representación del estado infectado del modelo SIR.....	13
Ecuación 11-1:	Representación del estado recuperado del modelo SIR.....	13
Ecuación 12-1:	Ajuste del modelo SIR.....	13
Ecuación 13-1:	Tasa básica de reproducción para el modelo SIR	15

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tuvo como objetivo realizar un análisis estadístico en variables COVID-19 en el Ecuador mediante la aplicación y contraste de modelos Log-lineal y SIR. Para el desarrollo de este trabajo se utilizó información de la incidencia diaria y acumulada de contagios, tomando un periodo de tiempo de marzo 2020 a diciembre del 2021, utilizando la información de diciembre del 2021 para la aplicación de los enfoques mencionados, modelando la incidencia diaria y acumulada de COVID-19 en el país, se calculó estimaciones para medidas de la infecciosidad de la enfermedad, incluido el número básico de reproducción, la tasa de crecimiento y el tiempo de duplicación. Se encontró que las estimaciones del número básico de reproducción para el modelo SIR eran mayores que 1 tanto en el país como en sus provincias más representativas, con valores entre 1.17 y 1.44. También se calculó la tasa de crecimiento situada del 4% al 7% y tasas de duplicación de entre 10 y 17 días a aproximadamente. Se encontró que el modelo de regresión lineal logarítmica brindaba un mejor ajuste y se calcularon estimaciones simples de la incidencia diaria para Ecuador. Finalmente, para un contraste de varios modelos que estudian la incidencia del COVID-19 se recomienda a más de un análisis gráfico, realizar un estudio analítico en caso de poseer todos los parámetros necesarios para su comparación y así obtener una investigación más completa.

Palabras clave: <VARIABLES COVID-19 >, <MODELO SIR>, <MODELO LOG-LINEAL>, <INCIDENCIA>, <CONTAGIOS>, <ESTIMACIONES>.

0118-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

The objective of this research project was to perform a statistical analysis of COVID-19 variables in Ecuador through the application and contrast of Log-linear and SIR models. For the development of this work, information on the daily and accumulated incidence of infections was used, taking a period of time from March 2020 to December 2021, using the information from December 2021 for the application of the aforementioned approaches, modeling the daily incidence and cumulative number of COVID-19 in the country, estimations were calculated for measures of the infectivity of the disease, including basic reproduction number, growth rate, and doubling time. The estimations of the basic reproduction number for the SIR model were greater than 1, both in the country and in its most representative provinces, with values between 1.17 and 1.44. The growth rate located between 4% and 7% and doubling rates between 10 and 17 days approximately were also calculated. It was found that the log-linear regression model provided a better fit, and simple estimations of daily incidence in Ecuador were calculated. Finally, for a contrast of various models that study the incidence of COVID19, it is recommended not only to perform a graphical analysis but also an analytical study in case of having all the necessary parameters for comparison and thus obtain more complete research.

Keywords: <COVID-19 VARIABLES>, <SIR MODEL>, <LOG LINEAR MODEL>, <INCIDENCE>, <INFECTIONS>, <ESTIMATIONS>.



Edgar Mesias Jaramillo Moyano

0603497397

INTRODUCCIÓN

Hace más de un año en una ciudad de China llamada Wuhan se presentó una enfermedad infecciosa muy peligrosa denominada (SARS-COV2), la cual provocó una pandemia a nivel mundial llamada COVID-19 que hasta la actualidad ha acabado con la vida de más de un millar de personas, esta enfermedad trajo innumerables catástrofes tanto sociales como económicas debido a su acelerada expansión, por lo que las autoridades a nivel mundial declararon emergencia sanitaria en la mayoría de países, en Ecuador no fue la excepción ya que dicha emergencia dictaminada por el gobierno tuvo una duración de más de 3 meses, meses en los cuales la propagación del virus fue incontrolable.

Asimismo, el daño social y económico fue tan grande que tanto pequeñas como medianas empresas cierran sus puertas debido a la escasez de fluidez en sus operaciones, todos estos factores sucedieron porque no se tenía una base sólida sobre el avance de la enfermedad, así como de su comportamiento y posible mitigación.

Por ello lo que se quiere realizar mediante la presente investigación es básicamente un análisis estadístico de coronavirus dentro del territorio ecuatoriano en un lapso dado del 01 de diciembre del 2021 hasta el 31 de diciembre de 2021 que es la fecha corte considerada para el estudio, mismos datos que van a servir de base para la creación de modelos SIR y Log-Lineal ideales para el estudio de estos.

Como ya se lo mencionó, esta investigación se lo va a realizar mediante la aplicación del modelo SIR (Susceptible-Infeccioso-Recuperado) que permite estudiar la evolución de una epidemia la cual se propaga a través de los individuos de una población determinada, en nuestro caso será el territorio ecuatoriano, este modelo se lo va a contrastar con un modelo Log-Lineal que nos permitirá estudiar el comportamiento del número de casos confirmados en el Ecuador, también dicho modelo permitirá el estudio de predicciones que se pueden realizar y así contrastar los dos modelos y tener un análisis estadístico completo.

Este estudio se lo hace ante la escasa información presentada por el Ministerio de Salud sobre el desarrollo que ha tenido la enfermedad en el país, por lo que el presente trabajo de titulación se va a enfocar en darle más sentido a la información otorgada por las autoridades de la salud y para que de esa manera la ciudadanía tenga un poco más de noción sobre el avance del COVID-19 en el país.

Antecedentes

El análisis de evolución de enfermedades infecciosas dentro de un país tiene mucha significancia dado que muestra ciertos patrones de crecimiento y expansión de la mismas, en un estudio realizado por (Ruiz & León, 2020, pp. 8-9) en donde muestra la evolución del COVID-19 en Ecuador, nos indica que en base a datos proporcionados por el gobierno central se quería aplanar la curva de crecimiento de la enfermedad y por tanto se llegó a la conclusión de que se debe fortalecer la comunicación de riesgos, la participación comunitaria y mantener el aislamiento domiciliario, al menos hasta 14 días después de que la curva presente un descenso de los casos.

Por ello se necesitan modelos que estudien el comportamiento de la enfermedad en el territorio ecuatoriano, los principales modelos son: el modelo SIR y el modelo Log-lineal, por dentro del estudio de (Chu, 2021, p. 15) denominado “A statistical analysis of the novel coronavirus (COVID-19) in Italy and Spain” cita que: Utilizando dos modelos epidemiológicos matemáticos simples: el modelo susceptible-infeccioso-recuperado y el modelo de regresión Log-lineal, modelamos la incidencia diaria y acumulada de COVID-19 en los dos países durante la etapa inicial del brote, y calculamos estimaciones de medidas de la infecciosidad de la enfermedad, incluido el número básico de reproducción, la tasa de crecimiento y el tiempo de duplicación. Se encontró que las estimaciones del número de reproducción básico eran superiores a 1 en ambos países, con valores entre 2 y 3 para Italia y 2,5 y 4 para España. También se calcularon estimaciones para el número de reproducción efectiva más dinámico, que mostró que desde que se confirmaron los primeros casos en los países respectivos, la gravedad en general ha ido disminuyendo. Se encontró que la capacidad predictiva del modelo de regresión logarítmica lineal proporciona un mejor ajuste y se calcularon estimaciones simples de la incidencia diaria para ambos países (Chu, 2021, p. 31).

De la misma manera existen varios estudios acerca de la implementación de los modelos SIR y Log-lineal para el estudio del COVID-19 como los de (Abelló Ugalde, et al., 2021) y (Manrique Abril, et al., 2020) que utilizan dichos modelos para determinar medidas de mitigación y control en las fases de contención de la enfermedad, para con ello contener de una mejor manera la propagación de la enfermedad.

Planteamiento del problema

En el Ecuador, las entidades dedicadas al cuidado de la Salud no presentan ningún informe estadístico sobre el desarrollo de la pandemia COVID-19 mucho menos un modelado sobre la incidencia del virus, ya que solo presenta un resumen de los datos recolectados, por lo que se está buscando realizar un estudio estadístico completo mediante los modelos SIR y Log-lineal que darán un resumen más amplio y una información estadísticamente más completa.

Formulación (Incógnita)

¿Cuál de los modelos puestos en estudio brindará una mejor interpretación acerca del estudio de la evolución del COVID-19 en el Ecuador?

Justificación

Un estudio estadístico completo sobre la evolución del COVID-19 en cada provincial y a nivel nacional nos ayudará a tener una mejor visión sobre el impacto de la pandemia en el territorio ecuatoriano mediante la utilización de modelos matemáticos los cuales nos permitirán modelar determinadas áreas que se deseen estudiar, así como también permitirá el análisis de factores asociados a la propagación del virus.

Los análisis estadísticos principalmente con la utilización del modelo SIR permiten adentrarse en la naturalidad de los sucesos ya que trabajan durante todo el proceso de estudio, desde la no infección hasta la recuperación o fallecimiento dependiendo el caso, esto nos hace abarcar una gran cantidad de información que se la puede utilizar de diversas formas dependiendo el fin del estudio planteado.

Por otro lado, en los modelos Log-lineales al trabajar con variables de tipo cuantitativas se va a tener una representación matemática que permitirá calcular factores asociados al desarrollo de la enfermedad, e incluso con el mismo modelo realizar modelos predictivos con el fin de pronosticar de una manera confiable parámetros asociados a la variable en estudio.

Dentro del ámbito económico se vuelve este estudio un fuerte indicador de reducción de recursos ya que, al tener ya un análisis estadístico completo del coronavirus en el Ecuador, se puede reducir el consumo de recursos en la recolección de datos, ya que se va a tener un patrón de comportamiento acerca de la evolución de la enfermedad, así como sus posibles alternativas de mitigación aparte de las ya existentes.

Objetivos

Objetivo general

Realizar un análisis estadístico en variables COVID-19 en el Ecuador mediante la aplicación y contraste de modelos Log-lineal y SIR.

Objetivos específicos

- Realizar un análisis estadístico y exploratorio de los datos de COVID-19 en el Ecuador.
- Aplicar el modelo matemático SIR y el modelo de regresión Log-lineal para el estudio de variables relacionadas al COVID-19 en el Ecuador.
- Contrastar los modelos SIR Y Log-lineal verificando el más adecuado para modelar la incidencia de COVID-19.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Bases conceptuales

1.1.1. *Análisis estadístico y exploratorio*

Es un proceso que nos permite describir un conjunto de datos mediante el cálculo de medidas, tales como promedios o medidas de centralización que nos brindan información sobre el valor o valores que se ubican generalmente en el centro de los datos ordenados; medidas de variabilidad las cuales nos indican cuan dispersos se encuentran los datos a comparación de la media de los mismo ya que es la medida con la que más suele compararse, esta comparación nos ayuda a identificar la significancia de las cada medida puesta a estudio y medidas de forma que contribuirán a informarnos sobre cómo los datos se encuentran frente a estudios referentes tales como la distribución normal (Salazar & Castillo, 2018, p. 49).

1.1.1.1. *Medidas de tendencia central*

Las medidas de tendencia central se refieren al valor o punto central del conjunto de datos que se está estudiando, se puede observar en las gráficas que la frecuencia más alta de los datos se refleja en la parte central, de ahí el nombre. Entre ellos se encuentran las siguientes: media aritmética, mediana y moda (Linás & Rojas Alvarez, 2017).

Media aritmética

Es el promedio o media de un conjunto de n datos que es igual a la suma de estos datos dividida entre n. La media muestral con \bar{x} se representan de la siguiente manera:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1-1)$$

Donde:

n = *Tamaño de la muestra*

$\sum x_i$ = *Suma de todos los datos de la muestra*

Mediana

La mediana (\tilde{x}) de un conjunto de n datos es el valor de x que cae en la posición media cuando los datos son ordenados.

$$\tilde{x} = \begin{cases} x_{(n+1)/2} & \text{si } n \text{ es impar} \\ \frac{1}{2} \left(x_{\frac{n}{2}} + x_{\frac{n}{2}+1} \right) & \text{si } n \text{ es par} \end{cases} \quad (2-1)$$

donde:

x = Valor que cae en la posición de la mitad al ordenar los datos

n = Tamaño de la muestra

Moda

Es el valor que toma aquella observación o elemento que posee la mayor frecuencia.

La moda como medida de tendencia central es muy útil en la descripción de grandes conjuntos de datos de tipo nominales u ordinales, su cálculo es muy sencillo ya que se trata del valor o elemento que tiene más frecuencia, es decir, el más repetitivo en el conjunto de datos (Salazar & Castillo, 2018, p. 54).

1.1.1.2. Medidas de dispersión

Estas son medidas estadísticas que muestran como las mediciones se dispersan con respecto a la media aritmética, informando sobre el grado de variabilidad de este conjunto de datos.

Rango

Es una de las medidas más sencilla de dispersión ya que se calcula al realizar la diferencia entre el máximo y el mínimo del conjunto de datos.

Desviación estándar

La desviación estándar de un conjunto de datos es igual a la raíz cuadrada positiva de la varianza (Mendenhall, et al., 2006, p. 62). Esta medida se calcula de la siguiente manera:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (3-1)$$

donde:

$x_i = \text{Datos de la variable}$

$n = \text{Tamaño de la muestra}$

$\bar{x} = \text{Media o promedio de los datos}$

Varianza

Se la denota como s^2 , la cual de un conjunto de datos es la suma de las desviaciones cuadradas de las mediciones alrededor la media dividida entre $(n - 1)$ (Mendenhall, et al., 2006, p. 62). Su fórmula está dada por:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (4-1)$$

donde:

$x_i = \text{Datos de la variable}$

$n = \text{Tamaño de la muestra}$

$\bar{x} = \text{Media o promedio de los datos}$

Coefficiente de variación

Se definen unas medidas de dispersión relativas, independientes de los datos usados. Estas dispersiones relativas van a permitir además comparar la dispersión entre diferentes muestras (con datos diferentes). Este coeficiente viene definido como el cociente entre la desviación típica y la media aritmética:

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} \quad (5-1)$$

donde:

$S = \text{Desviación estandar de los datos}$

$\bar{x} = \text{Media o promedio de los datos}$

1.1.1.3. Representaciones gráficas

Histograma

Un histograma representa gráficamente las frecuencias ya sean absolutas, relativas, acumuladas o relativas acumuladas por medio de barras con forma de rectángulos. Para una mejor explicación

se dice que en el eje horizontal se ubican los límites, mientras que las frecuencias se observan en el eje vertical.

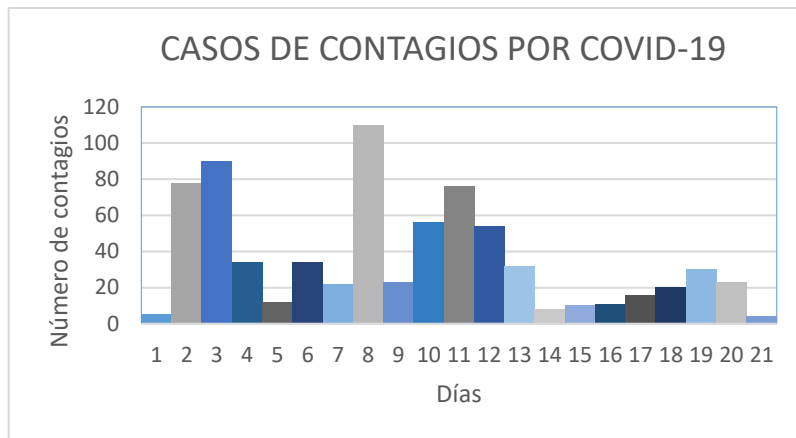


Ilustración 1-1: Representación gráfica de un histograma.

Fuente: Excel.

Diagrama de barras

En un diagrama, se sabe que hay tantas barras como la cantidad de categorías existentes y que cada barra se eleva o sube conforme al valor que puede tomar la variable, esta altura mide exactamente la frecuencia de la categoría.

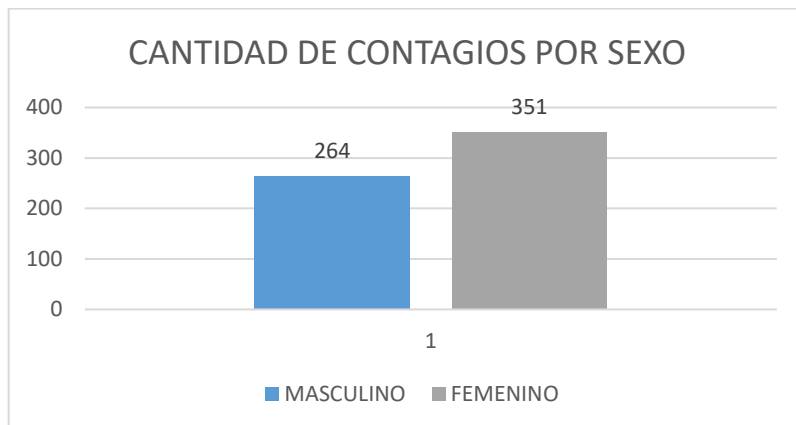


Ilustración 2-1: Representación gráfica de un diagrama de barras.

Fuente: Excel.

Gráfica de pastel

Es un método gráfico el cual muestra el porcentaje que representa cada intervalo de clase sobre el total de datos en estudio.

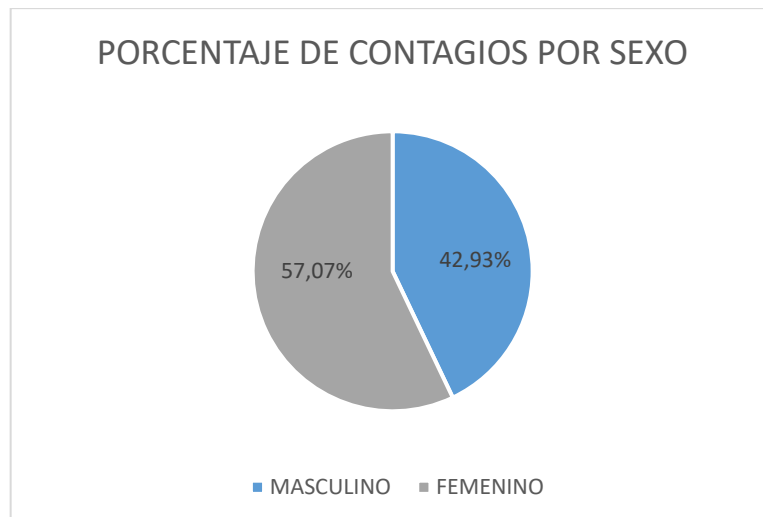


Ilustración 3-1: Representación gráfica de un diagrama de pastel.

Fuente: Excel.

Polígono de frecuencias acumuladas

La gráfica de polígono de frecuencias representa las frecuencias grupos de datos clasificados en intervalos. En el eje x se encuentran cada uno de los intervalos encontrados y estos figuran un valor en el eje y siendo este su frecuencia ya sea absoluta o relativa acumulada (Gorgas, et al., 2011, p. 18).

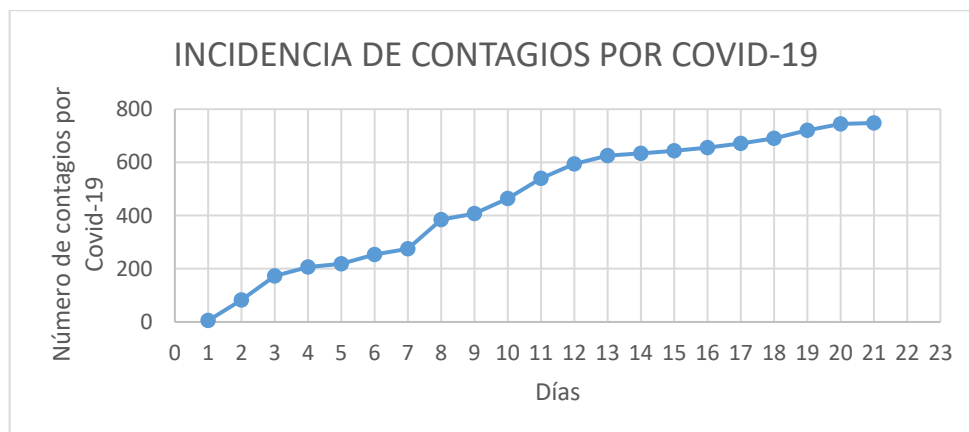


Ilustración 4-1: Representación gráfica de un polígono de frecuencias acumuladas.

Fuentes: Excel.

1.1.2. Análisis predictivo

Para el análisis predictivo el cual es la base de este trabajo primeramente debemos saber en qué consiste este tipo de análisis estadístico, la predicción es una estimación cuantitativa o cualitativa de uno o varios factores que conforman un evento, basándonos y utilizando información ya sea

actual o del pasado. Al tratarse específicamente del estudio de la propagación de un virus se mencionará la importancia tanto de un modelo de regresión como de un modelo matemático los dos epidemiológicos los cuales nos permitirán estimar la incidencia y evolución del virus denominado SARS-CoV-2, a pesar de ser dos modelos muy distintos cumplen una misma función, conocer la dinámica de trasmisión de esta infección.

Uno de los métodos usados para este tipo de investigación es el uso del análisis de regresión como un método de elaboración de pronósticos causal, el cual es muy útil e importante en el área estadística debido a que se puede determinar la relación existente entre variables y, por ende, se usa para hacer predicciones o estimar el valor de una variable que corresponde para un valor de la otra.

1.1.2.1. Análisis de regresión

El análisis de regresión se basa principalmente en el estudio de dos variables X, Y . La variable X también llamada predictora es la que es controlada por el investigador y se denominada variable independiente. Por otro lado, la variable Y es la variable que se desea predecir en función de las variables predictora X y se denomina dependiente. Este análisis de regresión presenta un modelo definido por:

$$Y = \alpha + \beta X \quad (6-1)$$

Donde α y β son los coeficientes de regresión.

- Modelo de regresión log-lineal

Los modelos lineales logarítmicos con su denominación Log-lineales se presentan como un procedimiento el cual verifica la relación que se desarrolla entre un compendio de variables cualitativas (por lo general deben ser más de dos). Por tanto la aplicación de los modelos Log-lineales es pertinente cuando lo que se desea en analizar una relación existente entre las variables mediante tablas de contingencia con múltiples entradas (Rodríguez-Jaume & Mora Catalá, 2001).

Aun después de saber que el modelo de regresión Log-lineal es una herramienta muy útil a la hora de verificar la relación entre variables, se puede decir que esta no es su única función ya que al ser un modelo estadístico nos permite realizar predicciones o pronósticos los cuales son de mucha utilidad en varios ámbitos tanto en lo económico como en la salud, esto es porque el modelo de regresión Log-lineal ha sido y es hasta la actualidad un modelo que permite pronosticar la incidencia de una enfermedad infecciosa con el objetivo de prevenir nuevos rebrotes en un futuro y así evitar la propagación excesiva y descontrolada de tal virus. Este modelo sin lugar a duda cumple una función muy importante en la epidemiología y es declarado uno de los modelos

matemáticos más simples modelando tan solo la incidencia diaria y acumulada de casos por contagio.

Para este tipo de análisis este modelo se representa de la siguiente manera:

$$\log(y) = b + rt \quad (7-1)$$

Donde y indica la incidencia diaria, r indica la tasa de crecimiento, t indica el número de días desde los primeros casos confirmados, y b es una constante que representa la intercepción (Chu, 2021, p. 15).

Tasa básica de reproducción

La tasa básica de reproducción representa el potencial de contagio o también su capacidad de transmisión de alguna infección, todo esto se lo hace en base a las características y comportamiento que posee el agente infeccioso. Por dicha razón, es uno de los procedimientos más utilizados al momento del estudio del dinamismo de las enfermedades infecciosas. El método de medición se define como el promedio de persona o individuos que contraen alguna infección a raíz del paciente inicial de una epidemia, todo esto cuando una población presenta susceptibilidad (Wilches Visbal & Castillo Pedraza, 2020).

El valor de R_0 se puede calcular utilizando el modelo logarítmico lineal con el parámetro clave en la siguiente formula siendo la tasa de crecimiento r .

$$R_0 = 1 + \frac{r}{b} \quad (8-1)$$

Donde r es la tasa de crecimiento exponencial observada (o estimada) como en la ecuación anterior, y b denota la misma tasa que γ en el modelo SIR.

La epidemiología es una disciplina encargada del estudio y análisis de las predicciones sobre los factores relacionados con la salud y la enfermedad en las poblaciones humanas. Para ello, los estudios epidemiológicos se apoyan en la modelación matemática, definiendo un modelo constituido por un conjunto de símbolos y relaciones matemáticas que representan la verdadera aproximación de las relaciones que existen en el objeto de estudio. Dicho esto, a continuación, se hablará más a detalle sobre estos modelos los cuales como se dijo anterior son muy importantes para el estudio.

1.1.2.2. Modelo matemático

Los virus comúnmente provocan epidemias, pero cuando estas tienen una tasa de infección muy elevada ocasionan pandemias dando un impacto sobre la demografía de la humanidad por las muertes como consecuencia de la propagación de las enfermedades, es por ello por lo que la modelación matemática es una herramienta indispensable a la hora de estudiar la propagación de las infecciones, la manera en cómo se transmiten los virus de una población a otra es un evento muy complejo. Esto es porque depende de muchos factores ambientales, sociales, económicos, entre otros y es razón suficiente para entender que resulta complicado estudiar la dinámica de la propagación de un virus en la utilización de un modelo matemático. Uno de los modelos más famosos utilizados para estudiar este tipo de eventos es el modelo clásico de Kermack y McKendrick (1927) denominado como SIR, del cual conoceremos más a detalle a continuación.

- Modelo matemático SIR

Ahora, es importante mencionar que como en la estadística existe un modelo involucrado en la epidemiología también en la matemática se cuenta con uno, el cual se denomina modelo SIR, el cual tiene su origen en el trabajo de (Kermack & McKendrick, 1927). Este modelo que, dentro de la epidemiología, es uno de los modelos matemáticos determinísticos más usado es el denominado como modelo SIR (Susceptibles-Infecciosos-Recuperados) que, así como el modelo anteriormente mencionado, se encarga de caracterizar la evolución de una epidemia que se propaga mediante contagio entre los individuos de una población de tamaño N que permanece constante (Martín Barroso, 2020, p. 2).

En cada intervalo de tiempo t los individuos objeto a estudio tienden a encontrarse en alguno de los siguientes tres posibles estados o compartimentos:

- **Susceptibles S(t):** Individuos sin afecciones que tienen el riesgo de contagiarse por otros individuos infectados.
- **Infectados I(t):** Individuos que presenta sintomatología infecciosa confirmada.
- **Recuperados R(t):** Individuos que una vez presentado alguna infección, con el pasar del tiempo dejan de presentarla.

Mismos estados que se representan de la siguiente manera:

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\beta IS}{N}, \quad S(0) = S_0 \geq 0 \quad (9-1)$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\beta IS}{N} - \gamma I, \quad I(0) = I_0 \geq 0 \quad (10-1)$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I, \quad R(0) = R_0 \geq 0 \quad (11-1)$$

Para resolver este sistema de ecuaciones diferenciales, existe la posibilidad de obtener estimaciones para los parámetros β y γ . Existen varios métodos para ajustar el modelo SIR a los datos reales de incidencia, tanto el método de mínimos cuadrados como el método de máxima verosimilitud; en este análisis optamos por el primero. Este método se enfoca en minimizar la suma residual de cuadrados, para este caso, la suma de las diferencias al cuadrado entre $I(t)$ (número real de personas infectadas en el momento t) y el número estimado de personas infectadas $\hat{I}(t)$ del modelo ajustado, expresado como:

$$RSS(\beta, \gamma) = \sum_{t=1}^T (I(t) - \hat{I}(t))^2 \quad (12-1)$$

Tasa de infección o tasa de transmisión de la enfermedad β

Representa el total de contactos suficientes para la transmisión de una enfermedad a una persona en un intervalo de tiempo. Es decir, el parámetro β es el producto del número de contactos medios por individuo y unidad de tiempo y la probabilidad de contagio en un solo contacto entre un individuo infectado y un individuo susceptible. En consecuencia $\beta S(t)I(t)/N$ nos indica el número medio de contactos infectados por unidad de tiempo de un individuo susceptible, mientras que $S(t)I(t)/N$ es el número de casos nuevos por unidad de tiempo (Martín Barroso, 2020, p. 2).

Tasa de recuperación

Nos indica la tasa por unidad de tiempo a la cual los individuos infectados se recuperan. Es decir, es la ratio entre el número de recuperados y el número de infectados por unidad de tiempo (Martín Barroso, 2020, p. 2).

El esquema correspondiente a este modelo es el siguiente:

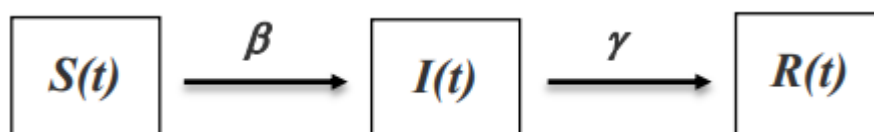


Ilustración 5-1: Modelo SIR

Fuente: (Martín Barroso, 2020).

Este modelo presenta al menos dos utilidades para el estudio de casos de pacientes que presenten algún estado de los mencionados anteriormente. En primera instancia, contribuye a una simulación de la evolución de determinada enfermedad contagiosa y contrastar varios escenarios, incluyendo al modelo los valores para las variables: tasa de infección (β), tasa de recuperación (γ), tamaño de la población (N), y número de infectados inicialmente (I_0). La segunda utilidad de este método permite ajustar el modelo matemático SIR con respecto a estudios de casos reales de un determinado punto en el mapa, esto con el fin de observar aspectos referentes a la tasa de infección, tasa de recuperación y como consecuencia de estas dos variables la tasa de reproducción básica, esto con el fin de estudiar de una buena manera la evolución de las enfermedades que se presentan en ciertas partes de un país o región (Martín Barroso, 2020, pp. 2-3).

Población N

Parte del modelo considera cada una de las poblaciones propuestas por el INEC, estas son por provincia y de manera general considerando la población total del Ecuador. Es importante mencionar que estos valores son propuestos por una pronóstico del año 2020 lo cual se supone es lo más cercano a la población actual del país.

Tabla 1-1: Población total

Proyección de la población ecuatoriana 2020	
AZUAY	881.394
BOLÍVAR	209.933
CAÑAR	281.396
CARCHI	186.869
COTOPAXI	488.716
CHIMBORAZO	524.004
IMBABURA	476.257
LOJA	521.154
PICHINCHA	3.228.233
TUNGURAHUA	590.600
SANTO DOMINGO	458.580
EL ORO	715.751
ESMERALDAS	643.654
GUAYAS	4.387.434
LOS RÍOS	921.763
MANABÍ	1.562.079
SANTA ELENA	401.178
MORONA SANTIAGO	196.535
NAPO	133.705
PASTAZA	114.202
ZAMORA CHINCHIPE	120.416
SUCUMBÍOS	230.503
ORELLANA	161.338
GALÁPAGOS	33.042
Total	17'510.643

Fuente: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>.

Tasa básica de reproducción

Para observar si una enfermedad es endémica o no se estudia un parámetro de gran interés en epidemiología, denominada tasa básica de reproducción R_0 , la cual se utiliza para describir la fuerza de una enfermedad infecciosa. Específicamente, la tasa reproductiva básica nos revela el promedio de los contagios que se dan cuando un individuo de la clase infectado interactúa con una población susceptible. La tasa de reproducción básica se calcula de la siguiente manera:

$$R_0 = \frac{\beta}{\gamma} \quad (13-1)$$

Gracias al valor del parámetro R_0 , se puede estimar la complejidad de la pandemia en el tiempo t , de igual manera nos da indicios de si la enfermedad se va a propagar o no, y de la velocidad con que una enfermedad puede propagarse en una población de individuos determinada. Por ello se dice que cuando $R_0 > 1$ la enfermedad puede llegar a propagarse ampliamente entre la población. Sin embargo, si $R_0 < 1$ la enfermedad desaparece tras un cierto periodo de tiempo. La composición de R_0 se obtiene de las ecuaciones diferenciales del modelo SIR ya que se considera parámetros utilizados en el mismo para poder obtenerlo y con ello percibir de mejor manera la propagación de la enfermedad (Contreras González, 2020, p. 19).

1.1.3. Análisis comparativo

En esta sección lo que se pretende hacer es una comparación de los modelos a aplicar en la investigación con el objetivo de verificar cual se ajusta mejor a la realidad de los datos y con ello estar seguros de que la predicción será beneficiosa para proponer medidas de prevención a fin de evitar consecuencias parecidas a las del inicio de la propagación del virus.

Los modelos para comparar, al no utilizar la misma metodología estudian características diferentes sin embargo poseen una relación en cuanto a la predicción de incidencia de contagios por COVID-19, dicha relación es la que se va a contrastar mediante técnicas tanto estadísticas como gráficos.

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Covid-19

El COVID-19 es una enfermedad de síndrome respiratorio comúnmente llamada como coronavirus causado por el problema de afección respiratoria severa denominada (SARS-CoV2), se conforma de por una textura redonda u ovalada que en casos puede llegar a ser polimórfica, su diámetro oscila entre 60 a 140 nm. La principal estructura utilizada para la tipificación es la denominada proteína espiga, la cual es encontrada en la superficie del virus, estas características patológicas fueron desconocidas hasta el descubrimiento del brote de la enfermedad en Wuhan a finales del año 2019 (ONU, 2020).

1.2.2. Síntomas del covid-19

El COVID-19 presenta distintos síntomas en las personas que lo contraen debido al organismo y el cuidado de la salud que cada una de ella tenga en su vida diaria. Por lo general esta enfermedad respiratoria produce síntomas relacionados con lo presentados en la gripe común, esto incluyen la fiebre, fatiga, tos seca y tensión muscular, en casos extremos se presenta la pérdida de gusto y olfato, la pérdida de olfato se puede presentar sin que la mucosidad fuese la causa. En situaciones crítica la enfermedad puede desarrollar fallos en los pulmones como neumonía también llamado síndrome de dificultad respiratoria aguda, además de síntomas que pueden llevar que el paciente sea internado y en muchos de los casos produzca el deceso de dicha persona, pese a que la tasa de fatalidad está situada en un 4,48 % pero sigue con una tendencia creciente (ONU, 2020).

1.2.3. Covid-19 en distintos grupos de personas

Según (Sanidad, 2021, p. 55), los grupos con mayor riesgo de desarrollar enfermedad grave por COVID son personas con:

- mayor edad
- enfermedades cardiovasculares e hipertensión arterial
- diabetes
- enfermedad pulmonar obstructiva crónica
- cáncer
- inmunodepresión
- embarazo
- otras enfermedades crónicas

Aquellas personas que fuman o las personas que tienen obesidad parecen tener mayor riesgo de tener una enfermedad grave. En el caso de los niños y adolescentes y aquellas personas con enfermedades mentales también se describen en este apartado.

1.2.4. Tratamiento contra el covid-19

En la actualidad ya existe una vacuna que contrarresta los efectos que puede causar el coronavirus, de hecho, muchas farmacéuticas elaboraron un medicamento similar entre ellas por lo que existen diferentes marcas de vacunas, en Ecuador se presentan las siguientes:

- Pfizer
- AstraZeneca
- Sinovac
- Jhonson y Jhonson
- Iniciativa Covax Facility

1.2.5. Covid-19 en el Ecuador

Dentro del territorio ecuatoriano no fue sino hasta el 29 de febrero del 2020 que se presentó el primer caso de la enfermedad respiratoria en una mujer de 71 años que retornaba de España, país que ya estaba afectado por la enfermedad meses atrás; semanas después se confirmó el deceso de la paciente el 13 de marzo. Desde ese punto de partida la preocupación de la población incrementaba dentro del territorio nacional.

El 16 de marzo con 58 casos positivos de COVID-19 y 2 fallecidos; el presidente del Ecuador, Lenín Moreno Garcés declaró el Estado de Excepción para evitar la transmisión de coronavirus (Santillan Haro & Palacios Calderón, 2020, p. 1).

Dentro de las resoluciones más importantes fueron:

- 1) Cierre de servicios públicos a excepción de salud, seguridad, servicios de riesgos.
- 2) Hospitales, tiendas de barrio, mercados y supermercados permanecerán abiertos.
- 3) Suspensión total de la jornada laboral presencial del sector público y privado a partir del martes 17 de marzo.
- 4) Toque de queda (para vehículos y personas) desde martes 17 de marzo del 2020 desde 21h00 a 5h00 del siguiente día.
- 5) Suspensión de vuelos nacionales de pasajeros.
- 6) Suspensión de transporte interprovincial.

El 21 de marzo la ministra Catalina Andramuño renunció a su cargo, cuando en el país se reportaban 532 casos de COVID-19 y 7 fallecidos; asume el Ministerio de Salud Pública el Dr.

Juan Carlos Zevallos. Además, desde esta fecha fue ampliado el toque de queda desde las 19h00 en todo el territorio nacional a excepción de las provincias de Guayas, Santa Elena y Galápagos desde las 16h00.

Desde el 25 de marzo fue incrementado el toque de queda desde las 14h00 hasta las 5h00 del siguiente día; en ese momento se tuvieron 1211 casos y 29 fallecidos.

Una de las ciudades más afectadas por esta enfermedad fue Guayaquil perteneciente a la provincia de Guayas ya que, con corte hasta el 1 de abril se encontraba con la mayor de mortalidad del país y de América Latina con un total de 1,35 personas fallecidas de cada 100.000 habitantes, este estudio lo hizo médico Esteban Ortiz perteneciente a la Universidad de las Américas de Ecuador. La prensa ecuatoriana para los primeros días del mes de abril reportaba que en Guayaquil había cientos de cadáveres en las calles y dentro de las casas, esperando ser retirados por las autoridades (Santillan Haro & Palacios Calderón, 2020, p. 2). A la presente fecha 24 de abril del 2020 luego de transcurridos 40 días de aislamiento y tomadas 56.513 pruebas; tenemos 22.719 casos confirmados con 576 fallecidos por COVID-19 y 1060 fallecidos sospechosos sin prueba confirmatoria de COVID-19; estamos muy lejos en llegar a la meseta de la curva epidemiológica. El costo de la Pandemia según manifestó el vicepresidente Otto Sonnenholzner la paralización del país costará el 3,5% del PIB al mes. De igual manera Patricio Alarcón presidente de la Cámara de Comercio de Quito estimó que la pérdida será de 2.000 millones de dólares (Santillan Haro & Palacios Calderón, 2020, p. 2).



Ilustración 6-1: COVID-19 en Ecuador

Fuente: Estadísticas de CSSE at Johns Hopkins University.

1.2.5.1. Mortalidad por covid-19 en el Ecuador

Al año 2020 cuando inicio la pandemia por COVID-19, se pudo evidenciar que existe mayor riesgo de mortalidad por el virus en la población de 65 y más años, de igual manera este riesgo se dirige en aquellas personas con comorbilidad como la hipertensión arterial, enfermedades

cardiovasculares, enfermedad renal, diabetes, enfermedades respiratorias crónicas como la EPOC, el asma, y obesidad. De igual manera se declaró que la población con alta exposición de contagios son los trabajadores de salud de la primera línea de atención de COVID-19, a pesar de esto en la actualidad se demostró que las tasas de mortalidad incrementan en otros rangos etarios. Conforme a la curva de casos de fallecidos confirmados y probables por el virus, se ve que existe una reducción desde el punto más alto registrado al principio de la pandemia en el año 2020, sin embargo, estos se fueron reduciendo a finales de ese mismo año; ahora en el año 2021 se evidencio que nuevamente los casos de fallecidos se incrementaron y al analizar la evolución de esto durante la fase 0 y fase 1 de vacunación se ve claramente que no se han reducido.

1.2.5.2. Casos confirmados, probables y con sospecha por covid-19 en Ecuador

Se evidencia que los niveles de contagio estuvieron controlados únicamente en el último cuatrimestre del 2020; pero para el año 2021, los niveles se incrementaron nuevamente, incluso llegando a ser aún más alto a lo largo de todo el desarrollo de la pandemia. De la misma forma hasta el 18 de mayo de 2021, estuvieron confirmados en el territorio ecuatoriano 411.466 casos confirmados y de estos se tiene un total de 354.499 pacientes recuperados. Hasta dicha fecha se presentaron alrededor de 19.877 muertes por esta enfermedad respiratoria (Randolph & Barreiro, 2020).

De los casos confirmados por COVID-19 se pudo analizar y evidenciar que el contagio se da en todos los rangos de edad sin excepción, sin embargo, los casos por contagio se registran con más concentración en las edades de 25 a 44 años.

1.2.5.3. Concentración de casos por provincias del Ecuador

El impacto de un estudio zonal del virus claramente cambia según la provincia la cual se estudie la incidencia de este, obteniendo registros de concentración del virus en ciertas provincias. En estas provincias la situación cada vez tiende a ser más crítica. De esta manera se analiza que la mayor concentración de casos confirmados expresada en porcentaje se encuentra en la provincia de Pichincha con un 35,4% del total de casos del país, seguido de lejos por Guayas con el 13,4% y Manabí con el 7,3%. Mediante un análisis de casos a nivel nacional y provincial sobre la evolución que ha tenido en COVID-19, se observa que se tiene un incremento de casos a nivel general en el año 2021, obteniendo una tendencia positiva de la evolución de estos. Dicha evolución está marcada dado el mayor número de casos que se presenta en la provincia con mayor índice de contagio, principalmente en la provincia de Pichincha. La tendencia que se mencionó anteriormente es a escala nacional con gran magnitud, dicha magnitud disminuye al seccionarla por provincias (MSP, 2021, p. 11).

Con respecto al reporte de muertes se sabe que el mayor porcentaje se dio en la provincia de Guayas con un 21,89% ósea (4.351/19.877) de las muertes totales notificadas, en segundo lugar, se ubica la provincia de Manabí con un 17,63% ósea (3.505/19.877), lo que es algo parecido a la provincia de Pichincha ya que esta reporta un 16,26% (3.232/19.877) del total.

Tabla 2-1: Situación pandemia por SARS-CoV 2 por provincia en el Ecuador

Provincia	Confirmados por RT-PCR	Fallecidos confirmados por RT-PCR	Fallecidos probables
Azuay	22337	469	38
Bolívar	6287	105	22
Carchi	7551	260	3
Cañar	5454	132	13
Chimborazo	7542	511	134
Cotopaxi	10777	468	109
El oro	19862	1007	249
Esmeraldas	8117	371	82
Galápagos	1434	10	10
Guayas	55264	2509	1842
Imbabura	13047	383	26
Loja	15629	523	139
Los ríos	11935	457	364
Manabí	30185	2339	1166
Morona Santiago	5522	57	7
Napo	3061	100	4
Orellana	3082	79	22
Pastaza	3080	82	19
Pichincha	145695	2878	354
Santa elena	4266	413	281
Sto. Domingo Tsáchilas	10799	634	138
Sucumbíos	5001	166	7
Tungurahua	12807	464	334
Zamora Chinchipe	2732	92	5
Total	411466	14509	5368

Fuente: Dirección Nacional de Vigilancia Epidemiológica del Ministerio de Salud pública. Fecha de corte: 18-mayo-2021.
Realizado por: Toledo, Jilyan, 2021.

1.2.5.4. Capacidad resolutive del MSP para la atención de los casos por contagio

El desarrollo y la implementación de estrategias para atender, tratar y gestionar eficazmente la elevada cantidad de pacientes afectados por la COVID-19, involucra la ampliación de la capacidad de los servicios hospitalarios. Una implementación de las funciones mínimas necesarias fue fundamental para la organización de la respuesta en términos de hospitalización al

COVID-19. Con la evaluación de la enfermedad a grandes escalas, los centros hospitalarios se vieron en la necesidad de readecuar y en muchos de los casos ampliar el espacio de intención a los pacientes ingresados con problemas respiratorios para así alojar a la mayor cantidad de pacientes y que no aumente la tasa de mortalidad. El Ministerio de Salud Pública desde comienzos de la pandemia realizó diferentes contribuciones en readecuación de hospitales y centros de atención a pacientes infectados con el fin de mitigar los efectos negativos que se tenía con la crisis sanitaria. En este sentido, para enfrentar la pandemia, el MSP fortaleció su capacidad resolutive, entre las acciones implementadas se incrementó las camas de hospitalización un 64% en promedio entre el año 2020 y 2021 (MSP, 2021, pp. 17-18).

Tabla 3-1: Incremento de camas hospitalarias en establecimientos de salud del MSP

Coordinación Zonal	2020	2021	Incremento	Porcentaje de incremento
Zona 1	1.116	1.832	716	64%
Zona 2	295	474	179	61%
Zona 3	1.136	1.768	632	56%
Zona 4	1.105	1.740	635	57%
Zona 5	916	1.493	577	63%
Zona 6	753	1.223	470	62%
Zona 7	877	1.426	549	63%
Zona 8	1.422	2.174	752	53%
Zona 9	1.751	3.272	1.521	87%
Total general	9.371	15.402	6.031	64%

Fuente: Dirección Nacional de Estadística y Análisis de Información de Salud. Ministerio de Salud Pública.

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2021.

1.2.5.5. *Plan de vacunación en el Ecuador*

El Plan de Vacunación para prevenir la COVID-19 Ecuador 2020-2021 fue elaborado por el mandado de la Presidencia del Ecuador y del Ministerio de Salud Pública, donde el 08 de octubre del 2020 se formó el grupo de vacunación nacional con el objetivo de formular los lineamientos necesarios y correspondientes para introducir las nuevas vacunas COVID-19 para la población ecuatoriana.

Dicho esto, se dio a conocer que la vacunación será universal y gratuita, con un incremento progresivo del número de vacunas que permitirá ir aumentando el número de personas a vacunar (MSP, 2021, p. 9).

- *Público objetivo para la vacunación*

La llegada tan inesperada del nuevo virus denominado COVID-19 afecto no solo al Ecuador sino al mundo entero obligando a casi todos los países a confinarse y con esto presiono a los científicos al desarrollo de una vacuna para contener el virus en tiempo récord.

Bajo esta premisa y considerando la capacidad de producción de un biológico que será usado por casi toda la humanidad, es necesaria la fragmentación de beneficiarios de acuerdo con el nivel de exposición y vulnerabilidad a la enfermedad (MSP, 2021, pp. 11-12).

Al momento y de acuerdo con los antecedentes señalados, contamos con el siguiente público objetivo:

- a. **Personal sanitario de primera línea:** Médicos, enfermeros, paramédicos, personal de apoyo y limpieza, entre otros, que atienden directamente a los pacientes con COVID-19.
- b. **Personal de salud:** Profesionales del sector salud.
- c. **Población vulnerable:** Adultos mayores, personas con enfermedades preexistentes y discapacidad.
- d. **Fuerzas del orden y bomberos:** se incluyen policías, fuerzas armadas.
- e. **Sectores estratégicos:** personal de los sectores petrolero, agrícola, manufactura.
- f. **Profesores en todos los niveles.**
- g. **Personal de recolección de desechos.**
- h. **Periodistas, líderes de opinión y replicadores.**
- i. **Expertos, organizaciones científicas, academia.**
- j. **Comunidades indígenas:** Los mensajes deben acoplarse a la realidad de cada comunidad, de igual forma los productos comunicacionales, respetando las particularidades de este grupo.
- k. **Sector rural:** Determinar canales de comunicación basados en su nivel de educación, cultura y la distancia entre los puntos habitados.
- l. **Ciudadanía que rechaza la vacuna:** Ciudadanía que, por miedo, desconocimiento o por noticias falsas (fake news) rechazan las vacunas.
- m. **Ciudadanía en general:** Personas que esperan la vacuna y quieren ser parte de la vacunación en cuanto esté disponible.
- n. **Población migrante:** Encontrar canales y mensajes para que sean parte del Plan de Comunicación de Vacunación contra la COVID-19, sin discriminación.

- *Objetivo nacional de vacunación*

En base al estudio del número de personas aptas para recibir la vacuna en contra del COVID-19 dado el objetivo que se persigue de alcanzar la a la que se denominó inmunidad de rebaño (IR),

la cual se define como un escenario en donde los individuos necesarios de un colectivo de interés adquieren la inmunidad frente a la enfermedad infecciosa ya sea esta por vacunación o simplemente por haber contraído la enfermedad. Dicho procedimiento se presenta en caso de un brote de la enfermedad, ya que, al tener una mayor población inmunizada se reduce la probabilidad de que una persona que no tenga la enfermedad presente síntomas severos una vez translimitada dicha afección de otros individuos, hasta el punto de “bloquear la transmisión”. Estos procedimientos se sustentan en el cálculo de factores tales como: la rapidez de transmisión, intervalos de edad para grupos susceptibles y número de personas ya infectadas. Hasta ahora, en términos generales, este valor está entre el 50 y 75% de la población total (MSP, 2021, p. 4). Según criterios técnicos para la estimación del tiempo en el que se pretende que la población objetivo esté vacunada se basan en las siguientes generalidades (MSP, 2021, p. 4):

- a. Fatalidad
- b. Intervalos de edad de grupos en los que se presenta la mayor carga viral, discapacidad y enfermos
- c. Producción de una vacuna contra la afección.
- d. Afectación de la enfermedad en el ámbito económico y la calidad de vida de los ciudadanos.

Tanto en Ecuador como en la región sudamericana el IR está en 60%, sin embargo, este indicador es dinámico, sujeto a permanente revisión y modificación. Por ello el tiempo que se sugiere para vacunar al 60% de la población iría desde enero a octubre del 2021.

Como complemento es importante mencionar que no se recomienda vacunar a embarazadas, mujeres que planean embarazarse en los siguientes tres meses y madres lactantes, así como en personas con condiciones discapacitantes o con trasplantes, esto es por la falta de información de estudios científicos sobre esta población, y no se considera segura la vacuna en estos grupos.

En el caso de personas que se han recuperado de COVID-19, no se recomienda vacunar sugiriendo que dicha decisión debe posponerse a fecha posterior.

Con todas estas premisas, el objetivo de vacunación se resume en la siguiente tabla:

Tabla 4-1: Objetivo nacional de vacunación en el Ecuador

Objetivo Nacional de Vacunación	Ecuador
Población total del Ecuador	17.8 millones
60% para alcanzar inmunización	10.5 millones
Dosis necesarias	21 millones de dosis

Fuente: (MSP, 2021, p. 5).

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2021.

- *Disponibilidad de vacunas*

Hasta la fecha Ecuador realizó la compra de 20.117.155 millones de dosis de vacunas contra COVID-19, esto gracias al liderazgo del Ministerio de Salud Pública que implementó mecanismos de gestión para la adquisición de estas, el convenio y adquisición de estas fue con 4 farmacéuticas en donde seis millones corresponden a la farmacéutica Pfizer, cinco millones a AstraZeneca Oxford, siete millones a Covax Facility – OMS, y dos millones a Sinovac.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Tipo de la investigación

Por el método de investigación cuantitativa ya que se va a trabajar con datos recolectados a través del Ministerio de Salud Pública respecto a los casos confirmados del COVID-19 en el Ecuador, según el objetivo aplicada, por el hecho de realizar un análisis estadístico mediante la utilización de modelos matemáticos, según el nivel de profundización en el objeto de estudio exploratoria, ya que se va a indagar el impacto de la pandemia en el país, según la manipulación de variables no experimental porque la información es secundaria, es decir, el conjunto de datos fue obtenido a través de la página del MSP, según el tipo de inferencia inductiva, según el periodo temporal transversal ya que como se dijo anteriormente se trabajó con datos ya recolectados por otras entidades (Hernández Sampieri et al. 2014) (Patten & Newhart, 2018).

2.2. Diseño de la investigación no experimental

Se utilizará un método de investigación cuantitativo y según la manipulación de variables es un diseño no experimental (Berger et al. 2018).

2.2.1. Localización de estudio

Ecuador se encuentra en el continente americano en la parte de Sudamérica, el país cuenta con 24 provincias las cuales van a ser estudiadas.



Ilustración 1-2: Mapa del Ecuador

Fuente: https://satellites.pro/mapa_de_Ecuador#-2.026555,-78.365479,7.

2.2.2. Población de estudio

Se tomó en cuenta la información correspondiente al periodo desde el 13 de marzo del 2020 hasta el 31 de diciembre del 2021 registrada en las infografías proporcionadas por el Ministerio de Salud Pública del Ecuador correspondientes a las 24 provincias del territorio nacional.

2.2.3. Método de muestreo

No se tiene un método de muestreo establecido lo cual permitirá que el investigador tome en consideración la muestra de análisis a partir de los datos existentes de casos confirmados por COVID-19, información proporcionada por el Ministerio de Salud Pública.

2.2.4. Tamaño de la muestra

Es importante conocer que se tomó en cuenta el periodo del 13 de marzo del 2020 al 31 de diciembre del 2021 para realizar el análisis descriptivo y exploratorio mientras que para la aplicación de cada uno de los modelos tan solo se utilizó los 31 días del mes de diciembre del 2021.

2.2.5. *Técnica de recolección de datos*

La información adquirida proviene del Ministerio de Salud Pública el cual presenta informes diarios que contienen y proporcionan el número de casos de contagios por COVID-19 en cada una de las 24 provincias del país.

2.2.6. *Identificación de variables*

- Número total de la población del Ecuador
- Incidencia diaria de contagios por COVID-19 en el Ecuador.

2.2.7. *Modelo estadístico*

Adentrándose en el desarrollo del presente proyecto de investigación, como punto eje de la investigación se va a realizar un análisis descriptivo y exploratorio de los datos extraídos del Ministerio de Salud Pública para que desde el inicio se tenga una noción clara del aporte que hacen cada una de las variables dentro del estudio, una vez hecho dicho análisis se procederá mediante el modelo SIR a caracterizar la evolución del coronavirus en el país mediante la utilización de modelos matemáticos, de la misma manera se trabajará con el modelo Log-lineal para que posteriormente los dos modelos se puedan contrastar, una vez contrastada dicha información se procederá a dar las conclusiones acerca del objetivo que tienen dicha investigación y con ello poder mejorar de una buena manera la lectura de los datos otorgados por la entidad antes mencionada. Los modelos planteados y descritos anteriormente vienen dados por las siguientes representaciones:

Modelo log-lineal

$$\log(y) = b + rt$$

Modelo SIR

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\beta IS}{N}, \quad S(0) = S_0 \geq 0$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\beta IS}{N} - \gamma I, \quad I(0) = I_0 \geq 0$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I, \quad R(0) = R_0 \geq 0$$

2.2.8. Planteamiento de la hipótesis

Hipótesis: El modelo Log-lineal es el más adecuado para modelar la incidencia de contagios por COVID-19.

2.2.9. Variables en estudio

2.2.9.1. Operacionalización de variables

Tabla 1-2: Operacionalización de variables

Nombre de la variable	Descripción	Tipo de variable	Escala de medición	Categoría o intervalo
N	Número total de la población del Ecuador	Cuantitativa	Razón	$[0, +\infty[$
I/y	Incidencia diaria de contagios por COVID-19 en el Ecuador.	Cuantitativa	Razón	$[0, +\infty[$

Elaborado por: Toledo, Jilyan, 2021.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Análisis exploratorio

Para el siguiente estudio la información se obtuvo de infografías que se publican diariamente por el Ministerio de Salud Pública del Ecuador, en las cuales se reporta el número de casos de contagios por COVID-19 considerando un periodo de tiempo desde el 13 de marzo del 2020 hasta el 31 de diciembre del 2021. El siguiente gráfico representara la incidencia diaria de contagios por COVID-19 durante el tiempo mencionado anteriormente, con el objetivo de observar las tendencias producidas durante este periodo de tiempo.

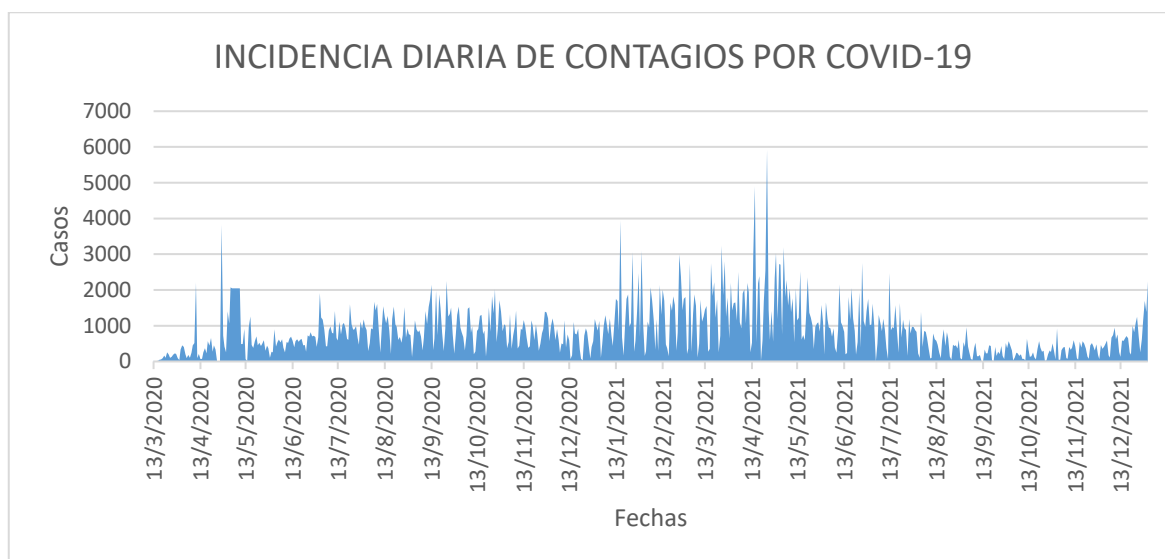


Ilustración 1-3: Incidencia diaria de contagios por COVID-19 en el Ecuador.

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

Incidencia acumulada mensual de contagios a nivel nacional periodo 2020-2021.

Ecuador al ser uno de los países más afectados por la pandemia del virus denominado COVID-19 nos vemos en la necesidad de analizar la evolución, incidencia y la manera en la que afecta el virus a la población ecuatoriana. La toma de medidas de contingencia y algunas estrategias para evitar que el país entre en crisis sanitaria ha ocasionado que de alguna manera el virus no afecte de manera brutal a la población sin embargo estas medidas no eludieron que los contagios se redujeran por lo que el Ministerio de Salud Pública se ha encargado de presentar información pertinente a diario tanto de los casos de contagios como la cantidad de fallecidos, información

que será utilizada para el estudio que se pretende realizar en esta investigación. Dicho esto, lo primero que se realiza es un estudio de la situación del país con respecto al número de contagios por COVID-19 en el Ecuador considerando el periodo 2020-2021.

Tabla 1-3: Incidencia acumulada mensual de contagios en el Ecuador

Pandemia en Ecuador 2020-2021		
	Marzo	2.302
	Abril	16.404
	Mayo	30.142
	Junio	47.386
	Julio	76.399
2020	Agosto	104.811
	Septiembre	137.047
	Octubre	168.192
	Noviembre	192.685
	Diciembre	212.512
	Enero	250.828
	Febrero	286.155
	Marzo	328.755
	Abril	381.862
	Mayo	426.037
	Junio	458.504
	Julio	487.372
2021	Agosto	501.743
	Septiembre	510.177
	Octubre	517.262
	Noviembre	527.333
	Diciembre	549.418

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

En el periodo analizado, Ecuador cuenta con más de 500 mil contagios a nivel nacional, tomando en cuenta que apenas el primer mes del inicio de la pandemia se contó con tan solo 2.302 casos de contagios a nivel nacional, las estrategias que se aplicaron en el país no fueron suficiente para detener a este virus ya que su evolución va de prisa y más ahora ya que muchas de las medidas que se adaptaron al principio ya no existen evitando que las personas no socialicen y de cierta forma que cumplan con el distanciamiento.

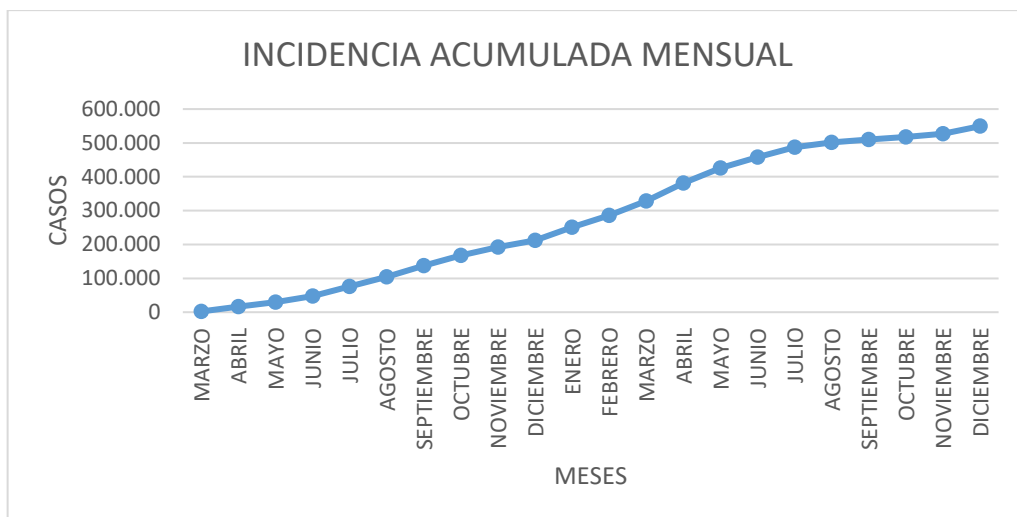


Ilustración 2-3: Incidencia acumulada mensual de contagios por COVID-19 en el Ecuador periodo 2020-2021.

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

Analizando el grafico y considerando que la incidencia acumulada de contagios es claramente exponencial ya que los casos siguen aumentando conforme pasa el tiempo se observa que en ninguna parte del periodo analizado la cantidad de contagios se mantuvo lineal sin ni siquiera darnos una esperanza de que tal vez la pandemia terminara en algún momento.

Incidencia mensual de contagios a nivel nacional periodo 2020-2021

Una vez analizada la evolución de contagios en el Ecuador, se estudiará la incidencia mensual de casos con el objetivo de conocer cuál fue el mes más representativo en contagios para cada uno de los años.

Tabla 2-3: Incidencia mensual de contagios a nivel nacional

Pandemia 2020-2021		
2020	Marzo	2.302
	Abril	14.102
	Mayo	13.738
	Junio	17.244
	Julio	29.013
	Agosto	28.412
	Septiembre	32.236
	Octubre	31.145
	Noviembre	24.493
	Diciembre	19.827
2021	Enero	38.316

Febrero	35.327
Marzo	42.600
Abril	53.107
Mayo	44.175
Junio	32.467
Julio	28.868
Agosto	14.371
Septiembre	8.434
Octubre	7.085
Noviembre	10.071
Diciembre	22.085

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

Mediante la tabla anterior se conoce que para el año 2020 el mes con más incidencia de contagios hasta finalizar el mismo fue el mes de septiembre con 32.236 casos mientras que para el año 2021 el mes más representativo en el número de contagios confirmados se da en abril con 53.107.

Tabla 3-3: Análisis descriptivo

Análisis descriptivo de contagios por covid-19	
Total	549.418
Media	24.973,55
Mediana	2.6452,5
Moda	#N/A
Desviación estándar	13.323,22
Varianza de la muestra	177.508.279
Curtosis	-0,56813088
Coefficiente de asimetría	0,21669573
Rango	5.0805
Mínimo	2.302
Máximo	53.107

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

Ecuador después de una larga lucha contra la propagación del virus al finalizar el año 2021 tuvo un total de 549.418 casos de contagios por COVID-19, en promedio mensual hubo 24.973,55 contagios, tomando en cuenta que durante la pandemia en el periodo 2020-2021 hubo un mínimo de 2.302 contagios los cuales se dieron al primer mes de la pandemia y un máximo de 53.107 contagios tan solo en el mes de abril. Además, presenta una asimetría negativa, es decir, los valores del número de contagios oscilan por debajo de la media. Y obteniendo una curtosis negativa de -0,568 lo que nos da una distribución platicúrtica.

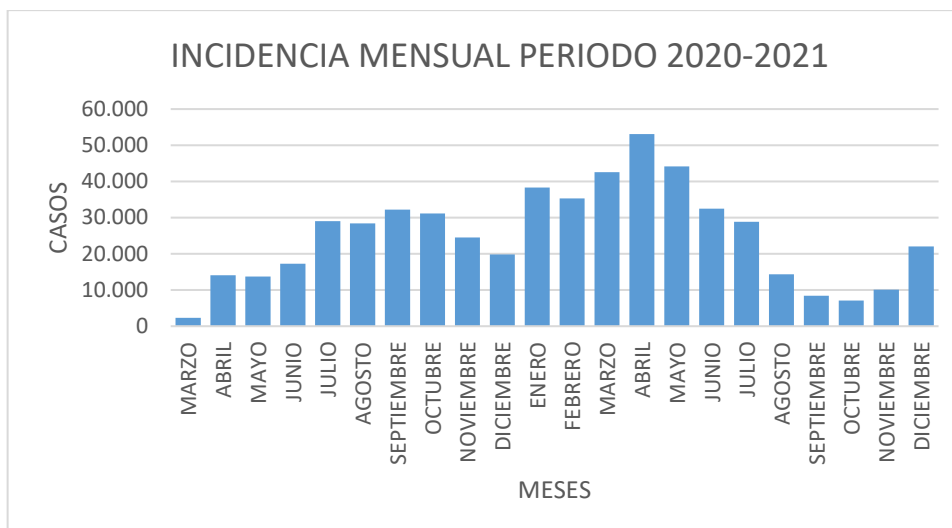


Ilustración 3-3: Incidencia mensual de contagios por COVID-19 en el Ecuador periodo 2020-2021.

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

Corroborando con la **Tabla 2-3**, al visualizar el **Ilustración 3-3** se observa que el mes con menos casos de contagios viene siendo el mes de marzo del año 2020 sin embargo el gráfico presencia un pico el cual es el más representativo de la pandemia este se dio en el mes de abril del 2021 con una gran cantidad de contagios en el país, después de esto se ve que poco a poco el número de casos disminuyó de manera significativa en el mes de octubre del 2021 pero nuevamente los contagios aumentaron en el mes de noviembre y así también en diciembre dándonos a entender que se podría obtener un rebrote del virus si la población no cumple con las medidas de contingencia.

Incidencia de contagios por provincia en el periodo 2020-2021

El número de contagios por provincia es importante en este estudio ya que con el mismo veremos cuál de todas las 24 provincias ecuatorianas fueron las más afectadas por la pandemia, considerando la cantidad total de contagios al finalizar el año 2021.

Tabla 4-3: Incidencia de contagios por provincia en el periodo 2020-2021

Provincias del Ecuador	Número de contagios total
Azuay	29.953
Bolívar	7.694
Cañar	7.030
Carchi	10.095
Chimborazo	9.704

Cotopaxi	12.888
El oro	25.822
Esmeraldas	10.376
Galápagos	1.551
Guayas	78.498
Imbabura	18.212
Loja	19.008
Los ríos	13.805
Manabí	37.094
Morona Santiago	7.479
Napo	4.627
Orellana	4.221
Pastaza	3.932
Pichincha	202.606
Santa Elena	4.709
Santo domingo de los Tsachilas	13.226
Sucumbíos	6.828
Tungurahua	16.782
Zamora Chinchipe	3.278

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

Ecuador al poseer 24 provincias en todo su territorio presencia una variedad considerable con respecto a la incidencia de contagios por el virus, evidentemente esto se refleja en la tabla anterior dando a conocer y corroborando con reportes del Ministerio de Salud pública, que los lugares con mayor cantidad de contagios se dan en las provincias de Pichincha, Manabí y Guayas.

Tabla 5-3: Análisis descriptivo

Análisis descriptivo de contagios por covid-19	
Total	549.418
Promedio	22.892
Error típico	8.478,94
Mediana	10.235,5
Moda	#N/A
Desviación estándar	41.538,19
Varianza de la muestra	1'725.421.396
Curtosis	16,55
Coficiente de asimetría	3,91
Rango	201.055
Mínimo	1.551
Máximo	202.606

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

Como se puede observar la provincia con mayor cantidad de contagios por el virus al finalizar el año 2021 se da en “Pichincha”, y la menor cantidad de contagios por COVID-19 está ubicado en la provincia de las Galápagos. Se aprecia que un número promedio de contagios por provincia hasta la fecha corte fue de 22.892, a nivel provincial se presencié una curtosis de 16,55 tratándose de una distribución leptocúrtica y un coeficiente de asimetría de 3,91 la cual es negativa es decir que los valores de la cantidad de contagios se encuentran por debajo de la media.

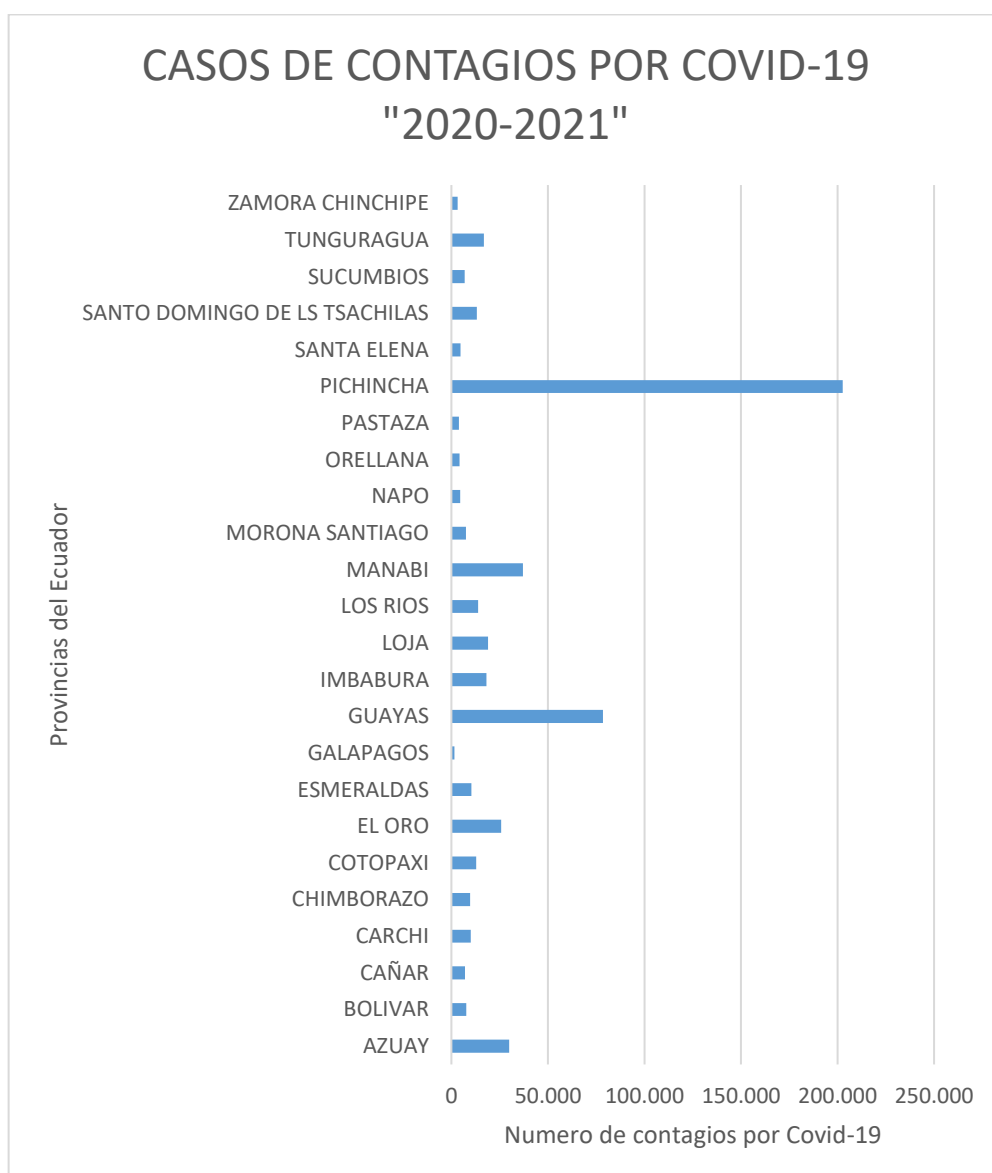


Ilustración 4-3: Diagrama de barras del número de contagios por COVID-19 en las provincias del Ecuador con fecha corte 31 de diciembre del 2021.

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

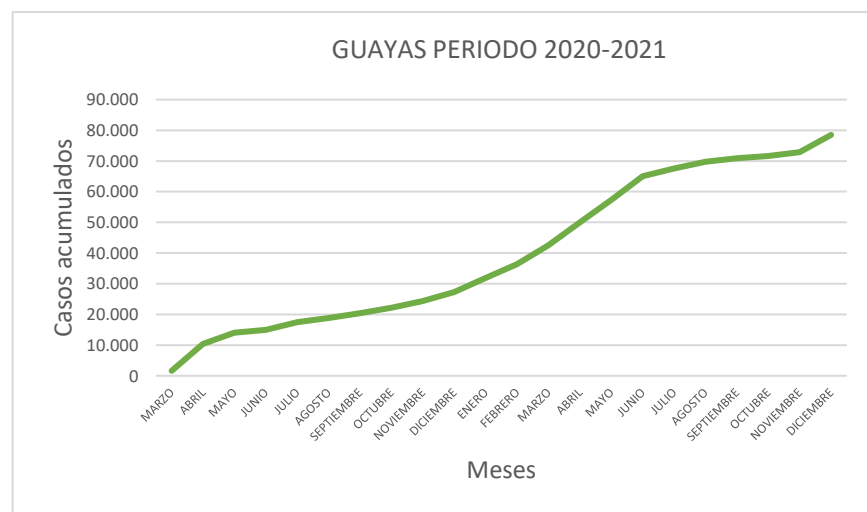
El gráfico es claro ya que representa la evolución e incidencia del virus en cada provincia del Ecuador al finalizar el año 2021, con lo cual podemos decir que el menor número de contagios

por el virus viene siendo en la provincia de Galápagos con 1.551 casos y la provincia de Pichincha con el mayor número de contagios número estimando 202.606 casos hasta finalizar el año 2021 dándonos a entender que la capital del país fue una de las provincias más afectadas por el virus en el ámbito sanitario.

Dadas las conclusiones anteriores y al tener una idea más clara de la evolución de contagios por COVID-19 en las provincias, se tomó la decisión de estudiar netamente a aquellas provincias que se vieron más afectadas por el virus. Se realizaron gráficos de cada una de las mismas, los cuales presentan el número acumulado de contagios en todos los 22 meses de pandemia del periodo 2020-2021.

Incidencia acumulada mensual de contagios por provincia

En este apartado tomando en cuenta lo concluido antes, se considerará solamente a aquellas provincias que representan el mayor número de contagios durante el periodo de pandemia 2020-2021.



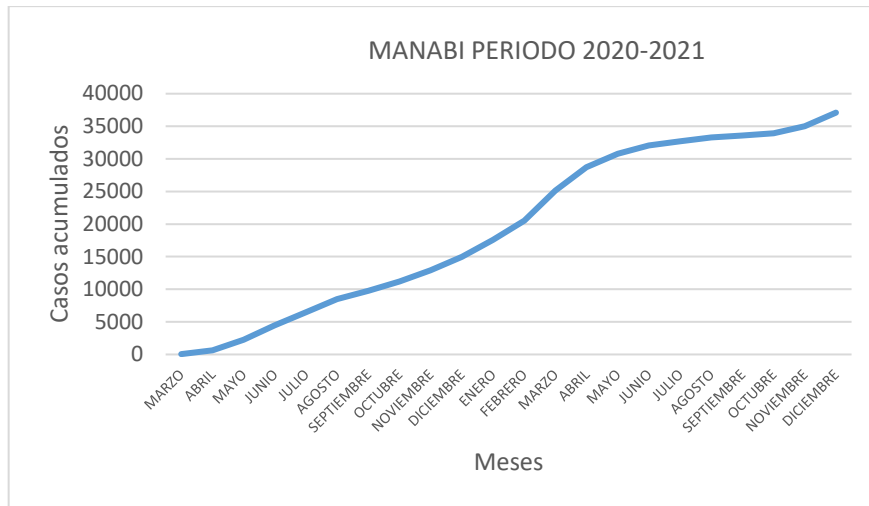


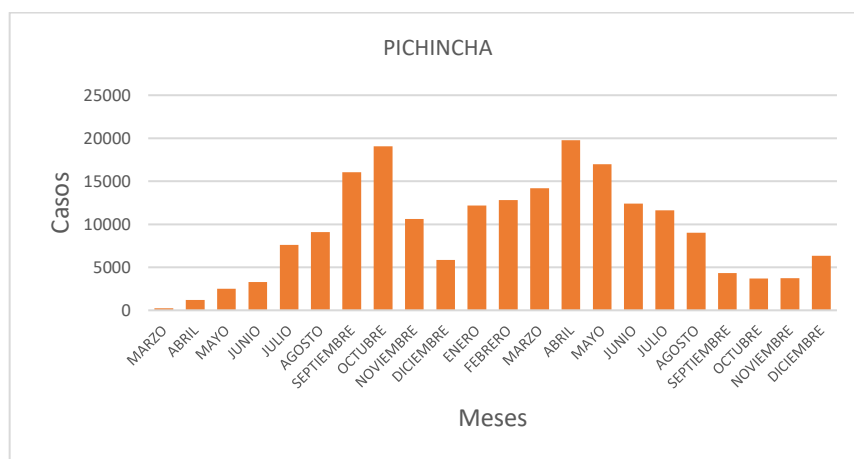
Ilustración 5-3: Incidencia acumulada mensual de contagios en Pichincha, Guayas y Manabí.

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022

En las gráficas se aprecia que el número de infectados acumulados, aumenta exponencialmente en las provincias, ya que, durante el periodo de tiempo electo, ya no existen medidas de confinamiento que controlen la pandemia.

Incidencia mensual de contagios por provincia

Para el estudio no está demás dar a conocer cuál fue la incidencia mensual de las provincias ecuatorianas tomadas en cuenta, las cuales las representaremos en los siguientes gráficos:



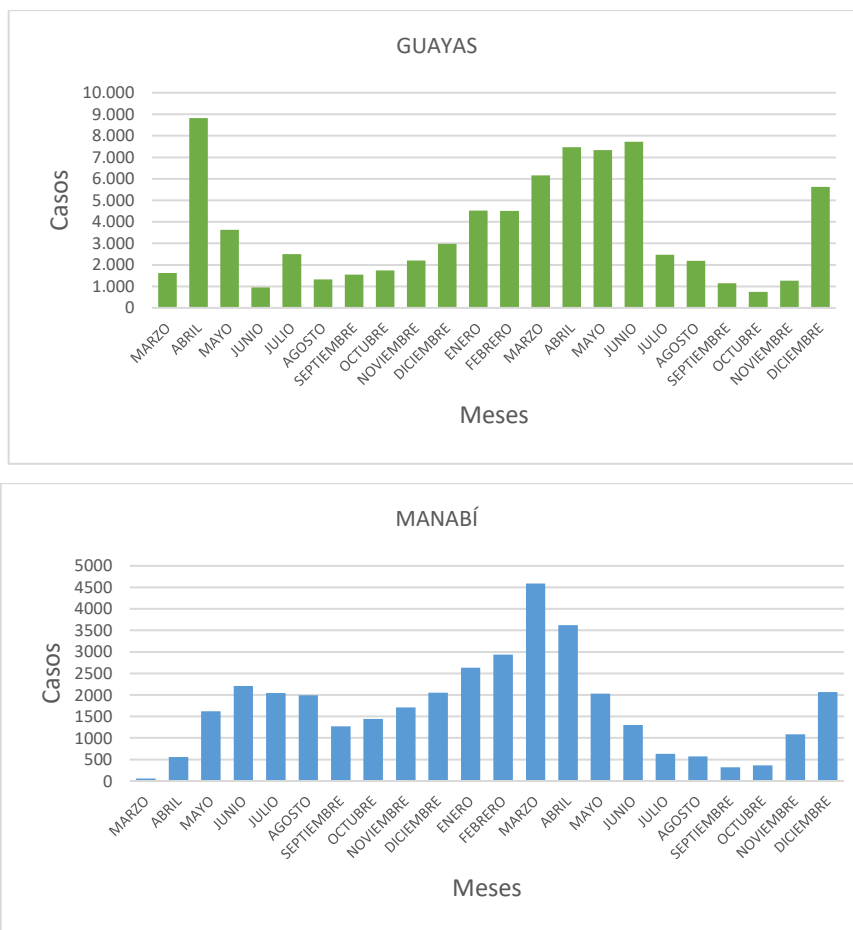


Ilustración 6-3: Incidencia mensual de contagios en Pichincha, Guayas y Manabí en el periodo 2020-2021.

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

Para el periodo de estudio seleccionado se puede observar que, en las provincias escogidas aquellos meses en los cuales se observó mayor incidencia de contagios no coinciden entre provincias ya que para la provincia de Pichincha los mayores meses de incidencia se dan en octubre del 2020 y abril del 2021, mientras que para Guayas los picos se observan en los meses de abril del 2020 y junio del 2021, para Manabí en cambio los meses con más contagios se dan en junio del 2020 y en marzo del 2021. No existe algún patrón semejante entre provincias sin embargo cada una presenta picos representativos de contagios excesivos, así como muy bajas cantidades de contagios en algún mes del periodo electo.

Incendencia acumulada diaria de contagios a nivel nacional del mes de diciembre del 2021

Un elemento importante e indispensable para el estudio radica en identificar la incidencia diaria tanto a nivel nacional como provincial por ello, el siguiente análisis se centra específicamente en un periodo de tiempo corto tal como es el último mes del periodo seleccionado, este es diciembre.

Tabla 6-3: Incidencia acumulada de contagios a nivel nacional de diciembre 2021

Incidencia acumulada diaria en el Ecuador "Diciembre"	
Fecha	Casos
1/12/2021	527688
2/12/2021	528101
3/12/2021	528590
4/12/2021	529174
5/12/2021	529349
6/12/2021	529456
7/12/2021	530126
8/12/2021	530865
9/12/2021	531807
10/12/2021	532430
11/12/2021	533190
12/12/2021	533457
13/12/2021	533588
14/12/2021	534176
15/12/2021	534757
16/12/2021	535414
17/12/2021	536129
18/12/2021	536776
19/12/2021	537032
20/12/2021	537130
21/12/2021	538218
22/12/2021	539037
23/12/2021	540122
24/12/2021	541368
25/12/2021	542082
26/12/2021	542341
27/12/2021	542960
28/12/2021	544103
29/12/2021	545800
30/12/2021	547186
31/12/2021	549418

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

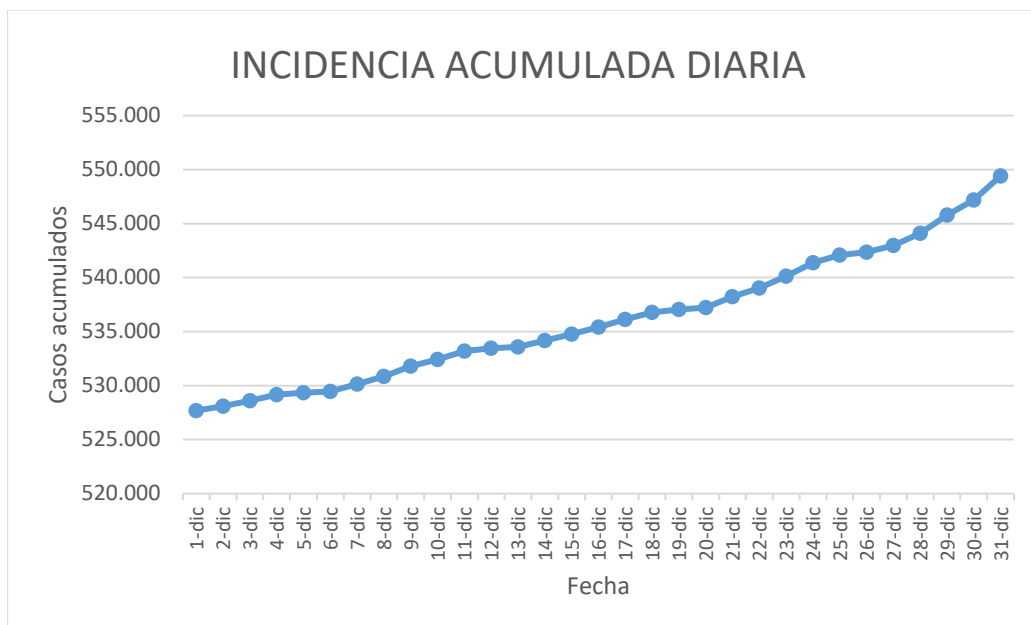


Ilustración 7-3: Incidencia acumulada a nivel nacional para el período del 01/12/2021 al 31/12/2021.

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

Al centrarnos tan solo en el mes de diciembre finalizando el año 2021 podemos ver que la tendencia que tiene la gráfica refiriéndonos a la cantidad acumulada de contagios por COVID-19 es exponencial, es claro que los casos no se detienen a pesar de las medidas de contingencia y el plan de vacunación que se implementó.

Incidencia diaria de contagios a nivel nacional del mes de diciembre del 2021

Lo siguiente y no menos importante es observar la incidencia diaria de contagios y un análisis descriptivo del mismo:

Tabla 7-3: Incidencia diaria de contagios a nivel nacional de diciembre 2021

Incidencia diaria en el Ecuador "Diciembre"	
Fecha	Casos
1/12/2021	355
2/12/2021	413
3/12/2021	489
4/12/2021	584
5/12/2021	175
6/12/2021	107
7/12/2021	670
8/12/2021	739

9/12/2021	942
10/12/2021	623
11/12/2021	760
12/12/2021	267
13/12/2021	131
14/12/2021	588
15/12/2021	581
16/12/2021	657
17/12/2021	715
18/12/2021	647
19/12/2021	256
20/12/2021	188
21/12/2021	998
22/12/2021	819
23/12/2021	1.085
24/12/2021	1.246
25/12/2021	714
26/12/2021	259
27/12/2021	619
28/12/2021	1.143
29/12/2021	1.697
30/12/2021	1.386
31/12/2021	2.232

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

En la **Tabla 7-3** se puede apreciar que, durante todo el mes de diciembre, el día en el que menos casos confirmados hubo es el día 6 de diciembre del 2021 mientras que el día con más contagios en este periodo se dio el 31 de diciembre del 2021.

Tabla 8-3: Análisis descriptivo

Análisis descriptivo de contagios por covid-19	
Total	22.085
Media	712,42
Error típico	84,96
Moda	#N/A
Desviación estándar	473,04
Varianza de la muestra	223.763,918
Curtosis	2,52
Coficiente de asimetría	1,35
Rango	2125
Mínimo	107
Máximo	2.232

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

Al finalizar el año 2021 se observa que tan solo en el mes de diciembre se tuvo un total de 22.085 contagios a nivel nacional la cual fue una cifra muy elevada, esto se debe a que en Ecuador el mes de diciembre contiene muchos feriados nacionales tanto para fiestas navideñas como para fiestas de fin de año. Quizás esta fue la razón por la que existe una cantidad tan elevada de contagios. Durante este mes se obtuvo un máximo de 2.232 contagios los cuales se dieron el 31 de diciembre del 2021 y un mínimo de 107 contagios ubicado en los primeros días de diciembre, además se obtuvo una curtosis de 2,52 la cual nos da a entender que se trata de una distribución leptocúrtica.

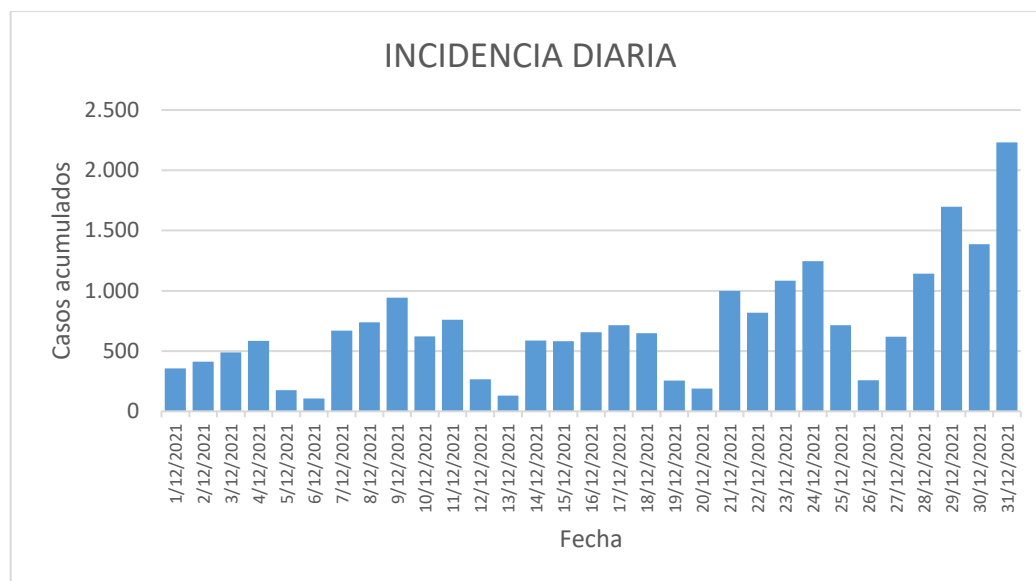


Ilustración 8-3: Incidencia diaria de contagios a nivel nacional en diciembre del 2021.

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

El gráfico presentado netamente del último mes del periodo electo representa la manera en la que incide los contagios diariamente aquí se observa que existen días en los cuales hay cantidades muy bajas de contagios mientras que en otros días existen cantidades muy altas, es notorio que este mes contiene un patrón cada cierto tiempo de la incidencia de casos, este es muy interesante ya que este patrón tiene varios picos con un sube y baja constante del número de contagios.

Incidencia por provincia del mes de diciembre del 2021

Ahora es necesario conocer cuál fue la incidencia netamente en el mes de diciembre para cada una de las provincias, esto con el objetivo cuál de estas llegó a ser la más afectada por el virus. Esto es muy importante ya que el estudio se enfocará solamente en aquellas provincias en las cuales hubo una elevada incidencia de contagios en el mes escogido.

Tabla 9-3: Incidencia por provincia en diciembre del 2021

Provincias del Ecuador	Número de contagios total
Azuay	602
Bolívar	323
Cañar	322
Carchi	68
Chimborazo	277
Cotopaxi	542
El oro	1348
Esmeraldas	324
Galápagos	39
Guayas	5623
Imbabura	315
Loja	537
Los ríos	471
Manabí	2070
Morona Santiago	400
Napo	318
Orellana	175
Pastaza	89
Pichincha	6344
Santa Elena	110
Santo domingo de los	
Tsachilas	605
Sucumbíos	457
Tungurahua	601
Zamora Chinchipe	125

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

La tabla anterior representa el número total de contagios que hubo en el mes de diciembre para las 24 provincias del Ecuador, en donde se aprecia que tres de estas resaltan de entre todas ya que dan a relucir cantidades altas de casos confirmados por COVID-19.

Tabla 10-3: Análisis descriptivo

Análisis descriptivo de contagios por covid-19	
Total	22.085
Promedio	920,208
Error típico	331,25
Mediana	362
Moda	#N/A
Desviación estándar	1622,780
Varianza de la muestra	2'633.417,56
Curtosis	7,63

Coefficiente de asimetría	2,88
Rango	6305
Mínimo	39
Máximo	6.344

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

En todo el mes de diciembre se presenciaron un total de 22.085 de contagios a nivel nacional lo cual es bastante en comparación de otros meses, en promedio se observa que hubo 920 contagios por provincia, un mínimo de 39 casos confirmados en alguna de las provincias y por último un máximo de 6.344 de contagios por COVID-19 en otra de las provincias analizadas.

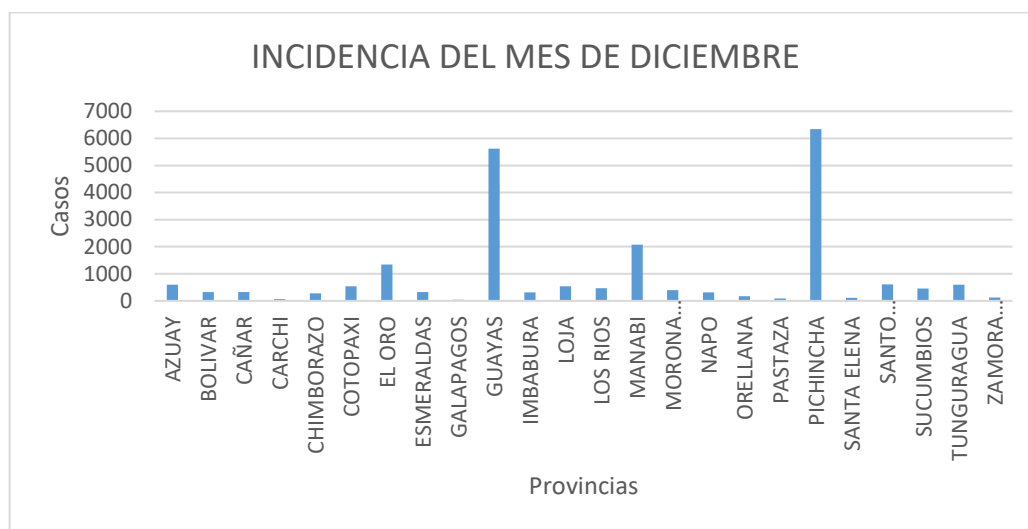


Ilustración 9-3: Incidencia por provincia en el mes de diciembre del 2021.

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

Todas y cada una de las provincias presentaron casos de contagios en todo el mes de diciembre, es claro que en unas más que en otras sin embargo es importante reconocer que en las provincias de Pichincha, Guayas y Manabí se nota más la cantidad elevada de casos durante estos 31 días analizados, lo cual es relevante para el estudio a realizarse ya que las provincias presentan información de contagios con cantidades útiles para el análisis.

Incidencia acumulada diaria de contagios por provincia del mes de diciembre del 2021

Para observar cómo evolucionaron los contagios en cada una de las provincias representativas del apartado anterior durante el mes de diciembre del 2021 se presenta las siguientes graficas:

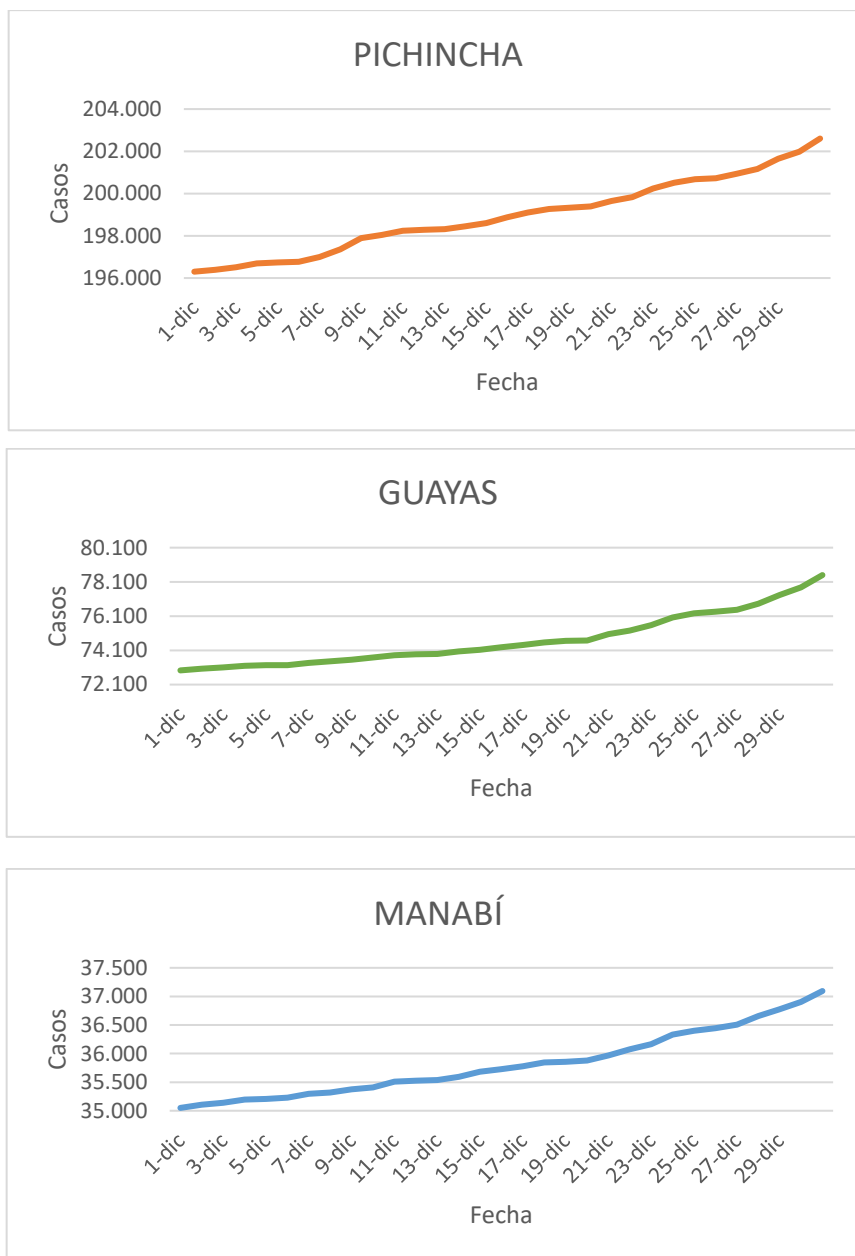


Ilustración 10-3: Incidencia acumulada de contagios en Pichincha del mes de diciembre 2021.

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

Para las tres provincias estudiadas se observa que estas tienen un crecimiento exponencial durante todo el mes, es evidente que los contagios no se detienen lo que evita que haya un crecimiento lineal y por ende que la incidencia deje de crecer con el pasar del tiempo.

Incidencia diaria de contagios por provincia del mes de diciembre del 2021

Las siguientes graficas presentaran la incidencia diaria de contagios por COVID-19 en cada una de las provincias Pichincha, Guayas y Manabí, solamente del mes de diciembre con el fin de observar si existe algún patrón semejante en las provincias.

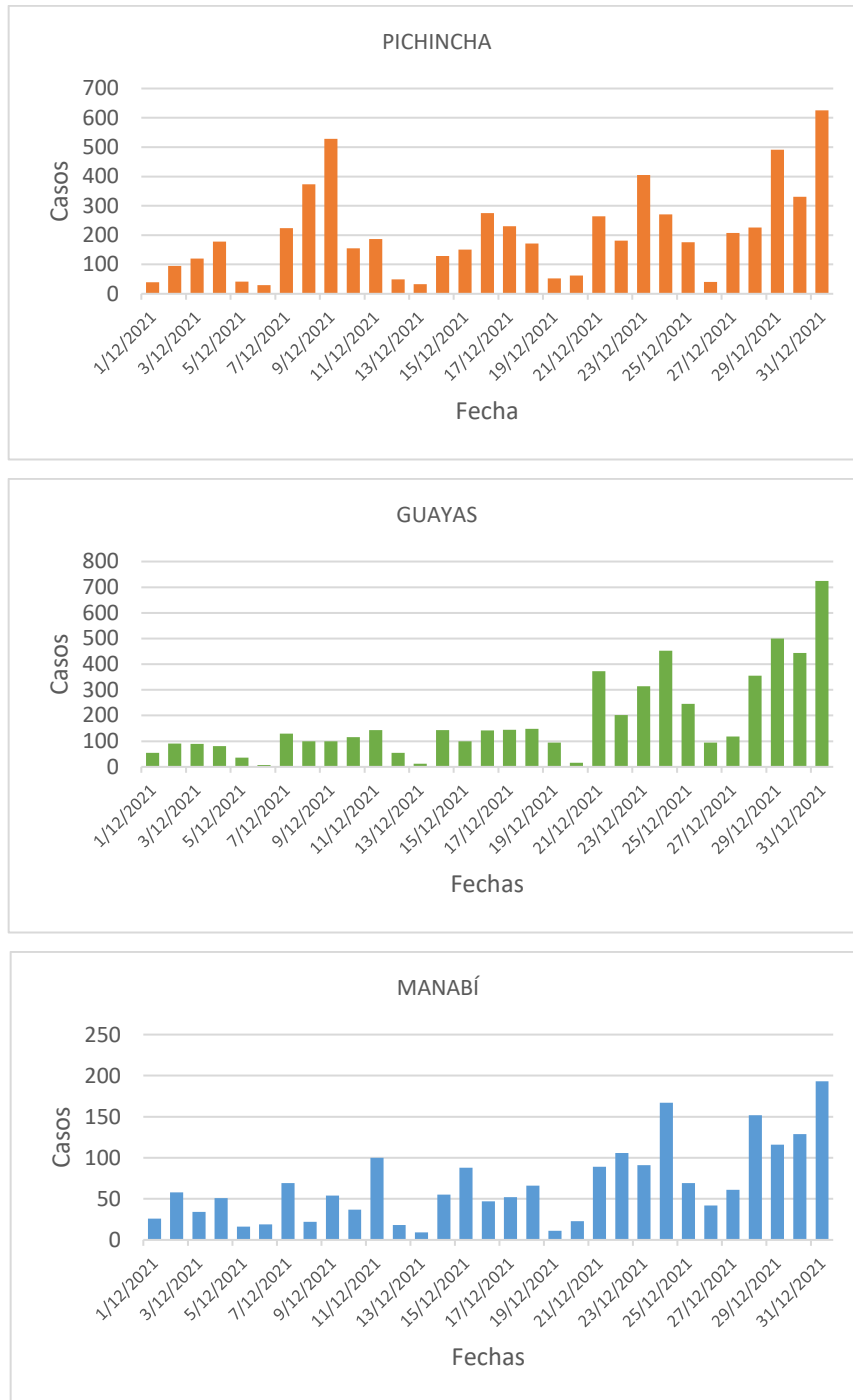


Ilustración 11-3: Incidencia diaria de contagios en Pichincha, Guayas y Manabí del mes de diciembre del 2021.

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

Al observar cada una de las provincias se puede apreciar que existen días durante el mes seleccionado en el cual hay 0 contagios, esto sucede casi en todas las provincias, así como existen días en los cuales los contagios aumentan radicalmente, ciertamente existe un patrón semejante entre las provincias cada cierto número de días dándonos algunos picos, sin embargo, en las tres provincias hay aumento de contagios en los últimos días del mes.

3.2. Análisis predictivo

Una vez finalizado el análisis descriptivo lo siguiente es proceder con el análisis de predicción para el cual se utilizará tan solo los últimos 31 días del año 2021. Para el análisis de estos datos se utilizó el software estadístico R mediante el cual se trabajó en la aplicación de dos modelos epidemiológicos matemáticos simples tales como son el modelo SIR y el modelo de regresión Log-lineal. Modelamos la incidencia diaria y acumulada de COVID-19 en el país y en sus 3 provincias con más número de contagios durante el periodo seleccionado, así también calculamos estimaciones de medidas de la infecciosidad de la enfermedad, incluido el número básico de reproducción.

3.2.1. Modelo de regresión log-lineal

Para entender el crecimiento epidemiológico del virus en Ecuador, se implementará uno de los métodos simples para modelar la incidencia de enfermedades infecciosas, el modelo de regresión Log-lineal para el cual fue importante utilizar tan solo datos de la incidencia diaria de contagios. Es relevante conocer que este tipo de brotes de enfermedades infecciosas normalmente se dividen en dos fases: la fase de crecimiento y la fase de descomposición. Dados los datos de muestra en este análisis, nos enfocaremos en la fase de crecimiento, mediante la cual obtendremos parámetros como la tasa de crecimiento y la tasa de duplicación.

Para ajustar el modelo Log-lineal, usamos el paquete “**incidence**” en Rstudio para obtener los valores óptimos de los parámetros y con estos modelar la incidencia de contagios por COVID-19 en el país y en las provincias de Pichincha, Guayas y Manabí.

3.2.1.1. Parámetros del modelo log-lineal

En el paquete “**incidence**”, la función “**fit**” estimará los parámetros de este modelo a partir de la incidencia diaria tanto a nivel nacional como por provincia. Al aplicarlo a los datos la codificación en Rstudio derivó estimaciones de la tasa de crecimiento r y el tiempo de duplicación para cada una de las localizaciones a las cuales se les aplicó el modelo, dándonos los siguientes resultados:

Tabla 11-3: Estimaciones de la tasa de crecimiento y tiempo de duplicación durante la fase de crecimiento en Ecuador, Pichincha, Guayas y Manabí.

Localización	Fecha del pico	Tasa de crecimiento	Tiempo de duplicación (Días)
Ecuador	31-diciembre-2021	0.0408 (0.01438, 0.06726)	16.97816 (10.30414, 48.19267)
Pichincha	31-diciembre-2021	0.04047 (0.007536, 0.07342)	17.12334 (9.440453, 91.97511)
Guayas	31-diciembre-2021	0.07089936 (0.035739, 0.10606)	9.776494 (6.535499, 19.3942)
Manabí	31-diciembre-2021	0.04838484 (0.020664, 0.076105)	14.32571 (9.107737, 33.5431)

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

Ya que se han estimado los parámetros de los modelos logarítmicos lineales ajustados para la incidencia diaria de Ecuador y sus provincias más representativas. Podemos observar que el pico de incidencia diaria se produce el mismo día (31 de diciembre de 2021) para todas las localizaciones. Curiosamente, la tasa de crecimiento y tiempo de duplicación es mayor y menor respectivamente para Guayas (0,0708 y 9,77), mientras que Ecuador y Pichincha comparten tasas de crecimiento y tiempos de duplicación similares (0,0408/0,0404 y 16,98/17,12) y para Manabí tiene una tasa de crecimiento de 0,048 y un tiempo de duplicación de 14,32. Vemos que en Guayas la tasa de crecimiento de contagios por COVID-19 es del 7% mientras que en la tasa de duplicación se entiende que para la provincia se estima 9 días hasta que la cantidad de casos sea el doble de la cantidad de la fecha considerada.

Al analizar el pico para el último mes del año 2021, periodo de tiempo estudiado a nivel nacional, se pudo observar que el mismo sucedió el día 31 en donde el país contó con 2.232 contagios por COVID-19, ahora en este caso el tiempo de duplicación viene siendo de 16.97 lo que nos da más o menos 17 días los cuales se debe esperar para observar que la incidencia de casos por contagios por el virus sean el doble de lo que son la fecha pico, sin lugar a duda la estimación es exacta ya que el día 17 de enero del 2022 se registró 4.448 contagios por COVID-19.

Como bien sabemos uno de los parámetros más representados al utilizar modelos epidemiológicos es la tasa básica de reproducción ya que con esta es más sencillo estimar e interpretar la evolución de un virus, y al investigar lo necesario para estimar la misma mediante la utilización del modelo Log-lineal se halló que un modelo epidémico utiliza una distribución de intervalo generacional o conocida como distribución de intervalo serial, que se define como “el tiempo entre el inicio de los síntomas en un caso primario y el inicio de los síntomas en un caso primario” y casos secundarios, los cuales son obtenidos de un estudio minucioso y más detallado de contagios por

COVID-19, esto para Ecuador no se encontró, por lo tanto en esta ocasión la tasa básica de reproducción no se obtuvo para el modelo Log-lineal.

Utilizando los parámetros estimados, el modelo ajustado se puede utilizar para estimar la trayectoria de la incidencia hasta el pico de incidencia en la fase de crecimiento. Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente el siguiente grafico representa la modelación de la incidencia diaria de contagios por COVID-19:

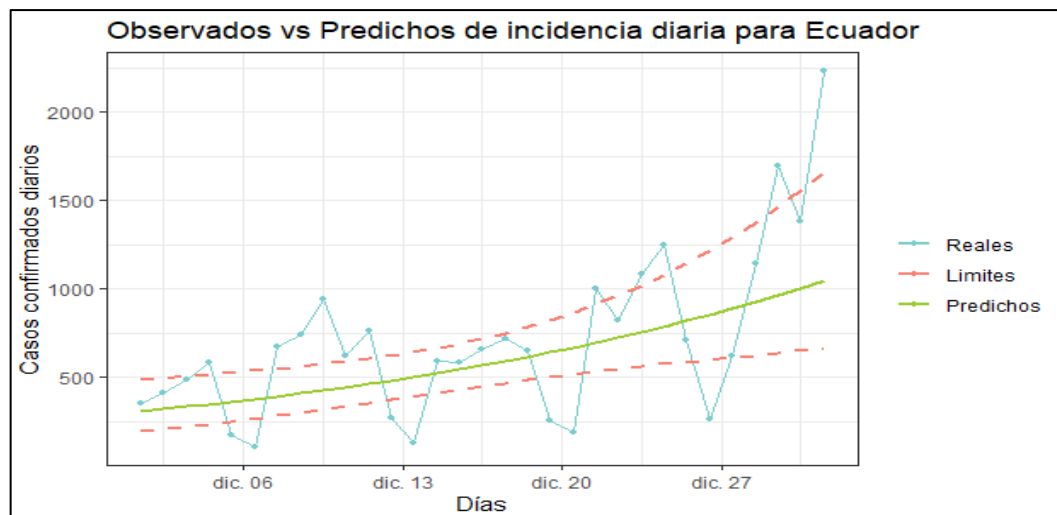


Ilustración 12-3: Incidencia observada (Reales) para Ecuador, y el modelo logarítmico lineal ajustado (Predichos) con los limites superior e inferior de los intervalos de confianza del 95% para su respectivo tiempo de análisis.

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

Al modelar la incidencia diaria a nivel nacional se pudo apreciar que, aunque esta es variada, debido a que algunos días posee casos de contagio confirmados por COVID-19 muy elevados, el modelo ajusta de la mejor manera intentado abarcar a la incidencia diaria dentro de los intervalos de confianza al 95%. Sin embargo, aunque el modelo Log-lineal permite modelar la incidencia diaria, en comparación con el modelo SIR no proporciona ninguna indicación sobre el número de individuos susceptibles o recuperados.

Ya que se analizó y modelo la incidencia del Ecuador, es importante recordar que existen provincias que resaltaron en el análisis descriptivo debido a sus números elevados de contagios por el virus durante toda la pandemia, es por ello por lo que se las considero para la implementación del modelo dándonos resultados como los siguientes.

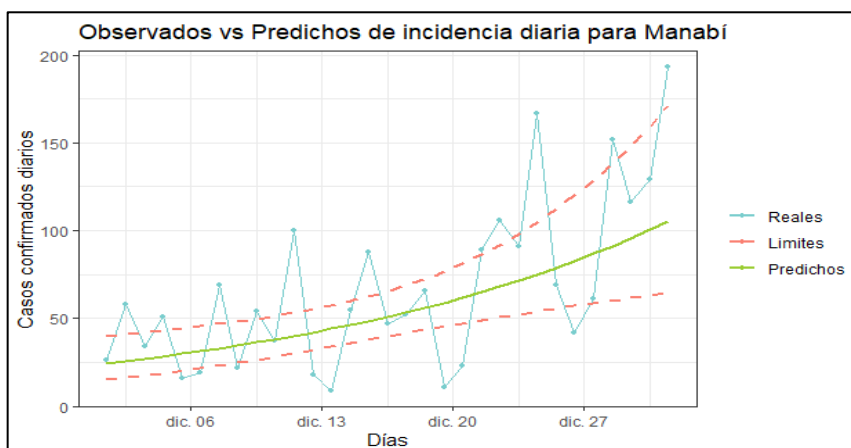
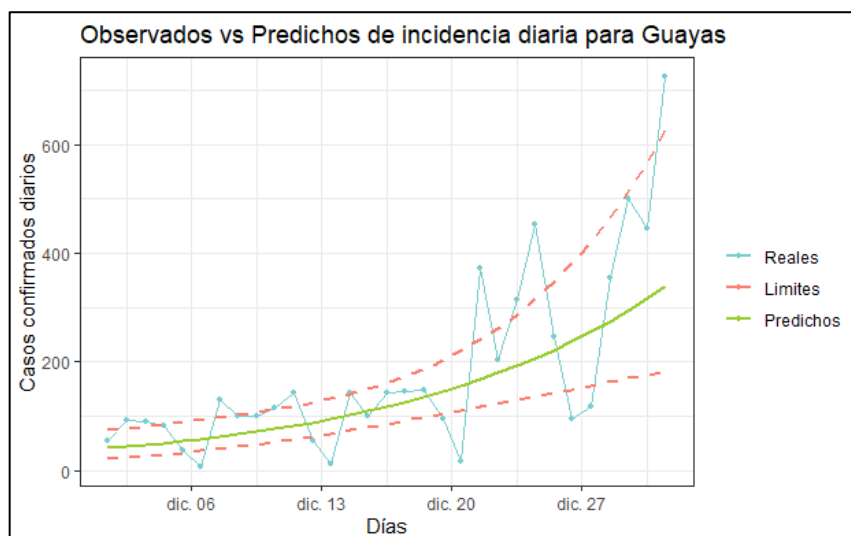
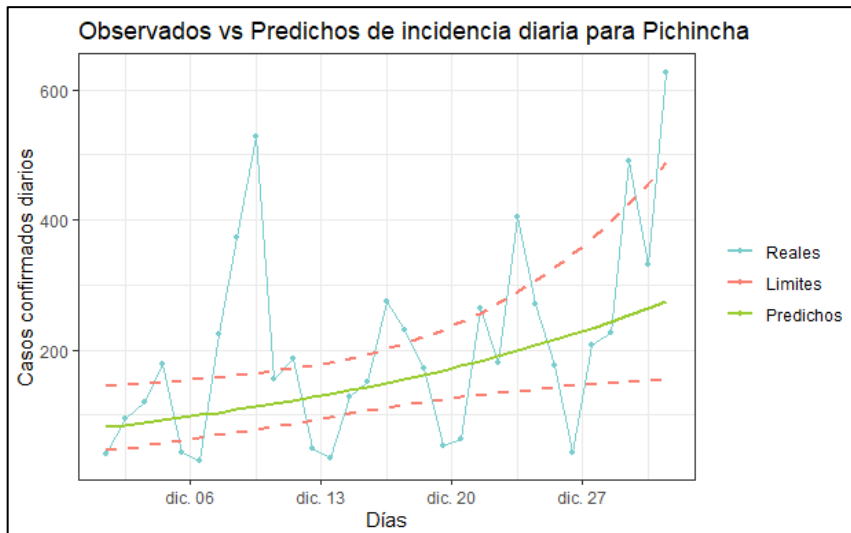


Ilustración 13-3: Incidencia observada (Reales) para las provincias Pichincha, Guayas y Manabí, y el modelo logarítmico lineal ajustado (Predichos) con los limites superior e inferior de los intervalos de confianza del 95% para su respectivo tiempo de análisis.

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

En la **Ilustración 13-3**, se puede ver que la incidencia diaria observada parece alcanzar inicialmente su punto máximo en los primeros días de diciembre tanto en Pichincha como en Manabí, lo que no pasa en Guayas ya que su primer punto máximo se da entre el 20 y 27 de diciembre antes de caer, pero luego en todos los casos aumenta a un pico más alto y su punto máximo en todo el mes al final de la fase de crecimiento viene siendo el 31 de diciembre del 2021. Los datos modelados en este caso no parecen subestimar a los datos reales, esto parece descartar el modelo logarítmico lineal ajustado, ya que el modelo ajustado predice por debajo de la incidencia diaria, pero esto es solo una hipótesis ya que en la comparación con el modelo SIR se apreciará de mejor manera cuál de los modelos se ajusta mejor a la realidad.

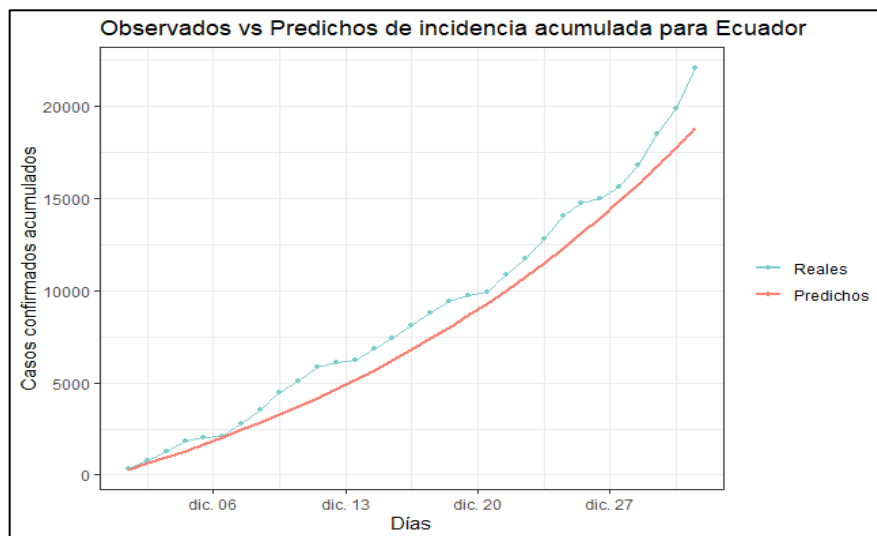


Ilustración 14-3: Incidencia acumulada observada (Reales) para Ecuador, y el modelo logarítmico lineal ajustado (Predichos).

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

Al observar el gráfico anterior se puede visualizar que el modelo de regresión Log-lineal a la hora de estimar obtiene valores muy acercados con respecto al número acumulado de contagios por Covid-19 a nivel nacional y al ser comparado con los valores reales pues se sobreentiende que el modelo es muy bueno modelando la incidencia diaria acumulada de contagios por Covid-19.

De igual manera en los siguientes gráficos se observa que el modelo es muy adecuado para modelar la incidencia diaria acumulada de contagios por Covid-19 en las diferencias provincias más representativas del Ecuador con respecto al número de contagios ya que esta estima valores muy acercados a los datos reales de contagios.

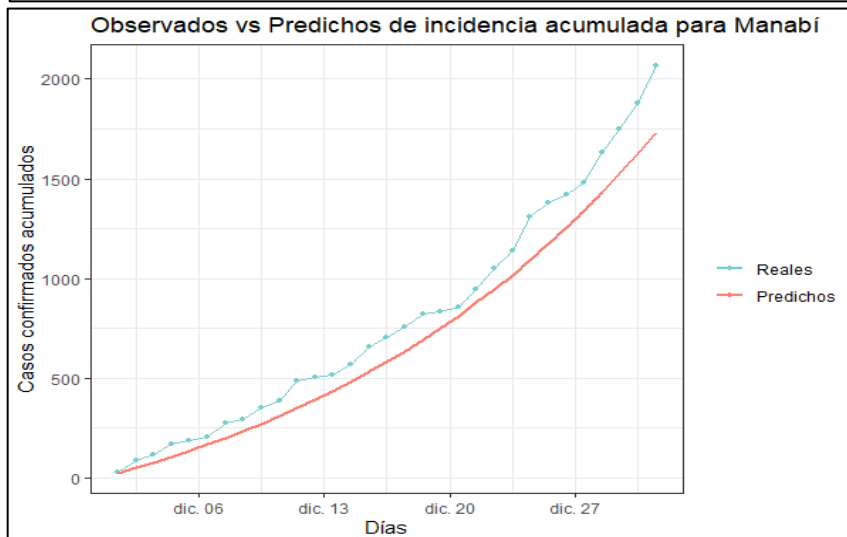
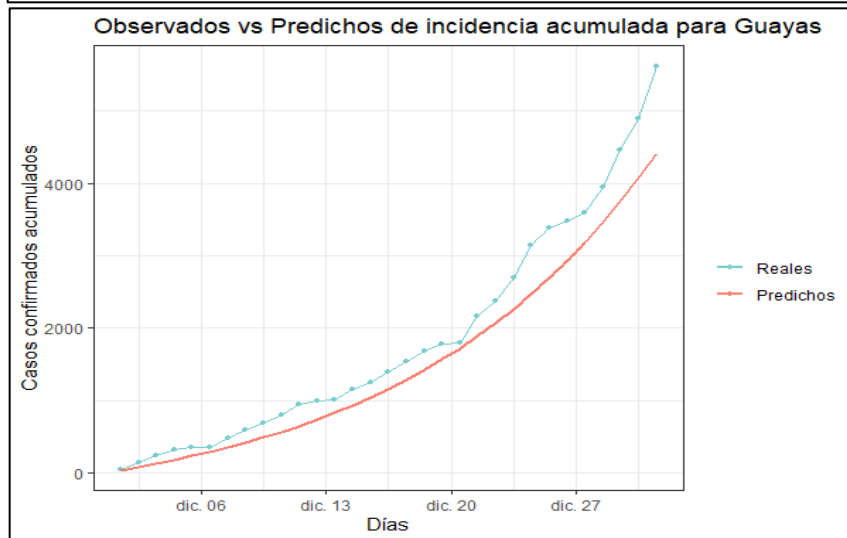
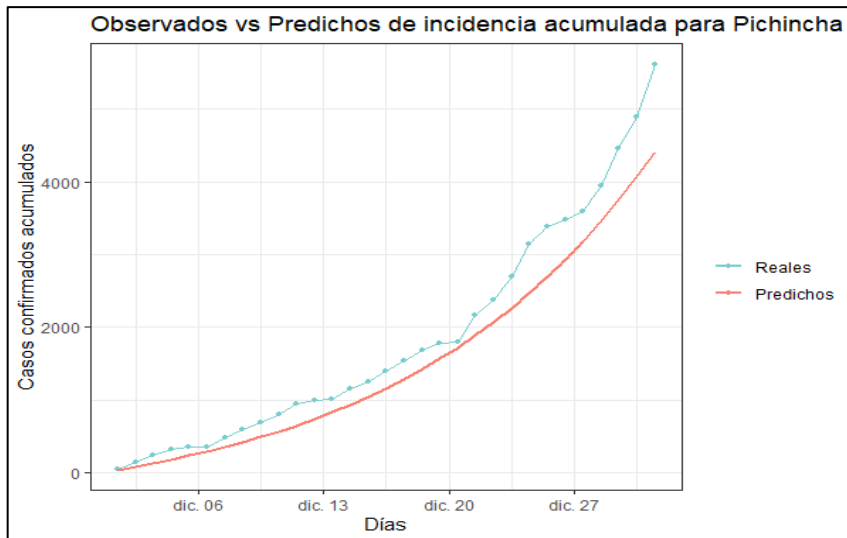


Ilustración 15-3: Incidencia acumulada observada (Reales) para las provincias Pichincha, Guayas y Manabí, y el modelo logarítmico lineal ajustado (Predichos).

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

3.2.2. *Modelo matemático SIR*

Al utilizar el modelo SIR se debe saber de antemano que tiene como particularidad el considerar un periodo de tiempo muy pequeño, desde que se produce el contagio hasta que el individuo pueda contagiar o transmitir el virus. Ósea que una persona que posee la infección, en ese mismo momento podría contagiar a individuos sanos o susceptibles, al ser un modelo que toma un periodo de tiempo corto pues lo que hace entender de otra manera es que no existen muertes ni nacimientos durante el periodo seleccionado, es por ello por lo que mantiene la población N constante, sin embargo, este es un inconveniente ya que en la realidad tienen lugar tanto muertes como nacimientos. El modelo compuesto por ecuaciones diferenciales no tiene una solución analítica calculable manualmente, por lo que es necesario utilizar softwares robustos para poder estimar las soluciones.

3.2.2.1. *Parámetros del modelo SIR*

Como se sabe, la cinética del modelo SIR se rige por los parámetros β y γ , que representan las tasas de transición de susceptible a infectado y de infectado a recuperado o muerto. Por ende, al resolver este sistema de ecuaciones diferenciales, es posible obtener estimaciones para los parámetros β y γ . Para ajustar el modelo y obtener los valores óptimos de los parámetros, usamos la función “**optim**” en Rstudio, resolviendo el problema de minimización con la función RSS , para ajustar el modelo SIR a los datos de incidencia se utilizó el método de mínimos cuadrados (RSS); este se enfoca en minimizar la suma residual de cuadrados, en este caso particular, la suma de las diferencias al cuadrado entre el número real de personas infectadas en el momento t y el número predicho de personas infectadas del modelo ajustado, específicamente usamos el algoritmo de memoria limitada Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (L-BFGS-B), que nos permite especificar restricciones de caja (límites inferior y superior) para los parámetros desconocidos β y γ considerando estos límites de cero y uno respectivamente para ambos parámetros. La función **optim** luego busca el β y γ que minimizan la función RSS , planteando valores iniciales de 0,5 para ambos parámetros mediante los cuales la solución óptima se encuentra a través del método de gradiente mejorando repetidamente las estimaciones de RSS para intentar encontrar una solución con un valor más bajo, considerándolo como convergencia al criterio para encontrar la solución óptima para el valor más bajo del RSS .

La Implementación del modelo SIR para analizar el virus COVID-19 simplifica el análisis suponiendo que las personas que se infectan, pero se recuperan son inmunes a la infección. Esto se deduce para la simplificación del modelado y sin afirmar que esto sea cierto en la realidad ya que, en la actualidad, no está claro si quienes se recuperan de la infección son inmunes.

A partir de los parámetros estimados β y γ , cada uno con sus valores óptimos, puede estimarse la tasa básica de reproducción la cual nos proporciona un valor numérico que representa la transmisibilidad del virus o dicho de otra manera la gravedad del brote de una enfermedad infecciosa. Es por ello por lo que aprovechando el modelo SIR, se obtuvo el valor estimado de la tasa básica de reproducción R_0 a nivel nacional y por cada provincia escogida para el estudio.

Tabla 12-3: Los parámetros del modelo SIR estimados y los valores R_0 para Ecuador y sus provincias, en los 31 últimos días del año 2021

Localización	Fechas	Incidencia inicial	Incidencia final	Población	β	γ	R_0
ECUADOR	01/12/21-31/12/21	355	22.085	17'510.643	1.000	0.8537	1.1712
PICHINCHA	01/12/21-31/12/21	39	6.344	3'228.233	0.5896	0.4103	1.4371
GUAYAS	01/12/21-31/12/21	55	5.623	4'387.434	1.0000	0.8393	1.1914
MANABÍ	01/12/21-31/12/21	26	2.070	1'562.079	0.5767	0.4232	1.3626

Fuente: Software Rstudio.

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

La **Tabla 12-3** está compuesta por los datos principales y necesarios de cada uno de los territorios analizados, presenta el número de contagios con los que inicio el Ecuador y las provincias seleccionadas, así como el total de contagios que alcanzaron al finalizar el periodo de tiempo estudiado, se tiene también el número de la población para cada lugar estudiado. Con todo lo mencionado fue posible obtener las estimaciones de los parámetros específicos del modelo SIR, para Ecuador la tasa de trasmisión de la enfermedad da 1.00 mientras que la tasa de recuperación de las personas infectadas fue de 0.8537. Con estos parámetros podemos obtener la tasa básica de reproducción R_0 quien proporciona una indicación de la gravedad del brote de una enfermedad infecciosa: si $R_0 < 1$, cada individuo infectado infectará en promedio a menos de un individuo y la enfermedad desaparecerá; si $R_0 = 1$, cada individuo contagiado infectará a un individuo y la enfermedad continuará propagándose pero será estable; si $R_0 > 1$, cada individuo infectado contagiara a más de un individuo y la enfermedad continuará propagándose y creciendo, con la posibilidad de convertirse en una pandemia. Dadas estas indicaciones se puede decir que en el caso de Ecuador la tasa básica de reproducción estimada da a entender que un individuo contagiado con el virus puede infectar a 1.1712 personas, esto a nivel nacional ya que para las provincias las cuales son zonas con menor población se obtuvo otros parámetros.

Ahora es necesario conocer como modelan la incidencia de contagios por COVID-19 los parámetros antes estimados, en este caso se utilizará el software RStudio por medio del cual se realizará estimaciones del número de infecciones en el tiempo, primeramente, se manejará información a nivel nacional tomando en cuenta un periodo de tiempo de 31 días los cuales son

considerados del último mes del año 2021. Se ha tomado este intervalo de tiempo, para observar la evolución de la pandemia sin medidas de cuarentena en el país ya que para estas instancias toda medida de prevención fue eliminada. De acuerdo con estos datos se definen las ecuaciones diferenciales en R y se busca una solución estimada, que se puede observar en el siguiente gráfico:

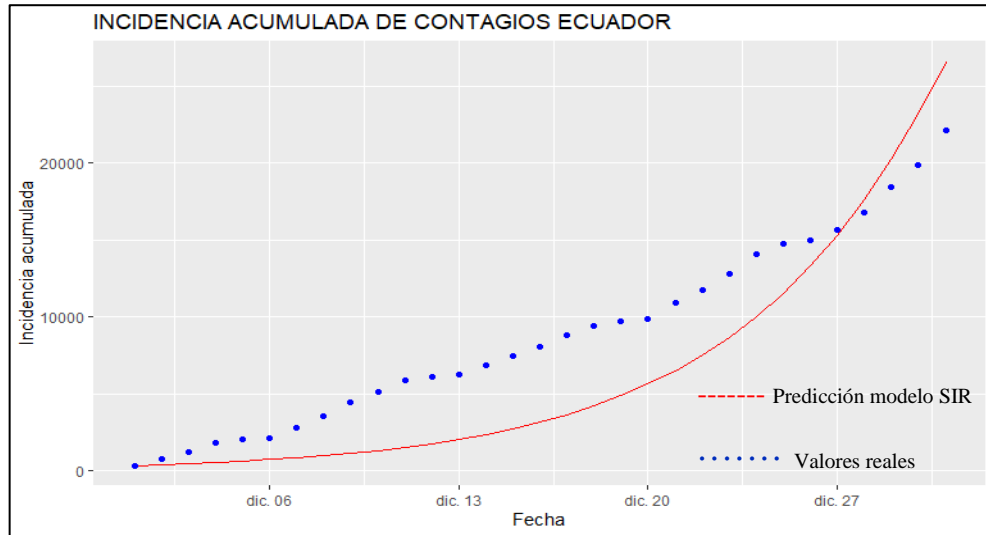


Ilustración 16-3: Incidencia acumulada observada y ajustada de contagios con el modelo SIR, en el mes de diciembre del 2021 a nivel nacional.

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

La **Ilustración 16-3** representa tanto la incidencia acumulada de datos reales como de la predicción utilizando el modelo SIR durante los últimos 31 días del año 2021 escogidos para el estudio, aquí se puede observar que la predicción no se ajusta a la perfección con los datos reales sin embargo estas líneas no tienen mucha diferencia entre sí, a pesar de esto los datos estimados parecen sobrestimar el verdadero número total de casos al finalizar el periodo de tiempo seleccionado.

El modelo SIR al ser aplicado a los datos, dio a conocer que el país durante este periodo de tiempo se encuentra en fase de crecimiento exponencial de la pandemia, podría considerarse como el inicio de un brote ocasionando preocupación. Esto posiblemente se debe a la nueva variante del virus conocida como Ómicron la cual se dio a conocer en el mes de noviembre del 2021 y según los expertos esta variante se propaga con mayor facilidad que el virus original que causa el COVID-19 y la variante delta.

Debido a los estudios realizados anteriormente, se sabe que aquellas provincias más representativas dado a sus cantidades elevadas de contagios durante toda la pandemia son Pichincha, Guayas y Manabí a las cuales se les considero importantes para la aplicación del

modelo SIR. En las siguientes graficas se representó la incidencia acumulada de contagios del mes de diciembre del 2021, tanto los datos reales como la predicción del modelo.

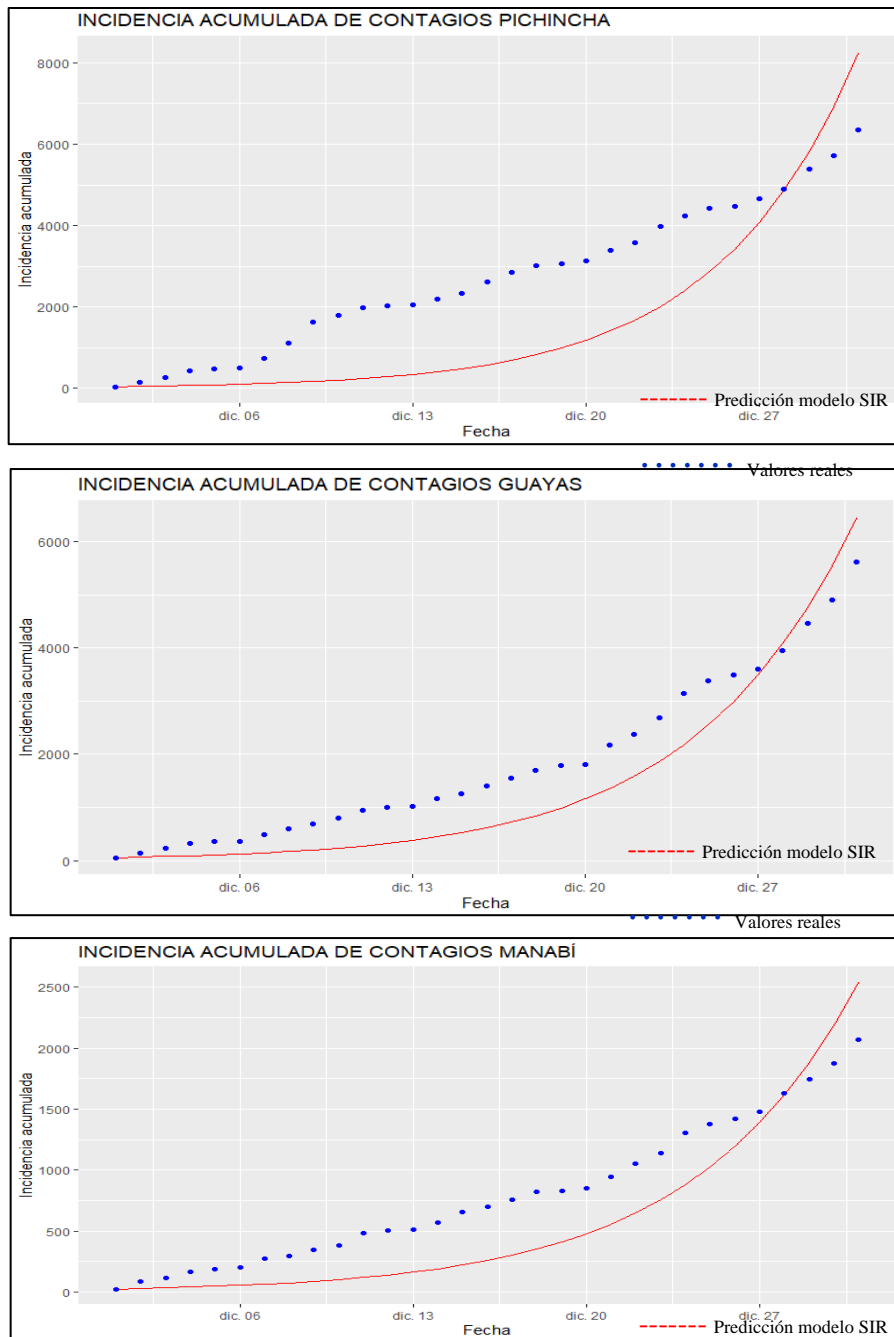


Ilustración 17-3: Incidencia acumulada observada y ajustada de contagios con el modelo SIR en el mes de diciembre del 2021, provincias Pichincha, Guayas y Manabí.

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

Siguiendo con la implementación del modelo SIR para las provincias escogidas para este análisis tenemos las gráficas anteriores de las cuales se puede interpretar que para ninguna de las provincias, la estimación de la incidencia acumulada se ajusta perfectamente a la realidad de la

incidencia para el mes de diciembre del 2021, de igual manera la predicción en cada provincia sobrestima la incidencia observada, dándonos a entender que posiblemente el modelo SIR no se ajusta a los datos y por lo tanto no es adecuado para la estimación de la incidencia de COVID-19 para las provincias del Ecuador.

Parece razonable utilizar el modelo en el análisis teniendo en cuenta que “examina solo la dinámica temporal del ciclo de infección y, por lo tanto, debería ser apropiado para la descripción de un brote epidémico bien localizado”, por lo tanto, parecería razonable su uso en el análisis a nivel de ciudad, provincia o país.

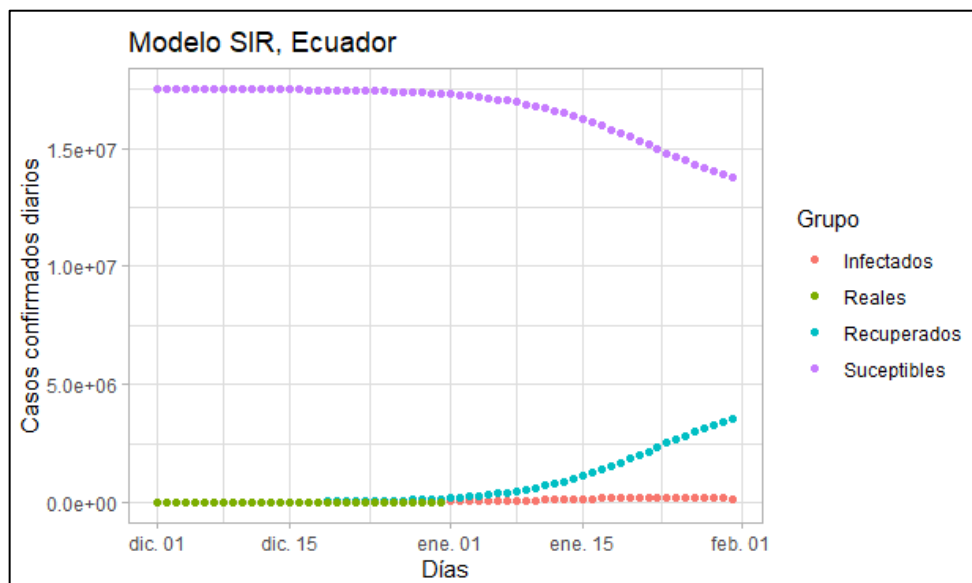


Ilustración 18-3: Incidencia acumulada observada (Reales) para Ecuador, y los valores ajustados de Susceptibles, Infectados y Recuperados durante un mes posterior al tiempo analizado.

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

Mediante la **Ilustración 18-3** se obtuvo cada uno de los valores ajustados por el modelo SIR en una escala sin transformación, los datos denominados Reales dan a conocer la incidencia diaria recolectada del mes de diciembre mientras que los valores denominados Susceptibles, Infectados y Recuperados son una estimación del modelo planteado.

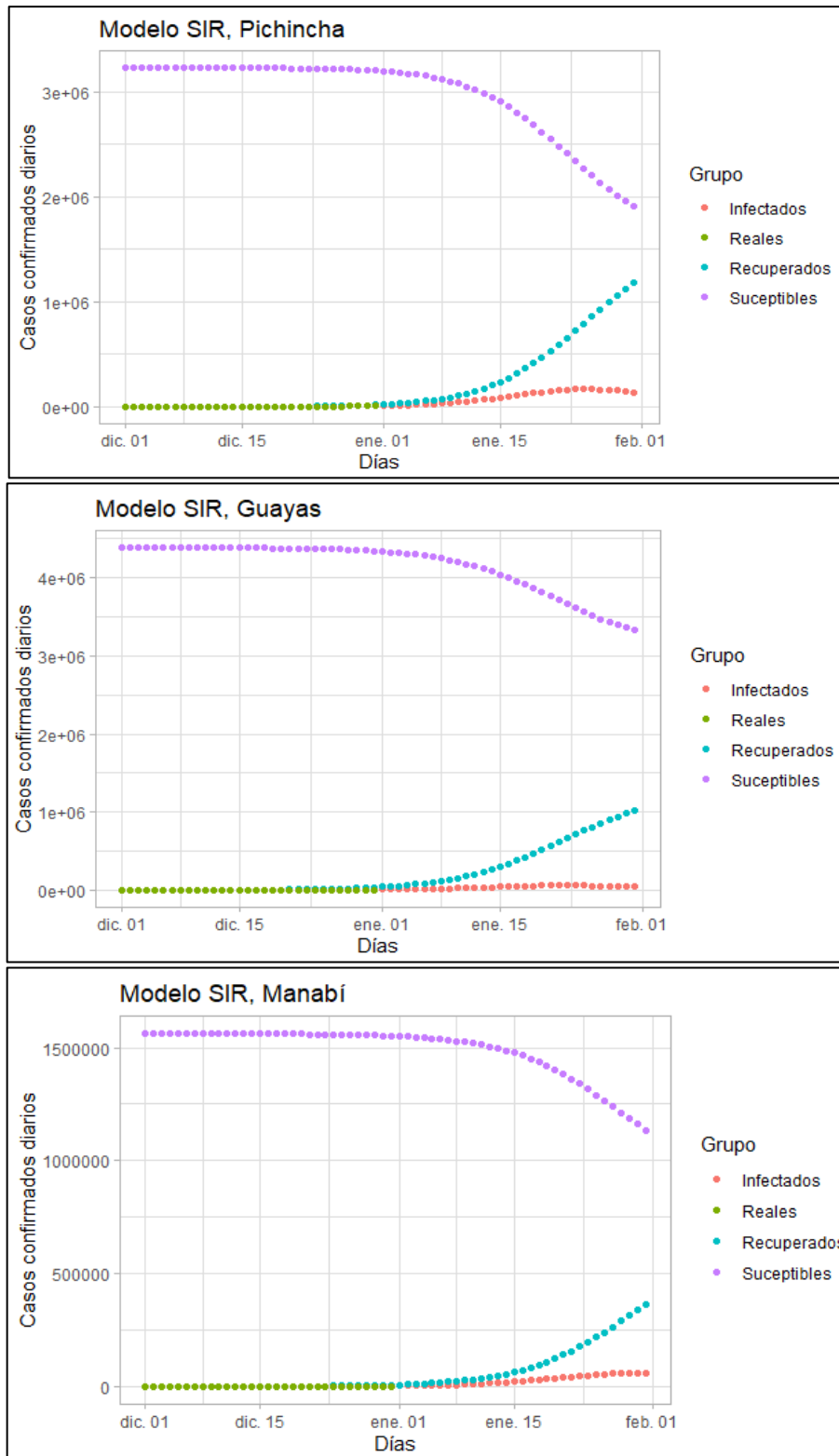


Ilustración 19-3: Incidencia acumulada observada (Reales) para las provincias de Pichincha, Guayas y Manabí, y los valores ajustados de Susceptibles, Infectados y Recuperados durante un mes posterior al tiempo analizado.

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

Como podemos apreciar las ilustraciones propuestas por el Modelo SIR no demuestran de manera clara la incidencia tanto estimada como la real por lo que es necesario que se aplique alguna transformación, en este caso se consideró una transformación logarítmica la cual permite apreciar e interpretar de mejor manera los valores ajustados y los observados de la incidencia de contagios por COVID-19.

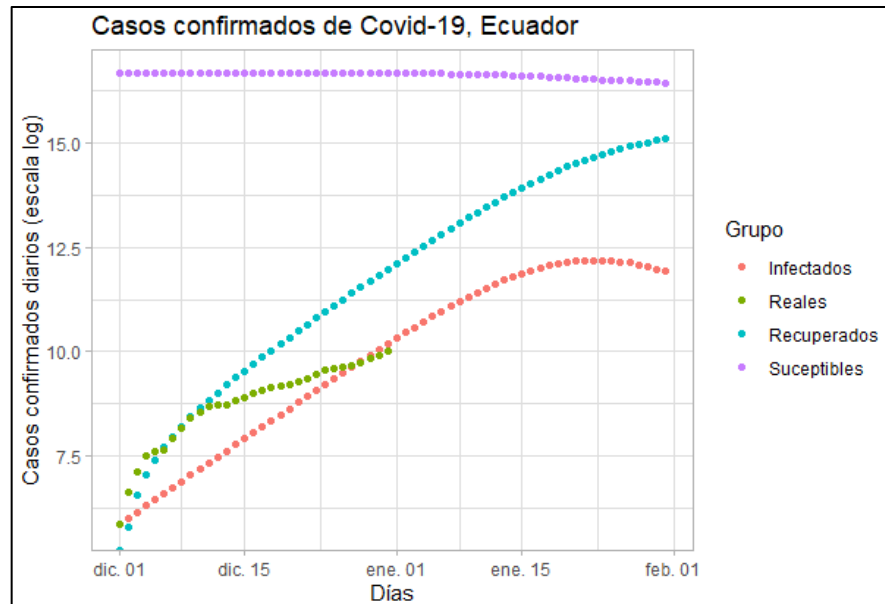


Ilustración 20-3: Incidencia acumulada observada (Reales) para Ecuador, y los valores ajustados de Susceptibles, Infectados y Recuperados durante un mes posterior al tiempo analizado.

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

La **Ilustración 20-3** traza las trayectorias del modelo SIR y la incidencia acumulada observada en una escala logarítmica para el país. Aquí, las predicciones más precisas de la incidencia acumulada se reflejan al finalizar el mes de diciembre ya que por festividades y todo tipo de eventos Ecuador aplicó ciertas restricciones, así como la vacunación obligatoria y la limitación del acceso a todo tipo de eventos a personas no vacunadas. Sin embargo, al principio se nota que el modelo subestima la incidencia dando a entender que el modelo no es preciso para ajustarse a la realidad observada.

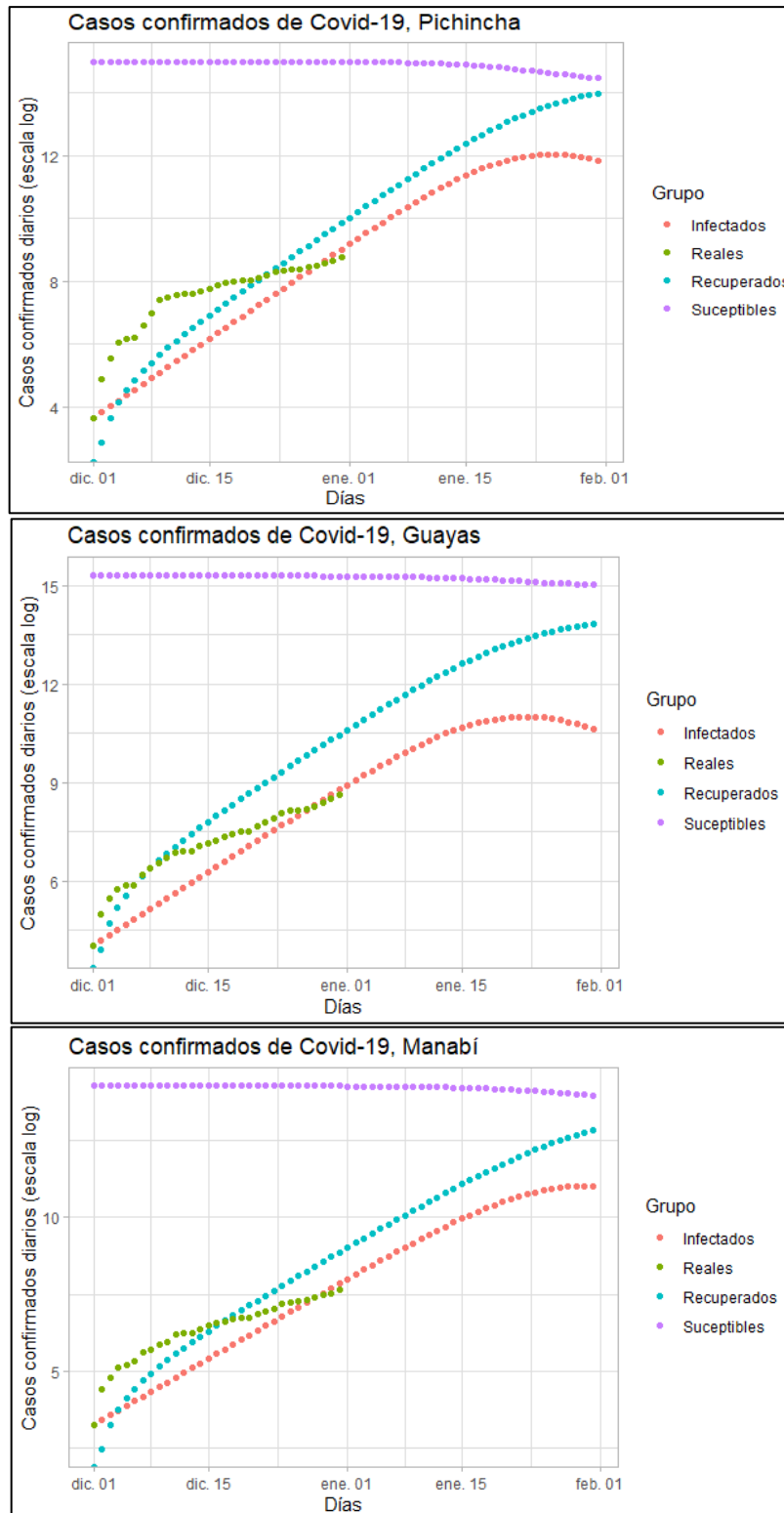


Ilustración 21-3: Incidencia acumulada observada (Reales) para las provincias de Pichincha, Guayas y Manabí, y los valores ajustados de $S(t)$ (Susceptibles), $I(t)$ (Infectados) y $R(t)$ (Recuperados) durante un mes posterior al tiempo analizado.

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

En cada una de las provincias se aprecia que la incidencia acumulada observada sobrestima la incidencia estimada al principio del periodo analizado, lo que no sucede al final ya que al igual que a nivel del país el crecimiento del número total real de casos se desaceleró. Dando a entender que quizás las intervenciones por parte de las autoridades para prevenir más contagios sirvieron durante este periodo.

Como se puede observar, el Modelo SIR sirve como un indicativo inicial para la interpretación del comportamiento y evolución de una pandemia, pero sus pronósticos carecen de precisión, ya que, si extrapolamos esta simulación a los meses siguientes, se obtiene una curva estimada mucho más agresiva que la realidad. Esto se debe básicamente porque los parámetros calculados sólo tienen en cuenta el periodo temporal de un mes y el modelo SIR los proyecta a los meses siguientes sin tomar en cuenta los posibles cambios realizados en un futuro en estos indicadores.

3.2.3. Estimaciones

Tabla 13-3: Incidencia acumulada vs incidencia acumulada estimada por los modelos SIR y Log-lineal durante el mes de diciembre.

Incidencia acumulada			
Fecha	Observados	Modelo SIR	Modelo LOG-LINEAL
1/12/2021	355	355	307
2/12/2021	413	56	320
3/12/2021	489	65	333
4/12/2021	584	75	347
5/12/2021	175	87	362
6/12/2021	107	100	377
7/12/2021	670	116	393
8/12/2021	739	134	409
9/12/2021	942	155	426
10/12/2021	623	179	444
11/12/2021	760	207	462
12/12/2021	267	240	482
13/12/2021	131	277	502
14/12/2021	588	320	523
15/12/2021	581	370	544
16/12/2021	657	427	567
17/12/2021	715	494	591
18/12/2021	647	570	615
19/12/2021	256	657	641
20/12/2021	188	758	668
21/12/2021	998	873	695
22/12/2021	819	1006	724
23/12/2021	1085	1157	755

24/12/2021	1246	1330	786
25/12/2021	714	1528	819
26/12/2021	259	1752	853
27/12/2021	619	2007	888
28/12/2021	1143	2295	925
29/12/2021	1697	2619	964
30/12/2021	1386	2982	1004
31/12/2021	2232	3387	1046

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

La **Tabla 13-3** anterior contiene la incidencia acumulada observada y estimada por los modelos a nivel nacional durante los 31 días del mes de diciembre del 2021, mediante estas estimaciones podemos analizar que el modelo SIR sobrestima la incidencia acumulada observada al finalizar el mes ya que obtiene un total de 3.387 contagios, mientras que el modelo Log-lineal subestima esta incidencia dado que al finalizar el mes obtiene 1.046 casos de contagios por el virus, al parecer ninguno de los modelos aplicados logra estimar de manera precisa la incidencia acumulada de contagios por COVID-19. Sin embargo, aunque analíticamente pareciera que las estimaciones de los modelos se ven alejadas de la realidad lo siguiente será observar gráficamente para ver cuál de los modelos se ajusta mejor a los datos.

3.3. Análisis comparativo

Para el análisis comparativo es necesario saber que este se planteara gráficamente debido a que para poderlo realizar de manera analítica es necesario obtener todos y cada uno de los parámetros para los modelos planteados, como se mencionó anteriormente para el modelo Log-lineal obtener la tasa básica de reproducción fue difícil ya que el modelo Log-lineal utiliza una distribución de intervalo generacional o distribución de intervalo serial, esto se obtiene a partir de una investigación más minuciosa de la incidencia de contagios por COVID-19 y específicamente para Ecuador no existe tal investigación. Por tal motivo lo más adecuado para la comparación de los modelos viene siendo gráficamente, planteando las incidencias acumuladas tanto de la incidencia observada como de la estimación de los modelos implementados.

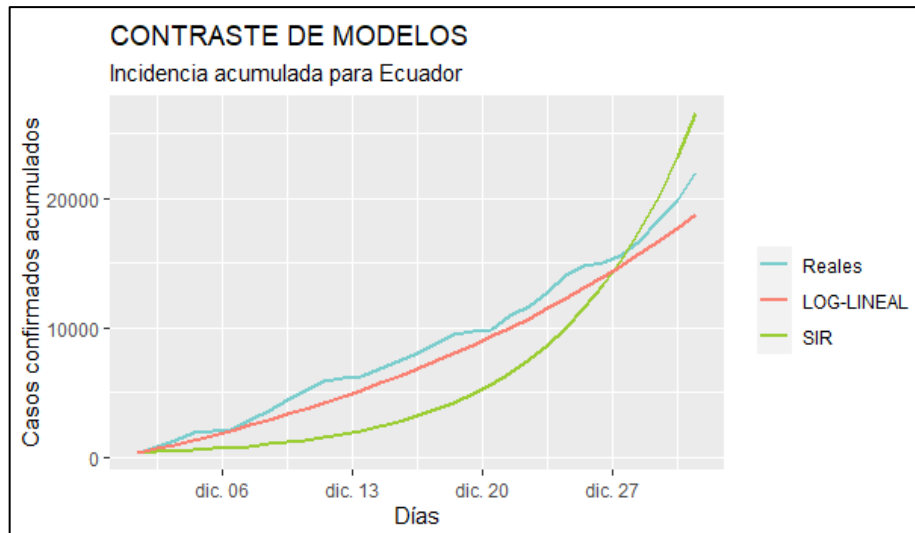
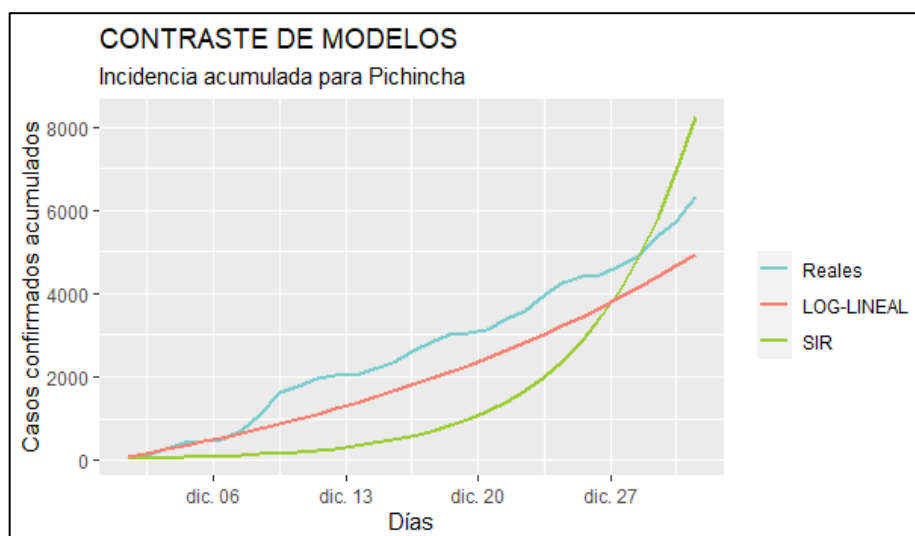


Ilustración 22-3: Incidencia acumulada observada (Reales) en Ecuador durante el mes de diciembre y la incidencia acumulada estimada utilizando el modelo SIR y el modelo Log-lineal.

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

Observando la gráfica anterior para la comprobación de cuál es el modelo que estima la incidencia que mejor se ajusta a los datos observados de la incidencia de contagios por COVID-19 a nivel nacional, se puede decir que visualmente el modelo que mejor se ajusta a la realidad es el Log-lineal ya que desde un principio su tendencia exponencial estimada se comporta de manera similar a los datos reales, mientras que para la estimación del modelo SIR se obtuvieron valores algo distantes y que sobrestiman la realidad observada en el Ecuador al finalizar el periodo de tiempo analizado. Ya que se comparó los modelos a nivel nacional, lo siguiente es verificar la efectividad de estos a nivel provincial, considerando las provincias analizadas durante toda la investigación.



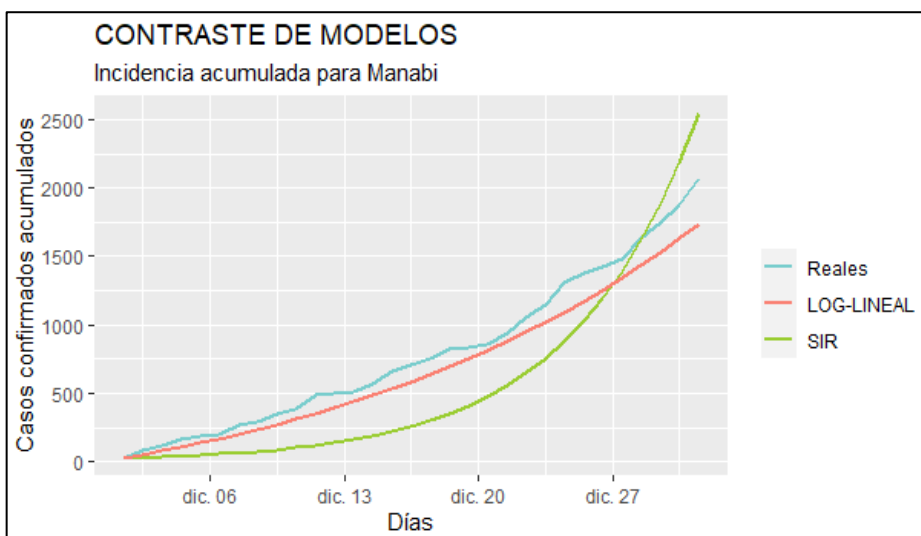
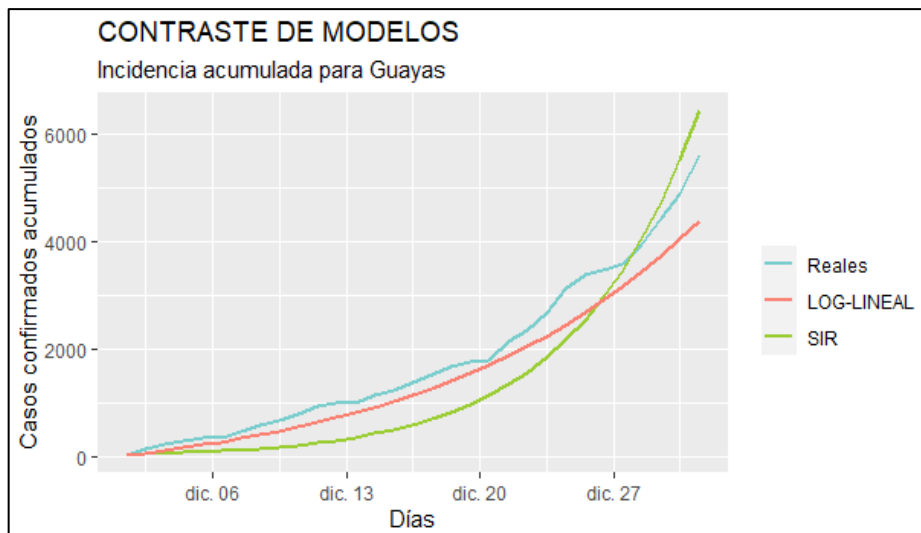


Ilustración 23-3: Incidencia acumulada observada (Reales) en las provincias de Pichincha, Guayas y Manabí y la incidencia acumulada estimada utilizando el modelo SIR y el modelo Log-lineal durante el mes de diciembre del 2021.

Realizado por: Toledo, Jilyan, 2022.

Para este análisis las provincias más afectadas durante la pandemia de COVID-19 en sus graficas muestran la verdadera incidencia acumulada durante sus respectivas fases de crecimiento y los valores predichos utilizando los modelos SIR y Log-lineal, de los cuales se puede decir que para las tres provincias el modelo que mejor estima la incidencia es el Log-lineal debido a que al observar las gráficas se aprecia que los valores estimados están muy cercanos a los valores observados, claro está que no son exactos pero a comparación de la estimación del modelo SIR que tiene una tendencia muy alejada de los datos reales además de que esta sobreestima la realidad al finalizar el mes, el modelo Log-lineal estima valores que se ajustan mejor a la realidad de cada una de las provincias.

CONCLUSIONES

- El análisis exploratorio sobre la incidencia de contagios por COVID-19 en el Ecuador mostró un total de 549.418 casos confirmados en el periodo marzo 2020 - diciembre 2021. Posteriormente se encontró que Pichincha, Guayas y Manabí fueron tres de las provincias con mayor incidencia de contagios.
- Mediante el estudio de variables COVID-19 para la incidencia de contagios en el Ecuador y las provincias más afectadas, se obtuvo en primer lugar con el modelo matemático SIR una tasa básica de reproducción en el intervalo de 1.17 a 1.44 personas, por otro lado, con el modelo Log-lineal se presentó una tasa de crecimiento diaria del virus entre el 4.08% y 7.08% con tiempos de duplicación de entre 10 y 17 días aproximadamente.
- Al contrastar los modelos en estudio se evidenció la efectividad del modelo de regresión Log-lineal para el análisis de la incidencia de contagios por COVID-19 en el Ecuador presentando valores más cercanos a la realidad del país.

RECOMENDACIONES

- Al realizar un análisis exploratorio se recomienda a las instituciones encargadas de la recolección y actualización de información, que la misma sea almacenada dentro de un sitio accesible para tener un mejor manejo para realizar cualquier tipo de estudio y no tener inconvenientes a la hora de tabular la información.
- En posteriores análisis se debe tener presente que para la obtención de todos y cada uno de los parámetros elementales de los modelos es necesario tener de antemano estudios más detallados de contagios por COVID-19 con el fin de extraer intervalos seriales necesarios para la aplicación del modelo Log-lineal.
- Para un contraste de varios modelos que estudian la incidencia del COVID-19 se recomienda a más de un análisis gráfico, realizar un estudio analítico en caso de poseer todos los parámetros necesarios para su comparación y así obtener una investigación más completa.

BIBLIOGRAFÍA

Abelló Ugalde, I. . A., Guinovart Díaz, R. & Morales Lezca, W., 2021. El modelo SIR básico y políticas antiepidémicas de salud pública para la COVID-19 en Cuba. *Revista Cubana de Salud Pública*, Volumen 46.

Chu, J., 2021. A statistical analysis of the novel coronavirus (COVID-19) in Italy and Spain. *PLOS ONE*, pp. 1-36.

Contreras González, S. P., 2020. *ANÁLISIS DE LA PROPAGACIÓN Y EVOLUCIÓN DEL VIRUS*, Chile: s.n.

Gorgas, J., Cardiel, N. & Zamorano, J., 2011. *Estadística Básica para estudiantes de Ciencias*. Madrid: s.n.

Kermack, W. O. & McKendrick, A. G., 1927. A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the royal society of london. Series A, Containing papers of a mathematical and physical character*, Volumen 115, pp. 700-721.

Llinás, H. & Rojas Alvarez, C., 2017. *Estadística descriptiva y distribuciones de probabilidad*. s.l.:Editorial Universidad del Norte.

Manrique Abril, F. y otros, 2020. Modelo SIR de la pandemia de Covid-19 en Colombia. *Publisher: Instituto de Salud Publica, Facultad de Medicina-Universidad Nacional de*

Martín Barroso, V., 2020. Una breve introducción al modelo SIR aplicado al caso del Covid-19. *Publisher: Instituto Complutense de Estudios Internacionales (ICEI)*.

Mendenhall, W., Beaver, R. J. & Beaver, B. M., 2006. *Introducción a la probabilidad*. California: Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.

MSP, M. d. S. P., 2021. *PLAN DE TRABAJO VACUNACIÓN COVID-19*, Ecuador: s.n.

MSP, M. d. S. P., 2021. *Plan de Vacunación para prevenir la Covid-19 Ecuador 2020-2021*, Ecuador: s.n.

MSP, M. d. S. P., 2021. *PLAN NACIONAL DE COMUNICACIÓN VACUNACIÓN CONTRA LA COVID-19*, Ecuador: s.n.

MSP, M. d. S. P., 2021. *Plan Nacional de Vacunación e Inmunización contra el COVID – 19*, Ecuador: s.n.

ONU, O. N., 2020. Los 13 desafíos de la salud mundial en esta década [Internet]. Volumen 13.
Randolph, H. E. & Barreiro, L. B., 2020. Herd Immunity: Understanding COVID-19. *Immunity*, Issue 52, pp. 1-5.


Ruiz, G. P. & León, A. C., 2020. Evolución de la enfermedad por coronavirus (COVID-19) en Ecuador. *Evolución de la enfermedad por coronavirus (COVID-19) en Ecuador*, Volumen 11, pp. 5-15.

Salazar, C. & Castillo, S., 2018. *FUNDAMENTOS BASICOS DE ESTADÍSTICA*. s.l.:s.n.

Sanidad, M. d., 2021. *INFORMACIÓN CIENTÍFICA-TÉCNICA Enfermedad por coronavirus, COVID-19*, España: s.n.

Santillan Haro, A. & Palacios Calderón, E., 2020. Caracterización epidemiológica de covid-19 en Ecuador.. *InterAmerican Journal of Medicine and Health*, pp. 1-4.

Wilches Visbal, J. H. & Castillo Pedraza, M. C., 2020. *APROXIMACIÓN MATEMÁTICA DEL MODELO EPIDEMIOLÓGICO SIR*, Santa Marta, Colombia: s.n.


DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE
Y LA INVESTIGACIÓN
D.B.R.A.T. Jhonatan Parreno Uquillas MBA
ANALISTA DE BIBLIOTECA 1

ANEXOS

ANEXO A: CÓDIGO EN R DE LA APLICACIÓN Y COMPARACIÓN DE LOS MODELOS.

Librerías

```
library(readxl)
library(dplyr)
library(lubridate)
library(deSolve)
library(ggplot2)
library(openxlsx)
library(covid19.analytics)
library(incidence)
library(distcrete)
```

CÓDIGO PARA EL MODELO SIR

Lectura de datos (incidencia acumulada)

```
datacompleta <- read_xlsx("ECUADOR-SIR.xlsx", sheet = "Hoja1")
```

Ecuaciones diferenciales del modelo SIR

```
SIR <- function(time, state, parameters) {
  par <- as.list(c(state, parameters))
  with(par, {
    dS <- -beta * I * S / N
    dI <- beta * I * S / N - gamma * I
    dR <- gamma * I
    list(c(dS, dI, dR))
  })
}
```

Se asigna el periodo de tiempo que se va a estudiar

```
Infected <- subset(datacompleta, dateRep >= ymd("2021-12-01") & dateRep <= ymd("2021-12-31"))$ACUMULADO
Day <- 1:(length(Infected))
```

Indicamos parámetros iniciales, población de Ecuador “2020” 17’510.643

```
N<-17510643
init <- c(
```

```

S = N - Infected[1],
I = Infected[1],
R = 0
)

```

Minimizamos la suma de residuos al cuadrado, indicamos los valores iniciales de beta y gamma

```

RSS <- function(parameters) {
  parameters<- c(parameters,N)
  names(parameters) <- c("beta", "gamma","N")
  out <- ode(y = init, times = Day, func = SIR, parms = parameters)
  fit <- out[, 3]
  sum((Infected - fit)^2)
}

Opt <- optim(c(0.5, 0.5),
            RSS,
            method = "L-BFGS-B",
            lower = c(0, 0),
            upper = c(1, 1)
)

Opt$message
Opt_par <- setNames(Opt$par, c("beta", "gamma"))
Opt_par
R0 = with(as.list(Opt_par), {(beta)/gamma});R0

```

Se generan los valores predichos por el modelo

```

sir_start_date <- "2021-12-01"
t <- 1:as.integer(ymd("2022-01-01") - ymd(sir_start_date))
fitted_cumulative_incidence <- data.frame(ode(
  y = init, times = t,
  func = SIR, parms = Opt_par
))

```

Gráfico 16-3

```

fitted_cumulative_incidence <- fitted_cumulative_incidence %>%
  mutate(
    Date = ymd(sir_start_date) + days(t - 1),

```

```

Country = "Ecuador",
cumulative_incident_cases = Infected
)
fitted_cumulative_incidence %>%
  ggplot(aes(x = Date)) +
  geom_line(aes(y = I), colour = "red") +
  geom_point(aes(y = cumulative_incident_cases), colour = "blue") +
  labs(y = "Incidencia acumulada", x = "Fecha", title = "INCIDENCIA ACUMULADA DE CO
NTAGIOS ECUADOR") +
  theme_gray()

```

Gráfico 18-3

```

datacompleta <- read_xlsx("ECUADOR-PAQUETE.xlsx")
X <- generate.SIR.model(datacompleta,"Ecuador",tot.population=17510643, t0= 680, t1=710, i
nteractiveFig = FALSE, staticPlt = FALSE, tfinal=62)$model
as.data.frame(X)
a <- as.Date("2021-12-01")
b <- as.Date("2021-12-31")
c <- as.Date("2022-01-31")
fechasest <- seq(a,c,1)
fechasreal <- seq(a,b,1)
time <- c(rep(fechasest,3),fechasreal)
Grupo <- c(rep(c("Suceptibles", "Infectados", "Recuperados"),each=62),rep("Reales",31))
valores <- c(X$$S,X$I,X$R, Infected)
tabla <- data.frame(time, Grupo, valores)
ggplot(data = tabla, aes(x=time, y= log(valores), col=Grupo))+
  geom_point()+
  theme_light()+
  labs(title = "Casos confirmados de Covid-19, Ecuador", x= "Días", y= "Casos confirmados dia
rios (escala log)")
ggplot(data = tabla, aes(x=time, y= valores, col=Grupo))+
  geom_point()+
  theme_light()+
  labs(title = "Modelo SIR, Ecuador", x= "Días", y= "Casos confirmados diarios")

```

CÓDIGO PARA EL MODELO LOG-LINEAL

Lectura de datos (incidencia diaria)

```
data <- read_xlsx("ECUADOR-LOG.xlsx")
```

Escogemos los datos de las fechas que se desea estudiar

```
fechas <- as.Date(data$dateRep[625:655])  
cant <- data$DIARIO[625:655]  
a<-rep(fechas, cant)
```

Creamos de la incidencia

```
i <- incidence(a, interval="days");i  
plot(i)
```

Estima y ajusta el modelo Log-lineal

```
f <- fit(i, level = 0.95)  
f  
ff<- get_info(f, "pred")
```

Gráfico 14-3

```
tabla <- data.frame(ff,cant)  
ggplot(data = tabla)+geom_line(aes(x=dates, y=cant, col="blue"),size=0.7)+  
geom_point(aes(x=dates, y=cant, col="blue"),size=1)+  
geom_line(aes(x=dates, y=fit, col="red"),size=1)+  
geom_line(aes(x=dates, y=lwr, col="green"),linetype=2,size=1)+  
geom_line(aes(x=dates, y=upr, col="green"),linetype=2,size=1)+  
theme_bw()+  
scale_color_manual(name="",  
labels=c("Reales", "Limites", "Predichos"),  
values = c("#79CDCD", "#FA8072", "#9ACD32"))+  
labs(title = "Observados vs Predichos de incidencia diaria para Ecuador", x= "Días", y= "Casos  
confirmados diarios")
```

CONTRASTE GRÁFICO DE MODELOS

Extraemos cada uno de los valores estimado por los modelos

```
PSIR<-X[1:31, 3]  
tabla <- data.frame(ff,cant)  
fechas<-select(.data = tabla,dates)  
PLL<-select(.data = tabla, fit)
```



```
PLLA<-cumsum(PLL)
```

```
Infected
```

Gráfico 20-3

```
tab <- data.frame(fechas$dates,Infected,PSIR,PLLA$fit)
ggplot(data = tab)+geom_line(aes(x=fechas.dates, y=Infected, col="blue"),size=1)+
  geom_line(aes(x=fechas.dates, y=PSIR, col="red"),size=1)+
  geom_line(aes(x=fechas.dates, y=PLLA$fit, col="green"),size=1)+
  theme_get()+
  scale_color_manual(name="",
                    labels=c("Reales","LOG-LINEAL","SIR"),
                    values = c("#79CDCD","#FA8072","#9ACD32"))+
  labs(title = "CONTRASTE DE MODELOS", subtitle = "Incidencia acumulada para Ecuador",
       x= "Días", y= "Casos confirmados acumulados")
```





UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 25 / 01 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Jilyan Gabriela Toledo Salinas
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Estadística
Título a optar: Ingeniera Estadística
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo


DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE
Y LA INVESTIGACION
 Ing. Jhonatan Parreño Uquillas MBA
DBRA 1 ANALISTA DE BIBLIOTECA 1

0118-DBRA-UPT-2023