

OCURRENCIA Y DISTRIBUCIÓN DE *Vibrio cholerae* CULTIVABLE EN LA CIÉNAGA GRANDE DE SANTA MARTA, CARIBE COLOMBIANO

Occurrence and distribution of cultivable *Vibrio cholerae* in Ciénaga Grande De Santa Marta, Colombian Caribbean

Tania CÓRDOBA - MEZA¹, Luisa F. ESPINOSA - DÍAZ¹, Lizbeth - Janet VIVAS- AGUAS¹

1. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (INVEMAR), Calle 25 No. 2-55, Playa Salguero, Santa Marta, Colombia.

* For correspondence: tania.cordoba@invemar.org.co

Received: 1st December 2020. Returned for revision: 24th May 2021. Accepted: 24th June 2021.

Associate Editor: Carolina Firacative

Citation/ citar este artículo como: Córdoba-Meza T., Espinosa-Díaz, L. F., y Vivas-Aguas, L. J. (2022). Ocurrencia y distribución de *Vibrio cholerae* cultivable en La Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. *Acta Biológica Colombiana*, 27(2), 199 - 207. <https://doi.org/10.15446/abc.v27n2.92057>

RESUMEN

Vibrio cholerae es un potencial patógeno humano que habita ambientes acuáticos, aunque su presencia y abundancia se ha asociado al aumento de la temperatura del agua, poco se ha investigado sobre su ecología en ambientes estuarinos tropicales, donde los cambios de salinidad suelen ser más importantes. El presente estudio evaluó la distribución de *V. cholerae* en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia y su relación con la temperatura y la salinidad. Para ello, entre 2016 y 2018 se cuantificó bimestralmente esta especie en muestras de agua superficial, usando agar TCBS y pruebas bioquímicas. *V. cholerae* se detectó en 57 de 198 muestras (28,8 %), variando en densidad entre 5 y 54 800 UFC por 100 mL. Entre enero y septiembre de 2016 se presentó una alta salinidad promedio mensual ($\geq 28,7$) y una baja detección de la bacteria (0,01 %). La salinidad promedio se redujo drásticamente en noviembre de 2016 (9,6), coincidiendo con una proliferación de *V. cholerae* (promedio geométrico 36,4 UFC/100 mL). Durante 2017 y 2018 la salinidad promedio se mantuvo por debajo de 15,2 y la detección de *V. cholerae* fue mayor (39,4 %) que, en 2016, presentándose mayores densidades en los meses con menor salinidad. En las estaciones denominadas BVA y NVE, donde se ubican poblaciones palafíticas, se registraron las densidades promedio (geométrico) más altas, 25,3 UFC/100 mL y 15,4 UFC/ 100 mL, respectivamente. Los resultados de este estudio demuestran que la salinidad juega un papel determinante en la ocurrencia y abundancia de *V. cholerae* en esta laguna tropical.

Palabras Clave: Cólera, estuario, Vibriosis, Evento El Niño.

ABSTRACT

Vibrio cholerae is a potential human pathogen that inhabits aquatic environments, although its presence and abundance have been associated with increased water temperature, little research has been done on its ecology in tropical estuarine environments, where salinity changes tend to be more important. The present study evaluated the distribution of *V. cholerae* in the Ciénaga Grande de Santa Marta and its relationship with temperature and salinity; For this, between 2016 and 2018 this microorganism was quantified bimonthly in surface water samples, using TCBS agar and biochemical tests. *V. cholerae* was detected in 57 of 198 samples (28.8 %), varying in density between 5 CFU / 100 mL and 54,800 CFU / 100 mL. Between January and September 2016 there was a high average monthly salinity (≥ 28.7 °C) and a low detection of the bacteria (0.01 %). Average salinity dropped drastically in November 2016 (9.6), coinciding with a proliferation of *V. cholerae* (geometric average 36.4 CFU / 100 mL). During 2017 and 2018, the average salinity remained below 15.2 and the detection of *V. cholerae* was higher (39.4 %) than in 2016, with higher densities in the months with lower salinity. At the BVA and NVE stations, where palaphytic populations are located, the highest average (geometric) densities were recorded, 25.3 CFU / 100mL and 15.4 CFU / 100mL, respectively. The results of this study show that salinity plays a determining role in the occurrence and abundance of *V. cholerae* in this tropical lagoon.

Keywords: Cholera, estuary, Vibriosis, El Niño event.

INTRODUCCIÓN

La bacteria *Vibrio cholerae* habita naturalmente en aguas marinas y estuarinas (Colwell et al., 1977; Vezzulli et al., 2020) y es el agente causante del cólera, una enfermedad diarreica aguda, que puede producir la muerte por deshidratación, si no se trata a tiempo. Luego de siete pandemias en diferentes países del mundo, el riesgo de nuevos brotes de cólera permanece latente, siendo las zonas costeras tropicales de América Latina áreas particularmente vulnerables (Escobar et al., 2015). Las poblaciones costeras que viven en condiciones precarias de abastecimiento de agua potable y saneamiento básico y que derivan su sustento de la pesca son las más amenazadas, ya que *V. cholerae* se transmite por la ingestión de agua o alimentos contaminados, como peces y mariscos mal cocidos (World Health Organization [WHO], 2018). En la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) la vida de los habitantes está estrechamente ligada al agua, siendo la pesca su principal actividad económica y de subsistencia; sin embargo, sus necesidades básicas insatisfechas son de las más altas de la región (Vilardy y González, 2011).

Las aguas costeras juegan un papel fundamental en la persistencia, diseminación y transmisión de esta bacteria patógena a los humanos (Vezzulli et al., 2010), y por ello es necesario su vigilancia y monitoreo, como parte de la estrategia para prevenir y controlar nuevos brotes de la enfermedad. Además, para identificar las áreas vulnerables y las poblaciones en riesgo, es clave determinar las condiciones ecológicas del agua que promueven la persistencia y crecimiento de *V. cholerae*, y de este modo, desarrollar sistemas de alerta temprana (WHO, 2005).

Aunque el nicho ecológico de *V. cholerae* abarca un amplio rango de condiciones ambientales (Lipp et al., 2002), su presencia y proliferación se ha asociado a factores ambientales como la temperatura superficial del agua, pH y salinidad (Lobitz et al., 2000; Louis et al., 2003; Huq et al., 2005; Kopprio et al., 2017). Además, variables biológicas como el fitoplancton y el zooplancton constituyen reservorios importantes de *V. cholerae*, ya que esta bacteria puede formar biopelículas en la superficie de estos organismos (Colwell, 1996; Vezzulli et al., 2010; Neogi et al., 2012). De este modo, variables abióticas y bióticas pueden servir como factores indicadores para predecir la distribución temporal y espacial de nuevos brotes de cólera (Jutla et al., 2010).

La detección de *V. cholerae* aumenta con la temperatura del agua (Lipp et al., 2002); de hecho, los brotes de cólera se correlacionan fuertemente con los aumentos en la temperatura superficial del agua en épocas de verano, particularmente en zonas costeras templadas (Colwell, 1996; Pascual et al., 2000; Gavilán y Martínez-Urtaza, 2011; Xu et al., 2014). Sin embargo, en los ecosistemas estuarinos tropicales, donde la variación de temperatura es relativamente moderada, son los periodos de lluvias

y sequías los que definen los patrones estacionales. Así, la salinidad puede variar ampliamente, disminuyendo en época de lluvias por la mayor entrada de agua dulce de los ríos, e incrementándose en época seca por las altas tasas de evaporación solar (Roldán y Ramírez, 2008). En consecuencia, en los estuarios tropicales la detección de especies de *Vibrio* puede estar siendo controlada más por la salinidad que por la temperatura (Lipp et al., 2001). De este modo, el efecto de los factores ambientales sobre la ocurrencia y distribución de *V. cholerae* puede ser específico para cada región.

En Colombia la ecología de *V. cholerae* en ecosistemas acuáticos ha sido un tema poco abordado; los estudios realizados se han enfocado en la evaluación de aguas de lastre descargadas por buques que ingresan al país, en las cuales se ha registrado la presencia de *V. cholerae* (Rodríguez Cuitiva, 2011). Otros estudios se han centrado en el aislamiento e identificación de especies de *Vibrio* a partir de organismos marinos. López et al. (2010) aislaron especies de *Vibrio* a partir de ostras recolectadas en la Ciénaga de la Virgen, una laguna costera ubicada al norte de la ciudad de Cartagena de Indias, identificando las especies *V. alginolyticus*, *V. fluvialis*, *V. parahaemolyticus*, *V. carchariae*, *V. mimicus*, *V. vulnificus*, *V. cincinnatiensis* y *V. campbelli*, pero no *V. cholerae*.

El presente estudio determinó la variabilidad espacial y temporal de *V. cholerae* en la CGSM durante tres años (2016 a 2018), con el propósito de evaluar la influencia de la temperatura del agua y la salinidad como factores ambientales que inciden en la ocurrencia y distribución de esta bacteria en un estuario tropical.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La CGSM es el complejo lagunar más extenso e importante de Colombia. Cuenta con un área aproximada de 1321,6 km², conformada por la parte principal del plano deltáico del río Magdalena, la Isla de Salamanca, el complejo de ciénagas de Pajarales y la laguna principal (Gónima et al., 1998). Tiene una gran importancia socioeconómica debido a que provee servicios ecosistémicos para la seguridad alimentaria y la calidad de vida de las poblaciones autóctonas y aledañas (Vilardy y González, 2011; Zamora Bornachera et al., 2016; INVEMAR, 2019).

Medición de variables ambientales y recolección de muestras

Se midieron *in situ* la temperatura y salinidad del agua y se recolectaron muestras de agua superficial bimestralmente (enero, marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre) durante los años 2016, 2017 y 2018, en once estaciones del

complejo lagunar CGSM, para un total de 18 muestras por estación, es decir, una muestra por mes, por año en cada estación (Fig. 1).

La temperatura y la salinidad se midieron en el agua superficial usando sondas portátiles calibradas, siguiendo los métodos de referencia SM-2550B y SM-2520B, respectivamente (Baird et al., 2017). Las muestras de agua fueron recolectadas en recipientes de polipropileno estériles de 500 mL y transportadas en neveras plásticas con hielo a la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina (LABCAM) del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés”-INVEMAR, para el aislamiento y cuantificación de *V. cholerae*.

ASLAMIENTO, IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE *VIBRIO CHOLERA*

Las muestras se pasaron por filtros estériles Advantec de nitrocelulosa de 0,45 μm de poro, utilizando volúmenes entre 0,1 y 50 mL. Los filtros fueron transferidos a placas de agar tiosulfato citrato bilis sacarosa (TCBS) marca Oxoid. Éstas se incubaron a $35 \pm 0,5$ °C durante 18 ± 4 horas. Posteriormente, se seleccionaron las colonias presuntivas de *Vibrio* spp. (amarillas y verdes) y se realizó el recuento de unidades formadoras de colonia (UFC) de cada morfotipo (Nigro et al., 2011).

La identificación se realizó mediante diferentes pruebas de acuerdo con lo descrito por Baird et al. (2017), sembrando una colonia de cada morfotipo en agar TCBS, para obtener colonias aisladas y puras. Éstas últimas se repicaron en agar nutritivo con cloruro de sodio al 1 % y se incubaron a $35 \pm 0,5$ °C durante 18 ± 4 horas. Las colonias que crecieron fueron sometidas a la prueba de oxidasa, utilizando tiras Bactident oxidasa marca Merck. A partir de las cepas oxidasa positivas se identificó *V.*

cholerae aplicando la batería de pruebas bioquímicas API 20E de Biomeriux, siguiendo las instrucciones del fabricante.

Análisis de datos

Para representar la ocurrencia de *V. cholerae* se usó la frecuencia relativa de detección, expresada como un dato de porcentaje. Para ello, se dividió el número de muestras en las cuales se detectó la bacteria (casos positivos) sobre el número total de muestras analizadas de interés (periodo, mes, estación), y se multiplicó por 100. Los valores de densidad promedio de *V. cholerae* se reportan como media geométrica.

Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) a una vía para determinar si existían diferencias interanuales (entre años), estacionales (entre meses) o espaciales (entre estaciones) de temperatura, salinidad y densidad de *V. cholerae*. Cuando se presentaron diferencias, se realizó la prueba *post hoc* de la diferencia mínima significativa (DMS). Para ambas pruebas (ANOVA y DMS) se usó un nivel de significancia de 0,05.

Teniendo en cuenta la ocurrencia del evento El Niño 2015-2016 (National Oceanic and Atmospheric Administration [NOAA], 2020) y la marcada influencia que éste presentó sobre la salinidad en la CGSM, además de analizar y presentar valores promedio de salinidad y densidad de *V. cholerae* a partir de los tres años de estudio, se evaluó de manera independiente el periodo 2017-2018, al considerarse que este último refleja el comportamiento de las variables en años climáticamente “típicos”.

Se realizó un análisis de regresión lineal para determinar la asociación entre la densidad de *V. cholerae* y las variables ambientales temperatura y salinidad. En este análisis sólo se incluyeron las muestras con valores de salinidad superiores a 0,1, con el fin de mostrar cómo es el comportamiento de *V. cholerae* en el rango de salinidad en el que se presentó la mayor frecuencia de detección y las concentraciones más altas; adicionalmente se calcularon los coeficientes de correlación de Spearman para evaluar el tipo de asociación presentada entre las variables. Los datos de densidad de *V. cholerae* fueron transformados aplicando logaritmo en base 10 tanto para la regresión lineal como para los ANOVAS. Los análisis se realizaron con el programa R.

RESULTADOS

Variables ambientales

La temperatura promedio del agua superficial de la CGSM durante el periodo de estudio presentó menor variación que la salinidad, con valores promedio entre $27,7$ °C $\pm 1,4$ y $33,5$ °C $\pm 2,6$ (Fig. 2a). Si bien no hubo diferencias estadísticamente significativas entre años ($p = 0,35$), sí las hubo entre meses ($p < 0,01$) para los tres años, hallándose una temperatura promedio menor en enero ($29,5$ °C $\pm 1,5$) y marzo ($29,2$ °C $\pm 2,0$), y mayor en julio ($32,1$ °C $\pm 2,2$) y septiembre ($31,8$ °C $\pm 2,0$) (Fig. 2b).

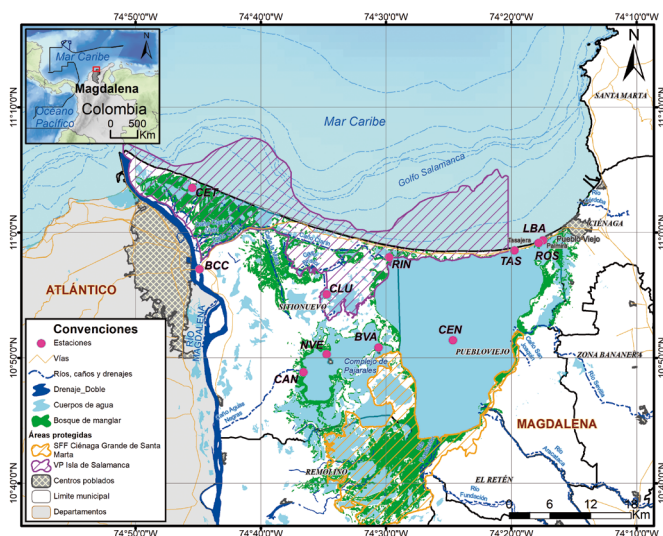


Figura 1. Área de estudio y ubicación de las estaciones de muestreo en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano

También se evidenciaron diferencias significativas entre estaciones ($p < 0,01$), siendo la temperatura promedio más baja en LBA ($29,0 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1,4$), CET ($29,1 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1,4$) y ROS ($29,4 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1,6$), y más alta en BVA ($31,9 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1,6$), CLU ($32,0 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1,9$) y NVE ($32,5 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2,5$) (Fig. 2c).

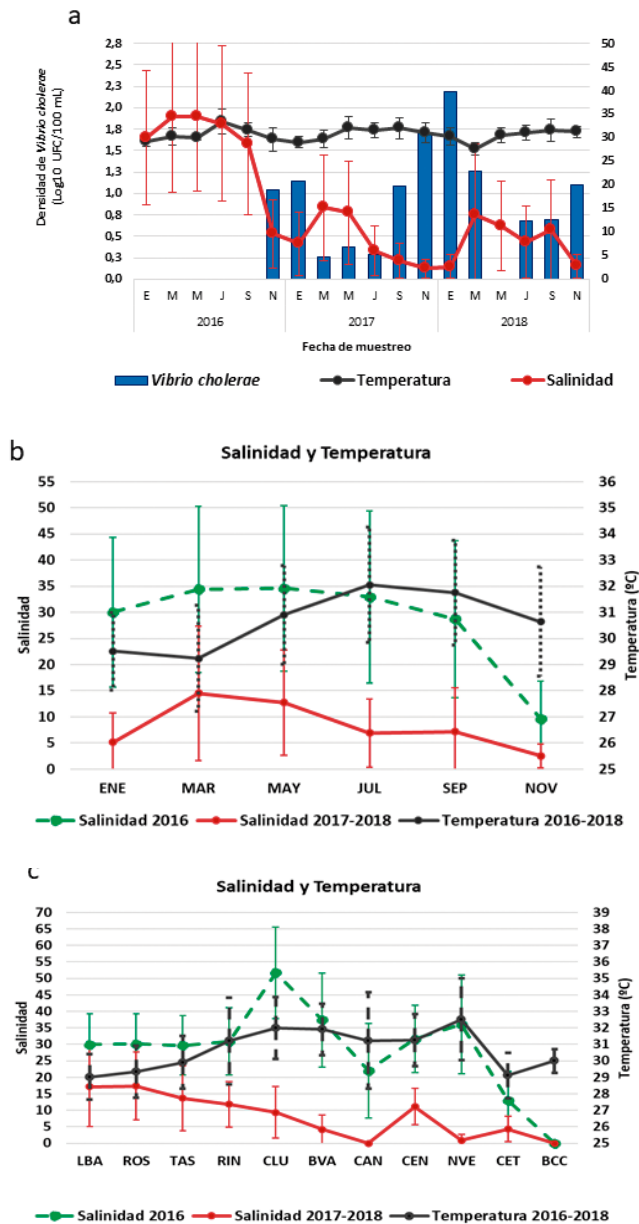


Figura 2. a) Variación temporal y espacial de la temperatura promedio, salinidad promedio y densidad media geométrica de *Vibrio cholerae* en el agua superficial de la CGSM, entre los años 2016 y 2018; barras de error = desviación estándar. b) Patrón temporal de las variables ambientales en la CGSM: salinidad promedio y temperatura promedio. c) Patrón espacial de las variables ambientales en la CGSM para cada estación de muestreo $n = 11$: salinidad promedio y temperatura promedio; barras de error = desviación estándar.

A diferencia de la temperatura, la salinidad varió ampliamente, registrándose valores promedio entre $2,2 \pm 2,0$ y $34,6 \pm 15,8$. Entre enero y septiembre de 2016, la salinidad promedio se mantuvo elevada ($\geq 28,7$), presentando un drástico descenso en noviembre del mismo año ($9,6 \pm 7,2$) y enero de 2017 ($7,6 \pm 6,7$). Entre enero de 2017 y noviembre de 2018, la salinidad promedio se mantuvo por debajo de 15,5, registrándose el 50 % de los meses por debajo de 8 (Fig. 2a).

La salinidad promedio en el año 2016 ($28,4 \pm 9,5$) fue significativamente superior a la registrada en 2017 ($8,18 \pm 8,63$) y 2018 ($8,17 \pm 9,59$) ($p < 0,01$) (Fig. 2 b y c). Considerando sólo los años climáticamente "típicos" (2017 y 2018), la salinidad promedio fue más baja en noviembre ($2,5 \pm 2,3$) y enero ($5,2 \pm 5,5$), y más alta en marzo ($14,5 \pm 12,8$) y mayo ($12,7 \pm 10,1$), evidenciándose diferencias significativas entre meses ($p < 0,01$) (Fig. 2b). Así mismo, las medidas de salinidad promedio más bajas se observaron en las estaciones BCC ($0,01 \pm 0,03$), CAN ($0,03 \pm 0,09$) y NVE ($0,9 \pm 1,7$), y las más altas en LBA ($17,2 \pm 12,1$) y ROS ($17,4 \pm 10,3$); hallándose diferencias significativas entre estaciones ($p < 0,01$) (Fig. 2c). Al incluir el año 2016 en el análisis, se evidencian diferencias significativas entre meses ($p < 0,01$); los valores mensuales de salinidad promedio aumentaron casi el doble, presentándose el más bajo en noviembre ($4,9 \pm 5,49$), y los más altos en marzo ($21,1 \pm 16,6$) y mayo ($20,0 \pm 15,9$). Igualmente, al incluir en el análisis el año 2016 se observa que las medidas de salinidad promedio incrementaron notablemente, a excepción de BCC, y son significativamente diferentes entre estaciones ($p < 0,01$); la salinidad más baja se registró en BCC ($0,01 \pm 0,02$), CET ($7,2 \pm 7,07$) y CAN ($7,4 \pm 13,2$), y la más alta en LBA ($21,4 \pm 12,5$), ROS ($21,6 \pm 11,5$) y CLU ($23,5 \pm 22,7$).

Variabilidad temporal de *Vibrio cholerae*

La densidad promedio de *V. cholerae* varió significativamente durante el periodo de estudio ($p < 0,01$). Entre enero y septiembre de 2016, *V. cholerae* se detectó en tan sólo el 0,02 % de las muestras ($n = 55$), en noviembre, se evidenció un rápido aumento en su frecuencia de detección y densidad promedio ($36,4 \%$; $10,9 \text{ UFC}/100 \text{ mL}$); entre enero de 2017 y noviembre de 2018, *V. cholerae* continuó siendo detectada en la CGSM, alcanzando su pico de ocurrencia y densidad promedio en noviembre de 2017 ($63,6 \%$; $50,6 \text{ UFC}/100 \text{ mL}$) y enero de 2018 ($81,8 \%$; $154,6 \text{ UFC}/100 \text{ mL}$) (Fig. 2a).

En 2016, la densidad promedio de *V. cholerae* ($0,87 \text{ UFC}/100 \text{ mL}$) fue significativamente menor que en 2017 ($6,44 \text{ UFC}/100 \text{ mL}$) y 2018 ($8,66 \text{ UFC}/100 \text{ mL}$) ($p < 0,01$). Excluyendo al año atípico (2016) del análisis, los meses que presentaron la mayor ocurrencia y densidad promedio de *V. cholerae* fueron enero ($63,6 \%$; $46,53 \text{ UFC}/100 \text{ mL}$) y noviembre ($54,5 \%$; $25,32 \text{ UFC}/100 \text{ mL}$), mientras que los valores más bajos se observaron en mayo ($13,6 \%$; $1,09 \text{ UFC}/100 \text{ mL}$) y julio ($31,8 \%$; $3,04 \text{ UFC}/100 \text{ mL}$) (Fig. 3).

Incluyendo el 2016, se mantuvo el mismo patrón estacional, pero en todos los meses disminuyeron considerablemente los valores de ocurrencia y densidad promedio de la bacteria; nuevamente, los más altos se observaron en enero (42,4 %; 10,27 UFC/100 mL) y noviembre (48,5 %; 19,14 UFC/100 mL), y los más bajos en mayo (9,1 %; 0,84 UFC/100 mL) y julio (24,2 %; 1,79 UFC/100 mL). En ambos análisis se evidenciaron diferencias significativas entre meses ($p > 0,01$).

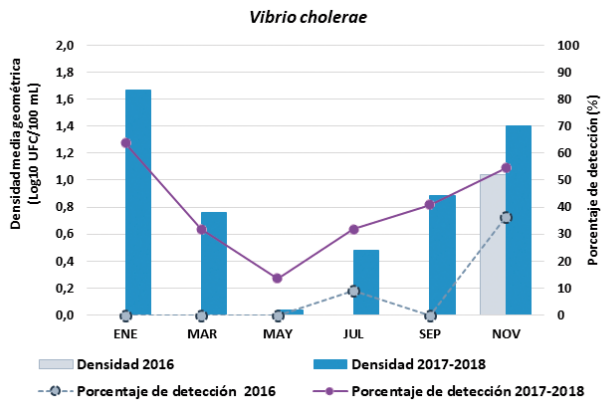


Figura 3. Patrón temporal de la ocurrencia de *Vibrio cholerae* en la CGSM

Variabilidad espacial de *Vibrio cholerae*

La densidad promedio de *V. cholerae* mostró una variación significativa en las distintas estaciones de muestreo ($p < 0,01$) (Fig. 4). La mayor densidad registrada en una muestra individual fue 54 800 UFC/100 mL, registrada de la estación BVA en noviembre de 2016; por el contrario, la bacteria no fue detectada en la estación ROS en ninguna de las muestras ($n = 18$).

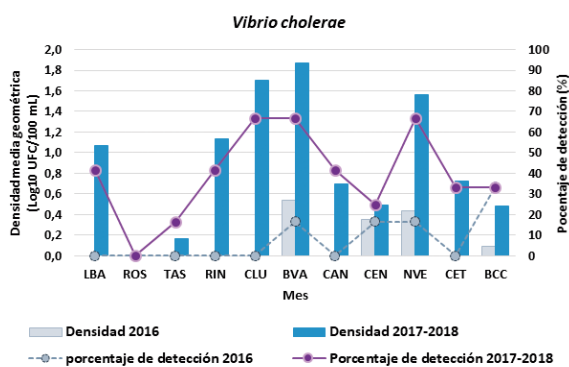


Figura 4. Patrón estacional de la ocurrencia de *Vibrio cholerae* en la CGSM.

Durante el periodo 2017–2018, las estaciones BVA (74,6 UFC/100 mL), CLU (50,0 UFC/100 mL) y NVE (36,8 UFC/100 mL) mostraron las mayores densidades promedio de *V. cholerae* en la CGSM, presentando además, el mayor porcentaje de muestras positivas para la bacteria (cada una

66,7 %; $n = 12$) (Fig. 4). Incluyendo el año 2016 en el análisis, las mayores densidades promedio se presentaron en las estaciones BVA (26,8 UFC/100 mL) y NVE (15,4 UFC/100), nuevamente, detectándose la bacteria en el 50 % de las muestras provenientes de ambos sitios; sin embargo, los valores absolutos de densidad promedio son notoriamente inferiores a los obtenidos cuando se consideran únicamente los años “típicos”.

El papel de las variables ambientales en la distribución de *Vibrio cholerae*

V. cholerae no estuvo limitada por la temperatura del agua superficial de la CGSM, ya que se detectó en todo el rango de temperaturas registradas durante el periodo de estudio y aunque la densidad de *V. cholerae* presentó una correlación positiva con la temperatura del agua ($r = 0,09$), esta fue débil (Fig. 2a).

Por el contrario, su presencia en el agua sí estuvo controlada fuertemente por la salinidad (Fig. 2a). La bacteria estuvo prácticamente ausente (0,01 %) durante los meses con alta salinidad (≥ 28 ; enero – septiembre de 2016; (Fig. 3), observándose un aumento en su ocurrencia y densidad al disminuir la salinidad; de hecho, las mayores densidades de este microorganismo se presentaron en los meses con menor salinidad (noviembre 2017–enero 2018) (Fig. 2a).

En la Figura 5a se muestra la densidad media geométrica y el porcentaje de detección de *V. cholerae*, en relación con 5 rangos de salinidad. En salinidades superiores a 15 (muestras positivas: 1,8 %), la bacteria estuvo prácticamente ausente, a pesar de que este rango de salinidad contiene el 37,4 % de las muestras. En contraste, la presencia de *V. cholerae* aumentó progresivamente en salinidades inferiores a 15, alcanzando el pico de detección y densidad promedio en muestras con salinidades entre 0,1 y 5 (65,7 %; 61,4 UFC/100 mL) (Fig. 5a). El análisis de regresión lineal mostró una correlación negativa entre el logaritmo base 10 de la densidad de *V. cholerae* y la raíz cuadrada de la salinidad ($r = - 0,55$) (Fig. 5b).

DISCUSIÓN

La ocurrencia y distribución de *V. cholerae* en la Ciénaga Grande de Santa Marta, estuvieron influenciados por la salinidad, que varió ampliamente durante el tiempo de estudio, debido a la naturaleza estuarina y semicerrada de este cuerpo de agua (Roldán y Ramírez, 2008). Los cambios en la salinidad presentados en la CGSM se generan por la mezcla de agua dulce aportada por el Río Magdalena y los afluentes de la Sierra Nevada de Santa Marta y las aguas marinas que ingresan continuamente a través de la Boca de La Barra (Wiedemann, 1973; INVEMAR, 2019).

Particularmente en el periodo estudiado se evidenció un cambio considerable de la salinidad, debido a que desde el año 2015 hasta los primeros meses del 2016 se presentó el evento climático El Niño, descrito como uno de los más

intensos de la historia (NOAA, 2020). Este evento produjo la disminución drástica del caudal de los ríos que descargan agua dulce al sistema, ocasionando aumentos en la salinidad. A partir del mes de septiembre de 2016, iniciaron las lluvias, dando lugar a un descenso en la salinidad en todo el cuerpo lagunar (INVEVAR, 2017; Fig. 2a). Estos cambios climáticos mostraron una influencia marcada en el comportamiento de *V. cholerae*, ya que, al ingresar mayor cantidad de agua dulce al sistema, se generan condiciones que favorecen la proliferación de esta bacteria, detectándose con mayor frecuencia en muestras con salinidades entre valores de 0,1 y 10 (Fig. 5a).

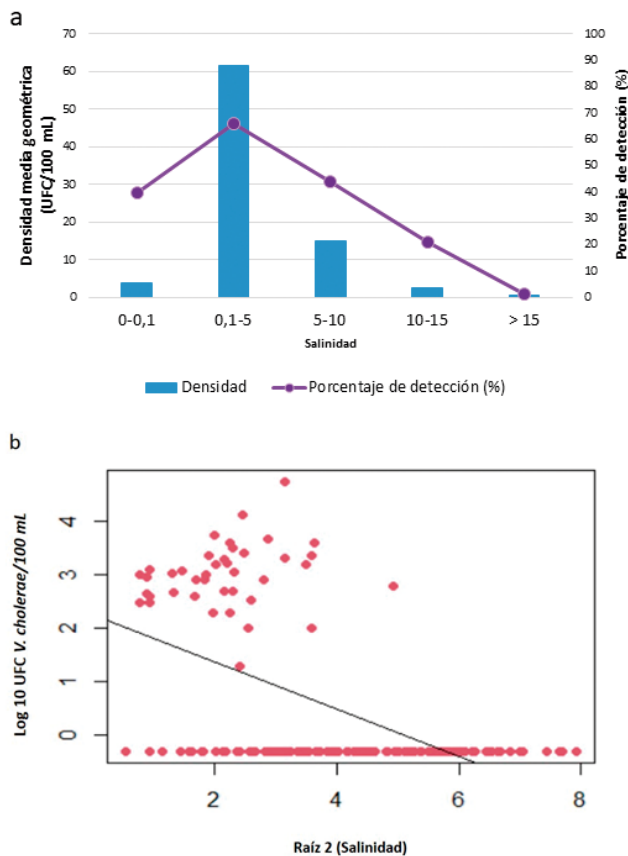


Figura 5. Presencia y abundancia de *V. cholerae* en respuesta a la salinidad. a) Detección y promedio geométrico de *V. cholerae* en distintos rangos de salinidad. b) Análisis de regresión lineal simple del logarítmico en base 10 de la concentración de *V. cholerae* en función de la raíz cuadrada de la salinidad, incluyendo sólo las muestras con salinidad mayor a 0,1 ($r = -0,55$).

Se han descrito diferentes rangos de salinidad considerados óptimos para el crecimiento de *V. cholerae*, entre los cuales se encuentran 15 y 25 (Borrotto, 1998; Thomas et al., 2006) y cinco y 25 (Lipp et al., 2002). Sin embargo, en la CGSM la detección de *V. cholerae* fue muy baja en las muestras que registraron salinidades por encima de 15 (0,01 %; Fig. 5a). Este hallazgo coincide con lo descrito por Esteves

et al. (2015), quienes evaluaron los cambios en las concentraciones de *V. cholerae* en un sistema de lagunas ubicadas en la costa francesa mediterránea, las cuales reciben aportes de agua de mar y agua dulce según las temporadas climáticas. Los autores encontraron que las mayores densidades de *V. cholerae* se registraron en salinidades entre cinco y 12, mientras que en salinidades mayores a 20 la concentración decaía drásticamente. Otro estudio realizado en la bahía Chesapeake (EE. UU.) sobre la cual desembocan varios ríos, mostró que la frecuencia de detección de *V. cholerae* fue menor en las muestras con salinidad superior a 14 (Louis et al., 2003). Cabe resaltar que además de la salinidad existen otros factores que influyen en la presencia de *V. cholerae* como son las concentraciones de nutrientes y la materia orgánica que en altas concentraciones influyen en la presencia y proliferación de esta bacteria en ecosistemas acuáticos (Borrotto, 1997) y que incluirlos en próximos estudios permitiría fortalecer el conocimiento sobre esta bacteria.

Por otra parte, la temperatura promedio del agua superficial de la CGSM tuvo una menor variación durante el tiempo del estudio, con valores muy cercanos y dentro del rango descrito como óptimo para el crecimiento de *V. cholerae* (30 °C – 37 °C; Borrotto, 1998). Sin embargo, debido a la baja variabilidad de la temperatura, esta variable no fue relevante para la ocurrencia y distribución de esta bacteria. A diferencia de lo que ocurre en zonas templadas y subtropicales, donde *V. cholerae* prolifera en verano, cuando aumenta la temperatura del agua (Colwell, 1996; Pascual et al., 2000; Xu et al., 2014; Di et al., 2017).

Cabe resaltar que la no detección de *V. cholerae* por métodos de cultivo convencionales no asegura la ausencia de este patógeno potencial, puesto que, aunque en condiciones ambientales como baja concentración de nutrientes, alta salinidad y bajas temperaturas se limita su proliferación en ecosistemas acuáticos, esta bacteria puede permanecer en un estado de latencia conocido como viable no cultivable (VBNC) en el cual se mantiene hasta que las condiciones sean favorables para su crecimiento (Jesudason et al., 2000; Lutz et al., 2013; Jayakumar et al., 2020; Kopprio et al., 2020).

La presencia de *V. cholerae* en distintas zonas de la CGSM, indica que este ecosistema tiene condiciones ambientales óptimas para la reaparición del cólera o la aparición de otras patologías asociadas con este microorganismo, convirtiéndose en un reservorio para esta especie, en el cual está presente a lo largo de todo el año. Teniendo en cuenta que *V. cholerae* prolifera y aumenta su concentración cuando la salinidad baja, hay un mayor riesgo de que ocurra una epidemia de cólera durante épocas lluviosas y principalmente en las estaciones BVA y NVE donde se registraron las mayores densidades y que se encuentran cercanas a comunidades palafíticas.

Es importante mencionar que la variabilidad espacial mostró que en estaciones con similares condiciones de

salinidad y temperatura los resultados en la detección de *V. cholerae* fueron diferentes, observando incluso que en la estación ROS, que presentó salinidades dentro del rango óptimo para el crecimiento de esta bacteria, no fue detectada durante todo el periodo estudiado. Lo anterior sugiere que existen otras variables que limitan y promueven la presencia de *V. cholerae* en los ecosistemas acuáticos y que deberían incluirse en próximos estudios para tener mayor conocimiento sobre las condiciones del agua que favorecen este microorganismo.

Este trabajo constituye una línea base para avanzar en el estudio de *V. cholerae* en ecosistemas acuáticos del país, así como para fortalecer los sistemas de vigilancia de las instituciones de salud en las regiones costeras sobre todo en las zonas con alta presencia de comunidades humanas.

CONCLUSIONES

En la CGSM, la presencia y distribución de *V. cholerae* están determinados en gran parte por la salinidad. Durante la época de lluvia, baja la salinidad y se generan condiciones propicias para la proliferación de este microorganismo, lo cual representa un factor de riesgo para las poblaciones que hacen uso del agua y de los recursos alimenticios que provee el sistema lagunar. Este conocimiento es un factor predictor de la proliferación de *V. cholerae* y constituye una herramienta que puede ser utilizada en la generación de alertas tempranas que conlleven a la aplicación de medidas preventivas.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación hace parte del Proyecto “Fortalecimiento monitoreo de la calidad del agua, del ecosistema de manglar y de los recursos pesqueros de la Ciénaga Grande de Santa Marta”, ejecutado por INVEMAR y financiado por la Corporación Autónoma Regional del Magdalena (CORPAMAG), en el marco de los convenios de Cooperación No. 16 del 2006 y de Asociación No. 40 de 2014 y por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, a través de la Ficha BPIN 20170110000113 “Investigación científica hacia la generación de información y conocimiento de las zonas marinas y costeras de interés de la nación” y Los autores agradecen al personal de la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina del INVEMAR, por el apoyo en las actividades de campo para la colecta de las muestras y en los análisis de laboratorio; y a Janneth Beltrán Ibáñez investigadora científica del LABSIS de INVEMAR, por la elaboración del mapa. Contribución científica de INVEMAR No. 1311.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- Baird, R. B., Eaton, A. D., y Rice, E. W. (Eds). (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd ed, pp.1325). American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Borroto, R. (1998). Supervivencia de *Vibrio cholerae* O1 en agua dulce superficial y cólera endémico: una hipótesis geocológica. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 4(6), 371-374.
<https://doi.org/10.1590/S1020-49891998001200001>
- Colwell, R., Kaper, J., y Joseph, S. (1977). *Vibrio cholerae*, *Vibrio parahaemolyticus*, and other vibrios: occurrence and distribution in Chesapeake Bay. *Science*, 198, 394-396. <https://doi.org/10.1126/science.198.4315.394>
- Colwell, R. R. (1996). Global climate and infectious disease: the cholera paradigm. *Science*, 274,2025-2031.
- Di, D. Y. W., Lee, A., Jang, J., Han, D., y Hur, H. G. (2017). Season-Specific Occurrence of Potentially Pathogenic *Vibrio* spp. on the Southern Coast of South Korea. *Applied and Environmental Microbiology*, 83, 1-13.
<https://doi.org/10.1128/AEM.02680-16>
- Escobar, L. E., Ryan, S. J., Stewart-Ibarra, A. M., Finkelstein, J. L., King, C. A., Qiao, H., y Polhemus, M. E. (2015). A global map of suitability for coastal *Vibrio cholerae* under current and future climate conditions. *Acta Tropica*, 149, 202-211.
<https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2015.05.028>
- Esteves, K., Hervio-Heath, D., Mosser, T., Rodier, C., Tournoud, M., y Jumas-Bilak, E. (2015). Rapid Proliferation of *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio vulnificus*, and *Vibrio cholerae* during Freshwater Flash Floods in French Mediterranean Coastal Lagoons. *Applied and Environmental Microbiology*, 81(21), 7600-7609.
<https://doi.org/10.1128/AEM.01848-15>
- Gavilán, R., y Martínez-Urtaza, J. (2011). Factores ambientales vinculados con la aparición y dispersión de las epidemias de *Vibrio* en América del Sur. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 28(1), 109-115.
<https://doi.org/10.17843/rpmesp.2011.281.464>
- Gónima, L., Mancera-Pineda, J. E., y Botero, L. (1998). *Aplicación de imágenes de satélite al diagnóstico ambiental de un complejo lagunar estuarino tropical: Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano* (pp. 10). Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés, Serie de Publicaciones Especiales.
- Huq, A., Sack, R. B., Nizam, A., Longini, I. M., Nair, G. B., Ali, A., Morris Jr., J. G., Khan, M. N. H., Siddique, A. K., Yunus, M., Albert, M. J., Sack, D. A., y Colwell, R. R. (2005). Critical factors influencing the occurrence of *Vibrio cholerae* in the environment of Bangladesh. *Applied and Environmental Microbiology*, 71, 4645-4654.
<http://dx.doi.org/10.1128/AEM.71.8.4645>

- INVEMAR. 2017. Monitoreo de las condiciones ambientales y los cambios estructurales y funcionales de las comunidades vegetales y de los recursos pesqueros durante la rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Informe Técnico Final 2016, Volumen 15. Santa Marta 139p.+ anexos.
- INVEMAR. 2019. Monitoreo de las condiciones ambientales y los cambios estructurales y funcionales de las comunidades vegetales y de los recursos pesqueros durante la rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Informe Técnico Final 2019, Volumen 18. Santa Marta 214 p + anexos.
- Jayakumar, J. M., Balasubramanian, D., Reddi, G., y Almagro-Moreno, S. (2020). Synergistic role of abiotic factors driving viable but non-culturable *Vibrio cholerae*. *Environmental Microbiology Reports*, 12(4), 454-465. <https://doi.org/10.1111/1758-2229.12861>
- Jesudason, M. V., Balaji, V., Mukundan, U., y Thomson, C. J. (2000). Ecological study of *Vibrio cholerae* in Vellore. *Epidemiology & Infection*, 124(2), 201-206. <https://doi.org/10.1017/S095026889900357X>
- Jutla, A. S., Akanda, A., y Islam, S. (2010). Tracking cholera in coastal regions using satellite observations. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 46(4), 651-662. <http://dx.doi.org/10.1111/j1752-1688.2010.00448>
- Kopprio, G. A., Streitenberger, M. E., Okuno, K., Baldini, M., Biancalana, F., Fricke, A., Martínez, A., Neogi, S. B., Koch, B. P., Yamasaki, S., y Lara, R. J. (2017). Biogeochemical and hydrological drivers of the dynamics of *Vibrio* species in two Patagonian estuaries. *Science of The Total Environment*, 579, 646-656. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.045>
- Kopprio, G. A., Neogi, S. B., Rashid, H., Alonso, C., Yamasaki, S., Koch, B. P., Gärdes, A., y Lara, R. J. (2020). *Vibrio* and Bacterial Communities Across a Pollution Gradient in the Bay of Bengal: Unraveling Their Biogeochemical Drivers. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1-16. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00594>
- Lobitz, B., Beck, L., Huq, A., Wood, B., Fuchs, G., Faruque, A. S. G., y Colwell, R. (2000). Climate and infectious disease: use of remote sensing for detection of *Vibrio cholerae* by indirect measurement. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United State of America*, 97(4), 1438-1443. <https://doi.org/10.1073/pnas.97.4.1438>
- López, L., Manjarrez, G., Herrera, L., y Montes, A. (2010). Estudio piloto para el aislamiento de *Vibrio* spp en ostras (*Crassostrea rhizophorae*) capturadas en la ciénaga de la Virgen, Cartagena, Colombia. *Revista Salud Pública y Nutrición*, 1(1), 1-6.
- Louis, V. R., Russek-Cohen, E., Choopun, N., Rivera, I. N. G., Gangle, B., Jlang, S. C., Rubin, A., Patz, J. A., Huq, A., y Colwell, R. R. (2003). Predictability of *Vibrio cholerae* in Chesapeake Bay. *Applied and Environmental Microbiology*, 69, 2773-2785. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.5.2773-2785.2003>
- Lipp, E. K., Rodríguez-Palacios, C., y Rose, J. B. (2001). Occurrence and distribution of the human pathogen *Vibrio vulnificus* in a subtropical Gulf of Mexico estuary. *The Ecology and Etiology of Newly Emerging Marine Diseases*, 460, 165-173. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3284-0_15
- Lipp, E. K., Huq, A., y Colwell, R. R. (2002). Effects of Global Climate on Infectious Disease: the Cholera Model. *Clinical Microbiology Reviews*, 15, 757-770. <https://doi.org/10.1128/CMR.15.4.757-770.2002>
- Lutz, C., Erken, M., Noorian, P., Sun, S., y McDougald, D. (2013). Environmental reservoirs and mechanisms of persistence of *Vibrio cholerae*. *Frontiers in Microbiology*, 4, 1-15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2013.00375>
- Neogi, S. B., Islam, M. S., Nair, G., Yamasaki, S. y Lara, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (10 de septiembre de 2020). Southern Oscillation Index (SOI). <http://goo.gl/mA1P04>
- Neogi, S. B., Islam, M. S., Nair, G., Yamasaki, S. y Lara, R. J. (2012). Occurrence and distribution of plankton-associated and free-living toxigenic *Vibrio cholerae* in a tropical estuary of a cholera endemic zone. *Wetlands Ecology and Management*, 20(3), 271-285. <https://doi.org/10.1007/s11273-012-9247-5>
- Nigro, O. D., Hou, A., Vithanage, G., Fujioka, R. S., y Steward, G. F. (2011). Temporal and Spatial Variability in Culturable Pathogenic *Vibrio* spp. in Lake Pontchartrain, Louisiana, following Hurricanes Katrina and Rita. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(15), 5384-5393. <https://doi.org/10.1128/AEM.02509-10>
- Pascual, M., Rodo, X., Ellner, S. P., Colwell, R., y Bouma, M. J. (2000). Cholera dynamics and El Niño-southern oscillation. *Science*, 289(5485), 1766-1769. <https://doi.org/10.1126/science.289.5485.1766>
- Roldán, G., y Ramírez, J. J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical* (2 ed, pp. 98-110). Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Editorial Universidad de Antioquia, Universidad Católica de Oriente.
- Rodríguez Cuitiva, D. (2011). Determinación de *Vibrio cholerae* en tanques de aguas de lastre de buques internacionales que arribaron al Terminal Multiboyas de Ecopetrol y al Puerto de Tumaco. *Boletín Científico CIOH*, 29, 104-109. <https://doi.org/10.26640/22159045.232>
- R. J. (2012). Occurrence and distribution of plankton-associated and free-living toxigenic *Vibrio cholerae* in a tropical estuary of a cholera endemic zone. *Wetlands Ecology and Management*, 20(3), 271-285. <https://doi.org/10.1007/s11273-012-9247-5>
- Thomas, K. U., Joseph, N., Raveendran, O., y Nair, S. (2006). Salinity- induced survival strategy of *Vibrio cholerae*

- associated with copepods in Cochin backwaters. *Marine Pollution Bulletin*, 52(11), 1425-1430.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.04.011>
- Vezzulli, L., Pruzzo, C., Huq, A., y Colwell, R. R. (2010). Environmental reservoirs of *Vibrio cholerae* and their role in cholera: Environmental reservoirs of *V. cholerae*. *Environmental Microbiology Reports*, 2(1), 27-33.
<https://doi.org/10.1111/j.1758-2229.2009.00128>
- Vezzulli, L., Baker-Austin, C., Kirschner, A., Pruzzo, C., y Martínez- Urtaza, J. (2020). Global emergence of environmental non O1/O139 *Vibrio cholerae* infections linked with climate change: a neglected research field. *Environmental Microbiology*, 22(10), 4342-4355.
<https://doi.org/10.1111/1462-2920.15040>
- Vilardy, S. P., y González, J. A., (Eds). (2011). *Repensando la Ciénaga: Nuevas miradas y estrategias para la sostenibilidad en la Ciénaga Grande de Santa Marta* (pp. 15-17). Universidad del Magdalena, Universidad Autónoma de Madrid.
- Xu, M., Cao, C., Wang, D., y Kan, B. (2014). Identifying Environmental Risk Factors of Cholera in a Coastal Area with Geospatial Technologies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(1), 354-370.
<https://doi.org/10.3390/ijerph120100354>
- World Health Organization. (2005). Using climate to predict infectious disease epidemics.
- World Health Organization (WHO). (5 de septiembre de 2005). *Using climate to predict infectious disease epidemics 2005*. file:///C:/Users/usuario/Desktop/9241593865.pdf. Citado
- World Health Organization (WHO). (2018). Cholera 2017. *Weekly Epidemiological Record*, 93(38), 489-496.
- Wiedemann, H. (1973). Reconnaissance of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia: physical parameters and geological history. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 7, 85-119.
- Zamora Bornachera, A. P., Narváez Barandica, J., y Londoño Díaz, L. M. (2016). Evaluación económica de la pesquería artesanal de la Ciénaga Grande de Santa Marta y complejo de Pajarales, Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 36, 33-48.
<https://doi.org/10.25268/bimc.invemmar.2007.36.0.199>