

## ANÁLISIS COMPARATIVO Y PROYECCIÓN POR MILLÓN DE HABITANTES DE CONTAGIO Y MUERTE POR COVID-19 EN SUDAMÉRICA.

Nelson Huamani<sup>1\*</sup> y Juan Orosco<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.  
<sup>2</sup> Departamento de Estadística – Instituto Científico del Pacífico, Lima, Perú.

*Recibido noviembre 2020; aceptado diciembre 2020*

### Abstract

This article shows a comparison and projections of contagion and death from the Coronavirus disease (COVID-19), between countries in South America, considering cases per million inhabitants and standardizing the contagion time, from the day of case zero confirmation and in addition, the predictions for the following days for each country. The objective is the evaluation of the spread of this virus and the measures adopted by governments against COVID-19, since various research centers show only comparisons without considering the proportion of inhabitants, nor the time (days) of contagion between countries. Taking into account these factors, it is observed that the reality is different from that reported in the media. An example of this is that Peru is the most affected country in South America, only surpassed by Ecuador in deaths per million, and not Brazil.

### Resumen

El presente artículo muestra una comparación y proyecciones de contagio y muerte por la enfermedad por Coronavirus (COVID-19), entre países de Sudamérica, considerando casos por millón de habitantes y uniformizando el tiempo de contagio, desde el día de confirmación del caso cero y las predicciones para los siguientes días para cada país. El objetivo es evaluar de manera más uniforme la propagación del virus y el resultado de las medidas adoptadas por los gobiernos ante el COVID-19, ya que diversos centros de investigación muestran comparaciones sin considerar la proporción de habitantes, ni el tiempo (días) de contagio entre países. Al tener en cuenta estos factores, se observa que la realidad es distinta a la que se informa en los medios de comunicación. Un ejemplo de ello es que Perú es el país más afectado en Sudamérica, solo superado por Ecuador en muertes por millón, y no Brasil.

**Key words:** COVID-19; Coronavirus infections; Arima Modeling

**Palabras clave:** COVID-19; Infecciones por Coronavirus; Metodología Arima

## I. INTRODUCCIÓN

La enfermedad por Coronavirus 2019 (COVID-19) es una enfermedad con compromiso principalmente respiratorio que resulta de la infección por coronavirus 2 del síndrome respiratorio agudo severo (SARS-CoV-2) (CDC, 2020). Tras los informes iniciales del brote de la enfermedad en China en diciembre del 2019, el COVID-19 se ha extendido en los primeros 3 meses en más de 100 países (OMS, 2020; Zunyou y McGoogan, 2020). La evolución de esta pandemia en términos de incidencia, mortalidad y velocidad de expansión es heterogénea, estas diferencias entre países e incluso entre regiones del mismo país, requiere comprender los factores que impulsan su comportamiento (OMS, 2020).

Distintos trabajos revelan que existe subestimación generalizada de la magnitud de la epidemia. Es necesario mejorar la identificación de casos y la eficacia de los sistemas de vigilancia epidemiológica (Medeiros *et al.*, 2020), para un mejor control y toma de decisiones adecuadas, que conlleven a un mejor manejo de esta enfermedad, que se resume en evitar más muertes. Por tal motivo este trabajo nos permitirá evaluar en cierto sentido, el resultado de las medidas adoptadas por los gobiernos de Sudamérica, los cuales

---

\* Autor para correspondencia: nelson.berrocal@unsch.edu.pe; juanorosco@icip.edu.pe

nos sugerirán (con los datos del número de casos confirmados y muertes) en que países está siendo más efectiva las medidas implementadas.

Para poder comparar las distintas realidades que se dan en Sudamérica, teniendo en cuenta que los países que la conforman no poseen demografía similar, y además su fecha de confirmación del caso cero por COVID-19, no es la misma. Consideramos los casos confirmados y muertes por millón de habitantes, y uniformizamos el tiempo de contagio, desde el día de confirmación del caso cero para cada país, con el fin de poder visualizar adecuadamente la cantidad de contagiados, sin que esta muestre sesgos por su población pequeña o grande y sin que el tiempo de contagio sea distinta. Así obtenemos resultados que salen de nuestra percepción lógica; un ejemplo claro es el caso de Brasil, si bien este país tiene el mayor número de contagiados en Sudamérica, pero en casos por millón, Brasil está por debajo de Perú y Chile.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

En la investigación se realizó un estudio descriptivo y comparativo de la tasa de contagio por millón de habitantes, y el número de contagio y muerte por la COVID-19 en Sudamérica, considerando un tiempo uniforme, es decir, se recolectó información a partir del primer reporte del caso confirmado con la COVID-19 hasta el 28 de setiembre de 2020 en cada país sudamericano. Los datos del número de casos confirmados y muertes de cada país fueron tomados de *Our World in Data* (2020), además de corroborar con informaciones oficiales correspondiente a cada país; la población total hasta el 28 de mayo de 2020 para cada país fue obtenido de *worldometers* (2020), a partir de estas informaciones se obtuvieron las tasas de contagio y muerte por millón de habitantes mediante:

$$\begin{aligned} \text{N}^\circ \text{ de contagiados por millón de habitantes} &= \frac{\text{N}^\circ \text{ de contagiados en el país}}{\text{Población total en el país}} \times 10^6 \\ \text{N}^\circ \text{ de muertes por millón de habitantes} &= \frac{\text{N}^\circ \text{ de muertes en el país}}{\text{Población total en el país}} \times 10^6 \end{aligned}$$

Se realizaron análisis gráficos de escalas lineales y logarítmicos de los números de contagiados y muertes por la COVID-19, para la realización de cada uno de los gráficos se usó el paquete *ggplot2* del *software R*, Y para la edición de aspecto de las gráficas se usó el *software Inkscape*.

En Brasil se detectó el primer paciente con COVID-19 el 26 de febrero, seguido por Ecuador (29 de febrero), Chile (3 de marzo), Argentina (4 de marzo), Colombia y Perú (6 de marzo), Paraguay (7 de marzo), Bolivia (10 de marzo) y finalizando con Uruguay y Venezuela el 13 de marzo. Dado que existe un desfase en el reporte del primer caso en los países, se consideró en el análisis de la investigación realizar un corte transversal para algunas interpretaciones pertinentes a la investigación en el día 198 tomando como referencia los países de Uruguay y Venezuela dado que estos presentan en total 200 días de contagio hasta el 28 de setiembre.

Cabe indicar que para el estudio no se tomó en cuenta factores como el número de pruebas realizadas, pues no se tiene un estimado de pruebas que se deba hacer para tener mejores muestreos de casos confirmados y muertes, teniendo en cuenta que en algunos países dichas pruebas escasean por la demanda.

Finalmente se realizó un pronóstico de los países que tienen mayor presencia de contagio por millón de habitantes, este pronóstico se realizó mediante los modelos ARIMA. siguiendo la metodología de Box y Jenkins (1970) para cada país que consiste en el análisis exploratorio, identificación de los modelos, selección del modelo adecuado y estimación, adecuación de los modelos y finalmente la predicción. Los modelos ARIMA propuesto por Box y Jenkins es una de las técnicas de modelamiento para series temporales, que consiste en ajustar modelos auto-regresivos integrados de medias móviles a un conjunto de datos, son expresados como  $ARIMA(p,d,q)$ , donde el parámetro  $p$  es el orden de un proceso autorregresivo,  $d$  es el orden de diferencia para que la serie sea estacionaria y  $q$  el orden de un proceso de medias móviles. En los procesos de Box y Jenkins se usaron gráficas de autocorrelación y autocorrelación parcial, pruebas de raíces unitarias de Dickey y Fuller, Prueba de Ljung y Box, los criterios de información de Akaike(AIC) y de Schwarz(BIC) para obtener los mejores modelos para cada país y finalmente se realizaron predicciones puntuales y por intervalo. El análisis de pronósticos se realizó con el *software R* usando los paquetes *tseries*, *forecast* y *timeSeries*.

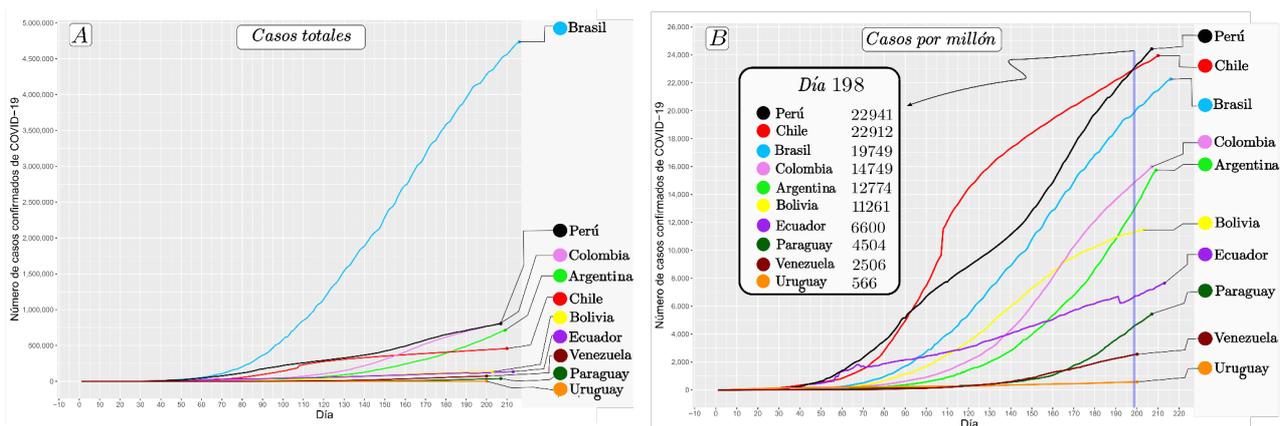
### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Considerando desde el primer caso confirmado de COVID-19 para cada país, en las figura 1A se aprecia que el número de casos confirmados en Brasil presenta una tendencia creciente muy comúnmente mal llamado crecimiento exponencial, pues, aunque presenta un crecimiento veloz sabemos que nunca será un crecimiento completamente exponencial porque se espera que en algún momento este crecimiento se mantenga casi constante o constante, también se aprecia que Perú, Chile y Brasil aparentemente siguen la misma tendencia, siendo estos los países que presentan mayor número de contagios, sin embargo, observando el número de contagios por millón de habitantes de cada país figura 1B, se muestra que los países que presentan mayor número de casos confirmados son liderados por Perú y Chile con una tendencia rápidamente creciente superando los 24000 casos confirmados por millón de habitantes respectivamente, seguidos de Brasil superando los 22000 y Argentina y Colombia cercanos a 16000 casos confirmados por millón de habitantes.

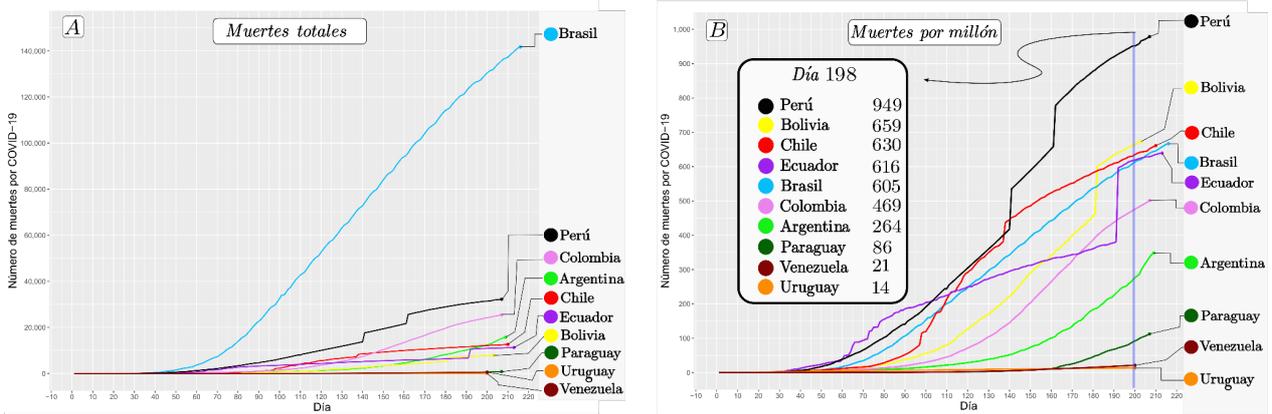
Respecto al número de muertos por la COVID-19, Brasil es el país con el mayor número de muertes en Sudamérica superando los 140 mil, seguido de Perú con más de 30 mil muertes y Argentina cercano a 26 mil muertes desde la identificación del primer caso confirmado. Observando el número de muertes por millón de habitantes figura 2B, se observa que Perú lidera el número de muertos por COVID-19 superando los 950 muertos por millón de habitantes, seguido de Bolivia, Chile, Brasil y Ecuador que se encuentran entre 600 y 700 muertes por millón de habitantes.

Además, cabe recalcar la cantidad de población que tiene cada país, mostrado en la tabla 1, donde se observa que Brasil supera 12 veces la población de Ecuador, 11 veces la población de Chile y 6 veces la población de Perú, mostrándonos indicios de que no es viable las interpretaciones usuales acerca del número de casos confirmados y muertes, siendo una interpretación más objetiva con los casos confirmados y muertes por millón de habitantes.

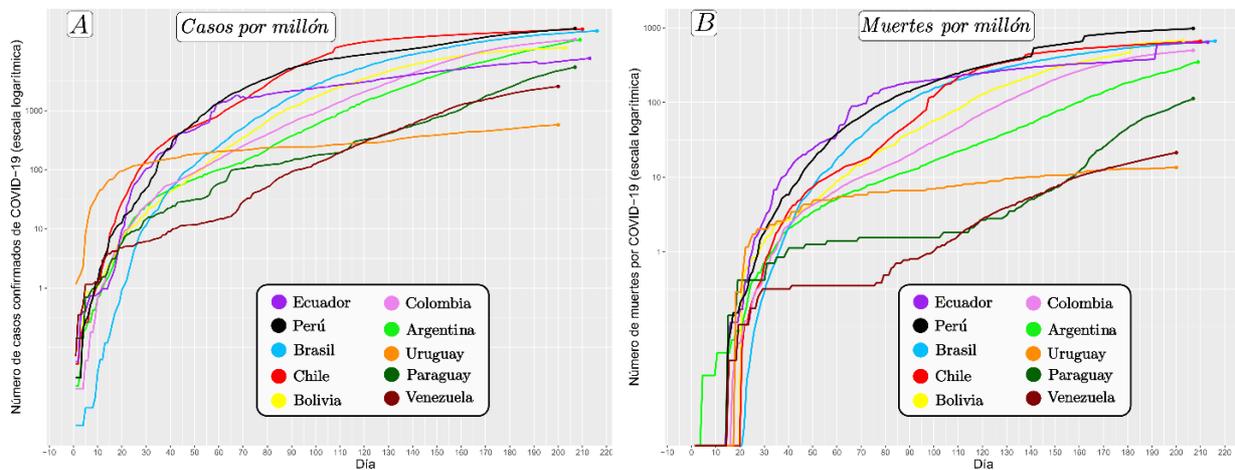
Para una mejor visualización respecto a la tendencia de rapidez de aumento de los casos confirmados y muertes por millón de habitantes por la COVID-19, en la figura 3A en escala logarítmica, se observa que para 1 a 10 casos confirmados, la mayoría de países presentan una velocidad de crecimiento muy similares excepto de Venezuela que presenta un crecimiento desacelerado, y contradictoriamente Uruguay presentó una tendencia de aumento veloz, siendo el único país con esta característica; y para 10 a 1000 casos confirmados se observa claramente que Perú, Chile y Ecuador presentan una velocidad de aumento más rápido que el resto de países sudamericanos, los países excepto de Paraguay, Uruguay y Venezuela parecen seguir la misma tendencia, sin embargo el aumento de contagios tiende a ser más lento; en este intervalo también se observa que Uruguay a partir de los 100 casos confirmados presenta una tendencia casi constante, siendo este el país que mejor tiene controlado el número de contagios por millón de habitantes.



**Figura 1:** (A) Número de casos confirmados vs días de contagio. (B) Número de casos confirmados por millón de habitantes vs días de contagio, con un corte en el día 198 donde se desglosa la cantidad de casos conformados para cada país en ese día. Graficas a escala lineal, desde el registro del primer caso confirmado con COVID-19.



Respecto al número de muertes por millón de habitantes por la COVID-19, según la figura 3B en escala logarítmica se aprecia que los países que presentan una velocidad de crecimiento rápido son Ecuador, Perú y Brasil, seguido de Chile con una tendencia a continuar en ascenso; los países donde se aprecia que el número de muertes por millón de habitantes no continua en ascenso o ascenso muy lento son Uruguay y Venezuela, se puede observar también que Paraguay a partir de los último 40 días presenta una tendencia de ascenso rápido.



**Figura 3:** (A) Número de casos confirmados vs días de contagio. (B) Muertes por millón de habitantes vs días de contagio. Gráficas en escala logarítmica, desde el primer día de registro del paciente con COVID-19.

ANÁLISIS COMPARATIVO Y PROYECCIÓN POR MILLÓN DE HABITANTES DE CONTAGIO Y MUERTE POR COVID-19 EN SUDAMÉRICA.

**Tabla 1:** Número de habitantes y promedios del número de casos confirmados, número de casos confirmados por millón de habitantes, número de personas fallecidas y número de personas fallecidas por millón de habitantes por la COVID-19, desde el primer día de registro del caso confirmado hasta el día 198 para cada país.

País	Promedio de casos confirmados	Promedio de casos confirmados/ millón de hab.	Promedio de muertes	Promedio de muertes por millón de hab.	Días desde el caso cero hasta el 15-Junio	Nº de habitantes
Argentina	111242,02	2461,34	2301,65	50,93	209	45195777
Bolivia	41935,67	3592,53	1854,29	158,85	203	11673029
Brasil	1209633,09	5690,8	44318,01	208,5	216	212559417
Chile	181269,54	9482,51	4340,65	227,07	210	19116201
Colombia	176040,13	3459,71	5754,53	113,09	207	50882884
Ecuador	47957,15	2718,19	3369,91	191,01	213	17643054
Paraguay	4815,44	675,14	76,43	10,72	207	7132530
Perú	253570,81	7690,52	10301,73	312,44	207	32971854
Uruguay	954,09	274,66	25,02	7,2	200	3473727
Venezuela	15167,39	533,39	128,54	4,52	200	28435943

De la tabla 1, respecto al promedio de casos confirmados y promedio de casos confirmados por millón de habitantes por la COVID-19 (el promedio está dado como el total de casos hasta el día 198 entre el total de días que es 198 se puede observar que, aunque Brasil presente un promedio mayor de número de casos confirmado, su promedio por millón de habitantes es mucho menor respecto a Chile y Perú. Comparando con los promedios de Perú, se observa que en el número de casos confirmados es menor solamente al de Brasil con un valor de 253570,81 y 1209633,09; sin embargo los casos confirmados por millón de habitantes se diferencian considerablemente presentando ahora un mayor número promedio en Perú con un valor 7690,52 y para Brasil un valor de 5690,8 casos confirmados en promedio por millón de habitantes; respecto a los promedio del número de muertes, Brasil presenta mayor promedio, sin embargo por millón de habitantes se observa que Perú y Chile supera ampliamente a los demás países con un promedio de 312,44 y 227,07 decesos por millón de habitantes, respectivamente.

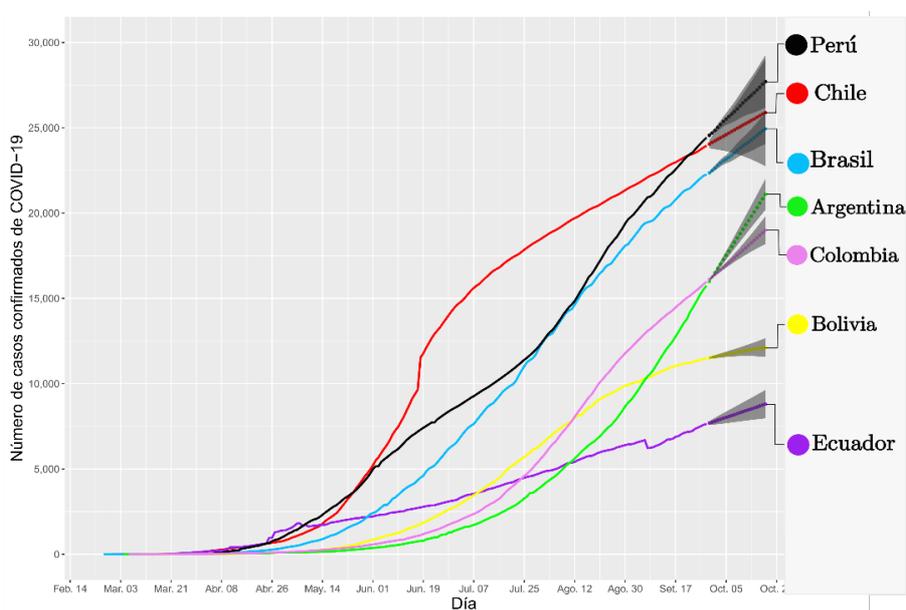
**Tabla 2:** Coeficientes estimados y prueba de autocorrelación de los residuales Ljung y Box de los modelos ARIMA, para el número de casos confirmados por millón de habitantes de Brasil, Perú, Colombia, Bolivia, Argentina, Chile y Ecuador, desde el inicio del primer registro de contagio hasta el 28 de setiembre.

País	Coeficientes (s.e)					Ljung-Box (p-valor)
	AR(1)	AR(2)	AR(3)	AR(4)	MA(1)	
Brasil ARIMA(5,2,1)	-0.092	-0.4978	-0.338	-0.3653	-0.4849	1.4066 (0.2356)
	0.0749	0.0552	0.0639	0.0549	0.0642	
Perú ARIMA(4,2,2)	0.5826	-0.4785	-0.18	-0.3386	-1.3008	0.6913 (0.4057)
	0.0798	0.0786	0.0757	0.0761	0.0574	
Colombia ARIMA(1,2,3)	0.9308	-1.6087	0.4976	0.1679		0.0013 (0.9708)
	0.0442	0.0791	0.1285	0.0658		
Bolivia ARIMA(1,2,2)	0.9702	-1.9169	0.9326			0.0562 (0.8126)
	0.0181	0.0494	0.0501			
Argentina ARIMA(0,2,1)	MA(1)					2.0505 (0.1522)
	-0.7557 (0.0375)					
Chile ARIMA(0,2,1)	MA(1)					0.9878 (0.3203)
	-0.8308 (0.0357)					
Ecuador ARIMA(0,2,1)	MA(1)					0.0601 (0.8063)
	-0.9358 (0.0399)					

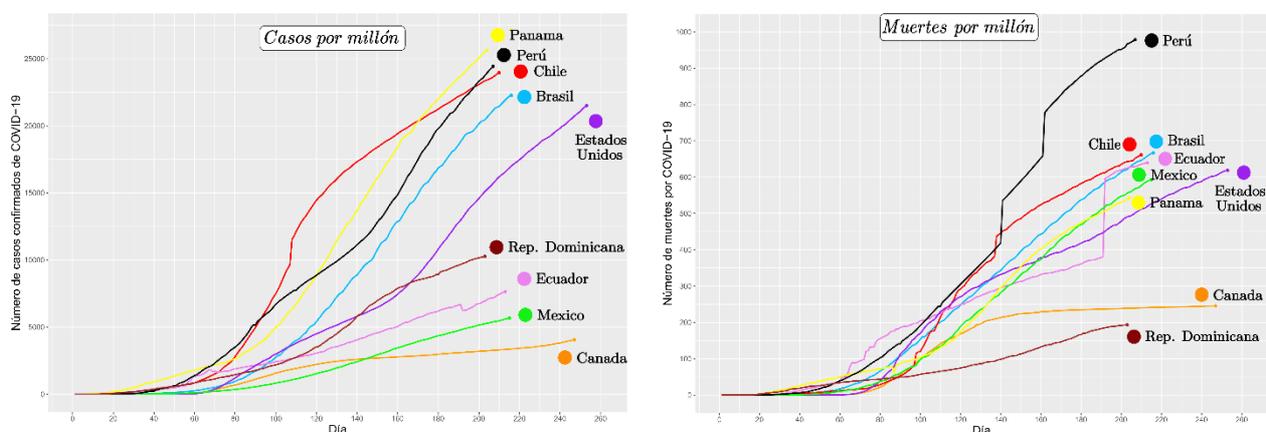
### Pronósticos a corto plazo

Se realizaron los ajustes de modelos ARIMA para el número de contagio por millón de habitantes, desde el primer registro de contagio hasta el 28 de setiembre y los pronósticos hasta 3 semanas hacia adelante, es decir hasta el 19 de octubre para los países de Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador y Perú. En la Tabla 2 se muestran las estimaciones de los parámetros de los modelamientos ARIMA para cada país, así también el estadístico de Ljung y Box; se observaron que en cada uno de los modelos según el estadístico de Ljung y Box los residuales de cada modelo no presentan autocorrelaciones, es decir los residuales presentan un comportamiento de ruido blanco, con valores significativos altos, de esta manera no rechazando las hipótesis nula de independencia de los residuales y evidenciando la adecuación óptima de los modelos.

De la gráfica de los pronósticos del número de casos confirmados por millón de habitantes se observa que hasta el 19 de octubre; Argentina, Brasil, Chile, Colombia y Perú no parecen cambiar su tendencia creciente del número de contagio, al igual que Ecuador si bien es cierto presenta una disminución sin embargo aún no parece cambiar su tendencia, sin embargo, Bolivia parece disminuir ligeramente el número de contagios y posiblemente mantener una tendencia constante en los siguientes días al 19 de octubre.



**Figura 4:** Pronóstico del número de casos confirmados por millón de habitantes desde el 16 de junio hasta el 6 de julio, puntual y por intervalo a un nivel del 95% de confianza, formada por las líneas punteadas.



**Figura 5:** (A) Número de casos confirmados vs días de contagio por millón de habitantes. (B) Número de personas fallecidas por millón de habitantes vs días de contagio, de los países con mayor incidencia de COVID-19, desde la confirmación del primer caso por la COVID-19.

Comparando las incidencias respecto a algunos países de América, en la figura 5 se observa que Panamá, Perú, Chile, Brasil presentan mayores números de casos confirmados por millón de habitantes, superando incluso a Estados Unidos y por mucho a Canadá, Ecuador, México y República Dominicana; Brasil parece seguir la misma tendencia de Chile, Panamá y Perú. Sin embargo, comparando el número de muertes por millón de habitantes Perú a punto de alcanzar los 1000 decesos diferenciándose de los demás países los cuales presentan un comportamiento de disminución en el número de muertes por millón de habitantes.

#### IV. CONCLUSIONES

Observando los resultados del procesamiento de los datos hasta el 28 de setiembre de 2020. El caso especial de Brasil, Chile y Perú es muy alarmante, Perú es el país que tiene mayor número de muertes por millón de habitantes seguido de Bolivia, Chile, Brasil y Ecuador que comparten un comportamiento similar. Perú y Chile son los países con más casos confirmados por millón de habitantes seguido por Brasil. Desde el enfoque comparativo de este estudio nos muestra que las medidas adoptadas en estos países para frenar la propagación de la COVID-19 no han sido efectivas reflejado en el número de contagios por millón de habitantes y que el sistema de salud ha colapsado con el resultado de la elevada mortalidad por esta enfermedad.

El hecho que un país tenga mayor número de contagiados y muertos que otros no significa que en proporción al número de habitantes también lo sea, como se observó para el caso de muertes por JHUM(2020). Esto lo podemos ver claramente en el caso de Brasil el cual tiene el mayor número de contagiados en Sudamérica, pero al considerar los casos por millón, vemos que Brasil está por debajo de Perú y Chile, en clara diferencia con lo afirmado por una editorial de la revista prestigiosa *The Lancet* (2020). Lo mismo sucede si vemos en el caso de la cantidad de muertos por millón de habitantes. Estos resultados evidencian que en la mayoría de países sudamericanos no disminuirá el número de casos y muertes a un corto plazo, ya que los incrementos de los casos por día aumentan de manera considerable cada día. Sin embargo, se debe de reconocer que una de las limitaciones del estudio es no considerar la densidad poblacional, datos que no han sido registrados por los países, entre otros factores.

Las intervenciones no farmacéuticas como la cuarentena, han tenido un gran efecto en la reducción de la transmisión del COVID-19 en Europa (Flaxman *et al.*, 2020). Sin embargo, el caso de Perú es singular, pues a la fecha (28 de setiembre del 2020) y con más días de cuarentena obligatoria que otros países y siendo el primer país en implementarla es el país que está siendo más afectado por la COVID-19, como ya evidenció *El país* (2020). Las medidas implementadas, como la cuarentena obligatoria en todo el país, no ha dado los resultados esperados. Sin embargo, reconociendo que también sin esas medidas posiblemente el Perú estaría lamentando más registros de casos confirmados y decesos. También, esto reflejaría la débil infraestructura y equipamiento en el sector salud, la informalidad laboral, la falta de agua potable, el clima y ubicación geográfica (Arias-Reyes *et al.*, 2020), entre otros factores que están llevando a este país a consecuencias negativas.

Una limitación del estudio es que no se ha revisado el contagio y mortalidad por COVID-19 en distintas regiones del país, los cuales aparentemente, siguen curvas distintas.

#### V. REFERENCIAS

- Arias-Reyes, C., Zubieta-DeUrioste, N., Poma-Machiacao, L., Aliaga-Raduan, F., Carbajal-Rodriguez, F., *et al.* (2020). Does the pathogenesis of SARS-CoV-2 virus decrease at high-altitude? *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 277. doi:10.1016/j.resp.2020.103443
- Box, G., y Jenkins, G. M. (1970). *Time Series Analysis Forecasting and Control*. San Francisco: Holden day.
- Centers for Disease Control and Prevention (02 de junio del 2020). *Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)*. Recuperado de: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/summary.html>
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (02 de junio del 2020). *Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)*. Recuperado de: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/summary.html>
- El País (08 de junio 2020). *Países con mayo exceso de muertes*. Recuperado de: <https://elpais.com/sociedad/2020-06-05/espana-es-el-pais-con-el-segundo-mayor-exceso-de-muertes-durante-la-crisis-del-coronavirus.html>

- Flaxman, S., Mishra, S., Gandy, A., Unwin, H. J., Mellan, T. A., Coupland, H., *et al.* (2020). Estimating the effects of non-pharmaceutical interventions on COVID-19 in Europe. *Nature*. doi:10.1038/s41586-020-2405-7
- John Hopkins University of Medicine (07 de junio 2020). MAPS & TRENDS, Mortality Analyses. Recuperado de: <https://coronavirus.jhu.edu/data/mortality>
- Medeiros de Figueiredo, A., Daponte, A., Moreira Marculino de Figueiredo, D. C., Gil-García, E., y Kalache, A. (2020). Letalidad del COVID-19: ausencia Delaware patrón epidemiológico. *Gaceta Sanitaria*. doi:10.1016/j.gaceta.2020.04.001
- Organización Mundial de la Salud. (29 de mayo 2020). *Novela Coronavirus (2019-nCoV) Situación Reporte-59 19 marzo 2020. OMS boletín 2020*. Recuperado de [https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200319-sitrep-59-covid-19.pdf?sfvrsn=c3dcdef9\\_2](https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200319-sitrep-59-covid-19.pdf?sfvrsn=c3dcdef9_2)
- Our World in Data (07 de junio 2020). *Estadística e investigación, casos de coronavirus (COVID-19), 2020*. Gales: Global Change Data. Recuperado de <https://ourworldindata.org/covid-cases>
- The Lancet. (2020). COVID-19 in Brazil. “So what?”. *The Lancet*, 395(10235), 1461. doi:10.1016/S0140-6736(20)31095-3
- Worldometer, (29 de mayo 2020). *Worldometer, COVID-19*. Recuperado de: <https://www.worldometers.info/coronavirus/>
- Zunyou, W., y McGoogan, J. M. (2020). Características y lecciones importantes del brote de la enfermedad por coronavirus 2019 (COVID-19) en China. *JAMA*. doi:doi:10.1001/jama.2020.2648