

Análisis de la vulnerabilidad costera a partir de un Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC): sector costero de la provincia de Huaura

Izaguirre Liviác, Marcos (mizaguirre@pucp.pe)
Pontificia Universidad Católica del Perú

Facultad de Letras y Ciencias Humanas
Especialidad de Geografía y Medio Ambiente PUCP



XI

Coloquio Internacional de Estudiantes
Geografía y Medio Ambiente PUCP



INTRODUCCIÓN

Las zonas costeras han acogido al ser humano desde hace miles de años. Esto se debe a que históricamente le han ofrecido una amplitud de oportunidades que lo atraen hacia estas para desarrollar diferentes tipos de actividades socioeconómicas (Creel, 2003; Martínez et al., 2007). Tal ha sido la importancia que han adquirido las regiones costeras que, a inicios de este siglo, distintas estimaciones reflejaron el elevado número de personas que vivían en estas: alrededor de 3 mil millones de personas dentro de los 200 km de línea costera (Creel, 2003); y, al menos, 100 millones, sobre un metro del nivel medio del mar (Zhang et al., 2004). Cifras como estas permiten entender que, a partir de esta atracción al litoral que se ha acentuado en los últimos tiempos, se han suscitado múltiples interacciones y la realización, cada vez mayor, de actividades humanas en dichas regiones.

En este contexto actual de interacción, se presenta el cambio climático, junto a sus consecuencias experimentadas. Ante ello, las investigaciones científicas elaboradas prevén escenarios de riesgo para las zonas litorales. Así se publicó el último reporte sobre el calentamiento global, el cual afirma, con un alto nivel de confianza, que la temperatura media del planeta se elevará unos 1.5 °C entre los años 2030 y 2052 (IPCC, 2018). Esto va a implicar una elevación del nivel del mar, porque “una atmósfera más caliente provoca un aumento del volumen del océano debido a la expansión térmica” (Tarbuck y Lutgens, 2008). No obstante, el problema no solo se encuentra en este incremento del nivel del mar que está estrechamente vinculado a la erosión y vulnerabilidad costera (Zhang et al., 2004), sino que los riesgos relacionados a estos impactos se verán acentuados por las “crecientes presiones humanas inducidas en las costas (por ejemplo, el crecimiento poblacional, la urbanización y los cambios de uso del suelo)” (Torresan et al., 2008).

En el Perú, la línea litoral tiene una longitud aproximada de 3000 km (Sánchez et al., 2010). En el 2007, en esta costa, ya viví

a un poco más de la mitad de la población peruana, según el censo del INEI (MINAM, 2016). Estos datos permiten comprender la importancia de la zona

marino-costera para “la seguridad alimentaria, la economía nacional y el comercio internacional y en general para el bienestar humano” (MINAM, 2016). Por estas razones, el Perú no es un país ajeno a las tendencias mundiales anteriormente mencionadas. Por lo tanto, se afirma que el litoral peruano se enmarca en lo dicho por Torresan et al. (2008) sobre la “urgente necesidad de desarrollar y aplicar metodologías y enfoque apropiados con el fin de evaluar la vulnerabilidad de sistemas costeros al cambio climático”.

Este informe presenta un estudio de caso para el litoral peruano: el sector costero de la provincia de Huaura. Se ha desarrollado y aplicado una metodología de Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC) (con base en distintos investigadores) para un análisis comparativo en esta área de estudio y, con ello, en cierta medida, atender la necesidad mencionada por Torresan et al.

a) Antecedentes

El siguiente estudio inició a partir del análisis del IVC, que conforma diversas investigaciones con base geográfica. Esto se refleja en las tesis de pregrado que abarcan problemáticas tanto físicas como humanas. Entre ellas, se pueden destacar las siguientes: de Análisis de la variación temporal de la línea de costa y caracterización de la geomorfología litoral: bahía de Paita, Perú 1946-2007 (Rondón, 2011), Sectores costeros más vulnerables entre Lurín y Pucusana ante un posible aumento del nivel del mar como consecuencia del cambio climático: Adaptación y aplicación del índice de vulnerabilidad costera de Gornitz (Tejeda, 2007) y Propuesta de un Índice de Vulnerabilidad Costera aplicado a tres sectores de la Región Lima (Aguilar, 2015).

Además de estudios nacionales, diversos estudios en el mundo que aplican el IVC permiten entender las características y especificaciones de cada medio natural. Estudios como la costa mediterránea, describen el IVC desde una necesidad de gestión integrada para hacer frente a los diversos riesgos costeros (Martí, 2011). Otro trabajo cercano a las características del litoral peruano es en la costa argentina del Río Negro, en la zona sur americana. Este analiza el IVC con el propósito de crear un plan de manejo costero para buscar la adaptación al cambio climático y el ascenso del nivel de mar (Kokot et. al, 2004).

Según estos antecedentes, la vulnerabilidad costera se refiere a una degradación de la línea costera, ya sea por factores físicos como la erosión costera o factores humanos como la ocupación humana a través de diversas actividades (habitacional, económica, comercial, etc.).

b) Importancia y justificación

De manera general, la importancia del presente estudio radica en los aportes que este hará a los vacíos de conocimiento existentes en nuestro país en temas de vulnerabilidad, especialmente, en las zonas litorales o en las líneas de costa. Al menos en lo que respecta al litoral peruano, se han realizado algunos estudios sobre la vulnerabilidad costera en otras regiones peruanas. En ese sentido, una de las razones que motivó el estudio de la costa haurina es que aún no ha sido estudiada y, por ello, no se tienen indicadores de vulnerabilidad costera para esta zona.

Asimismo, la relevancia de este informe se basa en la sección del litoral haurino que se ha seleccionado estudiar, puesto que este se caracteriza por su diversidad, tanto en aspectos físicos como humanos. Una muestra de ello es que el área estudiada abarca la desembocadura de un río, una ciudad con puerto y un humedal costero. Dicho esto, dado que se busca determinar la vulnerabilidad existente en un área específica (una zona litoral de no más de 25 km) ante un aumento del nivel del mar, esta investigación pretende, por un lado, dar una iniciativa a que se aplique la misma metodología en otros sectores; y, por otro, mostrar un panorama general de cómo se encuentra la situación de la vulnerabilidad en las zonas de costa de nuestro país.

Además de este vacío de información, la importancia del estudio radica en las cifras que ofrecen entidades científicamente reconocidas y de un alto nivel de prestigio como el Intergovernmental Panel on Climate Change sobre la elevación del nivel medio del mar producto del calentamiento global. Hace un poco más de 10 años, el IPCC (2007) afirmó que el nivel del mar se ha elevado con tasas anuales de 1.7 mm durante el último siglo, y que se prevé que esta tasa se duplique hacia finales de este, llegando a ascensos de incluso 18 y 58 cm, dependiendo de los diversos escenarios que nos planteemos (Ojeda et al., 2009). Asimismo, según el último reporte del mismo ente, se obtuvo que “las proyecciones basadas en

modelos del aumento medio del nivel del mar indican que con 1.5 °C de calentamiento global el aumento del nivel del mar sería de entre 0.26 y 0.77 m para 2100, mientras que, para un calentamiento de 2 °C sería 0.1 m más” (IPCC, 2018). De la misma forma, es importante resaltar que “esta diferencia de 0.1 m significa que hasta 10 millones de personas menos estarían expuestas en caso el calentamiento global se mantenga con 1.5 °C” (IPCC, 2018). Valores como estos que se verán intensificados por la presión antrópica permiten entender la verdadera necesidad acuciante del desarrollo de estudios para estimar la vulnerabilidad costera (Torresan et al., 2008).

c) Objetivos

Todos estos motivos orientan a la obtención de un producto final que facilite la priorización en la gestión, la toma de decisiones, y la formulación de políticas por las entidades correspondientes en el área estudiada.

ÁREA DE ESTUDIO

Según la división política-administrativa del Perú, el área de estudio se encuentra en la provincia de Huaura, ubicada al norte de la ciudad de Lima, en el departamento de Lima. Los distritos de esta provincia que abarca el área de estudio son, en sentido norte-sur, los siguientes: Huaura, Caleta de Carquín, Hualmay y Huacho.

El área de estudio no llega a abarcar totalmente la línea de costa de los distritos de Huaura, al norte, y de Huacho, al sur; no obstante, sí comprende, por completo, la línea de costa de los distritos Caleta de Carquín y Hualmay.

La Tabla 1 (ver en Anexos) muestra la longitud y las coordenadas de los puntos entre los que se encuentra la línea de costa estudiada: ambas características fueron calculadas a partir del software ArcMap. Es así como se obtuvo una distancia de, aproximadamente, 24 km para el área de estudio total.

La Figura 1 (ver en Anexos) permite observar algunos de los elementos humanos y naturales principales en la zona. Entre estos se encuentran los centros urbanos y las vías de jerarquía nacional como elementos humanos, y el humedal costero junto con el río como elementos naturales. Aunque las investigaciones realizadas en este humedal, llamado la laguna de El Paraíso afirman que “el nivel de agua está influenciado por las mareas y por el agua proveniente de las filtraciones de la irrigación Santa Rosa” (Cruz et al., 2007), por lo que no se lo puede caracterizar totalmente como natural.

Asimismo, como se puede observar, existen tres centros urbanos cercanos al área de estudio de los cuales el de mayor tamaño corresponde a la ciudad de Huacho, donde se ubica el puerto de Huacho. Entre las vías que se pueden divisar se encuentra, por ejemplo, la Panamericana Norte, que tiene una orientación sur-norte y que constituye uno de los ejes automovilísticos (y de movilidad) más importante no solo a nivel nacional, sino incluso a nivel continental por conectar distintos países desde Chile hasta los EE. UU. En cuanto a lo natural, el único río que se representa es el río Huaura, cuya desembocadura es objeto de análisis por

coincidir con la línea de costa que corresponde al área de estudio. Hacia el sur de esta área, es posible notar la presencia de un humedal costero denominado laguna de El Paraíso o “Playa Chica” (Cruz et al., 2007).

a.) Extensión y distancia

Las subunidades de análisis han sido codificadas (numeradas) de sur a norte. Así la “Subunidad 01 (SU01)” se encuentra en la sección más al sur del área de estudio, la cual corresponde a la subunidad de análisis del “Humedal” en referencia al humedal costero laguna de El Paraíso. Por contraste, la “Subunidad 04 (SU04)” se encuentra en la sección más al norte del área de estudio, la cual corresponde a la subunidad de análisis de “Agricultura”.

La Tabla 2 (ver en Anexos) presenta algunas características espaciales de las subunidades de análisis calculadas mediante el software ArcGIS como las siguientes: las longitudes que abarcan; y las coordenadas de los puntos entre las que se localizan cada subunidad. Como se especifica en la tabla, las coordenadas corresponden al sistema de proyección UTM en la zona 18 Sur, por lo que su unidad de medida está en metros.

METODOLOGÍA

a.) Método para mediciones de las variables

i. Geología y geomorfología

La identificación de la variable “geología/geomorfología” de las unidades de estudio permite reconocer el nivel de resistencia del paisaje costero frente a la erosión y procesos de inundación (Núñez et al., 2016). El sistema de clasificación que se utilizó fue el de Ojeda et al. (2009).

ii. Variación de una línea de costa

La variación de la línea de costa (m/año) se utiliza para medir la erosión, acreción o equilibrio de la línea costera. Por un lado, la erosión es un proceso que consiste en el exceso de la remoción de sedimentos con respecto al aporte en cierto período de tiempo (Kokot citado en Navarrete-Ramírez, 2014). Por otro lado, el proceso de acreción o sedimentación ocurre cuando existe una acumulación de sedimentos (Posada citado en Navarrete-Ramírez, 2014).

Para la obtención del valor de la variación de la línea de costa, la metodología empleada fue a partir del uso del software Digital Shoreline Analysis System (DSAS), que actúa como una extensión del software ArcGis. Esta herramienta permite, según se menciona en el manual, “calcular las estadísticas de tasa de cambio para una serie temporal de datos vectoriales de la línea de costa” (USGS, 2017).

El sistema de clasificación que se utilizó para los “promedios de las tasas de cambio final (m/año)” fue el de Nuñez Gómez et al., 2016, quienes lo aplicaron al litoral tabasqueño en México. Esta clasificación también otorga valores del 1 al 5.

iii. Tipo de uso de suelo

Este es un indicador de vulnerabilidad social, pues, dependiendo de la utilización

de la superficie, se poseerá diferentes grados de susceptibilidad de pérdida de cobertura debido a la erosión costera (Rangel-Buitrago y Posada-Posada, 2013). El sistema de clasificación que se utilizó se basó en lo realizado en la tesis de Tejada (2017).

iv. Densidad poblacional

Se utilizó la variable “densidad poblacional” por su relación con la alteración de la geomorfología (como playas o acantilados), que es altamente afectada por la intervención humana y sus construcciones asociadas, las cuales, a su vez, se pueden encontrar amenazadas por la erosión del litoral (Rangel-Buitrago y Posada-Posada, 2013). La escala que se utilizó para clasificar la vulnerabilidad en relación con la densidad poblacional fue una adaptación de la escala utilizada en la tesis de Tejada (2017).

v. Distancia de las estructuras

La variable “distancia de las estructuras” es utilizada debido a que las estructuras que se encuentran más cerca al mar poseen más susceptibilidad de ser dañadas por la erosión provocada por la marea o por un posible aumento del nivel del mar. Se empleó la clasificación propuesta por Aguilar (2015), quien se basa en la Ley de Playas (Ley n.º 26856), que establece que las playas que poseen un ancho de 50 metros de tierra desde el nivel medio del mar son áreas de uso público e inalienables.

b.) Método de medición del IVC

El método de medición del IVC en esta investigación se ha basado en los autores Ojeda et al. (2009), quienes utilizaron una metodología de medición sutilmente transformada a partir de los métodos propuestos por el USGS para su aplicación en los EE. UU. El método consiste en multiplicar los valores de vulnerabilidad (entre 1 a 5) de cada una de las variables a considerar en el estudio. Luego, estas son divididas entre el número de variables; es decir, en este caso, se dividió entre 5. A este cociente se le aplicó la raíz cuadrada. La ecuación aplicada fue la siguiente:

$$IVC = \sqrt{a * b * c * d * e / 5}$$

Donde:

a = Valor de vulnerabilidad de la variable “geología/geomorfología”

b = Valor de vulnerabilidad de la variable “cambio de la línea de costa”

c = Valor de vulnerabilidad de la variable “tipo de uso de suelo”

d = Valor de vulnerabilidad de la variable “densidad poblacional”

e = Valor de vulnerabilidad de la variable “distancia de las estructuras al nivel medio del mar”

Siguiendo la misma lógica, se aplicó la fórmula para calcular el “Índice de Vulnerabilidad Física Costera” y el “Índice de Vulnerabilidad Social Costera”, pero solo usando las variables físicas y sociales, respectivamente, para cada uno de los índices, tal como se muestra a continuación:

$$\text{Índice de Vulnerabilidad Física Costera} = \sqrt{a * b / 2}$$

$$\text{Índice de Vulnerabilidad Social Costera} = \sqrt{c * d * e / 3}$$

c.) Clasificación

La siguiente clasificación de subunidades de análisis se realizó según la metodología de estudio de Ojeda et al. (2009), en donde se realiza la clasificación según los percentiles (25, 50 y 75) para obtener 4 categorías o clases: “Muy Alta”; “Alta”; “Media”; y “Baja”.

Este procedimiento se realizó no solo con el IVC general, sino también con el “Índice de Vulnerabilidad Física Costera” y el “Índice de Vulnerabilidad Social Costera” (ver Tabla 3 y Tabla 4 en Anexos).

RESULTADOS

a) Las variables

La Figura 3 (ver en Anexos) contiene el valor de los IVC según cada variable considerada. Se puede observar que los valores de la vulnerabilidad costera varían según la variable y según el sector del área de estudio que se trate.

b) Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC)

i. Índice de Vulnerabilidad Costera Total

La Figura 4 (ver en Anexos) contiene un gráfico de barras con el valor de los IVC según subunidades. La vulnerabilidad muy alta, se encuentra en las subunidades de agricultura y zona urbana. Esto se debe al alto uso de suelo y variaciones en el medio natural. Se distingue que la Subunidad de Humedad es el sector menos vulnerable en la línea costera estudiada.

CONCLUSIONES

- La vulnerabilidad más alta corresponde a las subunidades del norte, las cuales son, justamente, sobre las que el ser humano ha ejercido y ejerce una mayor presión. En ese sentido, se puede explicar el hecho de que la vulnerabilidad resultó ser más alta en las zonas costeras, en donde hay una mayor presencia antrópica.
- La metodología para el cálculo del IVC, si bien se ha basado en el proceso de clasificación realizado por otros estudios, solo permite una comparación entre subunidades. Esto hace al IVC aplicado relativo al área de estudio; es decir, los valores del IVC (“Alta”, “Medio”, “Bajo”, “Muy Bajo”) no pueden ser comparados con resultados obtenidos por otras investigaciones. Así, surge la cuestión de pensar quizás en algún método que permita una comparación a mayor escala (como a nivel nacional). Esto con el objetivo de que los tomadores de decisiones puedan jerarquizar y priorizar los sectores litorales que requieran de una mayor atención y ejecución de acciones estratégicas para combatir la vulnerabilidad costera.
- Este informe ha sido elaborado a partir de un estudio de gabinete. Si bien se han seguido rigurosamente pasos metodológicos para obtener resultados aceptables y técnicamente correctos, estos se pueden afinar y mejorar a partir de un estudio de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, M. (2015). Propuesta de un Índice de Vulnerabilidad Costera aplicado a tres sectores de la Región Lima [tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional-Pontificia Universidad Católica del Perú.

<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6789>

Creel, L. (2003). Ripple effects: population and coastal regions. Population Reference Bureau, 1-8.

https://www.prb.org/wp-content/uploads/2020/12/RippleEffects_Eng.pdf

Cruz, Z., Angulo, F., Burger, H., & Borgesa, R. (2007). Evaluación de aves en la laguna El Paraíso, Lima, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 14(1), 139-144.

<https://doi.org/10.15381/rpb.v14i1.2179>

Huarache, J., Castillo, J., Reátegui, T., & Pari, H. (2002). Características sedimentológicas del Albiano (Grupo Casma)-valle del río Chillón. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 5(9), 43-46.

<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/663>

INEI. (2012). IV Censo Nacional Agropecuario 2012. Resultados preliminares. ----- (2017). Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Global Warming of 1.5oC: Summary for Policymakers*. ----- (2018). *Global Warming of 1.5oC: Summary for Policymakers*.

Kokot, R. R., Codignotto, J. O., & Elissondo, M. (2004). Vulnerabilidad al ascenso del VVV nivel del mar en la costa de la provincia de Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59(3), 477-487.

<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/83853>

Martí López, M. (2011). Vulnerabilidad física de la costa catalana a diferentes agentes [tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya]. Repositorio Institucional- Universitat Politècnica de Catalunya.

<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/13897>

Martínez, M. L., Intralawan, A., Vázquez, G., Pérez-Maqueo, O., Sutton, P., & Landgrave, R. (2007). The coasts of our world: Ecological, economic and social importance. *Ecological Economics*, 63(2-3), 254-272.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.10.022>

MINAM. (2016). Lineamientos para el Manejo Integrado de las Zonas Marino Costeras.

<https://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/wp-content/uploads/sites/129/2017/02/Lineamientos-para-el-Manejo-Integrado-de-las-Zonas-Costeras.pdf>

Municipalidad Provincial de Huaura. (2009). Plan de Desarrollo Concertado de la Provincia de Huaura 2009-2021.

https://www.peru.gob.pe/docs/PLANES/12122/PLAN_12122_Plan_de_Desarrollo_Concertado_2011.pdf

Navarrete-Ramírez, S. M. (2014). Protocolo Indicador Variación línea de costa: perfiles de playa. Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP). Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras.

Núñez, J. Ramos, R., Barba, E., Espinoza, A., & Gama, E. (2016). Índice de vulnerabilidad costera del litoral Tabasqueño, México. *Investigaciones Geográficas*, (91), 70-85.

<https://doi.org/10.14350/rig.50172>

Ojeda, J., Álvarez, J., Cajaraville, D., & Fraile, P. (2009). El uso de las TIG para el cálculo del índice de vulnerabilidad costera (CVI) ante una potencial subida del nivel del mar en la costa andaluza (España). *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (9), 83-100.

<https://geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/162>

Rangel-Buitrago, N., & Posada-Posada, B. (2013). Determinación de la vulnerabilidad y el riesgo costero mediante la aplicación de herramientas SIG y métodos multicriterios en la línea de costa. *Intropica*, (8), 29-42.

<https://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/article/view/730>

Rondón, G. (2011) Análisis de la variación temporal de la línea de costa y caracterización de la geomorfología litoral: Bahía de Paita Perú 1946-2007 [tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional-Pontificia Universidad Católica del Perú.

<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/716>

Rodríguez, M. (2017). Variación de humedales costeros e irrigaciones agrícolas: el caso de la Albúfera de Medio Mundo y el área agrícola de Huaura [tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional-Pontificia Universidad Católica del Perú.

<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/9410>

Sánchez, G., Blas, N., & Chau, G. (2010). Informe nacional sobre el estado del ambiente marino del Perú. Convenio IMARPE-CPPS. Programa Conpacse III.

Tarbuck, E., & Lutgens, F. (2008). Líneas de costa. En *Ciencias de la Tierra: una introducción a la geología física* (559-588). Prentice Hall.

<https://xeologosdelmundu.org/wp-content/uploads/2016/03/TARBUCK-y-LUTGENS-Ciencias-de-la-Tierra-8va-ed.-1.pdf>

Tejada, X. (2017). Análisis de la vulnerabilidad costera frente a un posible aumento del nivel del mar: sector costero Lurín-Pucusana (Provincia de Lima) [tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional-Pontificia Universidad Católica del Perú.

<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/8657>

Torresan, S., Critto, A., Dalla Valle, M., Harvey, N., & Marcomini, A. (2008). Assessing coastal vulnerability to climate change: comparing segmentation at global and regional scales. *Sustainability Science*, 3(1), 45-65.

<https://doi.org/10.1007/s11625-008-0045-1>

USGS. (2017) DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide. U.S. Geological Survey. Vidal, J. (2016). Las ocho regiones naturales del Perú. *Terra Brasilis* (Nova Série). *Revista da Rede Brasileira de História da Geografia e Geografia Histórica*, (3), 1-20.

<https://journals.openedition.org/terrabrasilis/1027>

Zhang, K., Douglas, B. C., & Leatherman, S. P. (2004). Global warming and coastal erosion. *Climatic change*, 64(1-2), 41-58.

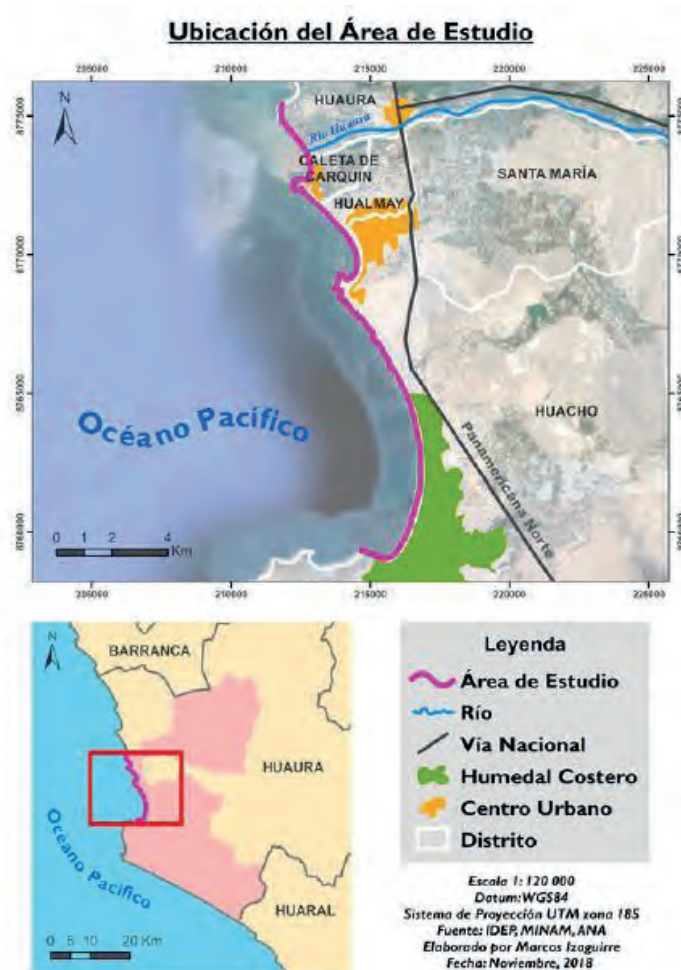
<https://doi.org/10.1023/B:CLIM.00000024690.32682.48>

ANEXOS

Anexo 1

Figura 1

Ubicación del Área de Estudio

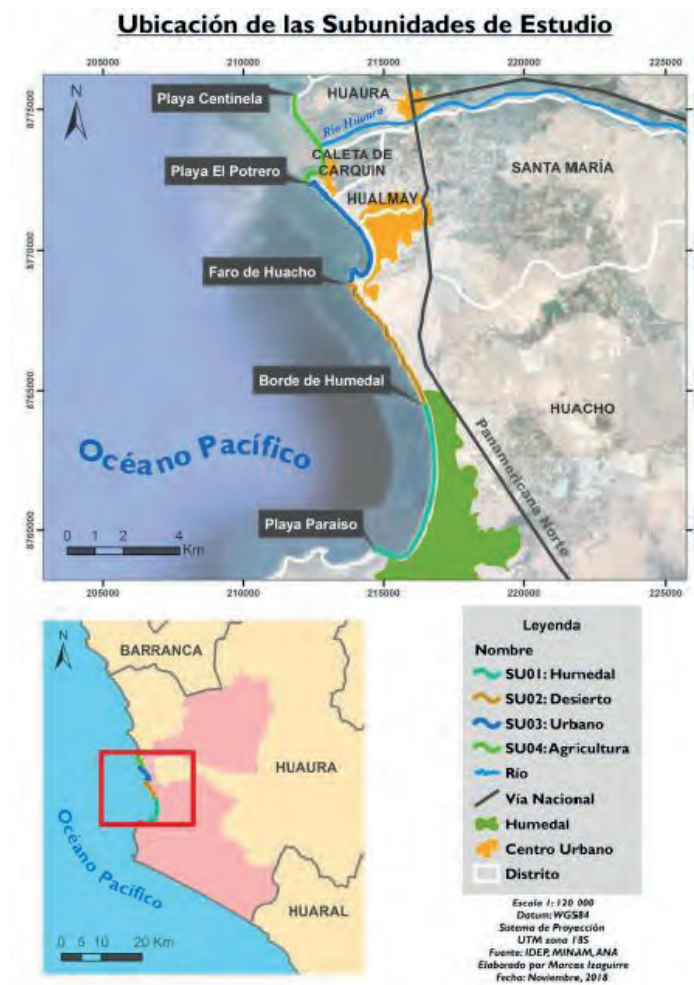


Nota. IDEP, MINAM, ANA. Elaboración propia.

Anexo 2

Figura 2

Ubicación de las Subunidades de Estudio

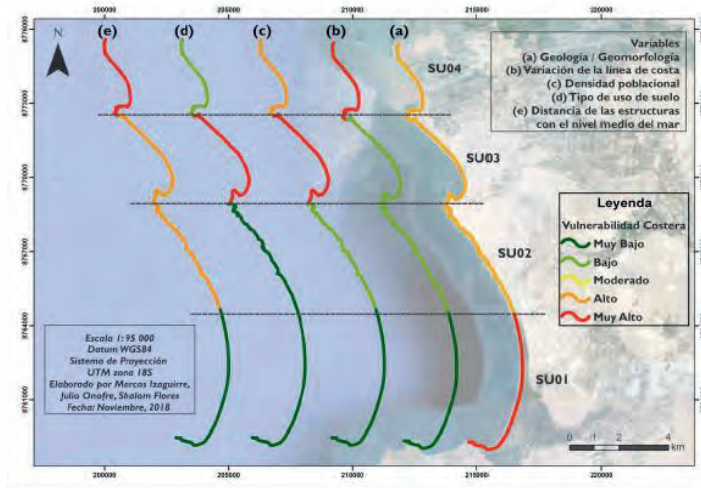


Nota. IDEP, MINAM, ANA. Elaboración propia

Anexo 3

Figura 3

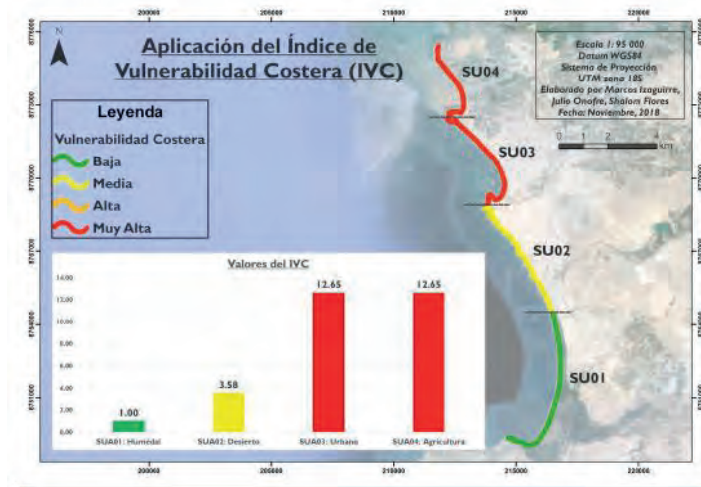
Aplicación del Índice de Vulnerabilidad Costera por variables



Anexo 4

Figura 4

Aplicación del Índice de Vulnerabilidad Costera



Anexo 5

Tabla 1

Longitud y coordenadas de la línea de costa estudiada

Línea de Costa	Longitud (m)	Coordenadas del punto inicial de la subunidad		Coordenadas del punto final de la subunidad	
		X	Y	X	Y
Área de Estudio Total	23716.99	212355.095	8772313.31	216474.137	8764461.441

Nota. Coordenadas según el Datum WGS84 en el Sistema de Proyección UTM de la zona 18S. Elaboración propia a partir de los datos de la línea de costa.

Anexo 6

Tabla 2

Longitud y coordenadas de las Subunidades de Estudio

Subunidad de Estudio	Longitud (m)	Coordenadas del punto inicial de la subunidad		Coordenadas del punto final de la subunidad	
		X	Y	X	Y
SU01: Humedal	6956.53	212355.095	8772313.31	211840.154	8775418.126
SU02: Desierto	6366.86	213714.11	8768743.238	212355.095	8772313.31
SU03: Urbano	5816.41	216474.137	8764461.441	213714.11	8768743.238
SU04: Agricultura	4577.19	214679.587	8759328.904	216474.137	8764461.441

Nota. Coordenadas según el Datum WGS84 en el Sistema de Proyección UTM de la zona 18S. Elaboración propia a partir de los datos de la línea de costa.

Anexo 7

Tabla 3

Resultados obtenidos según el Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC) para cada subunidad de estudio

Subunidades de Análisis	Variables físicas		Variables sociales			Índice de Vulnerabilidad Costera	Clase	Vulnerabilidad clasificada
	Geología / Geomorfología	Variación de la línea de costa	Densidad poblacional	Tipo de uso de suelo	Distancia de las estructuras			
SUA01: Humedal	5	1	1	1	1	1.00	Baja	1
SUA02: Desierto	4	2	2	1	4	3.58	Media	2
SUA03: Urbano	4	2	5	5	4	12.65	Muy Alta	4
SUA04: Agricultura	4	5	4	2	5	12.65	Muy Alta	4

Anexo 8

Tabla 4

Categorías del Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC) con base en los resultados divididos en cuartiles

Índice de Vulnerabilidad Costera		
Clase	Vulnerabilidad clasificada	Valor del IVC
Baja	1	[1 ; 1.64]
Media	2	< 1.64 ; 8.11]
Alta	3	< 3.46 ; 7.415]
Muy alta	4	< 7.415 ; 8]

EXPOSICIÓN



¿QUÉ ESTÁ PASANDO? ¿NOS INUNDAMOS?

Beneficios y oportunidades que atraen (Creel, 2003; Martínez et al., 2007)



Al menos 100 millones viven entre 0-1 msnm (Zhang et al., 2004)



Tomado de La Vanguardia

Crecimiento poblacional, urbanización y cambio de suelo se acentuarán (Torresan et al., 2008).

"Una atmósfera más caliente provoca un aumento del volumen del océano debido a la expansión térmica" (Tarbuck & Lutgens, 2008)



Tomado de Vox



Posible aumento de 1.5 °C entre 2030 y 2051 (IPCC, 2018)

ENTONCES ...

"Urgente necesidad de desarrollar y aplicar metodologías y enfoque apropiados con el fin de evaluar la vulnerabilidad de sistemas costeros al Cambio Climático"- (Torresan et al. 2008)

- Bahía de Paíta (Rondón, 2011)
- Lurín (Tejeda, 2007)
- Asia, la Bahía de Miraflores y Chorrillos (Aguilar 2015)



Tomado de Star Tribune

- "la seguridad alimentaria, la economía nacional y el comercio internacional y en general para el bienestar humano"(MINAM, 2016).



Entenderemos Vulnerabilidad como de una forma diferente*

¿DÓNDE ESTUDIAREMOS?



Provincia de Huará, Lima



Legenda

- Nombre
- SU01: Humedal
- SU02: Desierto
- SU03: Urbano
- SU04: Agricultura
- Rio
- Via Nacional
- Humedal
- Centro Urbano
- Districto

Scale: 1:10,000
Datum: WGS84
System: UTM
UTM zone: 18S
Datum: ITRF2000
Ellipsoid: GRS80
Spheroid: Everest
Datum: Everest
Year: 1954

¿POR QUÉ ALLÍ?

DIVERSIDAD

Aspectos físicos como humanos
desembocadura de río, una ciudad con puerto y
un humedal costero

Subunidad de Estudio	Longitud (m)	Coordenadas del punto inicial de la subunidad		Coordenadas del punto final de la subunidad	
		X	Y	X	Y
SU01: Humedal	6956.53	212355.095	8772313.31	211840.154	8775418.126
SU02: Desierto	6366.86	213714.11	8768743.238	212355.095	8772313.31
SU03: Urbano	5816.41	216474.137	8764461.441	213714.11	8768743.238
SU04: Agricultura	4577.19	214679.587	8759328.904	216474.137	8764461.441



Metodología

SUBUNIDADES DE ANÁLISIS

- SUA01: HUMEDAL
- SUA02: DESIERTO
- SUA03: URBANO
- SUA04: AGRICULTURA

Físicas*

Geología/Geomorfología
Variación de la Línea de Costa

Sociales*

Densidad Poblacional
Tipo de Uso de Suelo
Distancia de las Estructuras al
Nivel Medio del Mar

VARIABLE VS. CATEGORÍA

Clase		Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto	Adaptado de:
Valor Clasificado		1	2	3	4	5	
Variables físicas	Geología / Geomorfología	Acantilados altos sobre rocas coherentes	Acantilados medios sobre rocas de resistencia media	Acantilados medios/bajos sobre formaciones sedimentarias de alta erodibilidad	Playas excesivas adosadas a planicies sedimentarias litorales poco elevadas	Playas adosadas a formaciones de islas-barrera, tómbolos, flechas litorales, deltas, etc. También sectores que protegen formaciones de marismas mareales o fluvio-mareales	Ojeda et al. (2009)
	Cambio de la línea de costa (m/año)	[0.12; 12.39]	[-1.44; 0.12 >	[-2.32; -1.44 >	[-3.31; -2.32 >	[-17.98; -3.31 >	Núñez Gómez et al. (2016)
Variables sociales	Densidad poblacional (hab/km)	0 a 1000	1000 a 2000	2000 a 3000	3000 a 4000	>4000	Tejada (2017)
	Tipo de uso de suelo	Áreas baldías, abandonadas, protegidas, sin infraestructura, cuerpos de agua	Tierra estéril con matorrales, pastos, plantaciones e infraestructura espaciada	Asentamiento comercial disperso	Zona residencial de baja densidad	Zona residencial, recreativa y comercial de alta densidad	Tejada (2017)
	Distancia de las estructuras con el nivel medio del mar (m)	>230	230 - 171	170 - 111	110 - 51	≤50	Aguilar (2015)

Mapa guía



SUBUNIDAD VS. VARIABLES (CATEGORÍAS)

Subunidades de Análisis	Variables físicas		Variables sociales		
	Geología / Geomorfología	Variación de la línea de costa (m/año)	Densidad poblacional (hab/km)	Tipo de uso de suelo	Distancia de las estructuras con el nivel medio del mar (m)
SUA01: Humedal	Playas adosadas a formaciones de islas-barrera, tómbolos, flechas litorales, deltas, etc. También sectores que protegen formaciones de marismas mareales o fluvio-mareales (5)	[0,12 ; 12,39] (1)	0 a 1000 (1)	Áreas baldías, abandonadas, protegidas, sin infraestructura, cuerpos de agua. (1)	>230 (1)
SUA02: Desierto	Playas extensas adosadas a planicies sedimentarias litorales poco elevadas (4)	[-1,44 ; 0,12 > (2)	1000 a 2000 (2)	Áreas baldías, abandonadas, protegidas, sin infraestructura, cuerpos de agua. (1)	110 - 51 (4)
SUA03: Urbano	Playas extensas adosadas a planicies sedimentarias litorales poco elevadas (4)	[-1,44 ; 0,12 > (2)	>4000 (5)	Zona residencial, recreativa y comercial de alta densidad (5)	110 - 51 (4)
SUA04: Agricultura	Playas extensas adosadas a planicies sedimentarias litorales poco elevadas (4)	[-17,98 ; -3,31 > (5)	3000 a 4000 (4)	Tierra estéril con matorrales, pastos, plantaciones e infraestructura espaciada (2)	≤50 (5)
Adaptado de:	Ojeda et al. (2009)	Núñez Gómez et al. (2016)	Tejada (2017)	Tejada (2017)	Águilar (2015)

MÉTODO DE MEDICIÓN DE IVC

FÓRMULAS UTILIZADAS

basado en los autores Ojeda et al., (2009)

Índice de Vulnerabilidad Costera		
Clase	Vulnerabilidad clasificada	Valor del IVC
Baja	1	[1 ; 1,64]
Media	2	< 1,64 ; 8,11]
Alta	3	< 8,11 ; 12,64]
Muy alta	4	< 12,64 ; 12,65]

$$IVC = \sqrt{a * b * c * d * e / 5}$$

$$\text{Índice de Vulnerabilidad Física Costera} = \sqrt{a * b / 2}$$

$$\text{Índice de Vulnerabilidad Social Costera} = \sqrt{c * d * e / 3}$$

Subunidades de Análisis	Variables físicas		Variables sociales			Índice de Vulnerabilidad Costera	Clase	Vulnerabilidad clasificada
	Geología / Geomorfología	Variación de la línea de costa	Densidad poblacional	Tipo de uso de suelo	Distancia de las estructuras con el nivel medio			
SUA01: Humedal	5	1	1	1	1	1,00	Baja	1
SUA02: Desierto	4	2	2	1	4	3,58	Media	2
SUA03: Urbano	4	2	5	5	4	12,65	Muy Alta	4
SUA04: Agricultura	4	5	4	2	5	12,65	Muy Alta	4

Mapa guía



MÉTODO DE MEDICIÓN DE IVC

Subunidades de Análisis	Variables físicas		Índice de Vulnerabilidad Física Costera	Clase	Vulnerabilidad física clasificada
	Geomorfología / Geología	Variación de la línea de costa			
SUA01: Humedal	5	1	1,58	Baja	1
SUA02: Desierto	4	2	2,00	Media	2
SUA03: Urbano	4	2	2,00	Media	2
SUA04: Agricultura	4	5	3,16	Muy alta	4

Índice de Vulnerabilidad Física Costera		
Clase física clasificada		Valor del IVC
Baja	1	[1.58 ; 1.69]
Media	2	< 1.69 ; 2]
Alta	3	< 2 ; 2.87]
Muy alta	4	< 2.87 ; 3.16]

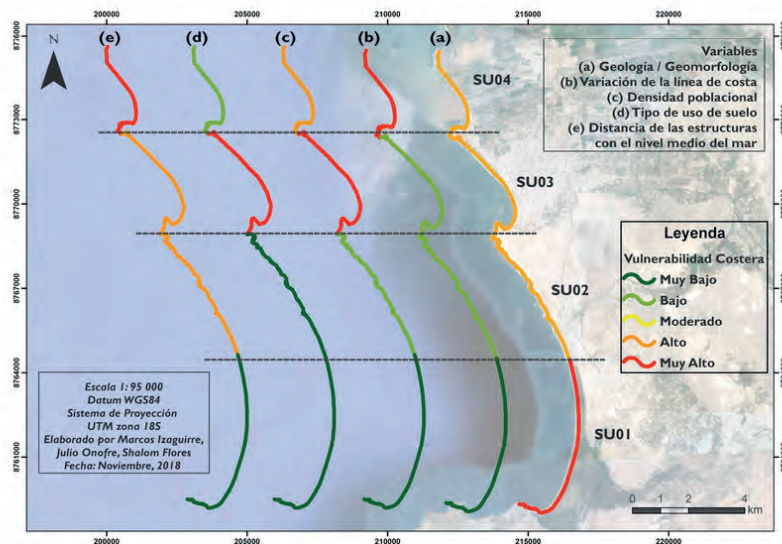
MÉTODO DE MEDICIÓN DE IVC

Subunidades de Análisis	Variables sociales			Índice de Vulnerabilidad Social Costera	Clase	Vulnerabilidad social clasificada
	Densidad poblacional	Tipo de uso de suelo	Distancia de las estructuras			
SUA01: Humedal	1	1	1	0,58	Baja	1
SUA02: Desierto	2	1	4	1,63	Media	2
SUA03: Urbano	5	5	4	5,77	Muy alta	4
SUA04: Agricultura	4	2	5	3,65	Alta	3

Índice de Vulnerabilidad Social Costera		
Clase	Vulnerabilidad social clasificada	Valor del IVC
Baja	1	[0.58 ; 0.84]
Media	2	< 0.84 ; 2.64]
Alta	3	< 2.64 ; 5.24]
Muy alta	4	< 5.24 ; 5.77]

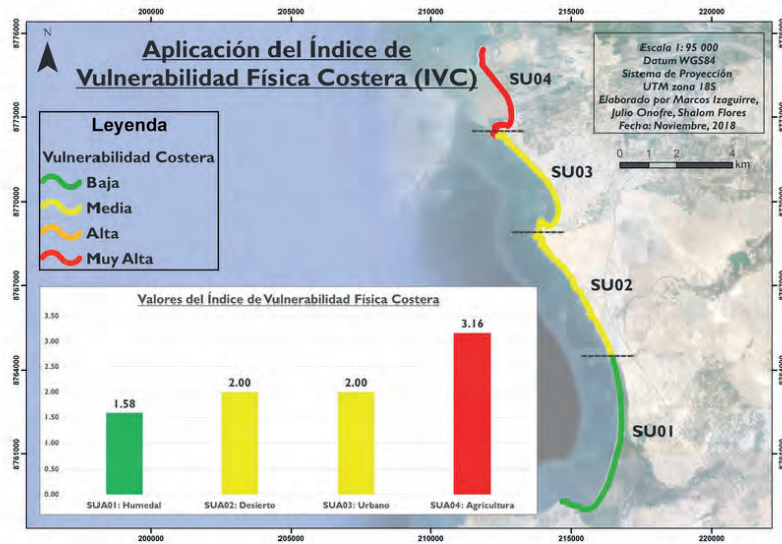
RESULTADOS

Cada Variable



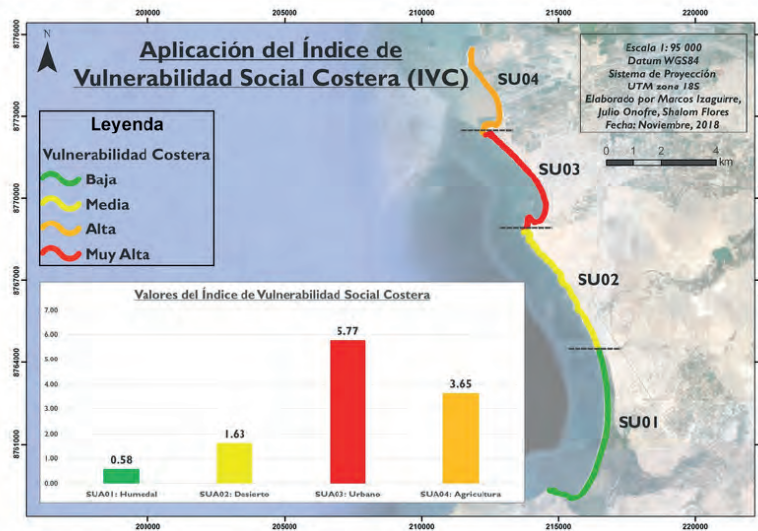
RESULTADOS

Vulnerabilidad Física



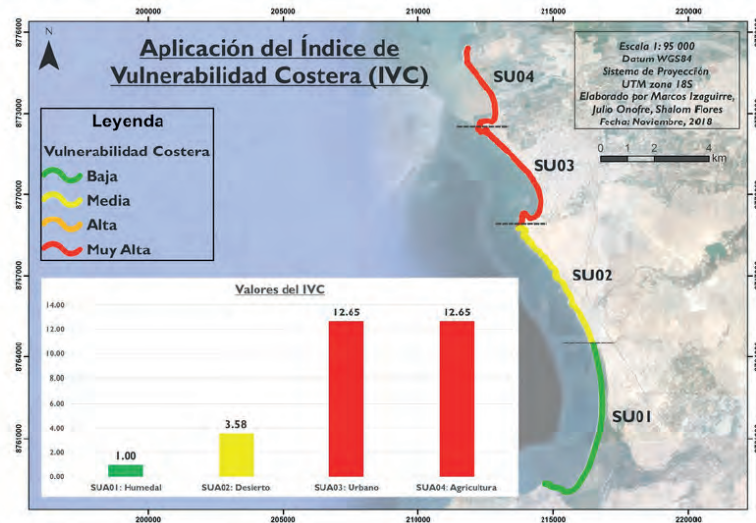
RESULTADOS

Vulnerabilidad Social



RESULTADOS

Vulnerabilidad Total



DISCUSIÓN Y ANÁLISIS

Playas de Huacho

HUMEDAL (SU01)

- Solo presenta una muy alta vulnerabilidad por su Geología/Geomorfología.
- Tasa positiva de cambio de línea de costa explicada por su posición geográfica
- Las personas aún están lejos.

DESIERTO (SU02)

- Alta vulnerabilidad por su Geología/Geomorfología
- La expansión urbana da ese valor alto en distancia a estructuras* (Primero estructuras, luego población)

URBANO (SU03)

- Dentro del cono aluvial del río Huaura
- Densamente urbanizada explica altos valores en variables sociales

AGRICULTURA (SU04)

- Uso agrícola intensivo explica una alta vulnerabilidad en lo social
- El área residencial medianamente densa

Mapa guía



CONCLUSIONES

Laguna El paraíso-Huacho

- El indicador resultó ser **más alto** en las zonas costeras de **mayor presencia humana**
- La **clasificación final** solo permite una **comparación local** entre subunidades: IVC se torna relativo al área de estudio.
- Así, surge la cuestión de pensar quizás en algún **método** que permita una **comparación a otros niveles** (como a nivel nacional).
- La priorización y jerarquización de sectores costeros para la toma de decisiones se ayudaría de este tipo de investigaciones

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, M. (2015). Propuesta de un Índice de Vulnerabilidad Costera aplicado a tres sectores de la Región Lima (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Creel, L. (2003). Ripple effects: Population and coastal regions. Population Reference Bureau, 8. <https://doi.org/10.3382/japr.2009-00003>
- Cruz, Z., Angulo, F., Burger, H., & Borgesa, R. (2007). Evaluación de aves en la laguna El Paraiso, Lima, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 14(1), 139–144. <https://doi.org/10.15381/rpb.v14i1.2179>
- Huarache, J., Castillo, J., Reátegui, T., & Pari, H. Características Sedimentológicas del Albano (Grupo Casma) - Valle del río Chillón. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 5(9), 43-46.
- INEI. (2012). IV Censo Nacional Agropecuario 2012. Perú.
- INEI. (2017). Censos Nacionales 2017: XII de población, VII de vivienda y III de comunidades indígenas. Perú.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007) Global Warming of 1.5oC: Summary for Policymakers.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2018) Global Warming of 1.5oC: Summary for Policymakers.
- Kokot, R. R., Codignotto, J. O., & Elissondo, M. (2004). Vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar en la costa de la provincia de Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59(3), 477-487.
- Navarrete-Ramírez, S. M. (2014). Protocolo Indicador Variación línea de costa: perfiles de playa. Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP). Invenmar, GEF y PNUD. Serie de Publicaciones Generales del Invenmar No. 73, Santa Marta. 36 p.
- Martí López, M. (2011). Vulnerabilidad física de la costa catalana a diferentes agentes.

BIBLIOGRAFÍA

- Martínez, M. L., Intralawan, A., Vázquez, G., Pérez-Maqueo, O., Sutton, P., & Landgrave, R. (2007). The coasts of our world: Ecological, economic and social importance. *Ecological Economics*, 63(2–3), 254–272. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.10.022>
- MINAM. (2016). Lineamientos para el Manejo Integrado de las Zonas Marino Costeras, 28. Retrieved from <http://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/wp-content/uploads/sites/129/2017/02/Lineamientos-para-el-Manejo-Integrado-de-las-Zonas-Costeras.pdf>
- Municipalidad Provincial de Huaura. (2009). Plan de Desarrollo Concertado de la Provincia de Huaura 2009 - 2021. Huaura, Perú. Recuperado de http://www.peru.gob.pe/docs/PLANES/12122/PLAN_12122_Plan_de_Desarrollo_Concertado_2011.pdf
- Núñez, J., Ramos, R., Barba, E., Espinoza, A., Gama, E. (2016). "Índice de Vulnerabilidad Costera del Litoral Tabasqueña, México", *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* ISSN 2448-7279, núm. 91, 2016, pp. 70-85, [dx.doi.org/10.14350/ig.50172](https://doi.org/10.14350/ig.50172)
- Ojeda, J., Álvarez, J., Cajaraville, D., & Fraile, P. (2009). El uso de las TIG para el cálculo del índice de vulnerabilidad costera (CVI) ante una potencial subida del nivel del mar en la costa andaluza (España). *GeoFocus (Artículos)*, No 9, p. 83-100. ISSN: 1578-5157, 9, 83–101. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2244\(00\)0047-9](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2244(00)0047-9)
- Rangel-Buitrago, N., & Posada-Posada, B. (2013). "Determinación de la vulnerabilidad y el riesgo costero mediante la aplicación de herramientas SIG y métodos multicriterios", *Revista Intropica*, ISSN 1794-161X, núm. 8, 2013, pp. 29-42. Santa Marta.
- Rondón, G. (2011) Análisis de la variación temporal de la línea de costa y caracterización de la geomorfología litoral: Bahía de Paita Perú 1946-2007 (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Rodríguez, M. (2017). Variación de humedales costeros e irrigaciones agrícolas: el caso de la albufera de Medio Mundo y el área agrícola de Huaura. Lima.

Bibliografía

Sánchez, G., Blas, N., & Chau, G. (2010). Informe nacional sobre el estado del ambiente marino del Perú. Ministerio de la Producción.

Tejada, X. (2017). Análisis de la Vulnerabilidad Costera frente a un posible aumento del nivel del mar: sector costero Lurin-Pucusana (Provincia de Lima) (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

USGS (2017) DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide. U.S. Geological Survey.

Vidal, J. (2016). Las ocho regiones naturales del Perú. Terra Brasilis (Nova Série), 1-20.

Tarbutk, E., & Lutgens, F. (2008). Líneas de costa. In *Ciencias de la Tierra* (pp. 559-588). Retrieved from <https://www.osop.com.pa/wp-content/uploads/2014/04/TARBUCK-y-LUTGENS-Ciencias-de-la-Tierra-8va-ed.-1.pdf>

Torresan, S., Critto, A., Dalla Valle, M., Harvey, N., & Marcomini, A. (2008). Assessing coastal vulnerability to climate change: Comparing segmentation at global and regional scales. *Sustainability Science*, 3(1), 45-65. <https://doi.org/10.1007/s11625-008-0045-1>

Zhang, K., Douglas, B. C., & Leatherman, S. P. (2004). Global warming and coastal erosion. *Climatic Change*, 64(1-2), 41-58. <https://doi.org/10.1023/B:CLIM.0000024690.32682.48>