

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 (1991)

Rosa Ximena Tejada De la Cruz  
Pontificia Universidad Católica del Perú  
rxtejada@pucp.pe

Fecha de recepción: 28 de febrero de 2018  
Fecha de aceptación: 15 de mayo de 2018

**SUMILLA**

En el presente artículo<sup>1</sup> se identifican los lugares más vulnerables en el sector de playas entre Lurín y Pucusana, al sur de la ciudad de Lima, ante un posible aumento del nivel del mar como consecuencia del cambio climático. Lo anterior tuvo como base la adaptación y aplicación del índice de vulnerabilidad costera - IVC de Gornitz, White y Cushman (1991). Este índice analiza variables físicas, pero se le añadieron variables humanas, pues esta zona costera presenta una alta densidad poblacional debido al incremento del comercio, servicios, industrias y construcciones urbanas. Esta zona costera en la ciudad de Lima ha sido poco estudiada. Para abordarla se identificaron seis variables: tres físicas —pendiente, geomorfología y variación de línea costera— y tres socioeconómicas —distancia a la infraestructura, uso de suelo y densidad poblacional—. La integración de las seis variables en el IVC permitió identificar el grado de vulnerabilidad del sector costero en estudio en los siguientes niveles: muy alto, alto, moderado, bajo, y muy bajo. Los resultados de esta investigación mostraron que, de las trece unidades espaciales de análisis evaluadas, las clasificadas de *muy alta* vulnerabilidad fueron Señoritas, Embajadores y Pucusana, y la de *muy baja* vulnerabilidad fueron las de Lurín, Quebrada y el sector Roca. El análisis por variables demostró que los factores socioeconómicos contribuyen a aumentar la vulnerabilidad de la zona costera y las variables físicas, la disminuyen.

*Palabras clave:* vulnerabilidad costera, erosión, índice de vulnerabilidad costera, línea de costa, aumento del nivel del mar.

---

<sup>1</sup> El presente estudio recibió apoyo financiero de la Dirección de Gestión de la Investigación de la PUCP (proyecto DGI 153 - 2015-1-0018) y fue ganador del PADET (2015-6-0074). Agradezco el constante apoyo brindado por el doctor Carlos Tavares durante el desarrollo de la presente investigación.

## **Most vulnerable coastal sectors between Lurin and Pucusana in the face of a potential rise in sea level as a consequence of climate change: Adaptation and application of the Coastal Vulnerability Index of Gornitz (1991)**

### **ABSTRACT**

This article identifies the most vulnerable locations in the beaches south of the city of Lima, between Lurin and Pucusana, caused by a potential increase in sea level as a result of climate change. The research was based on the adaptation and application of the Coastal Vulnerability Index (CVI) of Gornitz, White and Cushman (1991). Originally, CVI index focuses on physical variables. However, human variables were also included because the study zone is a densely populated area with constant growth in commerce, services, industries and urban constructions projects. The coastal zone south of Lima hasn't been studied thoroughly before, so to address it systematically, six variables were identified. The following three physical variables were considered: slope, geomorphology and coastal line variation; as well as the following three socioeconomic ones: distance to infrastructure, land use and population density. The integration of the six variables in the IVC allowed the study to categorize four different degrees of vulnerability of the coastal sector (very high, high, moderate, low, and very low). The results of this investigation showed that, from the thirteen spatial units of analysis evaluated, those with very high vulnerability were: Señoritas, Embajadores and Pucusana and those with very low vulnerability were Lurín, Quebrada and the Roca sector. The application of these two types of variables showed that the socioeconomic factors contribute to the increase of vulnerability of the coastal zone while the physical variables contributes to the decrease of it.

*Keywords:* coastal vulnerability, erosion, coastal vulnerability index, coastline, sea level rise.

### **INTRODUCCIÓN**

Uno de los sistemas ambientales más amenazados son las áreas costeras que están particularmente expuestas a una serie de riesgos relacionados con el cambio climático, como el aumento del nivel del mar por derretimiento de glaciares o el aumento de la temperatura superficial del mar, expansión térmica, intensidad de tormentas, entre otros (Torresan, Critto, Dalla, Harvey y Morcomini, 2008; Zhang, Douglas y Letherman, 2004). De estos, el aumento del nivel del mar es uno de los más certeros impactos inducidos e intensificados por la creciente presión antrópica que existe en dichos ecosistemas, y que impulsará, en la mayor parte de las costas, la necesidad de hallar medidas de adaptación local para enfrentar y mitigar los posibles impactos asociados a este aumento. Algunas de las consecuencias físicas del aumento del nivel del mar que será necesario mitigar son la erosión y el retroceso de la línea costera e intrusión salina en los acuíferos y estuarios, la pérdida de humedales costeros y el aumento de los niveles freáticos (Vázquez, 2008). Por otro lado, las consecuencias socioeconómicas están asociadas a la pérdida de propiedades, de hábitats costeros, pérdida de las funciones turísticas, de recreación y transporte (Torresan et al., 2008).

El cambio climático se define como «una importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado (normalmente decenios o incluso más), debido a la variabilidad natural del clima o como resultado de la actividad humana» (IPCC, 2014). El cambio climático está ampliamente reconocido como un problema ambiental clave que afecta a los sistemas naturales y humanos en todo el mundo.

Según Gutiérrez et al. (2011), el impacto del cambio climático sobre los recursos marinos y las zonas costeras presentan dos posibles escenarios para los próximos veinte a treinta años en el Perú: por un lado, una intensificación del afloramiento costero en favor de la producción biológica, y por otro, la disminución de los vientos costeros, que conlleva incrementos de la temperatura en las áreas costeras, lo que afectaría la producción global de los ecosistemas. Estos escenarios están combinados con efectos globales tales como el aumento del nivel del mar, pérdida de manglares, humedales y cambios en la precipitación (Miranda Avalos y Gutiérrez Torero, 2015).

En los últimos 3000 años, el mar ha ascendido un promedio de 0,1-0,2 mm/año, y desde 1900 entre 1 y 2 mm/año (Kokot, Codignotto y Elissondo, 2004). Según los datos aportados por los mareógrafos, la tasa de aumento del nivel medio del mar en todo el mundo ha sido de 1,7 mm +/- 0,5 durante el último siglo (1,8 mm +/- 0,5 para el periodo 1961-2003) (Church y White, 2011). Se prevé que la tasa aumente durante el siglo XXI, entre 10 y 90 cm (Zhang et al., 2004). No obstante, los cambios en el nivel del mar no son uniformes. En los ámbitos local y global existirán diferencias dependiendo del grado de urbanización y características geomorfológicas de cada ambiente costero.

En el Perú, según Teves et al. (1996), asumiendo un incremento de un metro por encima del nivel actual del mar (máximo escenario propuesto por el IPCC), la altura máxima de inundación sería de 3,40 m en el norte de La Punta (bahía del Callao) y de 3,66 m en el sur de La Punta (bahía de Miraflores). El área de potencial inundación entre Conchán y Pucusana es de 11,51 km<sup>2</sup>, lo que corresponde al 59,9% del área que está a menos de 5 m sobre el nivel del mar. Las playas del área sirven como sitios recreativos. También tienen sitios urbanos, clubes privados, una planta de pescado en polvo, y la zona pesquera de Pucusana.

A la luz de este creciente problema global, existe una urgente necesidad de desarrollar y aplicar metodologías y aproximaciones apropiadas en la evaluación de la vulnerabilidad de los sistemas costeros de tal manera que los riesgos humanos y de ecosistemas queden reducidos. El estudio de la vulnerabilidad costera requiere una aproximación interdisciplinaria basada en la identificación de indicadores apropiados que representen las diferentes particularidades de cada sistema costero (Füssel y Klein, 2006).

Conociendo esto, se puede afirmar que el estudio de las playas y balnearios costeros del sur de Lima comprendidos entre los distritos de Lima y Pucusana resulta ser

representativo, ya que encontramos diversos ambientes naturales, variadas formas de asentamiento de la población, grandes infraestructuras de vivienda y protección costera, y distintas actividades antrópicas que se desarrollan en estos distritos. Con la aplicación del IVC en los balnearios del sur de Lima se logrará tener un primer avance en el análisis de la vulnerabilidad, la caracterización física y humana de la zona de estudio, así como conocer las dinámicas costeras propias de la zona. Una correcta evaluación de la vulnerabilidad costera en la zona de estudio permitirá, a largo plazo, tomar mejores decisiones al momento de realizar planes integrales costeros o planificar las construcciones de sitios para la industria, puertos, viviendas y actividades turísticas, entre otros.

### **LA COSTA: IMPORTANCIA DE SU ESTUDIO Y PRINCIPALES AMENAZAS**

Las costas están entre las zonas más pobladas del mundo gracias a múltiples factores, como la cercanía a recursos marítimos y la accesibilidad a través de diferentes medios de transporte. Actualmente, el 70% de las playas del mundo se encuentran erosionadas (Bird, 1985; Zhang et al., 2004; Dwarakish et al., 2009). La causalidad de la erosión costera puede otorgarse principalmente a las consecuencias del cambio climático. Es decir, las zonas costeras son sensibles al aumento del nivel del mar, a los cambios en los procesos climáticos (tormentas) y también a la interferencia humana. De estos, el aumento del nivel del mar es la causa más palpable y de mayor importancia en estos tiempos (Zhang et al., 2004). Los rangos de elevación del nivel del mar - ENM se han incrementado en las últimas décadas y no son los mismos de región a región (Grández, 2010), ya que dependen de las características físicas y antrópicas particulares de cada localidad. Los escenarios elaborados a escala mundial prevén valores que en promedio oscilan entre 0,09 y 0,88 m desde 1990 hasta 2100, con tendencia a la aceleración (Kokot et al., 2004).

Es importante el estudio de la costa peruana, pues ocupa alrededor del 11,7% del territorio nacional (INEI, 2007), cuenta con más de 3 000 kilómetros de extensión y alberga a aproximadamente el 60% de la población del país (Berninson, Ortiz, Monteferrri y Zamudio, 2006). Es un espacio de alta riqueza biológica, en el que se desarrolla un sinnúmero de actividades, como pesca, turismo, recreación, acuicultura y agricultura, además de ser una vía de navegación importante y necesaria para el transporte de diversos bienes materiales. En resumidas palabras, la costa peruana posee una alta capacidad para proveer bienes y servicios, lo cual se traduce en el pilar de actividades de las que depende el desarrollo del país (Leceta, 2009).

Actualmente la costa peruana se encuentra expuesta a una gran presión poblacional: la demanda de viviendas asentadas en las zonas cercanas al mar es cada vez mayor y el aumento parece no tener control (Sueiro, Cornejo y Castro, 2005). Esta incompatibilidad entre la oferta natural y el uso antrópico del espacio hace de la costa peruana un

ecosistema frágil y vulnerable, que posee zonas ambientalmente críticas, y procesos de erosión y deposición que dificultan el desarrollo y funcionamiento normal del sistema marino-costero. Todo este proceso de urbanismo costero, que se ha desarrollado sin tomar en cuenta la acción de las diversas variables físicas ambientales dinámicas de dichos espacios y genera una condición de vulnerabilidad (Verdi, 2007). El concepto de vulnerabilidad se asocia a la sensibilidad de un ecosistema (grado en que puede verse afectado en función de su exposición) ante un fenómeno (subida del mar) o su capacidad de adaptación (Ojeda, Álvarez, Martín y Fraile, 2008).

Para medir y comprobar esta problemática, se pretende adaptar y aplicar un IVC obtenido a través de la aplicación de un algoritmo que relaciona variables e indicadores específicos de nuestra zona de estudio, conseguidos a partir de información geológica, oceanográfica y climatológica (Kokot et al., 2004) y algunas características socioeconómicas pertinentes de analizar.

En general, se han realizado pocos estudios que pretendan evaluar la vulnerabilidad de las costas en el Perú. Existen, no obstante, otros estudios de temática distinta y diversa en el área de estudio, como la investigación de Tavera, Bernal y Gómez (2010), «Zonificación Sísmico-Geotécnico para 7 distritos de Lima Metropolitana». Así también los estudios de Teves et al. (1996) sobre inundación costera como resultado del cambio climático y, por último, la investigación de Flor, Martínez y Martínez publicada en 1995 llamada «Estudio del medio físico y humano de los distritos del sur de Lima (Lurín-Pucusana, Perú)», que con un enfoque más humano realiza una caracterización completa del sector de estudio. Sin embargo, los estudios citados no cumplen la expectativa de analizar la vulnerabilidad a la erosión costera, que se busca comprender y analizar en la presente investigación. Es por ello que en el presente artículo se busca identificar y evaluar zonas vulnerables que serán de mucha utilidad para lograr un manejo integrado de la de la costa y tomar mejores decisiones que disminuyan el riesgo de erosión y eviten pérdidas materiales, así como la eventual degradación del ecosistema marino costero.

Teniendo en cuenta lo afirmado previamente, con el presente estudio se pretende evaluar la vulnerabilidad al incremento del nivel del mar en la zona sur de Lima, entre Lurín y Pucusana. Los problemas comunes de esta zona incluyen las invasiones informales de la franja costera, la contaminación del agua del mar y ríos, la poca presencia de áreas verdes, la desaparición de especies litorales, la pérdida de paisajes naturales y la erosión costera, entre otros. Asimismo, con esta investigación se pretende contribuir a la evaluación de la vulnerabilidad de conocimiento sobre este tema en el país. Además, los resultados que se obtengan de este estudio servirán para que los científicos, académicos y políticos, entre otros, evalúen mejor cualquier decisión en proyectos de planificación y gestión sostenible de esta zona marino-costera.

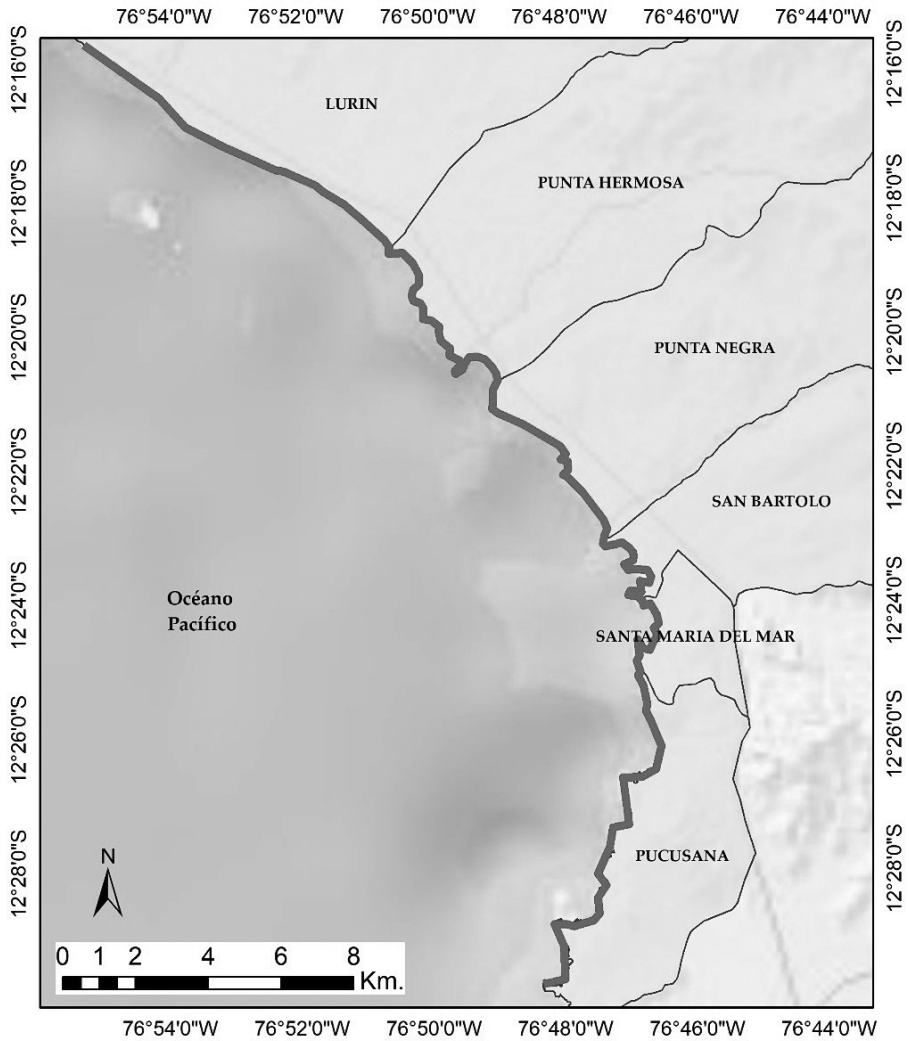
## Área de estudio

El área de estudio corresponde a la margen occidental central del Perú, bajo la influencia de la Corriente Peruana o de Humboldt. La franja costera en estudio está comprendida dentro de las siguientes coordenadas: 12° 18' 41" Latitud sur y 76° 54' 49" Longitud oeste, en el extremo norte en Lurín, y 12° 30' 12" Latitud sur y 76° 48' 00" Longitud Oeste, en el extremo sur en Pucusana. Está ubicada en la región y provincia de Lima y se trata de una faja costera perteneciente a la segunda parte del conjunto de playas y bahías ubicadas al sur de la provincia de Lima (figura 1). Según la demarcación política, su ubicación corresponde a los distritos de Lurín, Punta Hermosa, Punta Negra, San Bartolo, Santa María del Mar y Pucusana. Los límites de la franja costera corresponden al norte con el distrito de Villa El Salvador, al sur con el distrito de Chilca y al oeste con el océano Pacífico. Estos seis distritos abarcan una extensión de 31,7 km, siguiendo la línea costera. El ancho de este sector costero y las playas ahí presentes es variable, por los procesos urbanos de ocupación establecidos en el área, y debido a la cercanía a las distintas estructuras, algunas a menos de cincuenta metros de la línea de pleamar (nivel más alto que alcanza el agua del mar durante la marea alta). Esta última distancia está establecida en la Ley de Playas (ley 26856, 1997) como la mínima con respecto a la pleamar.

Con respecto a las características geológicas y geomorfológicas, la zona de estudio presenta amplias costas arenosas y pedregosas, playas en medio del desierto costero, lomas, cerros y colinas. Su formación se asocia a hundimientos o subsidencias ya que se expresan en playas bajas, planicies de inundación y terrazas fluviales, entre otros. Entre las formas estructurales que han controlado el modelado de la región cabe mencionar el anticlinal de Lima y los bloques fallados productos de los dislocamientos regionales, así como la gran acumulación de arena eólica sobre la zona. Se pueden distinguir unidades geomorfológicas (Palacios, Caldas y Vela, 1992): islas, borde litoral, planicies costaneras y conos deyección, valles y quebradas. El borde litoral de la zona de estudio está configurado por bahías. Las principales son las de San Bartolo y Pucusana, ensenadas y puntas, entre otras. Por socavamiento y erosión se han formado acantilados en su mayoría subverticales, cuyo retroceso se debe a la acción de las olas, como el caso entre San Bartolo y Pucusana al sur (Palacios et al., 1992).

Con respecto a las características socioeconómicas, la zona de estudio comprende una población total de 91 192 personas, de las cuales 88 987 pertenecen al área urbana y 2205 personas viven en un medio rural, según datos del INEI (2007). La población de los distritos durante las últimas décadas ha crecido rápidamente como producto de la urbanización de la ciudad de Lima (figura 2). La mayor parte de las personas se han asentado muy cerca de la línea de costa.

Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio



Escala: 1:125,000  
Datum horizontal: WGS 1984  
Zona 18S  
Fuente de datos: MINAM  
Elaborado por Ximena Tejada.

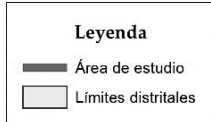
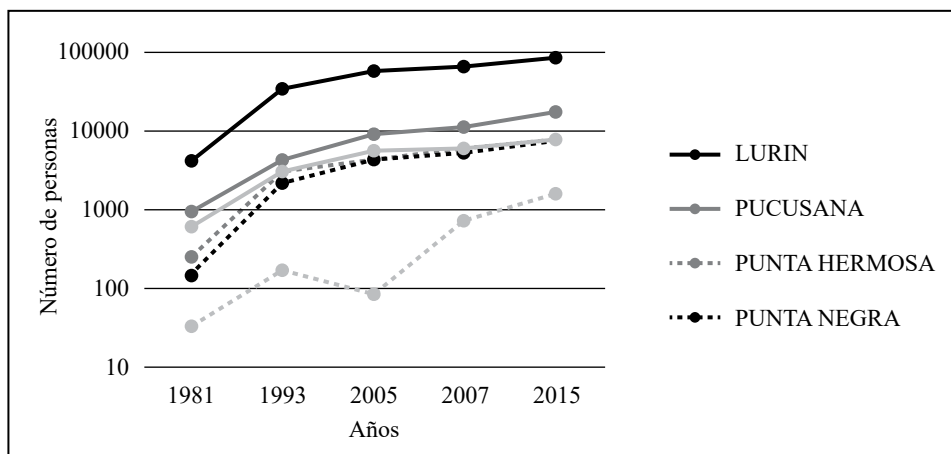


Figura 2. Aumento poblacional (años 1981-2015)



Fuente: INEI, censos 1981, 1993, 2005 y 2007. Proyección a 2015.

Los habitantes de esta franja costera, al ser la mayor parte población urbana, realizan una variada gama de actividades económicas en diferentes establecimientos. Así, se observan desde restaurantes, discotecas, tiendas, clubes, alquileres o arrendamientos de casas, hoteles u hospedajes hasta granjas de pollos, colegios y otras actividades a lo largo de todo el litoral. Hay una alta actividad pesquera en la zona de estudio y las caletas de pescadores se encuentran en los distritos de San Bartolo, Pucusana, Punta Hermosa y en la playa El Silencio. Esta actividad entrega al mercado más de 10 000 toneladas métricas de recursos hidrobiológicos y, solo en el puerto de Pucusana, en el año 2015 se desembarcaron 11 140 toneladas métricas de recursos marítimos (Ministerio de la Producción, 2016). De estos lugares, en Pucusana existen alrededor de 538 embarcaciones pesqueras en este distrito (INEI, 2012) y el recurso se comercializa ahí mismo una vez extraído.

## METODOLOGÍA

Para el cálculo de la vulnerabilidad costera en este artículo se aplicó una adaptación del IVC propuesto por Gornitz et al. (1991), que consiste en la aplicación de seis variables físicas combinadas en una sola ecuación: (i) geomorfología; (ii) pendiente de la playa; (iii) variación de la línea costera; (iv) tasa de aumento relativo del nivel del mar; (v) marea media, y (vi) y altura media significativa de las olas. Esta una de las metodologías más utilizadas como una primera aproximación al cálculo de la vulnerabilidad de las costas frente al cambio climático (Ojeda et al., 2009). Muchos autores han aplicado este índice en diversas partes del mundo: Kokot et al. (2004), Diez, Perillo y Picollo



(2007), Dwarakish et al. (2009), Ojeda et al. (2009), Abuodha y Woodroffe (2010), Özurt y Ergin (2010), Di Paola et al. (2011), Yin, Yin, Wang y Xu (2012), Sheik y Chandrasekar (2013) y Appeaning (2014), entre otros. Estos autores han utilizado diversas variables físicas a partir de datos geológicos, climáticos, geomorfológicos y oceanográficos para caracterizar la costa e identificar la vulnerabilidad de diferentes regiones. Los resultados de sus estudios se muestran en mapas para resaltar las zonas de litoral que puedan tener mayor o menor potencial para ser dañadas por efectos de la erosión costera.

En los últimos años, el IVC ha comenzado a incorporar componentes socioeconómicos (Ronald, 2012). Según Ramiery et al. (2011), estos componentes, como la población, la infraestructura y el valor de la propiedad, entre otros, se pueden evaluar asociando «otros indicadores e índices de indicadores» socioeconómicos a la fórmula del IVC, junto con variables físicas. Por tal motivo, en la presente investigación, aparte de adecuar las variables físicas a las características de la zona de estudio, también se utilizaron variables socioeconómicas que permitieron una mejor y más completa evaluación de la vulnerabilidad costera. Los autores Sarajit, Nakhapakorn, S. Jirakajohnkool, K. Tienwong y A. Pansuwan (2015) y Rangel y Posada (2013) se tomaron como base para adecuar sus variables socioeconómicas teniendo en cuenta también las propias características humanas de la zona de estudio.

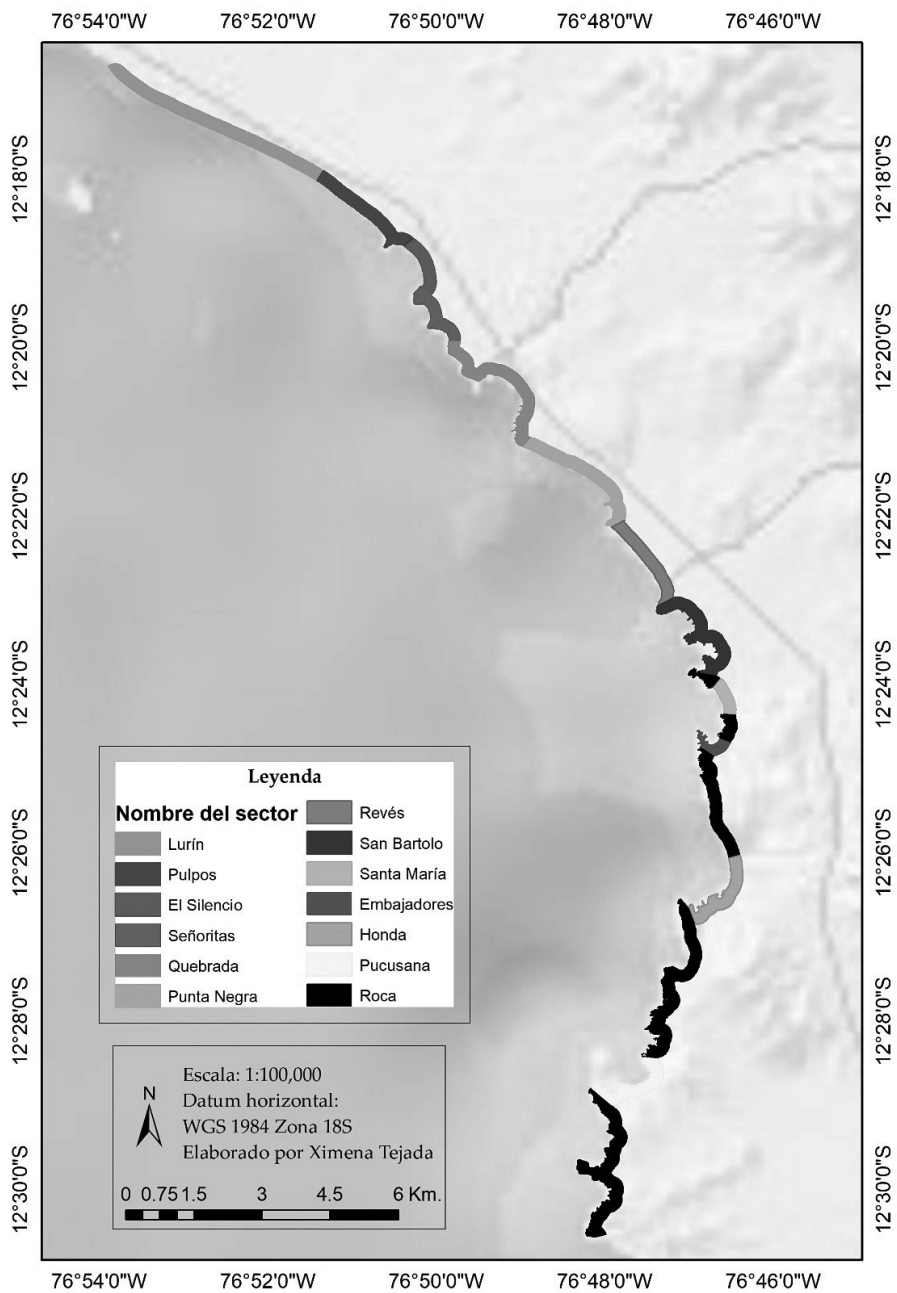
Para aplicar la fórmula del IVC, y debido a que el análisis abarcó un área particular de estudio, fue necesario establecer unidades espaciales de análisis, en las cuales se subdividió toda la zona de estudio. Una vez definidas las trece unidades, se procedió a medir y caracterizar la zona de estudio con cada una de las seis variables seleccionadas (físicas y humanas). Todo el procedimiento se detalla a continuación.

## **DIVISIÓN Y DEFINICIÓN DE LAS UNIDADES ESPACIALES DE ANÁLISIS**

La zona de estudio posee una extensión de 31,7 km desde Lurín hasta Pucusana. Al establecer unidades espaciales de análisis, se consiguió una mejor caracterización y evaluación de la costa para aplicar la fórmula IVC (figura 3). Cada una de las trece unidades tiene características geomorfológicas de ocupación humana similares, y sus límites fueron establecidos a partir de puntas rocosas prominentes.

Cada unidad de análisis tiene una extensión de 600 a 5000 metros, y se ha considerado de ancho una franja de 250 metros hacia el continente desde la línea de costa (pleamar) y se establece esta medida tomando en cuenta la Ley de Playas 26856, que determina los primeros 50 metros como la «zona de playas» y, a partir de ahí, 200 metros más, que corresponden a la «zona de uso restringido». Este espacio de 250 metros es de uso público, según establece la ley. En la figura 3 se indica cada unidad con un nombre específico de alguna de las playas que conforman ese espacio.

Figura 3. Identificación de las trece unidades espaciales de análisis.



## IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES FÍSICAS Y HUMANAS SEGÚN LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

Una vez identificadas las unidades espaciales de análisis se determinaron las seis variables empleadas en el análisis e incorporadas a la fórmula para evaluar el IVC (tabla 1). Las variables físicas fueron las siguientes: geomorfología, pendiente de la playa y desplazamiento de la línea de costa, y las humanas fueron las siguiente: tipo de uso de suelo, densidad poblacional y proximidad a la costa. En la siguiente figura se observa la clasificación de cada una de las variables en cinco indicadores de medición.

**Tabla 1. Clasificación de variables en cinco indicadores de medición de la vulnerabilidad**

VARIABLES	MUY BAJO 1	BAJO 2	MODERADO 3	ALTO 4	MUY ALTO 5
Geomorfología	Acantilados altos sobre rocas resistentes y consolidadas	Acantilados medios sobre rocas de resistencia media	Acantilados medios/bajos sobre formaciones sedimentarias de alta erodibilidad	Playas de arena extensas adosadas a planicies sedimentarias litorales poco elevadas, playas de cantos rodados y llanuras aluviales	Playas adosadas a humedales, tómbolos, deltas, islas barrera, marismas
Desplazamiento de línea costera (m/año)	> -0.10	-0.15 - -0.10	-0.20 - -0.15	-0.25 - -0.20	< -0.25
Pendiente de la playa (°)	Más de 9°	Entre 7° - 9°	Entre 5° - 7°	Entre 3° - 5°	Entre 0° - 3°
Usos de suelo	Áreas baldías, abandonas, 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
Densidad poblacional (hab./km <sup>2</sup> )	1-100	101-200	201-400	401-600	>600
Distancia a la infraestructura (m)	> 80	80-60	60 - 40	40 - 20	< 20

Fuente: elaboración propia a partir de las características de la zona de estudio y basado en Zújar, Álvarez, Cajaraville y Jurado (2009); Sarajit et al. (2015), Rangel y Posada (2013) y Gornitz et al. (1991, 1992, 1994).

Todas las variables fueron obtenidas mediante trabajos de campo y procesamiento de datos en gabinete mediante el programa ArcGIS 10.2 - ESRI. A continuación, se explicarán las características principales de cada variable y los principales resultados de su medición en la zona de estudio:

#### *Variable «geomorfología»*

Según Zújar et al. (2009), la variable «geomorfología» expresa la erosibilidad relativa de las diferentes formaciones costeras. El sistema de clasificación utilizado exige la asignación a cada tramo costero (unidad de análisis) un valor entre 1 y 5 según su vulnerabilidad. Un valor de 1 representa una baja vulnerabilidad (acantilados altos sobre rocas coherentes) mientras que un valor de 5 representa un riesgo alto (playas de arena, de barrera, marismas, deltas) (Dwarakish et al., 2009).

Los datos geomorfológicos fueron obtenidos a partir del relevamiento de toda la costa, reconociendo las principales morfologías del litoral. La interpretación previa se realizó a partir de imágenes satelitales LANDSAT 8 TM, con una resolución de 30 metros. Asimismo, se consultaron los mapas geológicos/geomorfológicos del Instituto Geológico Minero Metalúrgico - INGEMMET. También se usaron fotografías aéreas del Instituto Geográfico Nacional - IGN a escala 1/60 000 (vuelo OEA, 1961). En el área de estudio de esta investigación se aprecian en total doce geoformas, entre las cuales podemos encontrar islas (islas de Pachacamac y Pucusana), playas de cantos y de arena, puntas rocosas, terrazas marinas y mantos de arena, entre otros (figuras 4 y 5).

En general, la mayor parte de los sectores presenta terrazas de depósitos marinos y aluviales (existe alternancia de capas de depósitos marinos y aluviales), y en la primera parte del área de estudio predominan los depósitos eólicos. Hacia el sur del área de estudio, desde San Bartolo hasta Pucusana, se presentan más estratos rocosos de roca ígnea y las terrazas son más estratificadas.

#### *Variable «pendiente de la playa»*

La pendiente costera está relacionada con la vulnerabilidad a la inundación y con la potencial rapidez en el retroceso de la línea de orilla. Por lo tanto, pendientes costeras bajas implican una mayor vulnerabilidad, mientras que pendientes costeras altas involucran menor vulnerabilidad. Para calcular la pendiente, fue preciso establecer quince perfiles de playa (tabla 2), y estos se elaboraron en campo mediante el Método de Emery (1961). Según este método, para levantar el perfil se utilizan dos varillas de Emery (que miden 1,5 m y lleva una escala en centímetros), cada una operada por una persona. En gabinete, una vez halladas las variaciones horizontales y verticales en el método de Emery, se obtuvo la pendiente en grados de cada perfil de playa mediante cálculos matemáticos.

Figura 4. Imágenes de algunas geoformas: (i) playa de cantos, (ii) acantilado muerto, (iii) terraza marina, (iv) punta rocosa.



(i) Playa de cantos

(ii) Acantilado muerto

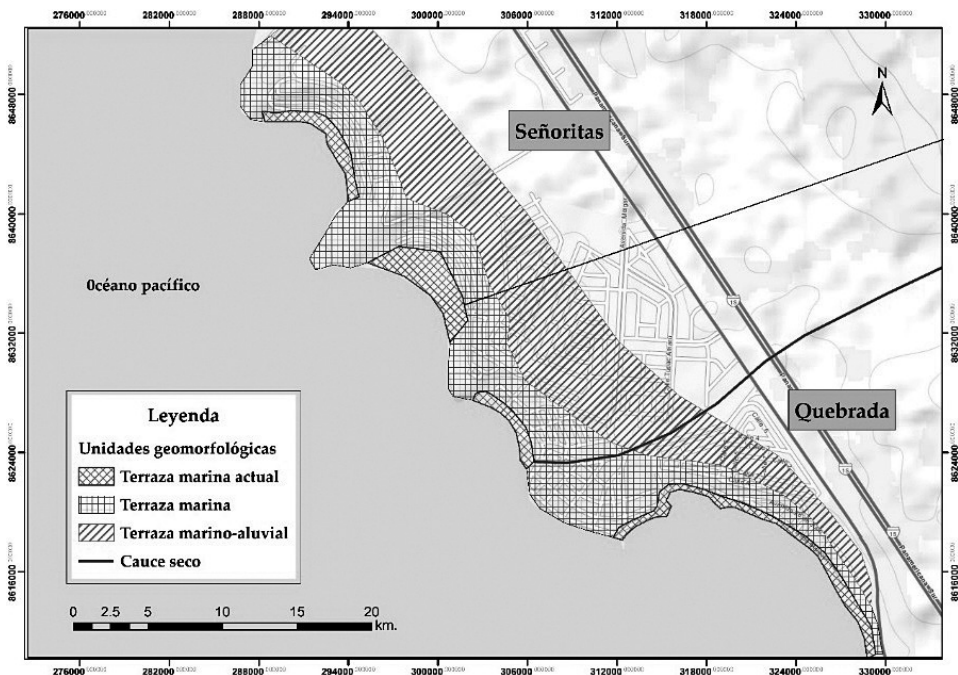


(iii) Terraza marina

(iv) Punta rocosa

Fuente: Rosa Ximena Tejada.

Figura 5. Terrazas marinas en dos sectores de estudio.



Fuente: Elaboración propia a partir de las características propias de la zona de estudio y adaptado de Tavera, Bernal y Gómez (2010).

Tal como se observa en la tabla 2, las unidades espaciales de análisis con mayor pendiente son Revés, San Bartolo y Embajadores. Estas presentaron poca distancia horizontal en las playas de arena (con excepción de pocas playas de cantos rodados en San Bartolo), y poco espacio de berma. Por el contrario, las unidades con menor pendiente son Lurín y Pucusana. La primera de ellas presenta la mayor distancia horizontal. Se caracteriza por ser una playa amplia de arena. La mayor parte de unidades presenta una pendiente de  $3^\circ$  aproximadamente.

*Variable «desplazamiento de la línea de costa» (mm/año)*

El desplazamiento de la línea de costa representa el comportamiento histórico de la línea costera y su tendencia evolutiva respecto de la componente horizontal (Kokot et al., 2004). Según Martí (2011), esta es la única variable que, en lugar de medir el efecto positivo o negativo de un agente o característica del sistema sobre la vulnerabilidad a erosión o inundación, es la propia medida del impacto. Es decir, la evolución de la línea de orilla es una medida del impacto erosivo producido en esta. Cuando la tasa de evolución es positiva, hablamos de acreción, en cambio si la tasa es negativa

se trata de erosión. En la clasificación de esta variable se asume que, cuando la tasa de evolución se halla entre -1,0 y +1,0 m/año, la zona es estable y recibe un grado moderado de vulnerabilidad. Cuanto mayor es la erosión o el impacto erosivo, la vulnerabilidad aumenta. De forma contraria, si existe acreción, el impacto es menor y también lo es la vulnerabilidad.

**Tabla 2. Información de perfiles levantados en campo**

Nombre de perfil	Fecha de toma de datos	Coordenadas UTM	Hora de término del perfil	Pendiente (en grados)
San Pedro	02-08-15	0295458 E 8640925 N	14:02	1,81
Pulpos	02-08-15	0299375 E 8638784 N	15:13	3,77
El Silencio	17-07-15	0300296 E 8637880 N	13:45	4,51
Caballeros	17-07-15	0300843 E 8636311 N	14:30	3,61
Punta Roca	17-07-15	0302936 E 8633698 N	16:40	3,77
Playa Punta Negra	22-11-15	0304404 E 8632823 N	11:19	2,75
Playa Bikinis	22-11-15	030454 E 8632413 N	11:52	5,40
Playa Negra	30-10-16	0301742 E 8635373 N	11:46	4,00
Playa Blanca	30-10-16	0302545 E 8634931 N	12:15	5,9
San Bartolo	22-11-15	0306289 E 8629871 N	12:40	8,96
Santa María grande (1)	17-08-15	0306900 E 8628357 N	12:50	3,02
Santa María chica (2)	13-05-15	0307109 E 8627749 N	13:30	3,83
Embajadores	13-05-15	0306676 E 8627250 N	11:30	5,08
Naplo	16-08-15	0304987 E 8619731 N	14:43	2,75
Pucusana	16-08-15	0304481 E 8619614 N	11:30	2,75

Esta variable (mm/año) se determinó comparando la línea de costera durante un período de 53 años, que corresponden a las fotos aéreas de 1961 (2 de noviembre) y una imagen del año 2014 (6 de octubre) obtenida en Google Earth. Una vez realizada la delimitación, se obtuvieron líneas de costas digitalizadas que se utilizaron para aplicar el software llamado DSAS - Digital Shoreline Analysis System, una herramienta que amplía las funciones del ArcGIS 10.2. En este software se mide la distancia lineal entre cada par de líneas de costa.

El parámetro más importante analizado con el programa DSAS fue el de la tasa de cambio final o *End Point Rate* - EPR. Este se calcula dividiendo el movimiento neto de la línea de costa o NSM - *Net Shoreline Movement*, que indica la variación entre la línea más antigua y la más moderna, y el tiempo transcurrido entre las dos líneas costeras. El resultado indica la tasa de variación de las líneas por cada transecto. Asimismo, se calculó la tasa de margen de error por cada unidad de análisis. El margen de error es un índice relacionado con el movimiento horizontal de la marea y se obtiene a partir de los perfiles de playa realizados en el sector de estudio. Este margen es importante porque una variación de las líneas de costa dentro del margen de error, implica que puede ser resultado de una variación natural de la marea.

En la figura 6 se puede observar que existen más unidades espaciales de análisis con tendencia al retroceso de la línea de costa (a la erosión) y poca evidencia de avance en dirección al mar (sedimentación o deposición de sedimentos). Esto último se observa claramente en el sector de Lurín, y por el contrario, en los sectores de Pulpos, El Silencio y San Bartolo, principalmente se observa un proceso de erosión en la costa. Los sectores de Quebrada, Revés y Embajadores se encuentran en un proceso de estabilidad costera, con la EPR muy cercana a cero (tabla 3).

Tabla 3. Resultados del análisis de variación de línea costera por cada sector de estudio.

Promedio/ sectores	Lurín	Pulpos	El Silencio	Seño- ritas	Que- brada	Punta Negra	Revés	San Bartolo	Santa María	Emba- jadores	Honda	Pucu- sana
EPR	0,092	-0,180	-0,461	-0,178	0,060	-0,180	0,156	-0,462	-0,111	0,053	-0,071	-0,231
NSM	4,892	-9,620	-24,541	-9,443	3,168	-9,612	-16,902	-24,633	-5,928	2,868	-3,760	-12,368
Margen de error	0,432	0,207	0,173	0,216	0,163	0,246	0,144	0,087	0,231	0,154	0,374	0,278

#### *Variable «tipo de uso de suelo»*

Los espacios de humedales y la franja de línea costera de países tropicales y subtropicales son cada vez más propensos a ser empleados por las poblaciones circundantes durante las últimas décadas, especialmente para el turismo. El análisis de los tipos de uso del

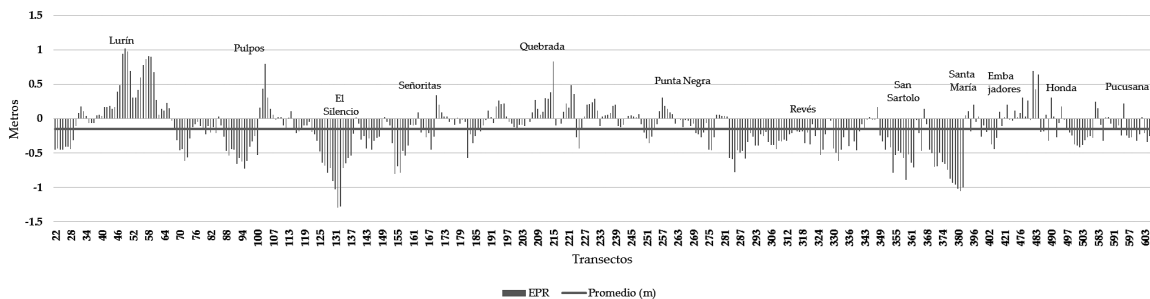


suelo y sus impactos sobre el ambiente permite diseñar planes prospectivos basados en la sostenibilidad de sus recursos naturales, beneficios socioeconómicos y servicios ambientales (Herrera-Silveira, Comin, Aranda-Cirerol, Troccoli y Capurro, 2004).

Para el cálculo de la variable «tipo de uso de suelo» se utilizaron imágenes satelitales (Google Earth-Landsat 8), se consultaron planos de zonificación disponibles para cada uno de los distritos y se reconocieron en campo las actividades y usos que se dan a la zona de estudio. Se han identificado tres tipos de uso de suelo principales: residencial, comercial y recreacional. De estos, el uso más extendido es el residencial, ya que una gran parte de las viviendas se concentran desde la carretera Panamericana hacia la costa. Por otro lado, el uso comercial y hotelero está principalmente dirigido al turismo y funciona de manera más activa en época de verano (enero a marzo aproximadamente). La infraestructura dedicada a la provisión de servicios —es decir, las instalaciones de los restaurantes— se encuentra sobre las mismas playas o en las proximidades, dejando muy poco espacio de berma. El uso recreacional del suelo está conformado por diversos centros de esparcimiento, clubes, entre otros. Estos brindan servicios privados y tienen mayor acogida en época de verano por el turismo. La mayor parte están asentados cerca de la playa o en sus proximidades. Muchas de las playas que forman parte de algún club son de difícil acceso.

Por último, al sur de la zona de estudio, iniciando el distrito de Santa María del Mar, el relieve del territorio presenta superficies accidentadas como puntas y costas rocosas de pendiente elevada (unidad de análisis *Roca*). Esta disposición del relieve dificulta en algunas zonas la continuidad del poblamiento por ello, de manera general, este sector ha sido catalogado como *sin uso*. No obstante, existen sectores de las puntas rocosas en donde se presenta una alta cantidad de residencias construidas. Esta se encuentra espaciada y no es uniforme en todo el estrato.

Figura 6. EPR entre 1961 y 2014 para el área de estudio por sectores.



### *Variable «distancia a la infraestructura»*

Para evitar que las infraestructuras y asentamientos que se encuentren más cercanos a la playa se vieran afectados por fenómenos naturales, una solución conceptual consistiría en mantener cierta distancia con respecto al nivel del mar durante la pleamar (Ley de Playas), de tal manera que se pueda disipar la energía del oleaje, dejar espacio a procesos naturales de erosión y sedimentación, y también dejar un área para bañistas y otras actividades. Por lo tanto, el criterio de «distancia a la infraestructura» —también llamado por otros autores (Rangel y Posada, 2013; Sheik y Chandrasekar, 2011, entre otros) como «ancho de playa» o «proximidad a la costa»— representa el alcance y área de influencia de ciertos impactos de las olas u otras dinámicas costeras que podrían afectar a las personas y a la infraestructura cercana al mar. Sin embargo, existen casos en los cuales el factor proximidad puede no ser crítico debido al efecto protector causado por la elevación del terreno. Tal es el caso de zonas altas como los acantilados, terrazas marinas de considerable altura o infraestructura construida sobre puntas rocosas.

Por último, la variable «distancia a la infraestructura» se midió desde la línea de costa del año 2014 digitalizada en Google Earth y el área de infraestructura construida fue obtenida desde los planos catastrales actualizados (año 2015) por manzanas para cada uno de los seis distritos que conforman el área de estudio. Para hallar la distancia, se tomaron valores ponderados según el área que ocupa la infraestructura en cada sector. Se midió la distancia a la infraestructura más cercana para dar más importancia a la primera estructura, que podría verse afectada por su cercanía al mar.

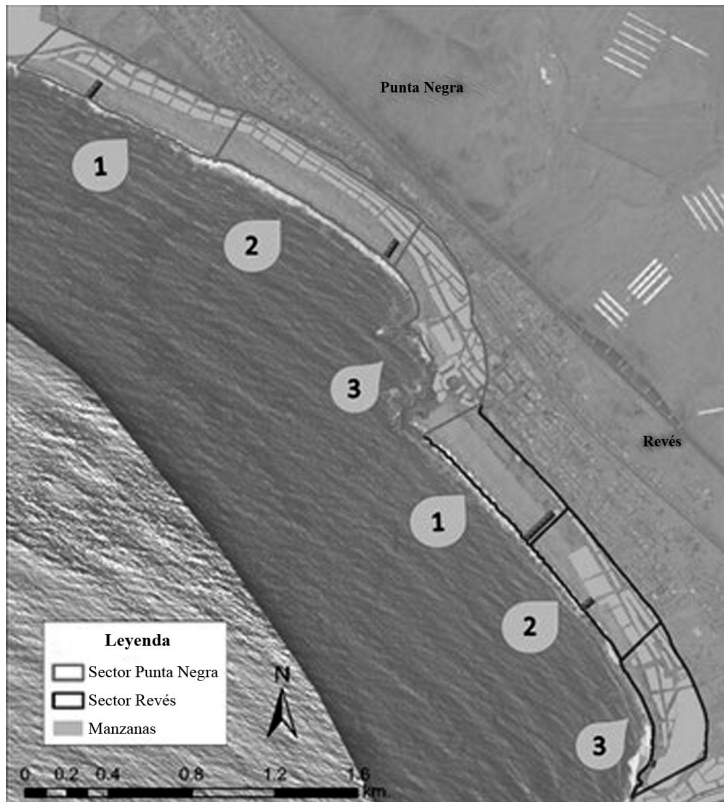
Tal como se observa en la figura 7, se pusieron como ejemplo las manzanas de cada sector para una mejor observación. Sin embargo, el cálculo final se hizo utilizando Google Earth y observando la infraestructura construida en cada sector.

### *Variable «densidad poblacional»*

Esta variable define la vulnerabilidad de unas zonas respecto de otras para ciertos impactos en las costas, como la elevación del nivel del mar, la relación de habitantes y la superficie afectada por cotas. Para el cálculo de la densidad poblacional (hab./km<sup>2</sup>) solo se consideró la población asentada en los primeros 250 metros que van desde la línea de costa hacia el continente.

El área de cada uno de los trece sectores de estudio fue obtenida mediante el programa ArcMAP y los datos de la cantidad de población por manzanas fueron obtenidos tomando como base los datos del INEI (2007) con proyección al año 2015 y de otras fuentes\*. La zona de estudio presenta una alta densidad poblacional y soporta en varios sectores diversas actividades económicas (figura 8). Además, en época de verano se convierte en una zona que recibe gran cantidad de turistas y bañistas.

Figura 7. Ejemplo de separación en tramos y cálculo de distancia



Fuente: Google Earth. Elaboración propia.

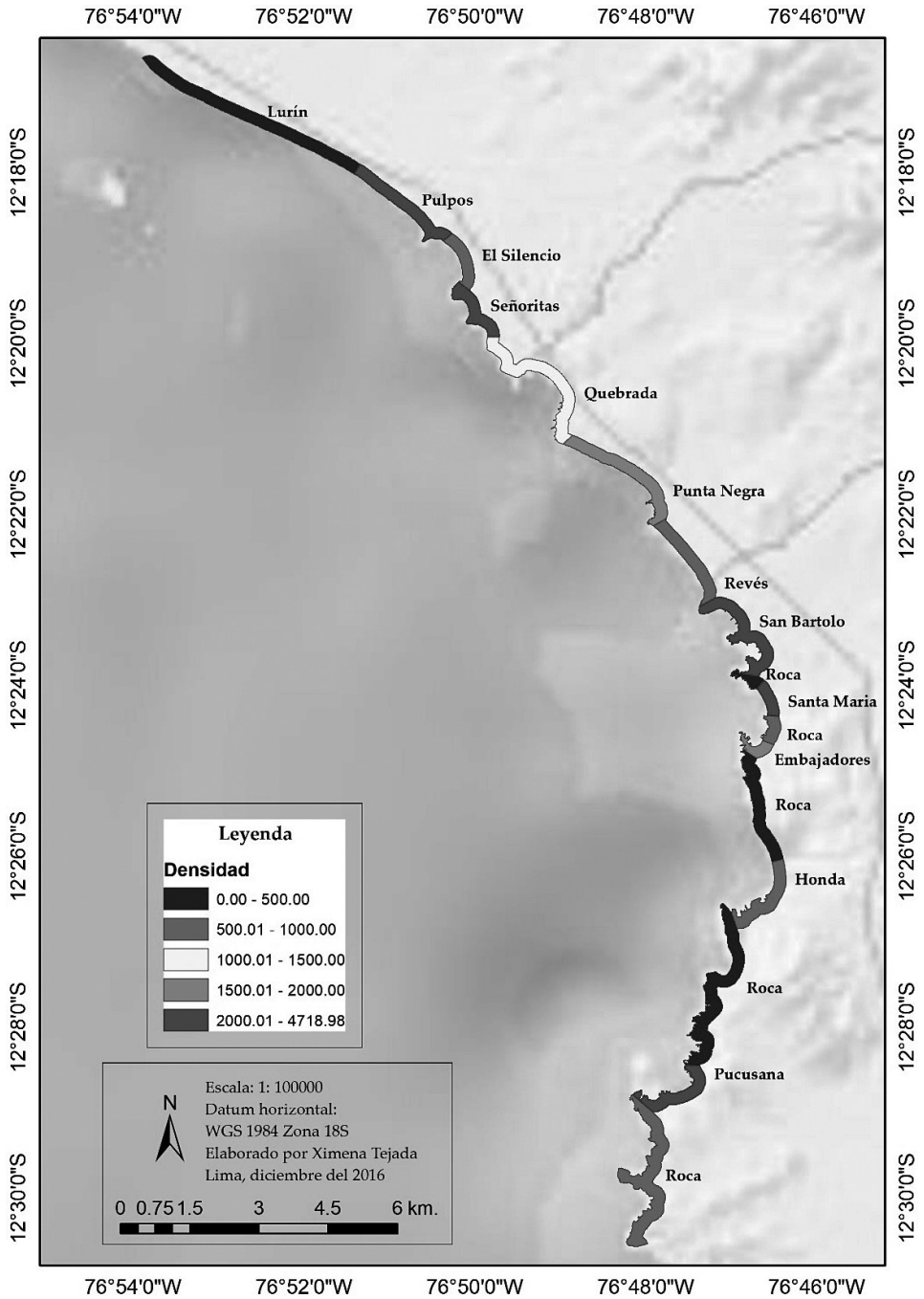
### APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DEL IVC

A partir de la caracterización y resultados hallados para cada una de las variables medidas en las trece unidades espaciales de análisis del área de estudio, se procedió a calcular la vulnerabilidad costera a partir de la fórmula de Gornitz et al. (1991). El sistema de ponderación (de 1 a 5) empleado con las seis variables permite su integración en una ecuación que, finalmente, proporciona el IVC. En la fórmula se coloca el valor final clasificado de 1 a 5:

$$\sqrt{\frac{a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f}{6}}$$

Siendo a: geomorfología, b: pendiente de playa, c: desplazamiento de línea de costa, d: tipo de uso de suelo, e: densidad poblacional y f: densidad a la infraestructura.

Figura 8. Densidad poblacional (hab. /km<sup>2</sup>) por sectores



Primero, se realizó la clasificación entre los valores de 1 a 5 de cada unidad (tabla 4) sobre la base de los indicadores propuestos en la metodología (tabla 1), donde el valor de «1» representa menor vulnerabilidad y el valor de «5» representa mayor vulnerabilidad. En segundo lugar, se aplicó la fórmula del IVC en cada una de las trece unidades espaciales de análisis, tal como se observa en la tabla 4 (observar la columna IVC).

**Tabla 4. Resultados obtenidos según el Índice de Vulnerabilidad Costera para cada sector de estudio.**

Sectores	uso de suelo	geomorfología	pendiente	densidad	distancia	variación costera	IVC	Clasificación
Lurín	2	4	5	1	2	1	3.651	BAJO
Pulpos	5	4	4	5	3	3	24.494	ALTO
El Silencio	3	3	4	2	4	5	15.491	ALTO
Señoritas	5	3	4	5	5	3	27.386	MUY ALTO
Quebrada	5	3	3	3	4	1	9.486	BAJO
Punta Negra	5	4	4	4	2	3	17.888	ALTO
Revés	4	4	3	2	3	5	15.491	ALTO
San Bartolo	5	3	2	5	5	5	25.000	ALTO
Santa María	5	3	4	5	2	2	14.142	MODERADO
Embajadores	5	3	3	4	5	5	27.386	MUY ALTO
Honda	5	3	4	4	4	1	12.649	MODERADO
Pucusana	5	4	5	5	4	4	36.514	MUY ALTO
Roca	4	1	1	1	1	1	0.816	BAJO

El valor del IVC calculado se dividió después en cuatro clases (tabla 5), utilizando como límites los percentiles correspondientes. Los valores hallados se encuentran entre 0,816 y 36,514. Los percentiles 25, 50 y 75 son 11,067, 15,491, 26,193, respectivamente. De esta forma se pueden identificar los tramos según su vulnerabilidad relativa. Los resultados se dividieron en las siguientes cuatro categorías: *Baja*, *Moderada*, *Alta* y *Muy alta* de vulnerabilidad basadas en la amplitud de los cuartiles. Es decir, a los valores que estuviesen por debajo de 11,067 se les asignó una categoría de baja vulnerabilidad, tal como se observa en la Tabla 4 (columna *clasificación*).

**Tabla 5. Categorías del IVC a partir de los resultados divididos en cuartiles.**

Bajo	Moderada	Alta	Muy alta
<11,067	11,067 - 15,490	15,491 - 26,193	>26,193

## RESULTADOS

Los resultados de la aplicación del IVC (figura 9) indican que las unidades espaciales de análisis de Lurín, Quebrada y Roca tienen baja vulnerabilidad, mientras que las de Santa María y Honda presentan vulnerabilidad media. Las unidades de Pulpos, El Silencio, Punta Negra, Revés, San Bartolo, y las de Señoritas, Embajadores y Pucusana presentan una vulnerabilidad alta y muy alta, respectivamente. Más del 50% de las unidades (ocho en total) resultaron más vulnerables a verse afectadas ante cualquier cambio en el clima o potencial subida del nivel del mar.

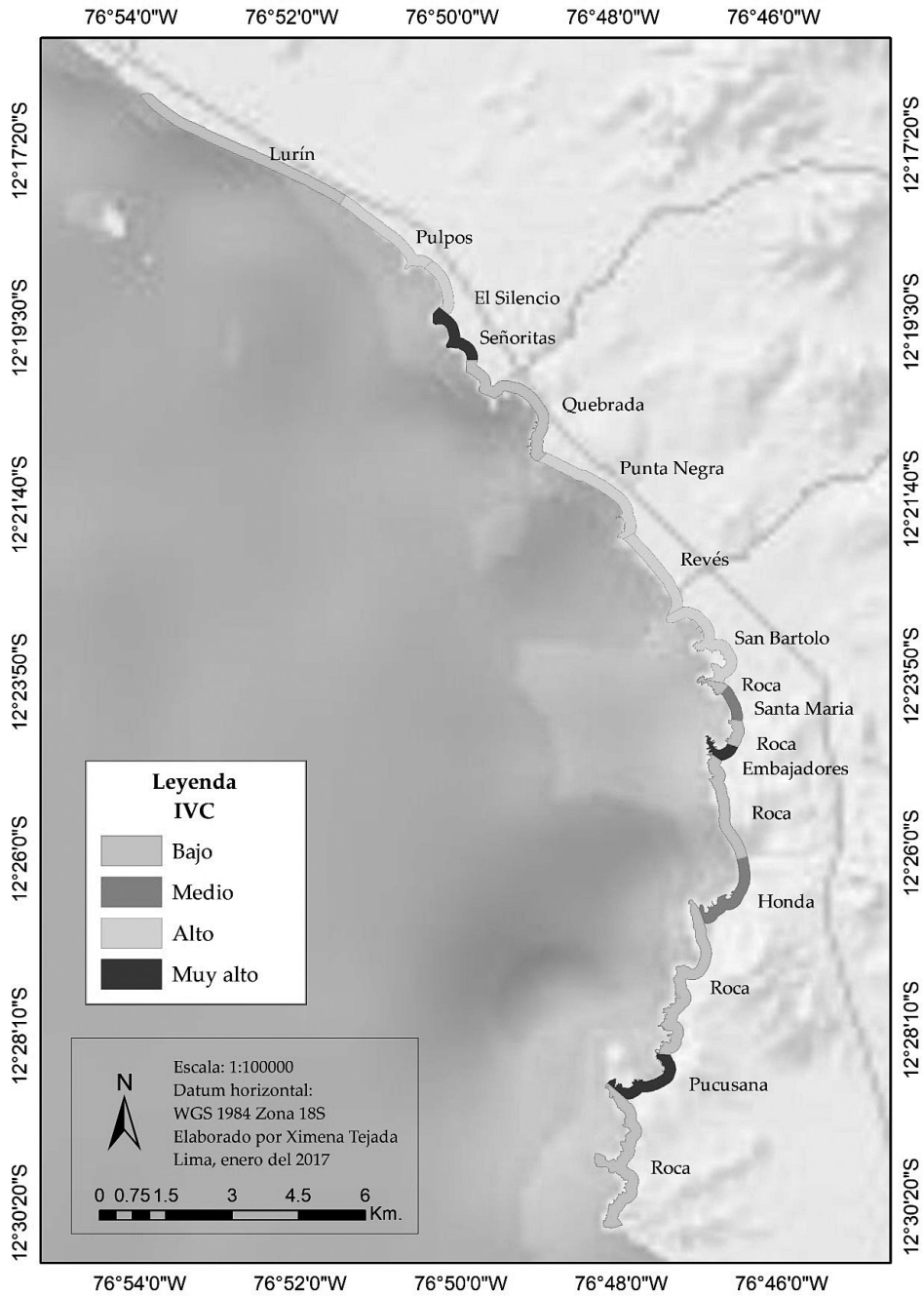
Con respecto a las variables humanas, la mayor parte de sectores resultaron altamente vulnerables. Si se observan los resultados con la variable «uso de suelo» (figura 10), la mayoría corresponde a zonas con uso residencial, recreacional y comercial del suelo que las hace muy vulnerables. Solo la unidad espacial de análisis *Lurín* presenta baja vulnerabilidad por tener un uso mayoritariamente agrícola del suelo, junto con otros usos no definidos y no prioritarios.

Asimismo, esta alta cantidad de residencias se encuentra densamente poblada y es por eso que la variable «densidad poblacional» resultó con muchas unidades espaciales de análisis de *muy alta* y *alta* vulnerabilidad. La unidad que presentó la mayor cantidad de población es la de San Bartolo, con 3140 personas y con una densidad de 4101,996 habitantes por km<sup>2</sup>. No obstante, la unidad con más alta densidad fue Santa María, por ser un sector de playa pequeño de 897 personas, pero con 4718,991 habitantes por km<sup>2</sup>. Las unidades con muy baja y baja densidad poblacional fueron la de Lurín (la unidad espacial con la menor cantidad de población), El Silencio y Revés, y, por último, la unidad de Quebrada presentó moderada densidad con 1496,23 habitantes por km<sup>2</sup>.

La infraestructura construida —ya sean residencias, comercios o clubes de recreación—, en la mayoría de las unidades se encuentra ubicada a pocos metros de la línea de costa. Es por eso que la variable distancia a la infraestructura tuvo unidades con *alta* y *muy alta* vulnerabilidad. Las unidades de Señoritas, San Bartolo y Embajadores resultaron ser muy vulnerables, con distancias de 18, 12 y 19 metros, respectivamente. Las únicas unidades de análisis que presentaron distancias más grandes fueron Lurín, Punta Negra y Santa María, con 70, 68 y 69 metros respectivamente.

Con respecto a las variables físicas, las unidades de estudio resultaron tener moderada y alta vulnerabilidad (figura 10). Pocas fueron las que mostraron muy alta vulnerabilidad. Con respecto a la variable «geomorfología». Las unidades presentan moderada y alta vulnerabilidad. Las primeras corresponden a las unidades El Silencio, Señoritas, Quebrada, San Bartolo, Santa María y Honda, que a pesar de estar formadas en su mayoría por playas de arena, presentan terrazas marinas escalonadas bien diferenciadas de mediana y alta elevación, lo que las hace menos vulnerables.

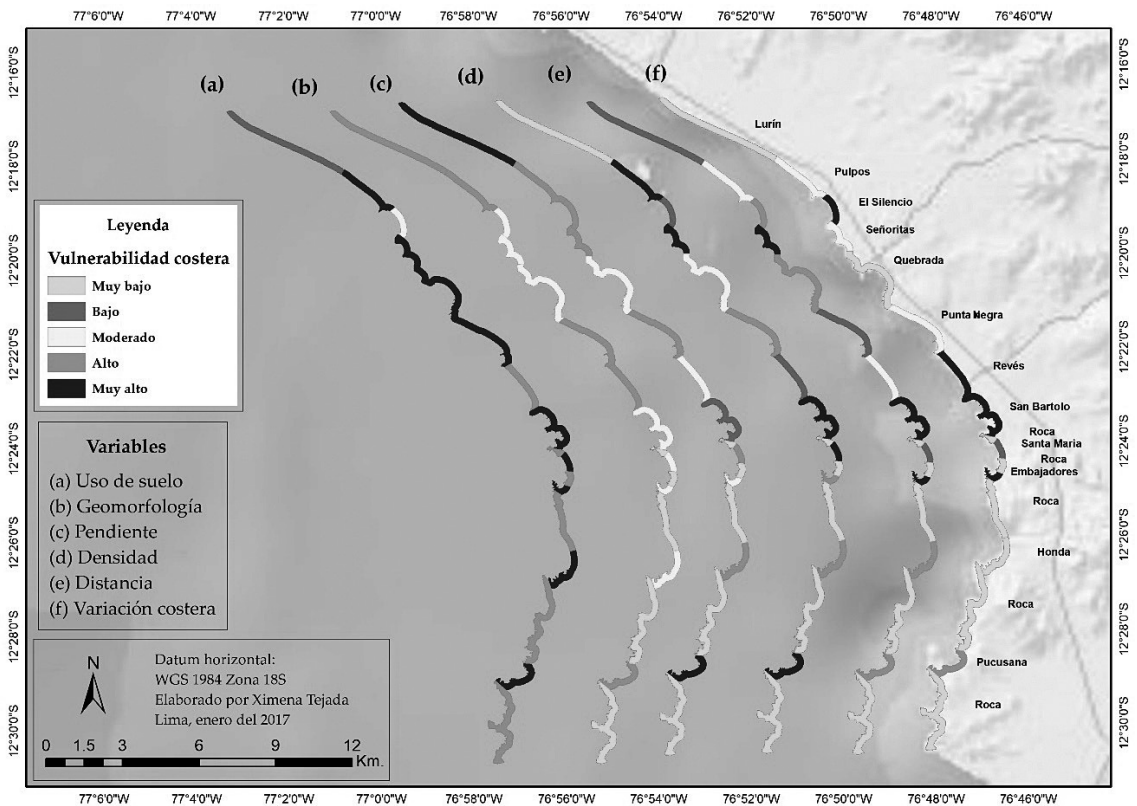
Figura 9. Vulnerabilidad de los sectores de estudio



Las unidades que presentan alta vulnerabilidad corresponden a zonas que tienen playas de arena y presentan llanuras marino-aluviales en muchos casos con terrazas de muy poca altura sobre sedimentos no consolidados. Estas últimas corresponden a las unidades espaciales de análisis Lurín, Pulpos, Punta Negra, Revés y Pucusana.

Por otro lado, la variable de variación de línea de costa resultó con tipos de vulnerabilidad más diferenciados. Cuatro unidades de estudio —El Silencio, Revés, San Bartolo y Embajadores— presentan muy alta vulnerabilidad, con tasas de variación mayores a  $-0,25$  m/año, mientras que la unidad de Pucusana presenta alta vulnerabilidad con una tasa de variación de  $-0,23$  m/año. Las unidades que presentan moderada vulnerabilidad son Pulpos, Señoritas, Punta Negra, con tasas de variación entre  $-0,20$  y  $-0,15$  m/año. Las unidades con la línea de costa más estable, menos vulnerables y con tasas de variación muy bajas fueron el sector Quebrada con  $0,05$  m/año; Lurín, con  $0,09$  m/año; Honda, con  $-0,07$  m/año, y Santa María, con  $-0,11$  m/año.

**Figura 10. Vulnerabilidad relativa a cada una de las seis variables de estudio.**





Solo la variable «pendiente» presentó más unidades con *alta* vulnerabilidad: entre 0° a 5°. Las unidades con menor pendiente y *muy alta* vulnerabilidad fueron Lurín, con 1,8°, y Pucusana, con 2,8°. Las demás unidades presentaron moderada, baja y muy baja vulnerabilidad, que corresponden a pendientes entre 5° y 9°. La unidad San Bartolo presentó una pendiente de 8,9°, poco vulnerable. No obstante, la unidad *roca*, que corresponden a las puntas rocosas de la zona de estudio, fue la única a la que se asignó la categoría de *muy baja* vulnerabilidad, por ser un sector de acantilados rocosos.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados finales del IVC aplicados en la zona de costera demuestran que un 70% de las unidades espaciales de análisis estudiadas se encuentran catalogadas con «alta» y «muy alta» vulnerabilidad. El análisis por variables demuestra que los factores socioeconómicos contribuyen a aumentar la vulnerabilidad de la zona costera, y los parámetros físicos la disminuyen. Los sectores densamente poblados, con poca distancia a la primera infraestructura y con playas de arena amplias y de poca pendiente, son altamente vulnerables. Por el contrario, sectores que presentan roca consolidada, terrazas marinas de mediana altura, poca densidad poblacional y menos elementos de protección costera tienen baja vulnerabilidad.

De las trece unidades espaciales de análisis evaluadas, las clasificadas como de «muy alta» vulnerabilidad, susceptibles ante cualquier evento de aumento del nivel del mar, fueron Señoritas, Embajadores y Pucusana. Asimismo, las unidades menos vulnerables, clasificadas de *muy baja* vulnerabilidad, fueron Lurín, Quebrada y Roca. Las restantes unidades obtuvieron *alta*, *baja* y *moderada* vulnerabilidad, dependiendo de los puntajes alcanzados.

Las variables que contribuyeron más al aumento de la vulnerabilidad en la zona de estudio fueron el uso de suelo, en donde la mayor parte de sectores obtiene un máximo puntaje, con excepción de Lurín, y las variables de pendiente y densidad poblacional. Las que menos contribuyen a aumentar la vulnerabilidad, o las que obtuvieron en general menor puntaje, fueron la variación costera y la geomorfología. A pesar de que pocas unidades de análisis obtienen alto puntaje en estas últimas dos variables, es necesario tomar en cuenta todas las excepciones, ya que todos los factores estudiados están correlacionados y de esta manera se puede tener una idea más sistémica de lo que está ocurriendo o podría ocurrir en la zona costera.

Esta investigación permitió obtener un primer avance en la aplicación del IVC en la zona costera en estudio ubicada al sur de la ciudad de Lima. Se pudo probar la metodología y corroborar la efectividad del análisis para la determinación y evaluación de la vulnerabilidad. Se recalca con esta investigación la importancia del análisis integrado de variables socioeconómicas y físicas en cada IVC y la separación en unidades de análisis de la zona costera.

## REFERENCIAS

- Abuodha, P. A. y C. D. Woodroffe (2010). Assessing vulnerability to sea level rise using coastal sensitivity index: a case of study from southeast Australia. *Coastal Conservation*, 14, 189-205. <https://doi.org/10.1007/s11852-010-0097-0>
- Bérninzon, C.E., I. Ortiz, B. Monteferri y G. Zamudio (2006). *La costa y su gente: interacciones humanas en zona costera peruana*. Lima: CooperAcción.
- Bird, Eric C. F. (1985). *Coastline Changes: A Global Review*. Nueva York: Wiley. <https://doi.org/10.1002/gj.3350210215>
- Church, A. y J. White (2011). Sea Level rise from the late 19th to the early 21st century. *Survey Geophysics*, 32, 585-602. <https://doi.org/10.1007/s10712-011-91191>
- Diez, P., G. Perillo y C. Picollo (2007). Vulnerability to sea-level rise on the Coast of the Buenos Aires Province. *Journal of Coastal Research*, 23(1), 119-126. <https://doi.org/10.2112/04-0205.1>
- Di Paola, G., J. Iglesias, G. Rodríguez, G. Benassai, P. Aucelli y G. Pappone (2011). Estimating Coastal Vulnerability in a Meso-Tidal Beach by Means of Quantitative and Semi-Quantitative Methodologies. *Coastal Research*, 61, 303-308. <https://doi.org/10.2112/SI61-001.30>
- Dwarakish, G.S., S.A. Vinay, U. Natesan, T. Asano, T. Kakinuma, K. Venkataramana, B. Jagadeesha y M. K. Babita (2009). Coastal vulnerability assesment of the future sea level rise in Udupi coastal zone of Karnataka state, west coast of India. *Ocean and Coastal Management*, 52, 467-478. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2009.07.007>
- Emery, K.O. (1961). A simple method of measuring beach profiles. *Limnology and Oceanography*, 6, 90-93. <https://doi.org/10.4319/lo.1961.6.1.0090>
- Füssel, H.-M. y R.J.T. Klein (2006). Climate Change Vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking. *Climate Change*, 75, 301-329. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-0329-3>
- Grández, M. (2010). *Estudio de la variabilidad de línea de costa: La Chira, Villa, La Encantada de Villa, Cocotero, Country Club Villa, Venecia, Club Lobo de Mar, Barlovento, Conchán y Mamacona. Lima, Perú 1936-2008*. Tesis de licenciatura. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Gutiérrez, D., A. Bertrand, C. Wosnitza-Mendo, B. Dewitte, S. Purca, C. Peña, A. Chaigneau, J. Tam, M. Graco, V. Echevin, C. Grados, P. Freón y R. Guevara-Carrasco (2011). Sensibilidad del sistema de afloramiento costero del Perú al cambio climático e implicancias ecológicas. *Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA* 3, 1-26.
- Gornitz, V., T. White y R. Cushman (1991). Vulnerability of the East Coast, U.S.A. to future sea level rise. *Journal of Coastal Research*, 9, Special Issue, 201-237.

- Herrera-Silveira, J., F. Comin, N. Aranda-Cirerol, L. Troccoli, L. y L. Capurro (2004). Coastal water quality assessment in the Yucatan Peninsula: management implications. *Ocean and Coastal Management*, 47, pp. 625-639.
- INEI (2007). *Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda*. Lima: INEI.
- IPCC (2014). *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad - Resumen para responsables de políticas*. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea y L. L. White [eds.]). Ginebra: Organización Meteorológica Mundial.
- Kokot, R., J. Codignotto y M. Elissondo (2004). Vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar en la costa de la provincia de Río Negro. *Asociación Geológica Argentina*, 59(3), 477-487.
- Leceta, F. (2009). *Análisis de variabilidad temporal de la línea de costa mediante la aplicación de métodos de teledetección y Sistemas de Información Geográfica: Bahía de Miraflores, Perú 1936-2005*. Tesis de licenciatura. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Ley 26856 (1997). Diario Oficial *El Peruano*, Lima, 25 de abril de 2006.
- Martí, M. (2011). *Vulnerabilidad física de la costa catalana a diferentes agentes*. Tesis de maestría. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona.
- Ministerio de la Producción (2016). *Anuario estadístico pesquero y acuícola*. Lima: Dirección General de Políticas y Desarrollo Pesquero.
- Miranda Avalos, F. y M. Gutiérrez Torero (2015). Challenges to Sustainable Development along Peruvian Coastal Zones. En J. Batzan, O. Chouinard, B. Jorgensen, P. Tett, J. P. Vanderlinden y L. Vaseur (eds.), *Coastal Zones: Solutions for the 21st Century* (pp. 199-213). Ámsterdam: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802748-6.00012-7>
- Ojeda, J., J. Álvarez, D. Martín y P. Fraile (2008). 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. En L. Hernández y J.M. Parreño (eds.), *Tecnologías de la información geográfica para el desarrollo territorial* (pp. 660-671). Las Palmas de Gran Canaria: Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC.
- Özurt, G. y A. Ergin (2010). Improving coastal vulnerability assessment to sea-level rise: a new indicator-based methodology for decision makers. *Journal of Coastal Research*, 26(2), 265-273.
- Palacios, O., J. Caldas y C. Vela (1992). *Geología de los cuadrángulos de Lima, Chancay y Chosica*. Lima: Ingemmet.

- Ramiery, E., A. Harley, A. Barbanti, F. Duarte, A. Gomes, M. Hilden, P. Laihonon, N. Marinova y M. Santini (2011). *Methods for assessing coastal vulnerability to climate change*. (Informe técnico 1). Bolonia: Agencia Europea Ambiental (AEA).
- Rangel-Buitrago N. y B. Posada-Posada (2013). Determinación de la vulnerabilidad y el riesgo costero mediante la aplicación de herramientas SIG y métodos multicriterio. *Intropica*, 8, 29-42, ISSN 1794-161X.
- Sarajit, O., K. Nakhapakorn, S. Jirakajohnkool, K. Tienwong y A. Pansuwan (2015). Assessing Coastal composite vulnerability indices on seasonal change in Phetchaburi Thailand. *Environment Asia*, 8(1), 115-123.
- Sueiro J., A. Cornejo y P. Castro (2005). *La zona costera peruana: recursos, usos y gestión*. Lima: CooperAcción.
- Tavera, H., I. Bernal y J.C. Gómez (2010). *Zonificación sísmico-geotécnica para siete distritos de Lima Metropolitana (Comportamiento dinámico del suelo): Proyecto SIRAD*. Lima: CE-PNUD-INDECI-IGP-IRD-COOPI.
- Teves, N., G. Laos, S. Carrasco, C. San Roman, L. Pizarro, G. Cárdenas y A. Romero (1996). Sea-Level Rise along the Lima Coastal Zone, Peru, as a Result of Global Warming: Environmental Impacts and Mitigation Measures. En J.B. Smith et al. (eds.), *Adapting to Climate Change* (pp. 283-298). [https://doi.org/10.1007/978-1-4613-8471-7\\_24](https://doi.org/10.1007/978-1-4613-8471-7_24)
- Torresan, S., A. Critto, M. Dalla, N. Harvey y A. Marcomini (2008). Assessing coastal vulnerability to climate change: comparing segmentation at global and regional scales. *Sustainability Sciences*, 3(1), 45-65. <https://doi.org/10.1007/s11625-008-0045-1>
- Vázquez, A. (2008). *Evaluación regional de la vulnerabilidad actual y futura de la zona costera mexicana y los deltas más impactados ante el incremento del nivel del mar debido al cambio climático y fenómenos hidrometeorológicos extremos*. Informe Final INE/A1-051. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología.
- Verdi, M. (2007). Evaluación de la erosión lineal costera en la ciudad de Lechería, Estado Anzoátegui. *Terra Nueva Etapa*, 23(33), 13-38.
- Yin, J., Z. Yin, J. Wang y S. Xu (2012). National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise for the Chinese coast. *Journal of Coastal Conservation*, 16(1), 123-133.
- Zhang, K., B. Douglas y S. Letherman (2004). Global Warming and Coastal Erosion. *Climate Change*, 64, 41-58. <https://doi.org/10.1023/B:CLIM.0000024690.32682.48>
- Zújar, J., J. Álvarez, D. Cajaraville y P. Jurado (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*, 9, 83-100.