

Programa Presupuestal 144:
"Conservación y uso sostenible de ecosistemas para la provisión de servicios ecosistémicos"

HUMEDALES COSTEROS DEL PERÚ PISCO - ICA

Informe Técnico Especial | **Volumen II**



Albina Ruiz Ríos
Ministra del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú:
Presidente ejecutivo: Hernando Tavera
Director científico: Edmundo Norabuena
Director de Geofísica & Sociedad: Danny Scipión

Editores
Alejandra G. Martínez y Diana Ruiz

Carátula:
Lima, diciembre 2023

Humedales costeros del Perú: Humedales costeros de Pisco - Ica
Informe Técnico Especial – Volumen II

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2023-12812

ISBN: 978-612-49525-0-0

Primera edición digital, diciembre 2023

Editado por: Instituto Geofísico del Perú

Calle Badajoz 169, Urb. Mayorazgo, IV Etapa, Ate, Lima 15074, Perú

Central telefónica: (+51 1) 317 2300

www.gob.pe/igp

Publicación disponible en: <https://repositorio.igp.gob.pe/>



CONTENIDO

Glosario de términos.....	5
Acrónimos.....	7
Introducción: Los humedales costeros de Pisco.....	9
Humedales costeros de Pisco en el contexto de cambio climático <i>Lucy Giráldez, Diana Ruiz, Adelaida Aranibar, Luis Céspedes y Harol Llauca.....</i>	15
Análisis del potencial de licuación de suelos relacionados a los humedales costeros de la margen izquierda del río Pisco <i>Belinia Báez, Segundo Ortiz y Juan Carlos Gómez</i>	54
Gobernanza cotidiana en el sistema de humedales costeros de Pisco <i>Mariel Mendoza, Diana Ruiz y Alejandra Martínez.....</i>	72
Anexo 1: Variables de codificación	110



Glosario de términos¹

Actividades Tradicionales Sostenibles

Son los conocimientos, tecnologías y otras prácticas desarrolladas por las comunidades nativas y campesinas y/o pueblos indígenas, a través del tiempo para comprender y manejar el entorno asociado a los humedales, sus recursos y sus propios ambientes locales. Estas prácticas no generan impactos en la estructura, componentes y funcionalidad de los humedales, ni en los recursos naturales que habitan en estos, garantizando la permanencia de estos ecosistemas para las generaciones futuras.

Conservación

Son las acciones y medidas orientadas al mantenimiento de las condiciones naturales del ecosistema y sus componentes asociados, de tal forma que produzca beneficios para las generaciones actuales y futuras.

Ecosistema

Es el complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional.

Enfoque ecosistémico

Es una estrategia para el manejo integrado de la tierra, el agua y los recursos vivos, promoviendo su conservación y uso sostenible de forma justa y equitativa; así como reconociendo la diversidad cultural asociada, como componente integral del ecosistema.

Funcionalidad ecosistémica

Es el proceso dinámico que resulta de la interacción entre las comunidades biológicas, su espacio físico, el ser humano y los procesos ecológicos como los ciclos y flujos de materia, energía e información, en un contexto de paisaje. La funcionalidad ecosistémica sustenta la integridad del ecosistema, su resiliencia y la capacidad de generar servicios ecosistémicos.

Gestión de humedales

Es el proceso permanente y continuo orientado a garantizar la conservación de los humedales en el ámbito nacional, en el marco de la articulación entre actores públicos y privados, para generar resultados e impactos positivos en la población en general.

Integridad ecológica

Es la capacidad de un ecosistema de mantener su composición, estructura, función y procesos ecológicos, dentro de los rangos de variación naturales, por lo que pueden resistir y recuperarse de los eventos de carácter natural o antropogénico.

Servicios ecosistémicos

Son aquellos beneficios económicos, sociales y ambientales, directos e indirectos, que las personas obtienen de los ecosistemas. En los humedales, estos servicios incluyen a la regulación hídrica en cuencas, el mantenimiento de la biodiversidad, el secuestro de carbono, la belleza paisajística, la formación de suelos y la provisión de recursos genéticos, entre otros. Los servicios ecosistémicos constituyen Patrimonio de la Nación.

¹ Terminología obtenida del D.S. N° 006-2021-MINAM "Aprueban las Disposiciones generales para la gestión multisectorial y descentralizada de los humedales", salvo se indique lo contrario.

Sitios Ramsar

Son aquellos humedales incluidos en la Lista de Humedales de Importancia Internacional de la “Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional, especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas” (en adelante Convención de Ramsar), a propuesta de las partes contratantes.

Turba

Materia orgánica en proceso de descomposición o muerta, que se acumula in situ de forma sedentaria, con presencia de carbono orgánico o su equivalente en materia orgánica.

Uso sostenible del humedal

Es el uso de este tipo de ecosistemas por los seres humanos de modo que produzca el mayor beneficio continuo para las generaciones presentes, manteniendo al mismo tiempo su potencial para satisfacer las necesidades y aspiraciones de las generaciones futuras.

Referencias

Doyle, F. J., 1978. Digital terrain models: an overview. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 44(12): 1481-1485.

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. & J. Collins. 2001. *Global Positioning System: Theory and Practice*. XXIV, 382. Springer Vienna.

Luo, Xiaoguang. 2013. *GPS Stochastic Modelling - Signal Quality Measures and ARMA Processes*. 10.1007/978-3-642-34836-5.

MINAM. Decreto Supremo N° 006-2021-MINAM. Disposiciones generales para la gestión multisectorial y descentralizada de los humedales.

RAE. 2019. <https://dle.rae.es/>.

Tobler, Waldo. 1988. “Resolution, Resampling, and All That”, pp. 129-137 of H. Mounsey and R. Tomlinson, eds., *Building Data Bases for Global Science*, London, Taylor and Francis.

US Army Corps of Engineers. 2002. *Coastal Engineering Manual*.

USGS. (2014). *Ground Control Points*. Recuperado 12 noviembre, 2019, de: <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/ground-control-points>

Acrónimos

ANA	Autoridad Nacional del Agua
ANP	Áreas Naturales Protegidas
EFA	Entidades de Fiscalización Ambiental
MINAM	Ministerio del Ambiente
IGP	Instituto Geofísico del Perú
INAIGEM	Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
OMEC	Otras medidas efectivas de conservación basadas en áreas
OSINFOR	Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre
SBN	Superintendencia Nacional de Bienes Estatales
SEIA	Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
SERFOR	Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre
SERNANP	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado
SINANFOR	Sistema Nacional de Gestión Forestal y de Fauna Silvestre



PRIMERA PARTE

INTRODUCCIÓN:

LOS HUMEDALES

COSTEROS DE PISCO



Introducción: *Los humedales costeros de Pisco*

El programa presupuestal 0144 “Conservación y uso sostenible de ecosistemas para la provisión de servicios ecosistémicos” tiene como objetivo lograr la conservación y uso sostenible de los ecosistemas del país que son proveedores de servicios ecosistémicos, en la búsqueda de que autoridades y tomadores de decisiones cuenten con instrumentos y capacidades que permitan la recuperación, conservación y aprovechamiento sostenible de los ecosistemas.

En el marco de este programa presupuestal, la función del Instituto Geofísico del Perú – IGP, es generar conocimiento sobre los peligros geofísicos que amenazan a los ecosistemas, para contribuir con su conservación y uso sostenible, considerando que aún existe una brecha en investigación, sobre todo en lo referente a la gestión de riesgo de desastres. Para cumplir con esta función, es necesario un abordaje integral que incorpore las interrelaciones naturales y sociales a través de estudios interdisciplinarios, lo cual es un desafío para la gestión pública ambiental, pues se debe trabajar en diferentes escalas espaciales y temporales. Liu et al. proponen el concepto de teleacoplamiento (2013:26) para “abarcar las interacciones socioeconómicas y ambientales entre sistemas humanos y naturales acoplados a lo largo de las distancias”, concepto que similar al manejado por autores como Liu et al. (2007b), Alberti et al. (2011), Walker et al. (2004), Turner et al. (2003), y Morán (2010), que se desprende de las investigaciones sobre la interrelación entre sistemas humanos y naturales.

Durante el año 2023, los estudios del Instituto Geofísico del Perú –en coordinación con la Dirección General de Diversidad Biológica del MINAM, y con el apoyo de la Municipalidad Provincial de Pisco– continuaron enfocados en generar información sobre los humedales costeros de Pisco, entendiéndolos como un sistema complejo que brinda numerosos servicios ecosistémicos, entre los cuales se encuentran la mejora de la cantidad y calidad de agua dulce, constituir

espacios que permiten la biodiversidad, la protección de la costa contra la erosión y contra la pérdida de infraestructura de capital y vidas humanas.

Como se reportó en el Volumen I de este Reporte Técnico, el sistema está conformado por numerosos humedales que incluyen lagunas costeras, oasis, gramadales, etc., y con fines puramente metodológicos se agruparon en tres unidades: los humedales de Pisco Playa, los de la margen derecha y los de la margen izquierda del río Pisco. La primera unidad incluye a aquellos inmediatamente adyacentes a la línea costera, como Camacho, Caucato, Pisco Playa Norte, Boca del Río y Pisco Playa Sur. Los humedales de la margen derecha del río Pisco, incluyen el humedal San Clemente –el más extenso de todo el sistema de humedales de Pisco– y que se divide en varios sectores como Salinas, California, Agua Santa, etc., además de una serie de pequeños humedales ubicados en dirección noreste del bloque principal de humedal en el distrito de Independencia, como Cabeza de Toro. Finalmente, están los humedales de la margen izquierda, bastante más alejados de la línea de costa, en orientación sureste de manera paralela al río, y que incluyen a Pozo Hediondo, Laguna Morón, El Frontón, Laguna La Palma, Costa Rica, etc.

En la Figura 1 se presentan las tres unidades: aquellos coloreados en verde son los identificados por la ANA (2018), y los achurados en rojo son los identificados por el MINAM (2020).

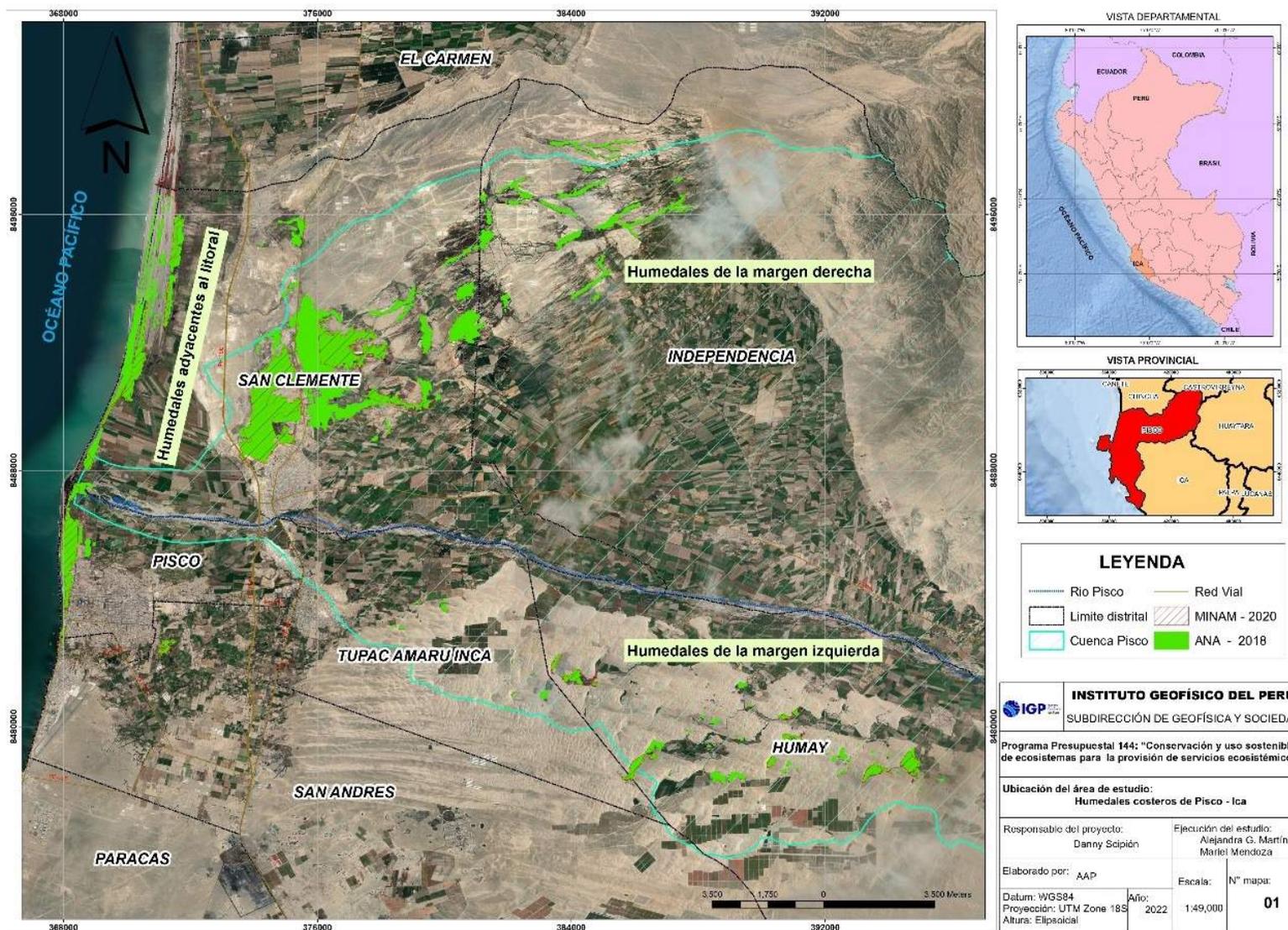


Figura 1. Mapa de humedales costeros de Pisco. Elaboración: IGP

Cabe indicar que aquellos humedales que no cuentan con un nombre reconocido² oficialmente han sido codificados de la siguiente manera:

- H = humedal
- XX = número referencial
- A = previamente identificado por la ANA
- M = previamente identificado por el MINAM
- IGP = aquellos identificados por su nombre común por el IGP

² Mayor detalle puede ser encontrado en el Volumen I del Reporte Técnico sobre humedales costeros de Pisco (IGP, 2022).

Estudios sobre los humedales costeros de Pisco

En el primer volumen de este reporte técnico (IGP, 2022) se presentaron cuatro estudios: el primero describió el proceso y los resultados del levantamiento topográfico de los humedales Pisco Playa Norte, Pisco Playa Sur y Costa Rica aplicando fotogrametría aérea con dron y mediciones GNSS, el segundo y donde los productos obtenidos incluyen modelos digitales de superficie, modelos digitales de terreno y ortomosaicos que permitieron la delimitación del área de cobertura de dichos humedales. El segundo estudio profundizó sobre el origen y formación geológicos del sistema; mientras que el tercer estudio expuso el enfoque de Sistemas Socio Ecológicos, y finalmente, el cuarto estudio ahondó en el origen y desarrollo de dos de los principales tensores ambientales en torno a los humedales costeros de Pisco: la urbanización y el desarrollo agroindustrial.

En el presente volumen presentamos tres estudios adicionales sobre los humedales costeros de Pisco. El primer artículo describe la problemática del sistema de humedales de Pisco en un contexto de cambio climático, haciendo énfasis en la necesidad de tomar medidas que protejan el ecosistema, así como la

necesidad de desarrollar mayor investigación sobre la variabilidad y el cambio climático, así como de mejorar los instrumentos de gestión a nivel local y regional. El segundo artículo titulado "Análisis del potencial de licuación de suelos relacionados a los humedales costeros de la margen izquierda del río Pisco" aborda el riesgo de la ocurrencia de los procesos de licuación de suelos en la zona, debido, principalmente a las características del terreno -mayormente arenosos, de baja cohesión y saturados- que pueden producir hundimientos y agrietamientos de los terrenos, que afectaron indiscriminadamente zonas urbanas y rurales, tal como ya ocurrió con el sismo del año 2007. Finalmente, el artículo "Gobernanza cotidiana en el sistema de humedales costeros de Pisco" desarrolla el concepto de gobernanza cotidiana como el referido a las normas y/o reglas informales que guían los usos y cotidianidad de un ecosistema, destacando la participación de ciudadanos, grupos comunitarios y organizaciones en la toma de decisiones y prácticas que afectan sus vidas y entornos locales.

Instituto Geofísico del Perú

Referencias

ANA (2018). Estudio Piloto Inventario de Humedales en el Ámbito de la ALA Pisco.

INRENA (2003). Inventario de fuentes de aguas superficiales. Evaluación y ordenamiento de los recursos hídricos de la cuenca del río Pisco. Intendencia de Recursos Hídricos, Administración Técnica del distrito de riego Chincha-Pisco. 89p.

Inchaustegui (2020). Servicio de Consultoría: Identificación, delimitación y tipificación de los humedales costeros de los departamentos de Lima e Ica. 1–81.

Ostrom, E. (2009). A General Framework for Analyzing Sustainability of Social Ecological Systems. *Science*, 325(July), 419–422.



SEGUNDA PARTE

**HUMEDALES
COSTEROS DE PISCO
EN EL CONTEXTO DEL
CAMBIO CLIMÁTICO**

Lucy Giráldez, Diana Ruiz, Adelaida Aranibar,
Luis Céspedes, Harol Llauca



Humedales costeros de Pisco en el contexto del cambio climático

Lucy Giráldez³, Diana Ruiz, Adelaida Aranibar, Luis Céspedes, Harol Llauca

Resumen

Los humedales de Pisco son ecosistemas muy valiosos en la lucha contra el cambio climático; sin embargo, enfrentan una creciente vulnerabilidad ante sus efectos. En este artículo se evalúa la dinámica climática en estos humedales, se identifican las brechas de información relacionadas con el cambio climático, y se analizan los instrumentos locales y regionales relevantes para su protección. Para tal fin, se emplearon datos observados recopilados de cinco estaciones meteorológicas durante el periodo de 1981-2021, además de otros productos grillados como PISCO. Los principales hallazgos indican que, la degradación de los humedales de Pisco se debe principalmente al cambio de uso de suelos, a la contaminación, y a los efectos del cambio climático. Además, la carencia de un inventario de humedales integral y preciso, dificulta la gestión adecuada de estos ecosistemas. El análisis climático revela que, los humedales de Pisco tienen un clima árido, con una temperatura promedio de 20.3 °C y escasas precipitaciones menores a 20 mm al año. La temperatura en esta zona está influenciada por la Temperatura Superficial del Mar de la región Niño 1+2. Durante El Niño, se incrementan las temperaturas, hay más días y noches cálidas; mientras que, en La Niña, las temperaturas disminuyen, y aumentan los días y noches frías. Además, se observa un incremento sostenido de las temperaturas, especialmente de la temperatura mínima, con +0.2 °C por década, tendiendo a incrementarse los días y noches cálidas, así como

las temperaturas extremas máximas; por el contrario, las noches frías tienden a disminuir, coherente con los patrones típicos del cambio climático global. Los escenarios climáticos proyectan un aumento de +2.0 a +2.4 °C en las temperaturas y una disminución considerable, de hasta 45 %, en la precipitación para el año 2050 en los humedales de Pisco, resaltando la urgencia de tomar medidas para protegerlos. Las escasas investigaciones en la variabilidad y el cambio climático en los humedales de Pisco indica la importancia de expandir el conocimiento científico en este campo. La protección de los humedales frente al cambio climático depende en gran medida de la implementación de políticas e instrumentos de gestión a nivel local y regional, que actualmente no les dan suficiente atención a estos ecosistemas; por lo tanto, es crucial revisar y mejorar estos instrumentos para garantizar una protección efectiva.

Palabras claves: Humedales, Pisco, Clima, Cambio climático, Humedales costeros.

³ lgiraldez@igp.gob.pe



Introducción

Los humedales de Pisco, situados en la costa central del Perú, desempeñan un papel vital en la biodiversidad, el equilibrio ecológico y las actividades socioeconómica de la región (ANA, 2018). Los humedales costeros proveen valiosos servicios ecosistémicos, tales como el suministro constante de agua y alimentos, purificación del agua, regulación del clima, flujo hidrológico y otros riesgos naturales (Volpedo, Bianconi and Fernández, 2007; Meng et al., 2016; ANA, 2018; Convención de Ramsar sobre los Humedales, 2018; MINAM, 2019; Ore, 2019; Gamarra, 2021; Salimi, Almuktar and Scholz, 2021; Tabilo-Valdivieso et al., 2021; Blanco, 2023). Sin embargo, el cambio climático representa una amenaza significativa para la sostenibilidad de los humedales, ya que podrían acelerar su degradación y desaparición (Moya, Hernández and Elizalde Borrell, 2005; Quispe, 2020; Salimi, Almuktar and Scholz, 2021; Tabilo-Valdivieso et al., 2021). Las alteraciones en la hidrología y el clima, como cambios en los patrones de precipitación y el aumento de la temperatura, podrían tener efectos negativos en los servicios que proporcionan los humedales, incluida la purificación del agua, liberando compuestos dañinos en el agua superficial, lo cual causa problemas como eutrofización, acidificación y decoloración (Salimi, Almuktar and Scholz, 2021).

Se proyecta que los eventos meteorológicos extremos, como las sequías e inundaciones se intensificarán

(IPCC, 2023), aumentando la vulnerabilidad de los humedales. Además, los modelos climáticos estiman la pérdida de más del 50 % del área de los pantanos y los glaciares (Zevallos and Lavado-Casimiro, 2022), lo cual se suma a la preocupación de que ya se manifiesta una disminución del área de los humedales costeros (ProNaturaleza, 2010; Convención de Ramsar sobre los Humedales, 2018), destacando la urgencia de tomar medidas para proteger estos ecosistemas.

Por otro lado, los humedales tienen una función muy importante en la mitigación del cambio climático, debido a su capacidad de capturar y almacenar carbono atmosférico en forma de biomasa vegetal y materia orgánica en el suelo, esto permite regular las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, incluyendo el metano, el dióxido de carbono y el óxido nitroso, que son los principales contribuyentes al calentamiento global (Ore, 2019; Salimi, Almuktar and Scholz, 2021). Sin embargo, el cambio climático también puede afectar el balance del carbono en los humedales. Si la tasa de descomposición de materia orgánica, como la liberación de gases de efecto invernadero como el metano (CH₄), supera la tasa de producción primaria a través de la fotosíntesis, el humedal puede cambiar de ser un sumidero de carbono a convertirse en una fuente de carbono, liberando dióxido de carbono

y metano a la atmósfera (Meng et al., 2016; Ore, 2019; Salimi, Almutkar and Scholz, 2021). Ante este panorama, es necesario abordar esta problemática y gestionar de manera adecuada la protección y conservación de los humedales para enfrentar los desafíos del cambio climático y mantener su función como sumideros de carbono.

El objetivo del presente artículo es realizar un diagnóstico de la dinámica climática en los humedales de Pisco, incluyendo la variabilidad, patrones y tendencias climáticas. Además, se examinan investigaciones previas sobre estos ecosistemas y su relación con la variabilidad y el cambio climático, a fin de identificar las brechas de información. Adicionalmente, se realiza un análisis de los instrumentos regionales y locales relevantes para promover una gestión orientada a la protección de estos valiosos humedales.

El artículo está estructurado de la siguiente manera: La sección 2 aborda los antecedentes sobre las principales presiones humanas en los humedales, y sobre los avances en el inventario de los humedales, en la sección 3 se describe el área de estudio, el conjunto de datos y los métodos utilizados en el estudio. En la sección 4 se exponen los principales resultados y discusiones sobre las condiciones climáticas en la zona de estudio, incluyendo la variabilidad, tendencias y condiciones futuras de las precipitaciones y temperatura, en esta misma sección se hace un análisis de las brechas de conocimiento respecto a los humedales y el cambio climático, así como el análisis de los instrumentos locales y regionales relevantes que podrían aportar en la protección de los humedales en el contexto de cambio climático. Finalmente, en la Sección 5 y 6, se muestran las principales conclusiones y recomendaciones de este estudio.

Antecedentes

Presiones humanas directas e indirectas en los humedales de Pisco

Los humedales de Pisco no solo enfrentan presiones naturales, sino también están sujetos a presiones humanas directas e indirectas, que hacen a este ecosistema más vulnerable y ponen en peligro su funcionamiento (Quispe, 2020). La identificación de las presiones humanas relevantes en los humedales ayuda a reconocer los desafíos y oportunidades para su conservación y protección.

En general, la degradación de los humedales de Pisco se debe principalmente al desarrollo urbano acelerado y al crecimiento de la agroindustria, y este deterioro de los humedales de Pisco se agrava por los efectos adversos del cambio climático (IGP, 2022). Según el informe de Blanco (2023), de los 13 humedales reportados, los humedales Agua Santa y Pisco Playa son los más deteriorados debido principalmente a estas presiones humanas, como la contaminación, expansión urbana y agrícola. Ante

este deterioro que viene sufriendo los humedales de Pisco por las presiones humanas, se requiere tomar acciones inmediatas para preservar y restaurar estos humedales; así como también para mitigar los impactos del cambio climático.

El cambio climático

La proyecciones del IPCC indican que el cambio climático tendrá graves repercusiones en los recursos hídricos, la biodiversidad de agua dulce, los ecosistemas acuáticos continentales y los ecosistemas costeros (IPCC, 2014). Los humedales costeros también están sujetos a presiones humanas indirectas derivadas del cambio climático, como el aumento de la temperatura, cambios en los patrones de precipitación, aumento del nivel del mar, cambios en

la temperatura del agua, mayor frecuencia de eventos extremos, entre otros (Bergkamp and Orlando, 1999; Convención de Ramsar sobre los Humedales, 2018; Newton et al., 2020). Con la actual tendencia de calentamiento global, se espera que los ecosistemas de humedales tropicales experimenten grandes cambios en las temperaturas y los ciclos de humedecimiento y secado (Meng et al., 2016). Los humedales costeros, como zona de transición entre la tierra y el mar, están frecuentemente amenazados desde ambos lados. Además, los impactos por el cambio climático, provocarán sensibles afectaciones a los humedales, en muchos casos irreversibles (Moya, Hernández and Elizalde Borrell, 2005).

Las investigaciones sobre los humedales de Pisco y su relación con el cambio climático son muy limitadas, evidenciándose el poco interés en el estudio de estos ecosistemas. En una investigación específica realizada en el humedal Caucato en Pisco, se cuantificó la cantidad de carbono almacenado en la biomasa de diversas especies, estos hallazgos podrían contribuir en la mitigación del cambio climático; sin embargo, también se encontró que este humedal está deteriorado, y puede revertir su naturaleza (Ore, 2019). Al ser sumideros naturales de carbono cualquier alteración en sus ecosistemas puede suponer una contribución al calentamiento global. Por otro lado, se han encontrado registros fotográficos de incremento del nivel de agua en el humedal Camacho (Blanco, 2023), que podría estar relacionado a afectaciones del Cambio climático; sin embargo, es necesario estudios que lo confirmen.

Para otras zonas costeras se encontraron más investigaciones, como en el humedal costero de Bahía Blanca, donde se visualizó cambios en los patrones de viento, que afecta las predicciones de mareas, la navegación y las condiciones climáticas locales, además del aumento del nivel del mar que podría inundar el humedal e islas (Newton et al., 2020).

Es importante considerar dos aspectos claves en relación a los humedales costeros y el cambio climático. Por un lado, su capacidad para mitigar el cambio climático, ya que pueden almacenar grandes cantidades de carbono, sirven de sumidero del 40

% de carbono que se genera en el planeta (Moya, Hernández and Elizalde Borrell, 2005). Por otro lado, su elevada vulnerabilidad al cambio climático debido a su escasa capacidad de adaptación, lo que los hace propensos a sufrir daños, en muchos casos irreversibles (Moya, Hernández and Elizalde Borrell, 2005).

Cambio de uso del suelo

El desarrollo urbano acelerado y la expansión agrícola para el desarrollo de la agroindustria, son parte de procesos globales en zonas costeras, específicamente en terrenos de los humedales de Pisco ha generado pérdida de hábitats naturales (Quispe, 2020; IGP, 2022). Se reportó procesos de urbanización en la zona adyacentes al litoral, humedal Caucato, Camacho, Boca del río, en el margen derecho del humedal de San Clemente se desarrollan grandes proyectos inmobiliarios y el desarrollo de la minería no metálica (MINAM, 2020; Blanco, 2023). Además también, en esta zona, se reporta el tránsito hacia suelos agrícolas (IGP, 2022; Blanco, 2023). El crecimiento poblacional busca nuevas tierras para asentarse y demanda servicios, sumado a que no existe un ordenamiento territorial actúan como impulsores indirectos de cambio en los humedales de las unidades hidrográficas (U.H.) (ANA, 2018).

En la margen izquierda del humedal San Clemente y sus alrededores, la zona de Camacho y Caucato también existe desarrollo de actividades agrícolas (MINAM, 2020; Blanco, 2023). En área del distrito de San Clemente, la parte más al este de la U.H., correspondiente a los distritos de Humay y Huancano, en el humedal Laguna Frontón, humedal Laguna Morón, la frontera agrícola también va avanzando reduciéndose el área del humedal (ANA, 2018; Blanco, 2023). También, se evidencia el drenado de humedales con la finalidad de ganar tierras agrícolas, las cuales luego son abandonadas, debido a la alta salinidad del suelo (ANA, 2018). Solo en los humedales Pisco Playa 2, San Andrés y Nueva Esperanza no se evidenciaron avances de la frontera agrícola y expansión urbana (Blanco, 2023).

Contaminación

Se han registrado actividades de fumigación de palmeras y quemas de vegetación alrededores de los humedales de Pisco; así como la presencia de escombros, bolsas, botellas plásticas, detergentes, pilas, entre otros residuos sólidos arrojados en estas áreas (ANA, 2018; Quispe, 2020; Blanco, 2023). Además, cerca del humedal de San Clemente, se encuentra un botadero de residuos sólidos (MINAM, 2020; Blanco, 2023).

La extracción de materiales de construcción, como agregados, conocido como minería no metálica, con concesiones mineras cercanas a los humedales de Pisco, contribuyen también a la contaminación y ejercen presión sobre ellos (ANA, 2018). En el distrito de San Clemente, se encuentran concesiones mineras. Cerca del 53 % de los humedales de la U.H. de Bajo Pisco están bajo alguna modalidad de concesión minera (ANA, 2018).

Por lo mencionado líneas arriba, se concluye que, la contaminación en los humedales de Pisco, proviene principalmente de fuentes agrícolas y urbanas. La agricultura intensiva en las cercanías de los humedales utiliza grandes cantidades de agroquímicos, que pueden contaminar las aguas y el aire de los humedales y puede afectar a las especies que dependen de este ecosistema. La actividad urbana también contribuye a la contaminación de los humedales de Pisco mediante descargas de aguas residuales y la acumulación de residuos sólidos en algunos puntos de los humedales como Camacho, Caucato, estuario Boca de río, Pisco playa, Pisco Playa 2, San Andrés, Agua Santa, Agua Santa 1, Nueva Esperanza, Nueva Esperanza 2, y Laguna Morón, Laguna Frontón, y Laguna la Palma (ANA, 2018; MINAM, 2020; Blanco, 2023). Lamentablemente, las autoridades y la población muestran poco interés en limpiar la basura que rodea a los humedales de Pisco (ANA, 2018; Quispe, 2020).

Avances y desafíos en la creación de inventarios de humedales en el Perú

En Perú, los humedales enfrentan desafíos significativos, como la carencia de un inventario nacional de humedales (Romero-Mariscal et al., 2023), que sería una recopilación centralizada de información precisa acerca de la ubicación, límites geográficos, área, información catastral, y otros detalles relevantes de todos los tipos de humedales presentes en el territorio. La falta de esta información integral dificulta la gestión y protección adecuada de estos ecosistemas.

Sin embargo, se han realizado esfuerzos para abordar esta situación. Recientemente, el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) ha realizado el "Inventario Nacional de Bofedales del Perú", que se enfoca específicamente en los "bofedales", proporcionando datos detallados sobre su extensión y ubicación en el país (INAIGEM, 2023). También se realizó el inventario de lagunas glaciares del Perú, que sirve como herramienta básica

para conocer las posibilidades de regulación que ofrecen las cuencas hidrográficas de las cordilleras (ANA, 2014). Cabe precisar también que, en el 2020 se anunció que el Ministerio de Agricultura y Riego, a través de la Autoridad Nacional del Agua, ha iniciado un inventario nacional de lagunas y humedales, desarrollándose por etapas a nivel de ámbitos ALA (ANA, 2020). Este esfuerzo busca abordar la falta de información y compilar datos esenciales para la gestión sostenible de estos ecosistemas.

Respecto a los humedales costeros del país, se ha desarrollado un inventario en base a la Estrategia Nacional de Humedales, este esfuerzo permitió identificar y categorizar diferentes tipos de humedales costeros, como albuferas, deltas, estuarios, lagunas, manglares, oasis y pantanos (Gamarra, 2021). Para mejorar la comprensión y gestión de los humedales costeros, se han llevado a cabo varios diagnósticos

y estudios, uno de estos es el “Diagnóstico sobre el estado situacional actual de los Humedales Costeros en el Perú”, realizado por el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2019). También, se ha llevado a cabo procesos de identificación, delimitación y clasificación de los humedales costeros en departamentos de Lima e Ica (MINAM, 2020). Además, se realizó el inventario de 34 humedales en la costa árida del Pacífico sudamericano en el 2015, de los cuales 16 humedales corresponden a las costas de Perú (Tabilo E et al., 2017).

Específicamente, para la zona de Pisco, se ha realizado un estudio piloto, Inventario de Humedales en el Ámbito de la ALA Pisco (ALA se refiere a la Administración Local de Agua) con el objetivo de apoyar la gestión sostenible y la conservación de los ecosistemas acuáticos en la región de Pisco (ANA, 2018). Este inventario proporcionó información valiosa y detallada sobre los humedales en Pisco. Así mismo el MINAM ha realizado avances en la identificación y caracterización de estos humedales (MINAM, 2020). El Instituto Geofísico del Perú por su parte generó información valiosa sobre los humedales costeros de Pisco, haciendo un levantamiento topográfico de los humedales Pisco Playa Norte, Pisco Playa Sur y Costa Rica aplicando fotogrametría aérea (IGP, 2022). La Municipalidad Provincial de Pisco, junto al MINAM y el proyecto EbaMar hicieron un esfuerzo conjunto para contar con un diagnóstico técnico legal de

los humedales priorizados de la provincia de Pisco (Blanco, 2023), donde se priorizaron 13 humedales y se emprendieron acciones para identificar y definir de la titularidad de los predios donde se encuentran estos humedales. Se requiere un proceso de validación de los predios catastrados, además de un trabajo articulado para el saneamiento físico legal de estos humedales priorizados

A pesar de los esfuerzos previos realizados por inventariar los humedales costeros de Pisco, el número y pequeña extensión individual de los humedales no ha permitido hasta la fecha contar con un inventario integral (IGP, 2022); por lo cual, se carece de información precisa sobre los límites geográficos, tamaño y otras características específicas de estos humedales. Esta falta de información detallada es un problema que dificulta la gestión adecuada de estos humedales emblemáticos.

Es necesario que se avance con el desarrollo de un inventario nacional de humedales, que permita tener un panorama completo de estos ecosistemas en todo el país. Para lograr una delimitación cada vez más real de estos ecosistemas, se sugiere realizar salidas de campo para verificar los límites previamente obtenidos en gabinete de cada uno de los humedales (ANA, 2018; MINAM, 2020). Estas acciones son fundamentales para gestionar y conservar adecuadamente estos valiosos ecosistemas.

Materiales y Métodos

Descripción del área de estudio

Los humedales de Pisco están situados en la provincia de Pisco, departamento de Ica, en la parte central de la vertiente hidrográfica del océano Pacífico, entre las coordenadas geográficas de 13°30' y 13°50' de Latitud Sur; 75°55' y 76°15' de Longitud Oeste (IGP, 2022). La ciudad de Pisco, ubicada a orillas del mar peruano, a 290 km al sudeste de Lima, aproximadamente a 17 msnm (INDECI - UNICA, 2001; Quispe, 2020). Los humedales de Pisco se asientan políticamente en los distritos de Pisco, San Clemente, Independencia, Túpac Amaru Inca.

El área de interés del presente estudio aborda fundamentalmente los humedales adyacentes al litoral, los humedales de la margen derecha e izquierda del río Pisco (Figura 1). Los humedales costeros de Pisco incluyen lagunas, albuferas, gramadales y otros localizados en ambos márgenes del río Pisco, abarcando aproximadamente 110,000 hectáreas, correspondiente a la parte baja de la cuenca del río del mismo nombre. Sin embargo, existe una falta de información precisa sobre su número, límites, tamaño y recursos que albergan (IGP, 2022).

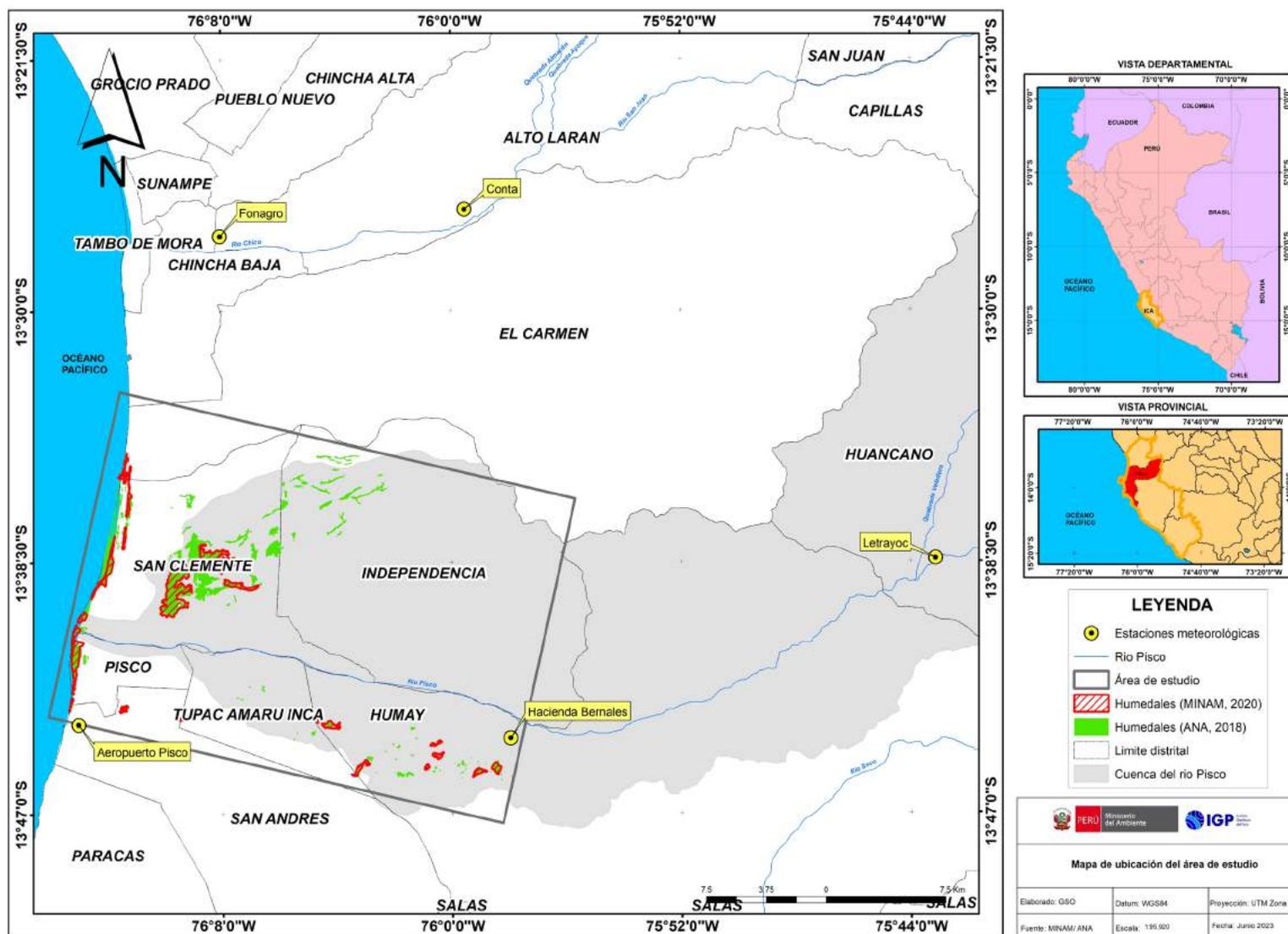


Figura 1. Localización del área de estudio. El área verde representa los humedales inventariados por la ANA (2018) y el área achurada de rojo son los humedales inventariados por el MINAM (2020). Los puntos amarillos representan las estaciones meteorológicas de datos observados. Fuente: ANA (2018), MINAM (2020)

Datos

Una de las principales limitaciones en este estudio fue la insuficiente información climática de datos observados en la zona de interés. No obstante, para el desarrollo de este estudio se aprovecharon los datos observados disponibles de temperatura máxima del aire (Tmax), precipitación (P) y humedad relativa (HR) de 4 estaciones meteorológicas convencionales del SENAMHI y 1 estación meteorológica aeronáutica de CORPAC. Estos datos abarcaron el período desde 1981 hasta 2021, como se detalla en la [Tabla 1](#). Además de las variables mencionadas, se recopiló información hidrológica del caudal medio diario (Q) de la estación hidrométrica limnigráfica Letrayoc del SENAMHI durante el mismo periodo de 1981-2021, esta información hidrológica cubrió el 85.2 % de los datos, lo que permitió caracterizar el régimen hidrológico del río Pisco.

Las estaciones más próximas a los humedales costeros de Pisco son Aeropuerto Pisco (AEP) y Hacienda

Bernales (HBL). La AEP se ubica a aproximadamente 8 km de los humedales de San Clemente de la margen derecha del río Pisco; mientras que, el resto de las estaciones a más de 22 km. La estación HBL se ubica a aproximadamente 1.8 km de la laguna Morón y bastante próxima a los humedales de la margen izquierda del río Pisco. Las estaciones LET, FOA y CON brindan más información espacial y a diferentes altitudes sobre el comportamiento regional de las variables meteorológicas de análisis.

Debido a la poca cobertura espacial de la zona de estudio con la información climática observada, se ha utilizado también información de productos grillados para contar con más detalle de la variabilidad climática espacial. En la [Tabla 2](#) se muestra la relación de la información meteorológica y oceanográfica grillada usada en el estudio. Estos productos brindan información complementaria de la variabilidad climática en la zona de estudio.

Tabla 1.

Lista de estaciones meteorológicas e hidrológicas usados en este estudio

Nº	Estación (Abreviación)	Tipo*	Longitud (°)	Latitud (°)	Altitud (msnm)	Dpto. / Prov. / Distrito	Variable	Fuente
1	Hacienda Bernales (HBL)	CO	-75.966	-13.741	293	Ica / Pisco / Humay	Tmin, Tmax, P, HR	SENAMHI
2	Letrayoc (LET)	PLU/HLG	-75.719	-13.640	776	Ica / Pisco / Huancano	P, Q	SENAMHI
3	Aeropuerto Pisco (AEP)	EMA	-76.217	-13.733	7	Ica / Pisco / San Andrés	Tmin, Tmax, P, HR	CORPAC
4	Fonagro (FON)	MAP	-76.134	-13.458	71	Ica / Chinca / Chinca baja	Tmin, Tmax, P, HR	SENAMHI
5	Conta (COT)	PLU	-75.992	-13.443	289	Ica / Chincha / Alto Laran	P	SENAMHI

*CO: Climática Ordinaria, PLU: Pluviométrica, EMA: Estación Meteorológica Aeronáutica, MAP: Meteorológica Agrícola Principal, HLG: Hidrométrica Limnigráfica

Tabla 2.

Información meteorológica y oceanográfica grillada recopilada para el dominio de estudio.

Producto	Variable	Periodo	Resolución	Fuente
PISCOp	Precipitación diaria	1981-2016	0.1°x0.1°	(Aybar et al., 2020)
RAIN4PE	Precipitación diaria	1981-2015	0.1°x0.1°	(Fernandez-Palomino et al., 2022)
PISCOtmin	Temperatura mínima del aire diaria	1981-2016	0.1°x0.1°	(Huerta, Aybar and Lavado-Casimiro, 2018)
PISCOtmax	Temperatura máxima del aire diaria	1981-2016	0.1°x0.1°	Huerta, Aybar and Lavado-Casimiro, 2018
PISCOtmin_1km	Temperatura mínima del aire diaria	1981-2016	0.01°x0.01°	Huerta et al., 2022
PISCOtmax_1km	Temperatura máxima del aire diaria	1981-2016	0.01°x0.01°	Huerta et al., 2022
PISCOws_1km	Velocidad del viento	1981-2010 (climatología)	0.01°x0.01°	(Huerta, Bonnesoeur, et al., 2022)
GCM_SENAMHI_RCP85	Precipitación diaria Temperatura mínima del aire diaria Temperatura máxima del aire diaria	1981-2005 2006-2065	0.1°x0.1°	SENAMHI
NOAA Optimum Interpolation (OI) SST V2	Temperatura superficial del mar mensual	1981-2021	1°x1°	Reynolds et al., 2002

Metodología

Previo al análisis de la información se ha realizado el control de calidad de los datos observados con el software Rclimdex (Zhang, Feng and Chan, 2018) en el lenguaje de programación de R. Se han identificado los datos faltantes, se identificaron y descartados los valores no razonables, se ha realizado un análisis exploratorio de datos, identificándose outliers superiores a tres veces la desviación estándar del valor promedio para el día calendario de análisis. Así mismo, se ha realizado el análisis exploratorio de datos diarios de P, Tmax y Tmin de estaciones meteorológicas y producto grillado PISCOp de 10 km y RAIN4PE de 10 km. Del análisis exploratorio realizado al comparar los datos observados y grillados (a punto de estación) se observó que sólo los datos de temperatura del aire (máxima y mínima) representaban adecuadamente el comportamiento de las observaciones, sobre todo para la estación

AEP la cual no fue utilizada en la construcción del producto PISCO. En ese sentido, este trabajo emplea series de precipitación diaria sin completar y series de temperatura máxima y mínima del aire completada con el producto PISCO.

Los análisis de las condiciones climáticas se realizaron con datos climáticos recopilados de estaciones meteorológicas cercanas a los humedales de Pisco. Se realizaron promedios mensuales por estación y variable, para la temperatura y humedad relativa con las estaciones AEP, HBL y FON, para la precipitación con las estaciones de AEP, HBL, FON, COT y LET, finalmente, para el caudal con la estación LET. Para el cálculo de un promedio mensual se tomó como criterio que el mes tenga como máximo 5 días sin información; mientras que, para valores promedios anuales, los 12 meses deben estar completos.

El análisis de la variabilidad climática se realizó para diversas escalas temporales, diurna, estacional, interanual y decadal. En particular, para identificar los periodos secos y húmedos en diferentes escalas temporales en la zona de estudio, se ha calculado el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI, por sus siglas en inglés), ha sido el indicador más utilizado para la vigilancia de sequías meteorológicas a nivel mundial (Mckee, Doesken and Kleist, 1993). Para este estudio se consideró evaluar el SPI para 12 meses entre enero a diciembre. Así también se aplicó la metodología del SPI con la variable caudal (Q) para obtener el índice SQI o Índice de Caudal Estandarizado para una escala temporal de 12 meses.

Para el análisis de las tendencias climáticas se usó de métodos no paramétricos de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) tanto para el cálculo del nivel de significancia al 90 % como para el valor de la pendiente, este método no paramétrico es bastante utilizado cuando las series de tiempo presentan

outliers, ya que sus estadísticas están basadas en el signo de las diferencias y no directamente en los valores (Lavado-Casimiro, Silvestre and Pulache, 2010). Asimismo, se utilizaron técnicas estadísticas para identificar tendencias climáticas a largo plazo, además la tendencia encontrada es respaldada con el método de Sen que calcula la mediana de un conjunto de pendientes (Sen, 1968).

Se analizaron los extremos climáticos en base a índices. Se han calculado 9 índices recomendados por el Equipo de Expertos para el Cambio Climático Monitoreo Detección e Índices (ETCCDI, por sus siglas en inglés), conformado por la Comisión de Climatología de la Organización Meteorológica Mundial y el proyecto CLIVAR del Programa Mundial de Estudios sobre el clima (Klein, Zwiers and Zhang, 2009). En la **Tabla 3** se detallan los 9 índices de extremos climáticos de temperatura analizados. Los índices de precipitación no fueron calculados debido a los vacíos en la información diaria.

Tabla 3.

Listado de índices de extremos climáticos seleccionados en el presente estudio.

Indices	Nombre	Definición	Unid.	
Temperatura	DTr	Rango de temperatura diaria	Diferencia promedio de Tmax y Tmin	°C
	TXx	Máximo de Tmax	Valor máximo de Tmax	°C
	TNx	Máximo de Tmin	Valor máximo de Tmin	°C
	TXn	Mínimo de Tmax	Valor mínimo de Tmax	°C
	TNn	Mínimo de Tmin	Valor mínimo de Tmin	°C
	TN10p	Noches frías	Fracción de días cuando la Tmin <P10	Días (%)
	TN90p	Noches cálidas	Fracción de días cuando la Tmin >P90	Días (%)
	TX10p	Días fríos	Fracción de días cuando la Tmax <P10	Días (%)
	TX90p	Días cálidos	Fracción de días cuando la Tmax >P90	Días (%)

A partir de los hallazgos encontrados en el estudio de escenarios de cambio climático centrados al 2050 (Llacza et al., 2021), se identificaron potenciales escenarios futuros para el área de estudio de los humedales de Pisco. Los escenarios de cambio climático al 2050 se realizó mediante la reducción de escala dinámica con el modelo climático regional WRF, bajo el escenario de altas emisiones de GEI, RCP 8.5, las cuales fueron complementadas con técnicas geoestadísticas hasta llegar a la resolución de 5 km.

Resultados y Discusión

Condiciones climáticas en los humedales de Pisco

La dinámica climática local en los humedales de Pisco tiene un impacto directo en estos ecosistemas. El conocimiento de las condiciones climáticas locales es esencial porque contribuye en la gestión adecuada y en la conservación a largo plazo de este ecosistema. En general, la costa peruana tiene un clima subtropical árido con escasa o nula precipitación, además los vientos dominantes son los alisios del este, que influye en la dinámica climática de la región costera (ProNaturaleza, 2010). En la región de Ica el clima predominante es árido, específicamente del tipo "E(d) B", árido con deficiencia de humedad en todas las estaciones del año (Castro et al., 2020). En particular, en la zona que rodea los humedales de Pisco, la temperatura promedio anual es de $20.3\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, la T_{max} mensual promedio es de $24.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, con un pico máximo en febrero entre 28.3 y $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la T_{min} mensual promedio es de $15.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, con valores más

bajos entre 11.8 y $14.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ en julio y agosto. Estos hallazgos se respaldan con información proporcionada por SENAMHI para la región de Ica, donde indican que la T_{max} no excede de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, en los meses de verano la T_{max} fluctúa entre 28 y $29\text{ }^{\circ}\text{C}$ y en los meses de invierno entre 22 y $23\text{ }^{\circ}\text{C}$; mientras que, la T_{min} no desciende de $8\text{ }^{\circ}\text{C}$, siendo más baja en invierno con valores entre 11 y $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ y en verano entre 18 y $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Gobierno Regional de Ica, 2014; Castro et al., 2020).

Es importante destacar que, la estación HBL (ubicada próxima a la laguna Morón y de los humedales de la margen izquierda del río Pisco) presentan mayor amplitud térmica que las estaciones AEP y FON (Figura 2a); es decir, en HBL las temperaturas son más altas durante el día y en las noches tienden a ser un poco más frías que las otras estaciones.

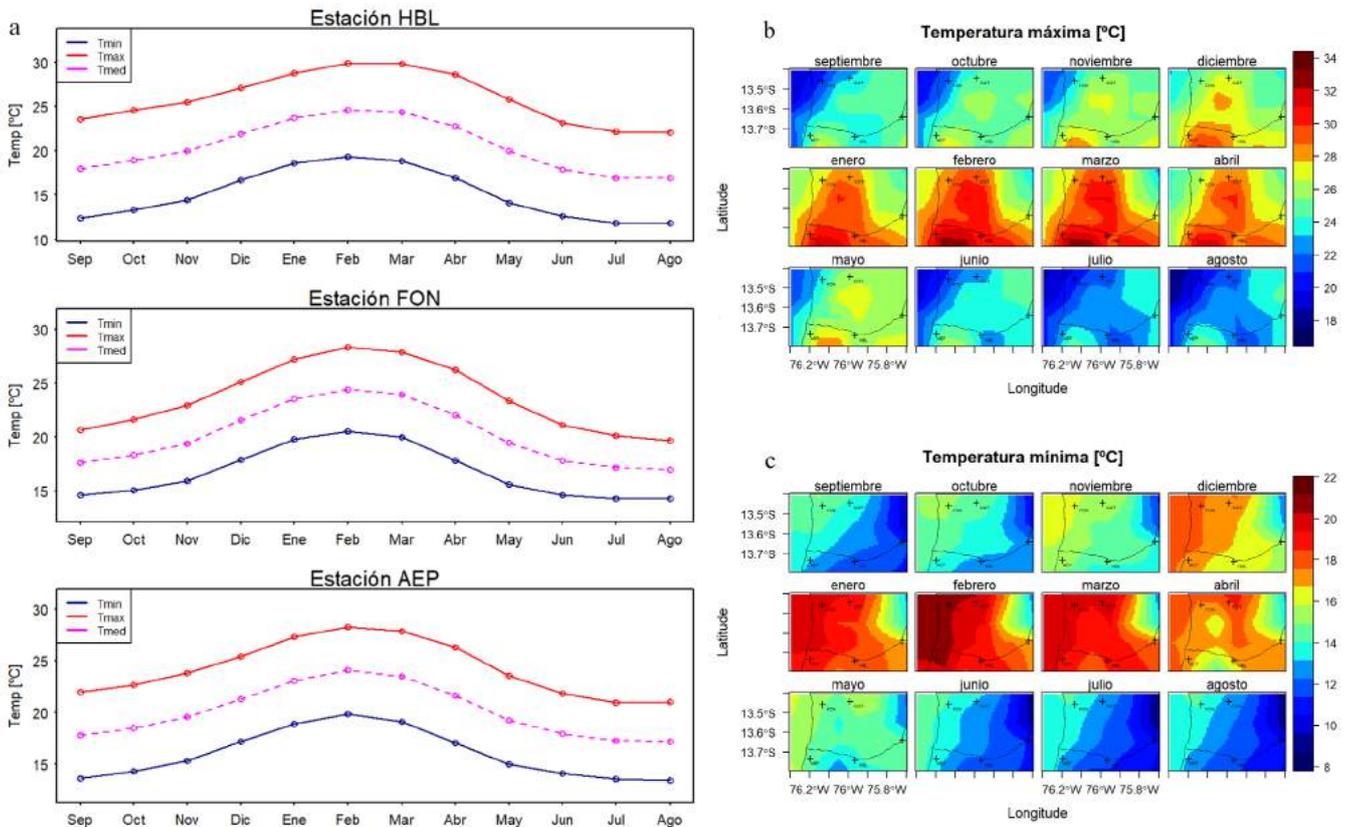


Figura 2. a) Promedio de la temperatura media (T_{med}), temperatura máxima (T_{max}) y temperatura mínima (T_{min}) mensual del aire (1981-2021). b) Promedio climático grillado de la temperatura máxima del aire (1981-2016). c) Promedio climático grillado de la temperatura mínima del aire (1981-2016).

A partir de datos grillados del producto PISCO, también podemos observar el comportamiento espacio-temporal de la Tmax (Figura 2b) y Tmin (Figura 2c) para la zona de estudio. Durante los meses de verano (DEF) se registran los valores más altos de temperatura del aire, siendo estos meses los más cálidos en la zona de estudio. Por otro lado, durante el invierno (JJA) se registran las temperaturas más bajas, estos meses son los más frescos en la zona de estudio. Además, existe una gradiente altitudinal en la zona de estudio. Esto significa que a medida que uno se desplaza hacia zonas de mayor elevación (al este del dominio de estudio), las temperaturas del aire tienden a ser más bajas. En contraste, hacia el litoral (al oeste), las temperaturas son más altas.

Las precipitaciones en la zona de estudio son extremadamente escasas durante todo el año, lo que la clasifica como árida. A nivel mensual, las precipitaciones no superan los 2.0 mm e incluso son casi nulas (< 1 mm). A nivel anual, la precipitación varía entre 0.8 mm (AEP) a 10.6 mm (FON), lo que confirma la aridez de la zona. Estos hallazgos se corroboran con el estudio de Castro et al., (2020), quienes indican que en esta zona solo se presentan lloviznas ocasionales que acumulan 2 mm en todo el año para la estación de HBL ubicada a 293 msnm.

Esta zona experimenta un patrón de lluvias variables, caracterizado por lluvias ligeras y esporádicas. Las estaciones COT y LET registran precipitaciones máximas en los meses de verano, con un pico máximo en el mes de febrero (Figura 3a), estas precipitaciones

ocurren cuando los vientos cálidos y húmedos del este se intensifican y atraviesan los Andes por trasvase (Cubas et al., 2013). En contraste, el periodo de menor precipitación es entre mayo y noviembre. Las estaciones HBL y FON, el régimen de precipitación es bimodal, con dos picos máximos en febrero y junio. Incluso para la estación FON, los meses de junio, julio y agosto es superior a febrero, y las precipitaciones más bajas se presentan en abril. En el caso de la estación AEP, la precipitación es muy baja, inferior a 0.30 mm por mes; por lo cual, no se observa un régimen pluviométrico claro.

El análisis con los datos grillados del producto PISCO, revela un patrón estacional de las precipitaciones en la zona de estudio, siendo enero el mes de mayores tasas de precipitación, principalmente hacia el sector noreste de la zona estudiada. Sin embargo, es importante destacar las tasas de precipitación son generalmente bajas y no exceden los 4 mm/mes en gran parte del año (Figura 3b). Adicionalmente, se observó que, debido a las bajas tasas de lluvia en el dominio de estudio, los datos interpolados del producto PISCO tienden a sobreestimar estos valores y no representar adecuadamente la variación estacional.

Claramente, la evaluación de la variabilidad y comportamiento de las precipitaciones puede ser poco representativa debido a la escasez de información, sobre todo debido a la baja muestra de datos para evaluar el comportamiento interanual e interdecadal.



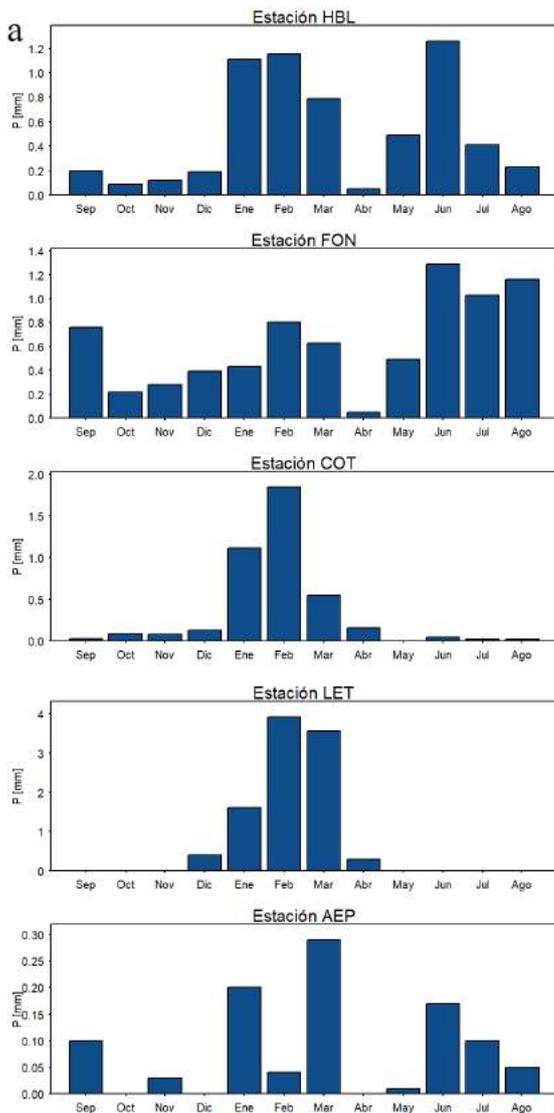
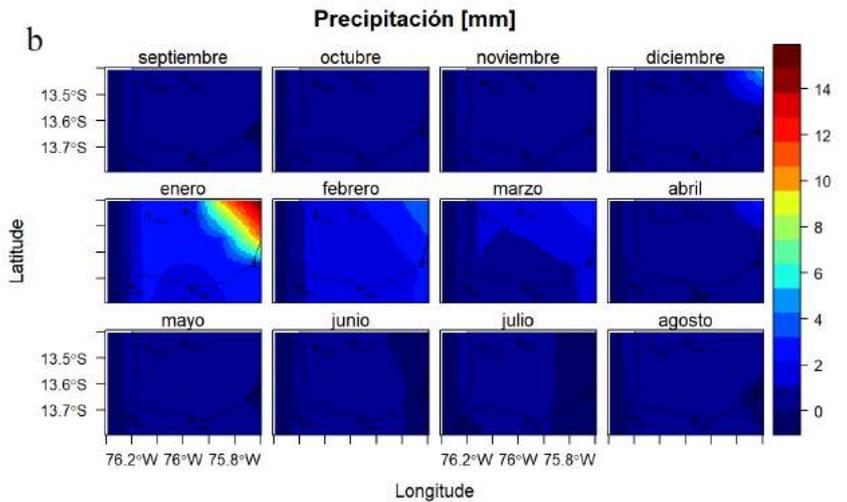


Figura 3. a) Promedio de la precipitación mensual (1981-2021). b) Promedio climático grillado de la precipitación mensual (1981-2016).



La humedad relativa promedio a lo largo del año es del 81.4 %. Sin embargo, a nivel mensual, se observa variabilidad en la humedad relativa, oscilando entre el 77.8 % y el 85.1 %. En términos de estacionalidad, la humedad relativa alcanza su punto más bajo en los meses de febrero o marzo, lo que sugiere que estos meses son relativamente más secos. Por otro lado, el valor más alto de humedad relativa se registra en mayo o junio, indicando que estos meses son más húmedos en la zona de estudio (Figura 4).

En relación con el caudal del río Pisco, su régimen hidrológico se caracteriza como unimodal, lo que significa que tiene una sola época distintiva de variación en los caudales a lo largo del año. Los

caudales medios mensuales oscilan entre 1.9 y 67.9 mm/mes. La temporada de avenidas, cuando los caudales son más altos, abarca desde enero hasta abril. Por otro lado, la época de estiaje, cuando los caudales son más bajos, se extiende de mayo a agosto (Figura 5). En septiembre comienza el año hidrológico, marcando el inicio de la acumulación de humedad en el suelo, lo que gradualmente aumenta los caudales hasta diciembre. Este patrón unimodal en el régimen hidrológico del río Pisco sugiere que es especialmente importante monitorear y gestionar los recursos hídricos durante la temporada de avenidas para evitar inundaciones y asegurar un suministro adecuado de agua durante la temporada de estiaje.

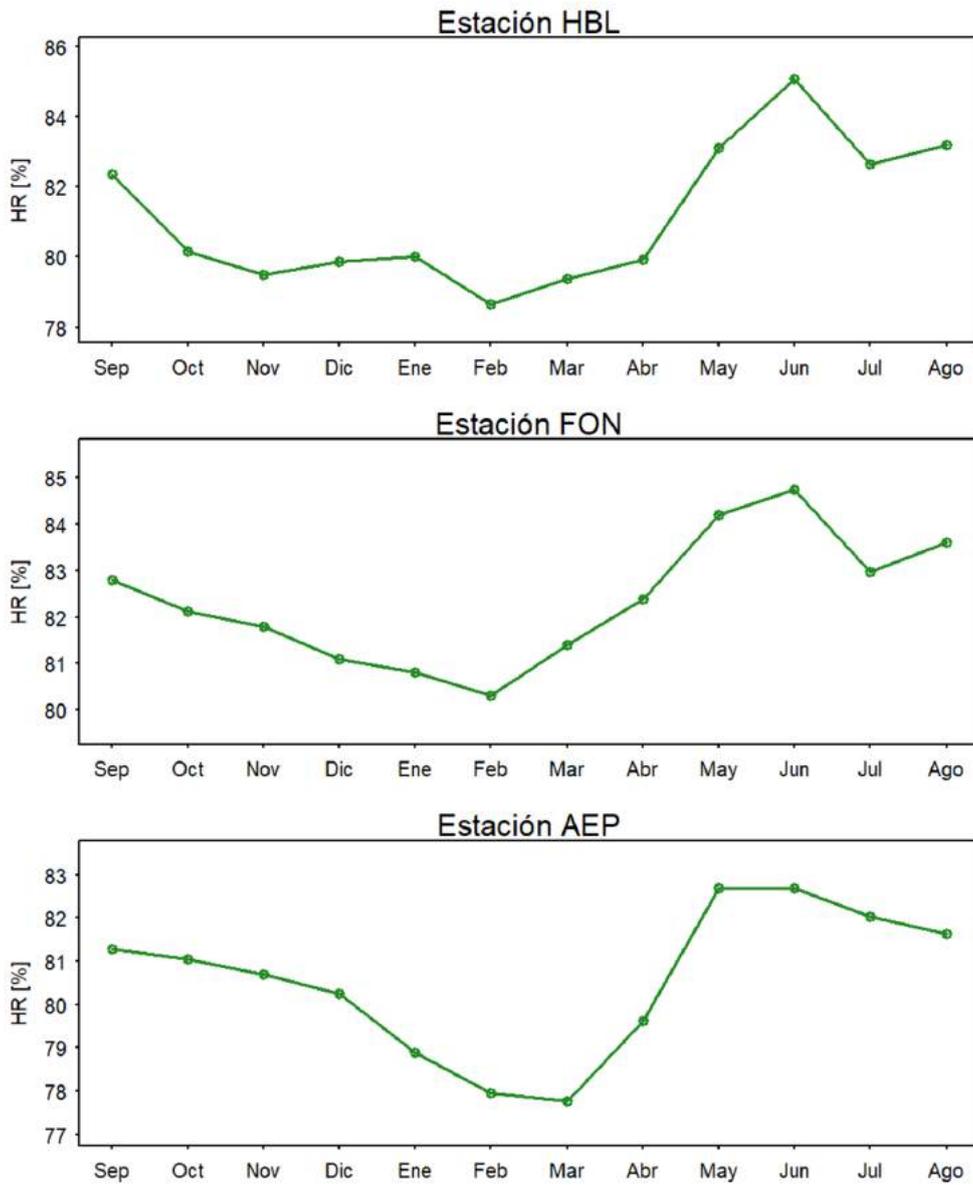


Figura 4. Promedio de la humedad relativa mensual (1981-2021).

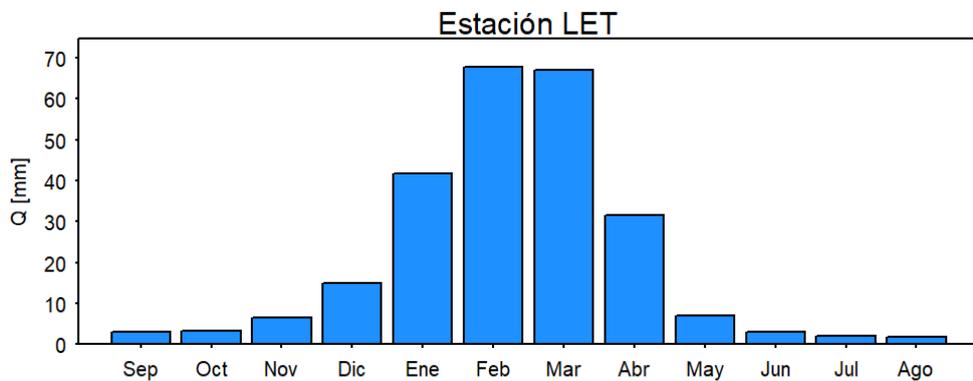


Figura 5. Promedio del caudal medio mensual (1981-2021).

Respecto a los vientos, se ha observado que la velocidad del viento a una altura de 2 metros sobre la superficie muestra una variación estacional en la zona de estudio. Durante los meses de septiembre a marzo, se registran las tasas de velocidad de viento más altas, alcanzando velocidades de hasta 3.5 m/s. Estos vientos más fuertes predominan en el sector suroeste de la zona analizada. Por otro lado, las tasas de velocidad del viento disminuyen durante los meses de mayo y junio, siendo estos los meses en los que se registran las velocidades más bajas (Figura 6).

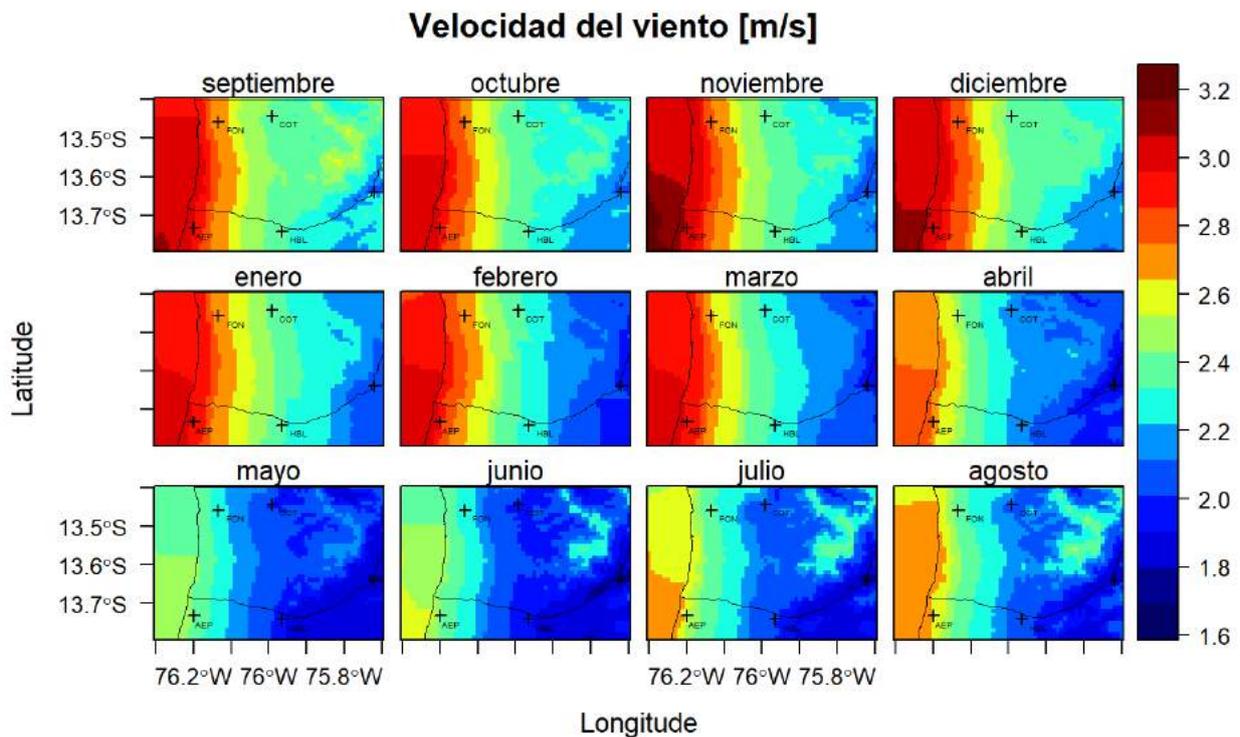


Figura 6. Promedio climático de la velocidad del viento (1981-2016).

Sobre la zona de estudio ocurre un fenómeno denominado Vientos Paracas (VP), que es una tormenta de arena y polvo, cuya máxima ocurrencia es entre Julio y septiembre y se caracteriza por tener velocidades superficiales de viento del 17 m/s aproximadamente (Quijano Vargas, 2013), aunque en algunas ocasiones estas velocidades pueden superar los 20 m/s, estos vientos transportan consigo polvo muy fino que reduce la visibilidad horizontal (PNUMA and CONAM, 2007). Los VP se generan por mecanismos tanto a escala regional como local. A nivel regional, se debe al incremento de la gradiente de presión latitudinal al sur del Perú. A nivel local, la topografía de región canaliza el flujo regional y contribuye a la formación de estos vientos. Este fenómeno de los VP se desencadena cuando se supera un umbral de velocidad de fricción, que es de 0.72 m/s en el desierto de Paracas. Esto significa que cuando la velocidad del viento alcanza este umbral, se inicia la tormenta de arena y polvo. Según estudios experimentales, los VP siguen trayectorias con dirección noreste, afectando a las ciudades de Paracas, Pisco y Chincha (Quijano Vargas, 2013).



Variabilidad interanual de la temperatura, precipitación y caudal en los humedales de Pisco

Los valores máximos de temperatura (T_{max} y T_{min}) han mostrado patrones interesantes en la zona de estudio a lo largo de los años. Se observa que los años con temperaturas más elevadas fueron 1983 y 1997, los cuales coinciden con eventos extremos de El Niño. Además, se identifican otros años cálidos como 1987, 1992, 2009, 2012, 2015, 2016 y 2019 (Figura 7), todos estos asociados con eventos de El Niño. Esto indica que los eventos de El Niño tienden a llevar consigo un aumento significativo de las temperaturas en la zona de estudio. Por otro lado, los años fríos fueron 1988, 1989, 1990, 1991, 1996, 2005, 2007, 2017 y 2020; sin embargo, se destaca que no todos estos años fríos están necesariamente relacionados con eventos de La Niña, lo que sugiere que otros factores climáticos pueden influir en la variabilidad de las temperaturas frías en la zona.

Además, se encontró un hallazgo interesante sobre el comportamiento de la temperatura máxima del aire durante eventos El Niño extraordinarios. En el año 1982/83, la temperatura máxima fue predominantemente superior a la de 1997/98 y 2016/17 entre diciembre a agosto. Mientras que, la T_{max} y T_{min} de setiembre y octubre de 1997 fue superior a la de otros eventos El Niño (1982/83 y 2016/17).

Respecto a la precipitación, los datos observados son insuficientes para analizar la variación temporal de la precipitación anual en las estaciones del área de estudio (Figura 7). No se evidencia una relación clara entre los patrones interanuales de la precipitación en las estaciones meteorológicas HBL, FON, COT, LET y AEP; y las anomalías anuales de la TSM en la región Niño 1+2, es importante mencionar que los datos de precipitación observados presentan vacíos de información.

La variabilidad interanual de los caudales en base a los datos de la estación LET, se identifican años húmedos a 1984, 1986 y 1998 como ejemplos de años con un flujo de agua significativamente mayor en la cuenca del río Pisco. Estos años se caracterizan por tener un caudal superior al promedio. Por otro lado, los años secos son 1990, 1992 y 1997 (Figura 8), estos años se destacan por tener un flujo de agua por debajo del promedio. Cabe mencionar también que no se cuenta con información actualizada de caudales en la estación LET (2017-2021). Además, se observa una correlación entre los años húmedos, como 1984 y 1998, y anomalías positivas en la Temperatura de la Superficie del Mar (TSM) del año anterior en el período de análisis de 1981-2021. Esto sugiere que las condiciones de la TSM pueden estar relacionadas con la variabilidad en los caudales de la cuenca del río Pisco en estos años.

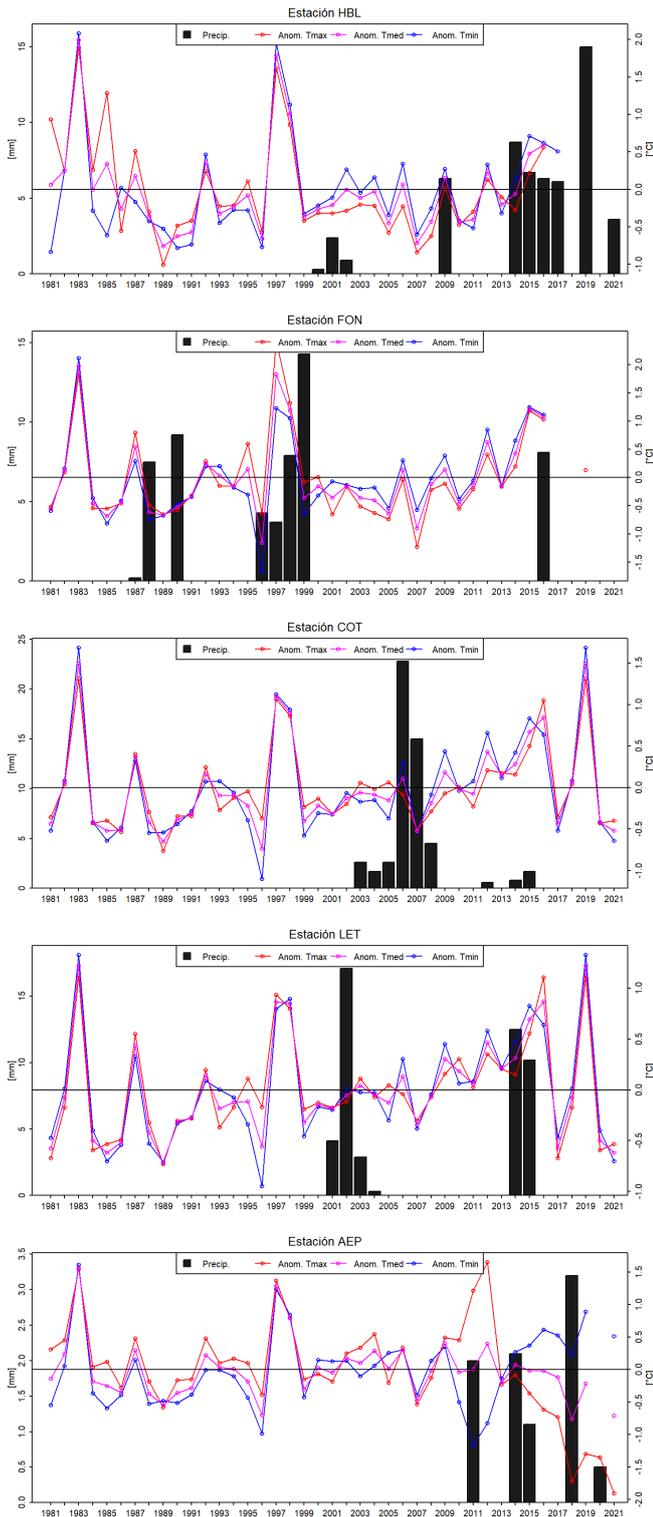


Figura 7. Variabilidad interanual de la precipitación, y anomalías anuales de la temperatura mínima, máxima y media del aire en la estación a) HBL, b) FON, c) COT, d) LET y e) AEP

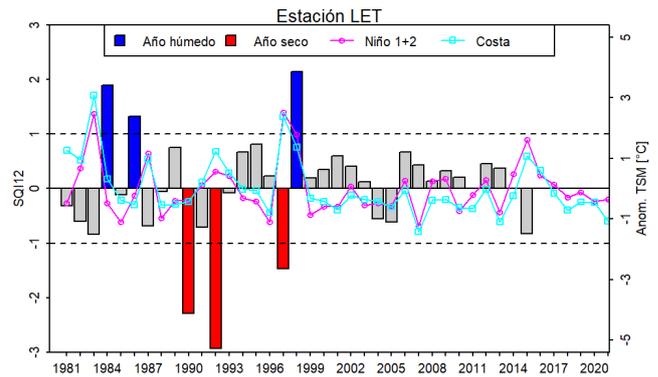


Figura 8. Índice SQI de 12 meses (1982-2021) en la estación LET y anomalía de la temperatura superficial del mar (TSM) en la región Niño 1+2 y promedio de pixeles sobre las costas del área de estudio.

Tendencias climáticas de la temperatura y la precipitación

Los promedios anuales de precipitación no presentan tendencia lineal significativa (90 %) en las estaciones de estudio; esto significa que, a lo largo del tiempo, no se observa un aumento o disminución constante y significativo en la cantidad de lluvia en las estaciones analizadas.

Respecto a las temperaturas (Tmax y Tmin), se identifican tendencias notables. La Tmax en zonas aledañas a los humedales muestran tendencia positiva, lo que indica que las Tmax están aumentando gradualmente a una tasa de +0.1 a +0.2 °C por década. Sin embargo, en la zona más cercana a los humedales, la Tmax disminuye a una tasa de -0.2 °C por década (Figura 9, Tabla 4). La tendencia de aumento es aún más pronunciada en la Tmin, en la zona y alrededores de los humedales de Pisco, se observa un aumento significativo de +0.2 °C por década, con un nivel de significancia estadística (p-value) menor o igual a 0.10. Estas tendencias podrían estar relacionadas con el cambio climático global y podrían tener implicancias importantes en la estructura y función de los humedales.

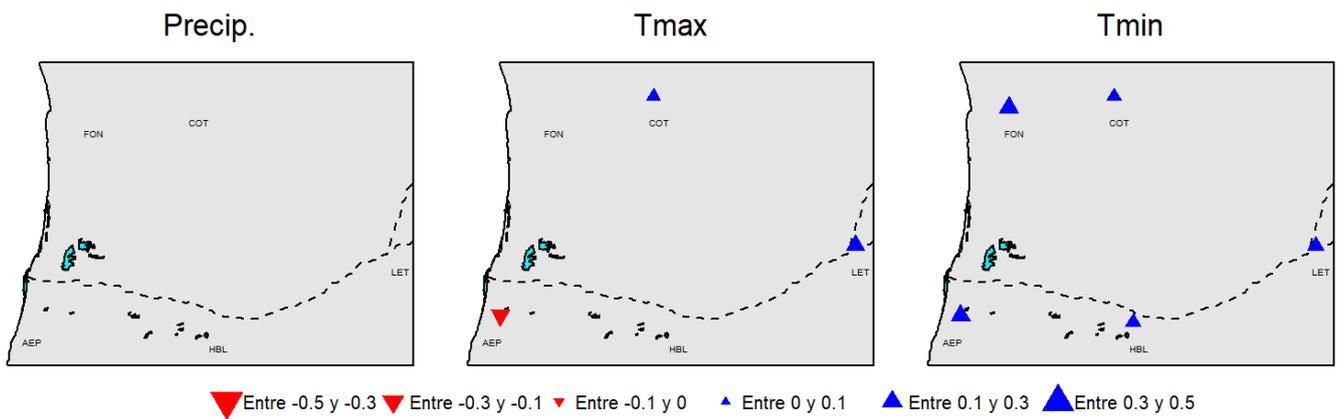


Figura 9. Índice de tendencia lineal (Tau) a nivel anual para las variables de precipitación, y temperatura máxima y mínima del aire (1981-2021).

Tabla 4.

Tendencia anual de la precipitación y la temperatura (Tmax y Tmin) en estaciones ubicadas en los humedales de Pisco. Índice de tendencia lineal (Tau), nivel de significancia estadística (p-value) y magnitud de la tendencia (Sen).

Periodo	Estación	Precipitación			Temperatura (Tmax)			Temperatura (Tmin)		
		Tau	p-value	Sen [mm/año]	Tau	p-value	Sen [°C/año]	Tau	p-value	Sen [°C/año]
1981-2021	HBL	0.360	0.178	0.829	-0.108	0.361	-0.007	0.219	0.058	0.017
	FON	0.429	0.174	1.202	0.096	0.410	0.010	0.279	0.017	0.019
	COT	-0.229	0.461	-0.185	0.187	0.088	0.011	0.204	0.062	0.016
	LET	-0.067	0.352	-0.600	0.262	0.017	0.016	0.231	0.035	0.017
	AEP	0.298	0.266	0.012	-0.266	0.015	-0.024	0.294	0.008	0.019

Valores estadísticamente significativos (p-value ≤ 0.10)

A nivel estacional, durante la mayoría de las estaciones, excepto la primavera, se ha observado un aumento significativo de las Tmin en la zona de estudio (Figura 10). Esto sugiere que, en general, las noches tienden a ser más cálidas a lo largo del tiempo. En contraste, la Tmax y la P no muestran tendencias notables a nivel estacional, esto implica que, no hay una tendencia clara hacia el aumento o disminución de estas variables durante las diferentes estaciones del año en el área de estudio (Tabla 5).

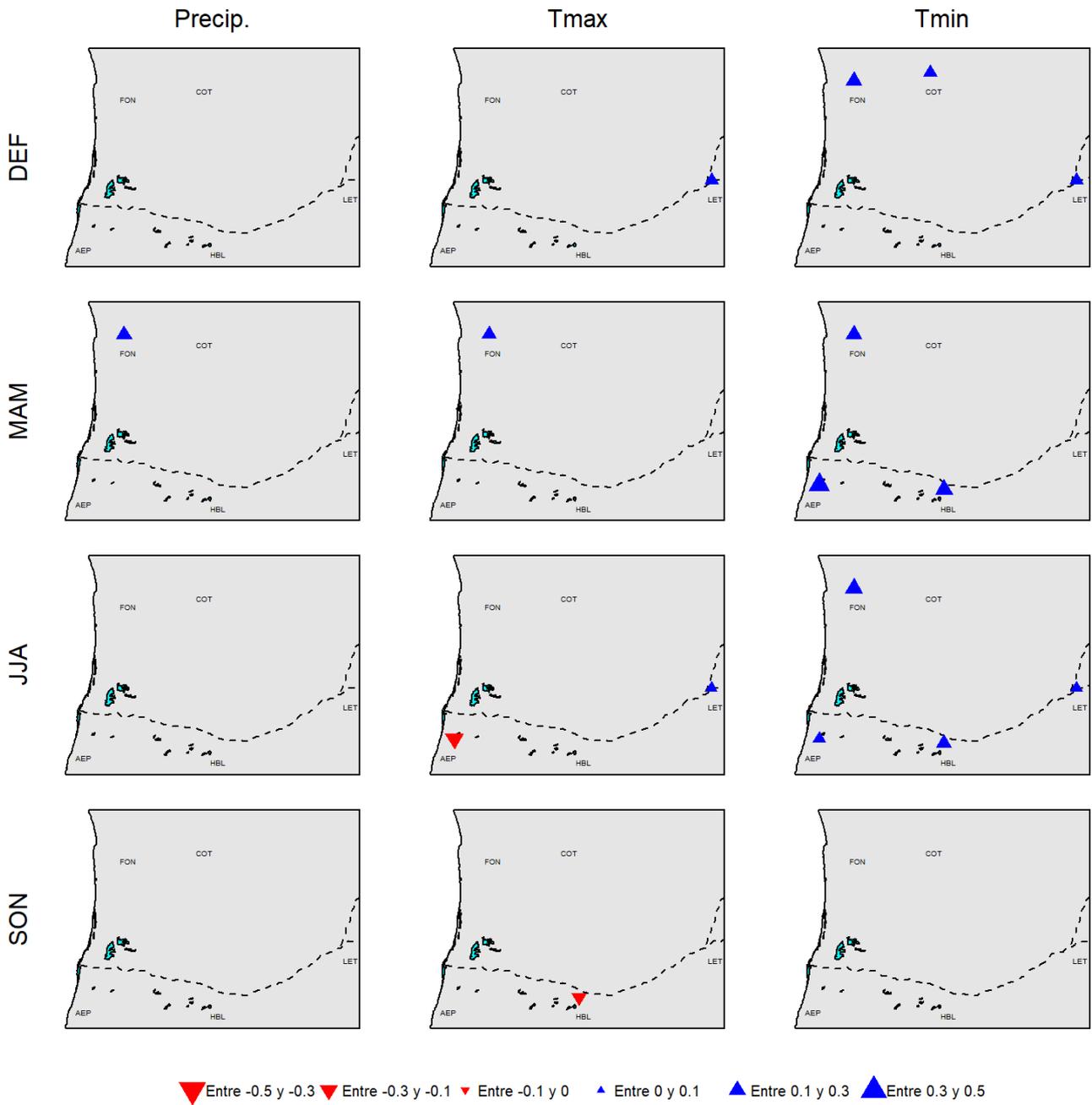


Figura 10. Índice de tendencia lineal (Tau) a nivel estacional (verano-DEF, otoño-MAM, invierno-JJA, primavera-SON) para las variables de precipitación, y temperatura máxima y mínima del aire (1981-2021).

Tabla 5.

Tendencia estacional (verano-DEF, otoño-MAM, invierno-JJA, primavera-SON) de la precipitación y la temperatura (Tmax y Tmin) en estaciones ubicadas en los humedales de Pisco. Índice de tendencia lineal (Tau), nivel de significancia estadística (p-value) y magnitud de la tendencia (Sen).

Periodo	Estación	Precipitación			Temp. Máxima			Temp. Mínima		
		Tau	p-value	Sen	Tau	p-value	Sen	Tau	p-value	Sen
DEF	HBL	0.106	0.569	0.031	-0.038	0.744	-0.014	0.142	0.224	0.012
	FON	0.035	0.839	0.000	0.078	0.490	0.022	0.279	0.014	0.025
	COT	-0.286	0.198	-0.120	0.172	0.118	0.034	0.231	0.035	0.015
	LET	0.091	0.732	0.167	0.220	0.044	0.050	0.234	0.033	0.015
	AEP	0.197	0.302	0.000	0.078	0.479	0.029	0.177	0.106	0.016
MAM	HBL	0.549	0.009	0.100	0.012	0.923	0.001	0.312	0.005	0.028
	FON	0.271	0.082	0.037	0.246	0.031	0.023	0.280	0.016	0.042
	COT	-0.245	0.264	-0.017	0.113	0.306	0.009	0.127	0.247	0.012
	LET	0.310	0.295	0.843	0.138	0.208	0.012	0.168	0.126	0.016
	AEP	0.316	0.103	0.000	-0.032	0.779	-0.003	0.392	0.000	0.047
JJA	HBL	0.299	0.211	0.088	-0.168	0.153	-0.024	0.272	0.017	0.029
	FON	0.039	0.903	0.027	0.015	0.904	0.003	0.318	0.005	0.040
	COT	0.160	0.583	0.000	0.121	0.271	0.008	0.177	0.106	0.017
	LET	1.000	1.000	0.000	0.181	0.099	0.015	0.188	0.086	0.019
	AEP	0.085	0.739	0.000	-0.302	0.006	-0.045	0.218	0.049	0.019
SON	HBL	0.604	0.007	0.025	-0.230	0.050	-0.018	-0.084	0.466	-0.008
	FON	0.363	0.107	0.117	-0.053	0.651	-0.003	0.038	0.744	0.004
	COT	-0.210	0.399	0.000	0.102	0.357	0.004	0.102	0.357	0.006
	LET	1.000	1.000	0.000	0.164	0.135	0.009	0.148	0.178	0.009
	AEP	0.139	0.483	0.000	-0.517	0.000	-0.059	0.001	1.000	0.000

Valores estadísticamente significativos ($p\text{-value} \leq 0.10$)



Índices climáticos extremos de temperatura

Durante los eventos de El Niño, que ocurrieron en los años 1983, 1998, 2016 y 2019, se observa un aumento significativo en los porcentajes de noches cálidas (TN90p) y días cálidos (TX90p), superando el 20 %; esto indica que, durante estos años de El Niño, las temperaturas nocturnas y diurnas son notablemente más cálidas de lo normal. Además, en estos mismos años de El Niño, se registra un porcentaje inferior al 5% de días fríos (TX10p) y noches frías (TN10p), lo que sugiere una falta de temperaturas frías durante esos períodos (Figura 11). Por otro lado, los mayores porcentajes de noches frías y días fríos se observan en los años La Niña, específicamente en 1988, 1996, 2007 y 2010. Esto indica que, durante los eventos de La Niña, las temperaturas nocturnas y diurnas son más frías de lo normal, y hay una falta de temperaturas cálidas.

Los índices extremos de temperatura, como los valores máximos de Tmax (TXx), mínimos de Tmax (TXn), máximo

de la Tmin (TNx) y mínimo de la Tmin (TNn) también se ven influenciados por los eventos de El Niño y La Niña. Esto sugiere que, durante El Niño, es más probable que se alcancen temperaturas máximas históricas (TXx) y mínimas elevadas (TNx), mientras que, durante La Niña, es más probable que se registren temperaturas máximas y mínimas excepcionalmente bajas (TXn y TNn).

El rango de temperatura diaria (DTr) varía entre 6 y 13 °C en diferentes estaciones. Es más alto en LET y HBL, lo que significa que estas estaciones experimentan una mayor diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas a lo largo del día. Por otro lado, en FON, el DTr es más bajo, lo que sugiere que las temperaturas máximas y mínimas están más cerca entre sí durante el día. Por lo tanto, este análisis muestra cómo los eventos de El Niño y La Niña modulan las temperaturas extremas y la variabilidad diaria en la región, con un claro aumento de temperaturas cálidas durante El Niño y temperaturas frías durante La Niña.

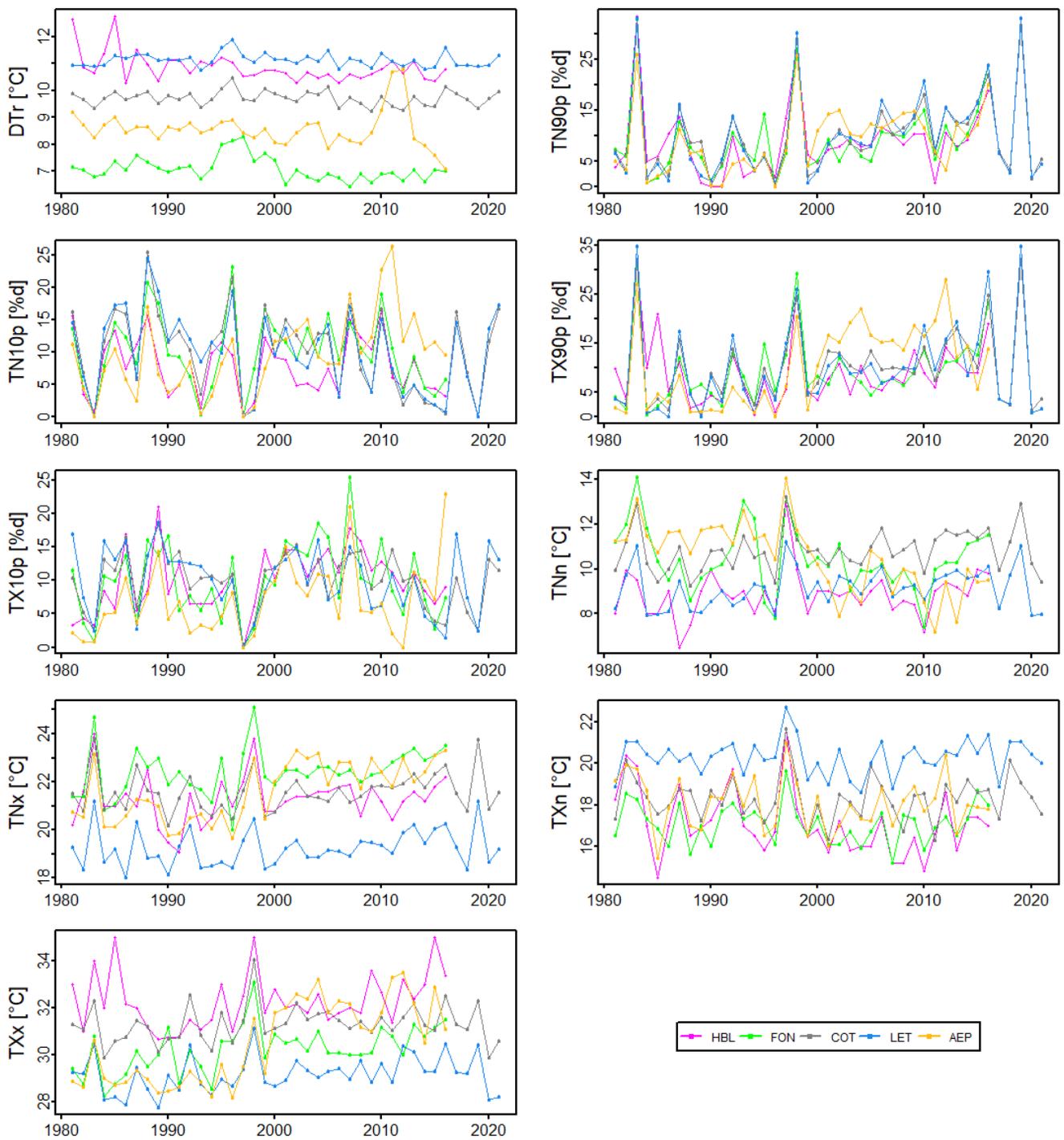


Figura 11. Índices de extremos climáticos calculados a escala anual para las estaciones meteorológicas ubicadas en el área de estudio. DTr, TN90p, TN10p, TX90p, TX10p, TNn, TNx, TXn y TXx en las 05 estaciones meteorológicas de la zona de estudio.

Respecto a las relaciones encontradas entre los índices extremos de temperatura y la anomalía de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en la zona Niño 1+2; podemos decir que, se destaca una correlación negativa (inversa) entre los índices de noches y días fríos (TN10p y TX10p) y la anomalía de la TSM Niño 1+2. Esto significa que cuando la TSM en la región Niño 1+2 presenta anomalías positivas (indicativas de un evento El Niño), los porcentajes de noches y días fríos tienden a disminuir. En otras palabras, durante El Niño, hay menos eventos de temperaturas frías.

Por otro lado, se encuentra una correlación positiva (directa) entre los índices de noches y días cálidos (TN90p y TX90p) y la anomalía de la TSM Niño 1+2 (Tabla 6). Esto significa que cuando la TSM en la región Niño 1+2 presenta anomalías positivas (indicativas de El Niño), los porcentajes de noches y días cálidos

tienden a aumentar. Durante El Niño, hay más eventos de temperaturas cálidas. Además, se indica que la TSM de la región Niño 1+2 también tiene influencia directa en los valores extremos de la Tmin, y Tmax (TNn, TNx, TXn y TXx). Esto significa que los eventos El Niño y La Niña en la región Niño 1+2 pueden tener un impacto significativo en las temperaturas extremas, lo que a su vez afecta la variabilidad climática en la zona estudiada. Por lo tanto, este análisis muestra cómo la TSM en la región Niño 1+2 está relacionada con los índices extremos de temperatura y cómo los eventos El Niño y La Niña pueden influir en la variabilidad de las temperaturas extremas en la región estudiada. Las anomalías de la TSM en esta región parecen desencadenar cambios en los patrones de temperaturas extremas y afectar directamente las temperaturas mínimas y máximas.

Tabla 6.

Coeficientes de correlación lineal de Pearson (R) entre los índices de extremos climáticos calculados para las estaciones meteorológicas, y la anomalía de la TSM en la región Niño 1+2 y promedio de píxeles sobre las costas del área de estudio.

Índice	TSM [°C] Niño 1+2					TSM [°C] Costa				
	HBL	FON	COT	LET	AEP	HBL	FON	COT	LET	AEP
P [mm]	0.32	-0.46	-0.24	0.55	0.13	0.18	-0.41	-0.29	0.35	0.01
DTr [°C]	-0.29	0.12	-0.47	-0.33	-0.19	0.06	0.26	-0.22	-0.2	-0.1
TN90p [%d]	0.68	0.61	0.55	0.53	0.45	0.6	0.54	0.43	0.41	0.27
TN10p [%d]	-0.65	-0.77	-0.74	-0.72	-0.56	-0.47	-0.65	-0.51	-0.5	-0.62
TX90p [%d]	0.47	0.63	0.49	0.52	0.24	0.5	0.53	0.39	0.44	0.02
TX10p [%d]	-0.56	-0.78	-0.67	-0.62	-0.44	-0.75	-0.76	-0.62	-0.46	-0.53
TNn [°C]	0.58	0.68	0.68	0.64	0.45	0.43	0.75	0.5	0.46	0.62
TNx [°C]	0.44	0.58	0.55	0.56	0.26	0.39	0.38	0.44	0.46	0.02
TXn [°C]	0.75	0.8	0.52	0.6	0.68	0.8	0.75	0.45	0.45	0.67
TXx [°C]	0.38	0.37	0.42	0.5	0.06	0.34	0.15	0.35	0.42	-0.2

Respecto a las tendencias en los índices climáticos en el área de estudio, se observó un aumento significativo en la frecuencia de noches cálidas (TN90p) en todas las estaciones de estudio, con tasas de incremento de alrededor del 2 a 3 % de noches cálidas por década. De manera similar, los días cálidos (TX90p) también están en aumento, con tasas de incremento de aproximadamente 2 a 5 % por década en la mayoría de las zonas del área de estudio, con la excepción de HBL. Esto sugiere un aumento generalizado en las temperaturas nocturnas y diurnas más cálidas (Tabla 7).

Las noches frías (TN10p) tienden a disminuir en la mayoría del área de estudio, con tasas de disminución que varían entre -0.5 y -2.1 % por década. En cuanto a los días fríos (TX10p), las tendencias son variables, lo que significa que no hay una dirección clara de cambio en su frecuencia.

Los valores máximos de temperatura nocturnas (TNx) presentan incrementos significativos de 0.2 a 0.8 grados Celsius por década. De manera similar, las temperaturas máximas diurnas (TXx) también muestran tendencias significativas al alza, con tasas de incremento que varían de 0.4 a 1.2 grados Celsius por década. En cambio, las temperaturas mínimas nocturnas (TNn) y las temperaturas mínimas diurnas (TXn) tienen tendencias variables, lo que indica que no hay un patrón consistente de cambio en estos indicadores.

Se observa una tendencia a la disminución del rango de temperatura diaria (DTr) en todas las zonas del área de estudio. Esta tendencia es significativa en algunas zonas, con tasas de disminución que varían entre -0.1 y -0.2 grados Celsius por década. Esto sugiere que las diferencias entre las temperaturas máximas y mínimas diurnas están disminuyendo con el tiempo (Tabla 7). Por lo tanto, estas tendencias climáticas indican un aumento en las temperaturas cálidas tanto durante el día como durante la noche, una disminución en las temperaturas frías durante la noche, y un aumento en las temperaturas extremas máximas. Además, se observa una tendencia general hacia una disminución en el rango de temperatura diaria, lo que puede tener implicaciones en la variabilidad climática y las condiciones locales. Estas tendencias son consistentes con los efectos del cambio climático global.

Tabla 7.

Índice de tendencia lineal (Tau), nivel de significancia estadística (p-value) y magnitud de la tendencia (Sen) calculado para los índices de extremos climáticos de temperatura del aire en las estaciones meteorológicas del área de estudio.

Tendencia	DTr [°C]	TN90p [%d]	TN10p [%d]	TX90p [%d]	TX10p [%d]	TNn [°C]	TNx [°C]	TXn [°C]	TXx [°C]
Estación HBL									
Tau	-0.295	0.283	-0.092	0.18	0.281	0.141	0.167	-0.243	0.221
p-value	0.012	0.016	0.437	0.127	0.018	0.251	0.163	0.04	0.063
Sen	-0.019	0.178	-0.068	0.134	0.155	0.009	0.018	-0.05	0.038
Estación FON									
Tau	-0.238	0.284	-0.061	0.376	0.051	-0.118	0.328	-0.054	0.373
p-value	0.042	0.016	0.614	0.001	0.673	0.32	0.005	0.653	0.002
Sen	-0.011	0.215	-0.051	0.24	0.044	-0.017	0.041	-0.006	0.048
Estación COT									
Tau	-0.089	0.202	-0.183	0.204	-0.097	0.207	0.187	0.026	0.133
p-value	0.419	0.065	0.096	0.064	0.381	0.059	0.088	0.822	0.225
Sen	-0.003	0.174	-0.171	0.203	-0.058	0.024	0.017	0.003	0.013
Estación LET									
Tau	-0.097	0.256	-0.227	0.209	-0.198	0.231	0.199	0.016	0.199
p-value	0.381	0.019	0.039	0.056	0.072	0.035	0.069	0.893	0.069
Sen	-0.003	0.254	-0.216	0.223	-0.137	0.029	0.021	0.001	0.022
Estación AEP									
Tau	-0.257	0.355	0.373	0.39	0.253	-0.502	0.429	-0.121	0.494
p-value	0.028	0.002	0.001	0.001	0.031	0	0	0.307	0
Sen	-0.018	0.315	0.286	0.489	0.171	-0.095	0.076	-0.026	0.123

Valores estadísticamente significativos (p-value ≤ 0.10)

Condiciones futuras al 2050

Esta sección se basa en los resultados del estudio sobre escenarios climáticos al 2050 en el Perú realizados por SENAMHI (Llacza et al., 2021), quienes analizaron estos escenarios de cambio climático para las variables de temperatura y precipitación para el periodo de referencia de 1981-2005. El estudio indica que para el año 2050 se prevé aumento de temperatura en el área de estudio, tanto en los valores máximos (T_{max}) como en los valores mínimos (T_{min}), este incremento oscila entre $+2.0$ y $+2.4$ °C (Figura 12) y es sostenido a lo largo de todo el año y en todas las estaciones. Este incremento de temperatura tiene importantes implicaciones para el clima y el medio ambiente de la región.

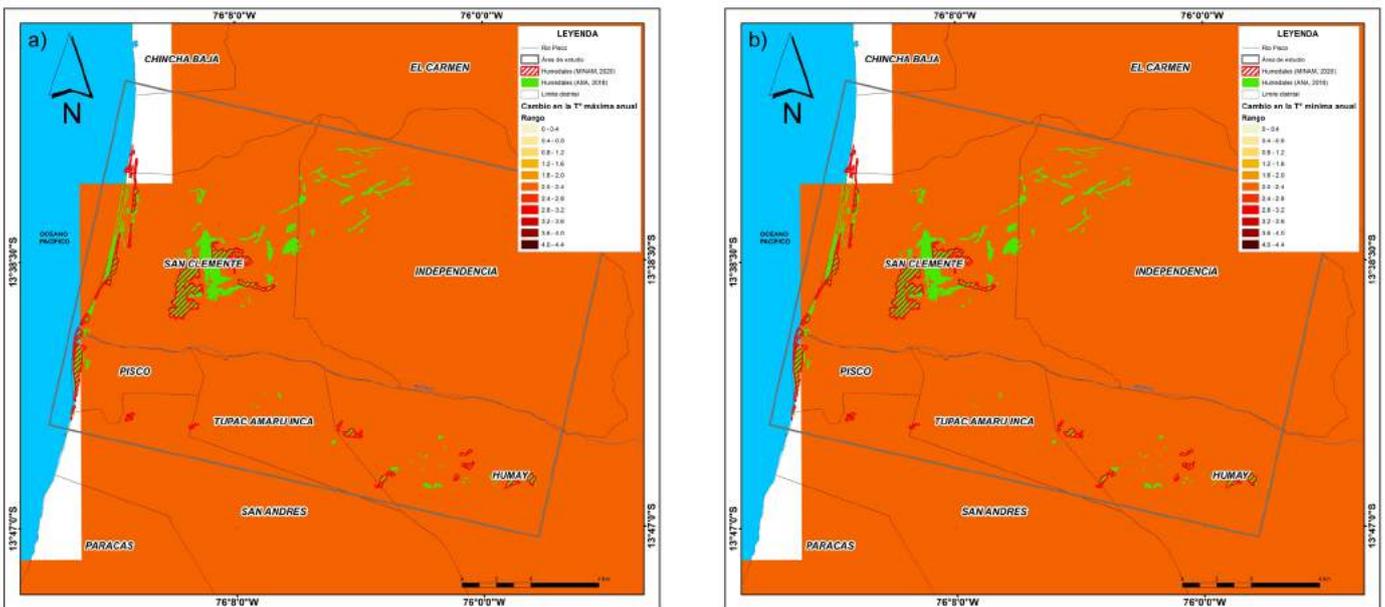


Figura 12. a) Cambios proyectados en la T_{max} anual (°C) centrado al 2050, respecto al periodo 1981 - 2005. b) Cambios proyectados en la T_{min} anual (°C) centrado al 2050, respecto al periodo 1981 - 2005.

Respecto a la precipitación anual, los escenarios climáticos proyectan una tendencia general hacia la disminución de la cantidad de lluvia para el año 2050 en los humedales de Pisco. Además, también se afirma que el cambio climático podría desencadenar mayor competencia por el uso del Agua (Gálmez, Ortega and Villegas, 2016). La Figura 13 ilustra esta disminución, que varía en intensidad según la ubicación geográfica. Se observa una reducción de hasta el 30 % en la precipitación hacia la línea costera, específicamente en el distrito de San Andrés. En el distrito de San Clemente, esta reducción es aún más pronunciada, llegando hasta el 45 %. Por otro lado, los humedales ubicados en el distrito de Humay experimentarán una disminución de alrededor del 15 %. Estas reducciones podrían tener implicaciones importantes para la disponibilidad de agua y la gestión de los humedales, así como para los ecosistemas y las comunidades que dependen de ellos.

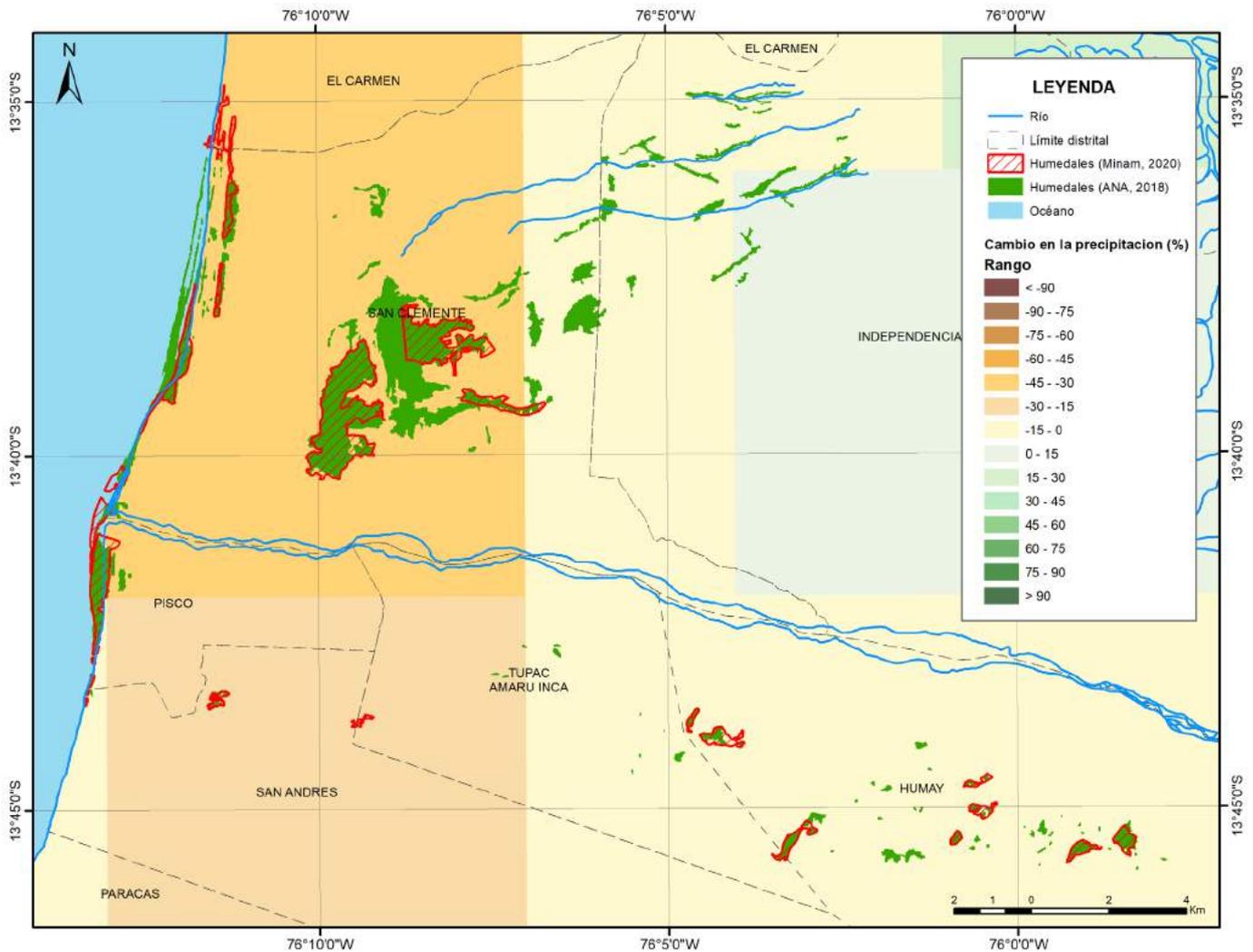


Figura 13. Cambios proyectados en la precipitación anual (%) centrado al 2050, respecto al periodo 1981 - 2005.

A nivel estacional, los escenarios de precipitación proyectados para el año 2050 a 5 km varían de acuerdo con la ubicación dentro de la zona de estudio.

Durante el verano (DEF), se observa una distribución espacial de la precipitación similar a la del período anual, se proyectan reducciones de la precipitación de hasta el 45 %, en el distrito de San Clemente, Independencia y Humay. Hacia la zona de San Andrés, las reducciones alcanzan hasta el 30 % (Figura 14a).

En otoño (MAM), se producen los mayores contrastes en comparación con el período anual. Se anticipa una reducción de la precipitación de hasta el 30 % en los humedales de los distritos de San Clemente, Pisco, San

Andrés, Tupac Amaru Inca. Sin embargo, se pronostica un aumento significativo de la precipitación, que varía desde un incremento del 60 al 70 % en parte de los distritos de Tupac Amaru Inca y Humay, hasta un aumento superior al 90 % en algunos humedales de Independencia y Humay (Figura 14b)

Durante el invierno (JJA), se espera una reducción de la precipitación de hasta el 15 % en los humedales de San Clemente. Por otro lado, se proyectan incrementos de la precipitación de hasta el 15 % en los humedales de los distritos de Pisco, San Andrés, Tupac Amaru Inca y parte de Humay. También se anticipa un aumento de la precipitación que varía desde el 15 % hasta el 60 % en humedales de parte de los distritos de Independencia y Humay (Figura 14c).

En la primavera (SON), las reducciones de la precipitación continúan hacia la línea costera. Se esperan reducciones de hasta el 30 % en los humedales de los distritos de San Clemente, Pisco, San Andrés, y parte de Tupac Amaru Inca y Humay. Para los humedales localizados en parte de los distritos de Independencia y Humay, se proyectan reducciones que varían de 0 % a 15 % (Figura 14d).

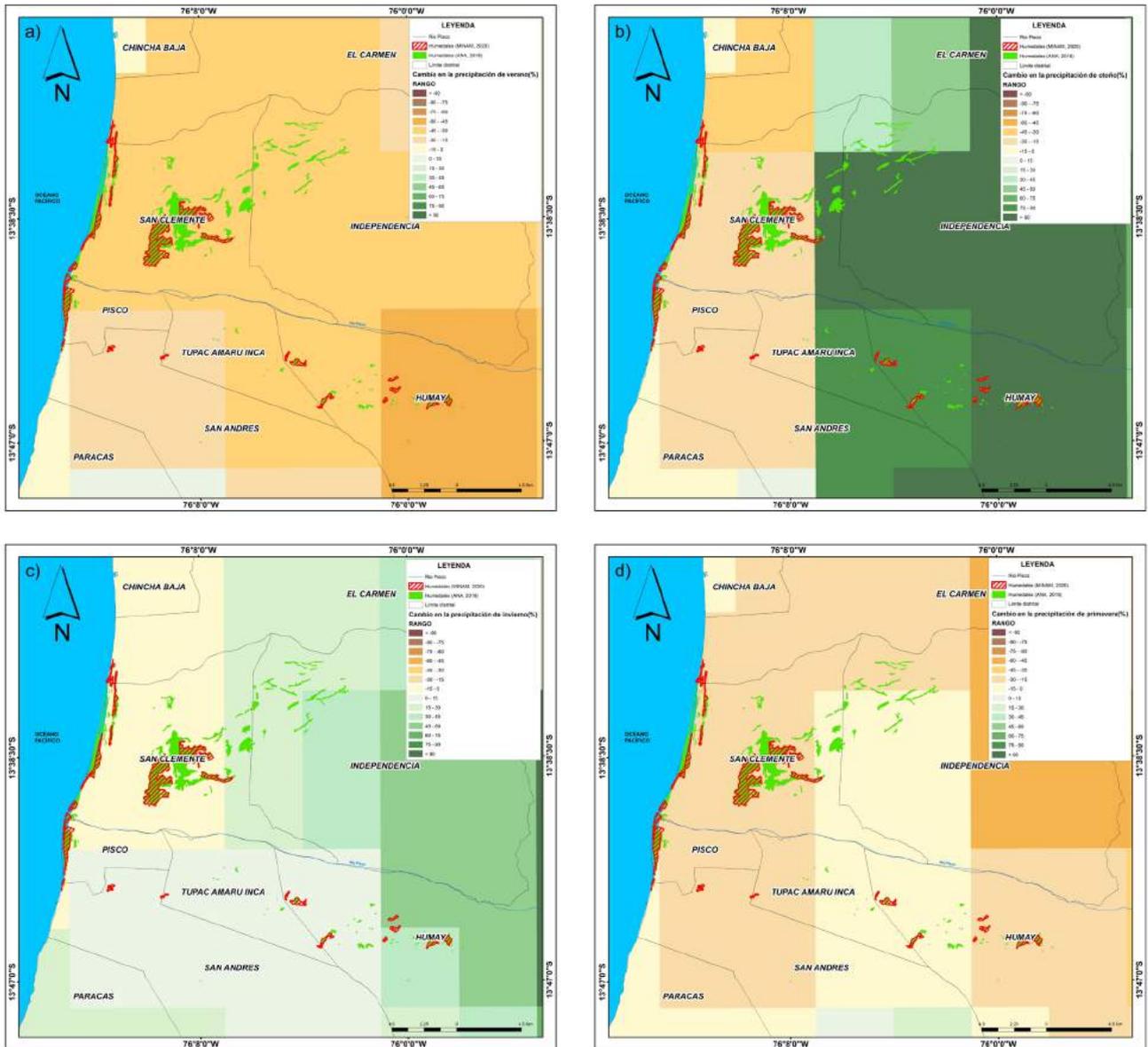


Figura 14. Cambios proyectados en la precipitación trimestral [%] centrado al 2050, respecto al periodo 1981 - 2005. Para a) verano, b) otoño, c) invierno y d) primavera.

Brechas de conocimiento relacionadas a la variabilidad y el cambio climático en los humedales de Pisco

Es incierto cómo los humedales de Pisco responderán al cambio climático, se desconoce si sus funciones serán positivas o negativas en este contexto. Esto se debe a la falta de estudios exhaustivos a nivel nacional sobre este desafío global cada vez más importante (Moya, Hernández and Elizalde Borrell, 2005; Romero-Mariscal et al., 2023). Además, las investigaciones relacionadas con humedales está distribuida de manera desigual en Perú, destacando la necesidad de ampliar este conocimiento a regiones subrepresentadas (Romero-Mariscal et al., 2023).

Se ha realizado una exhaustiva revisión de información en artículos científicos, tesis, informes, libros entre otros relacionados con la variabilidad y cambio climático en los humedales de Pisco. Durante este proceso, se ha constatado la escasez de información disponible sobre esta temática de gran relevancia. Por lo tanto, se destaca la necesidad de promover e incorporar este tema en las investigaciones en Perú, ya que esto contribuirá a una mejor comprensión de cómo estos ecosistemas están siendo afectados y permitirá desarrollar estrategias de conservación efectivas.

Para garantizar la sostenibilidad de los humedales de Pisco y maximizar su capacidad para mitigar el cambio climático, es fundamental implementar estrategias de gestión sostenible respaldadas por investigaciones científicas; sin embargo, la falta de financiamiento y recursos disponibles para llevar a cabo investigaciones representa un desafío significativo en el esfuerzo para conservar y gestionar adecuadamente los humedales en un contexto de cambio climático. Además, es esencial explorar temas de investigación escasamente abordados, pero de gran importancia, que pueden ofrecer una base sólida de información para una gestión y conservación efectiva de estos humedales en el contexto del cambio climático, esto temas incluye:

- Balance hídrico presente y futuro, es importante tener conocimiento de la disponibilidad del

agua y comprender cómo se está viendo afectado el equilibrio entre la entrada y salida de agua en los humedales de Pisco debido al cambio climático.

- Escenarios climáticos futuros en Pisco, esencial para adaptarse y tomar medidas adecuadas.
- Análisis multitemporal de la extensión y cambio de uso de suelos de los humedales de Pisco ante la dinámica climática.
- Estudio de los impactos de los eventos extremos, como temperaturas altas o precipitaciones intensas, que afectan a la biodiversidad, y la capacidad de los humedales para proporcionar servicios ecosistémicos.
- Evaluación del riesgo presente y futuro del humedal de Pisco frente a posibles sequías en el contexto de la variabilidad y el cambio climático.
- Análisis de riesgos de inundación en la parte baja de la cuenca del río Pisco, considerando los posibles escenarios de cambio climático.
- Dinámica del carbono en los humedales de Pisco y su contribución a la mitigación del cambio climático.
- Monitoreo de variables atmosféricas (temperatura, radiación, humedad del suelo, presión, entre otros).
- Análisis de la calidad de agua de los humedales de Pisco y cómo pueden verse afectados debido al cambio climático.
- Valoración económica de pérdidas de humedales por causas antrópicas.
- Monitoreo y modelado de los humedales de Pisco para comprender su comportamiento en respuesta al cambio climático.

Abordar estas limitaciones de conocimiento específicos mediante la realización de investigaciones con un enfoque interdisciplinario es importante para obtener una visión más completa y holística de cómo ciertos factores están relacionados con el cambio climático.

Además, de las lagunas en el conocimiento, es crucial disponer de información climática actualizada y confiable del territorio para comprender la evolución el clima en la región y cómo esos cambios pueden afectar a los humedales de Pisco. La limitada información climática dificulta la realización de investigaciones

específicas en esta zona. Se propone la instalación de más estaciones meteorológicas en la zona como una solución para recopilar datos confiables y en tiempo real, y respaldar la toma de decisiones informadas para la gestión de estos valiosos ecosistemas.

Gestión del cambio climático a nivel regional y local

El cambio climático se manifiesta en dimensiones espaciales y temporales amplias, esto implica que sus efectos son globales y a largo plazo; sin embargo, la adaptación a sus impactos debe ser implementada a escala multinivel. El nivel local es un ámbito clave para actuar ante los efectos del cambio climático, pues es donde se despliegan las políticas más cercanas al territorio y los ciudadanos (Cash et al., 2006; Feliu et al., 2015). Mientras más local sea la escala de intervención, más precisa debería de ser la información climática para determinar la vulnerabilidad futura y delinear estrategias de adaptación (Gálmez, Ortega and Villegas, 2016). Esto significa que las comunidades y autoridades locales deben tomar medidas específicas para protegerse de los efectos adversos del cambio climático. Por lo tanto, la protección de los humedales de Pisco frente a los efectos del cambio climático depende en gran medida de las políticas e instrumentos implementados a nivel local y regional; sin embargo, estas aún enfrentan desafíos como la falta de sanciones por el incumplimiento de las leyes, falta de coordinación entre diferentes niveles de gobierno y actores involucrados que son obstáculos para la protección de los humedales de Pisco. Por lo cual, es esencial coordinar las acciones locales con una perspectiva regional y conectarlas con procesos y recursos en escalas más amplias para lograr una adaptación efectiva.

Los gobiernos regionales y locales son responsables de incorporar medidas de mitigación y adaptación al cambio climático en sus planes y programas territoriales, como en el Plan de Desarrollo Concertado Regional y Local, en el Plan Estratégico Institucional, Plan Operativo Institucional, Programas Presupuestales

e instrumentos de inversión (Artículo 8 de la Ley Marco sobre Cambio Climático - Ley N° 30754⁴). La participación de la comunidad local en la gestión de humedales es esencial, para la planificación de las acciones y toma de decisiones para la protección de estos ecosistemas locales.

Los instrumentos regionales y locales para la gestión del cambio climático en los humedales de Pisco deben enfocarse en identificar, priorizar y ejecutar acciones específicas para la protección de los humedales de Pisco. Se han revisado algunos instrumentos de gestión disponibles (Tabla N° 8), considerados importantes para contribuir en la conservación específicamente de los humedales de Pisco frente al cambio climático y lamentablemente, se encontró que muchos de estos instrumentos no otorgan la atención debida a los humedales, haciendo que haya una limitada conciencia pública respecto al valor de este. Así mismo, en la Tabla N° 8, se indican algunas fortalezas y debilidades de estos instrumentos que deberían ser revisados, para mejorarlos y mantenerlos actualizados.

El interés de la sociedad civil y las organizaciones por conservar y restaurar los humedales de Pisco debe reflejarse en los instrumentos de gestión regional y local. Esto implica incorporar diversas iniciativas relacionadas con la protección de estos humedales frente al cambio climático y asignar financiamiento a proyectos específicos relacionados con la protección de los humedales. En el Presupuesto Participativo Regional (PPR), la financiación de proyectos depende de la prioridad que se le otorgue en el proceso.

⁴ Ley Marco sobre Cambio Climático y su Reglamento. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/473274-ley-marco-sobre-cambio-climatico-y-su-reglamento>

Tabla 8.

Instrumentos regionales y locales para la gestión del cambio climático en los humedales de Pisco.

Instrumento	Fortalezas	Debilidades	Sugerencias
<p>Plan de Desarrollo Regional Concertado (PDRC) https://www.ceplan.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/PRDC-FINAL_ICA.pdf</p> <p>http://www.regionica.gob.pe/pdf/transparencia_2022/pdrc/pdrc_2016_2025_ampliado.pdf</p> <p>Plan de Desarrollo Provincial Concertado (PDPC)</p>	<p>En el objetivo estratégico 4 del PDRC se prioriza la mejora de la sostenibilidad ambiental en el departamento de Ica, incluyendo la adopción medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático.</p>	<p>En el PDRC no aborda de manera específica el tema de la conservación y uso sostenible de los humedales de Pisco.</p> <p>No se tiene un Plan de Desarrollo Concertado de la Municipalidad Provincial de Pisco</p>	<p>Actualizar el PDRC y priorizar la conservación de los humedales de Pisco por su valor en la región.</p> <p>Elaborar el Plan de Desarrollo Concertado de la Municipalidad Provincial de Pisco</p>
<p>Presupuesto Participativo Regional (PPR) https://www.regionica.gob.pe/web/index.php?option=com_content&view=article&id=574&Itemid=262</p> <p>https://www.transparencia.gob.pe/enlaces/pte_transparencia_enlaces.aspx?id_entidad=10147&id_tema=28&ver=</p> <p>Presupuesto Participativo Provincial (PPP) https://www.transparencia.gob.pe/enlaces/pte_transparencia_enlaces.aspx?id_entidad=11457&id_tema=5&ver=D#_ZFK1RHbMikI</p> <p>https://drive.google.com/file/d/1gw3ouGUwYjniMQ6ln3WfHkMKv8m8ndxg/view</p>	<p>La participación ciudadana contribuye a una mayor transparencia y responsabilidad en la gestión de los recursos públicos, así como a la identificación de las necesidades reales de la comunidad y la priorización de proyectos que realmente beneficien a la población local.</p>	<p>En el PPR, en los últimos años (2019-2023) no se ha observado ninguna idea de proyecto de inversión pública vinculado a la conservación de los humedales de Pisco; por lo que no se destina recursos financieros para este fin. Lo mismo sucede en el PPP.</p>	<p>Se insta a que se otorgue la debida importancia a la conservación de los humedales de Pisco al incorporar propuestas concretas en el proceso de presupuesto participativo regional y provincial, lo que permitirá destinar recursos y esfuerzos hacia su protección y preservación.</p>
<p>Plan Estratégico Institucional (PEI) de la Municipalidad Provincial de Pisco 2019-2022 https://drive.google.com/file/d/1Qse4oNtr8qBIZNBjAlhQFyCdvluCi/view</p> <p>Plan Operativo Institucional (POI) de la Municipalidad Provincial de Pisco del 2022 https://drive.google.com/file/d/1zVW4t1vbDpAsGcEh9jY5iPH6l8k42Yo8m/view</p>	<p>Dos objetivos estratégicos del PEI contribuyen a la gestión de los humedales de Pisco. OEI. 01 Protección de la población y sus medios de vida frente a peligros de origen natural y antrópico. OEI. 04 Promover la gestión ambiental de la provincia.</p> <p>En el POI, el objetivo estratégico 9 prioriza acciones operativas a favor de los humedales de Pisco, como colocar paneles informativos sobre la importancia de los humedales, la coordinación de la limpieza de las zonas aledañas a los humedales, y la promoción de actividades de concientización en instituciones educativas y entre la población.</p>	<p>Ausencia de acciones específicas para la gestión de los humedales de Pisco ante a un escenario de cambio climático, que representa una carencia significativa en la planificación y conservación de estos ecosistemas vulnerables</p>	<p>Es necesario definir acciones concretas para la preservación de los humedales de Pisco, enfocándose principalmente en promover investigaciones sobre los humedales de Pisco y sus implicancias con el cambio climático.</p>

<p>Plan de Manejo Integrado de la Zonas Marino Costeras de la Provincia de Pisco https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2678114/ORDENANZA%20N%C2%BA%20014-2021.pdf.pdf</p>	<p>El OE 1. Promueve la conservación de los ecosistemas y su biodiversidad (humedales, islas, playas) de la ZMC de Pisco,</p> <p>El OE 8. Incrementa la concientización de la población en el cuidado de los ecosistemas de la ZMC de Pisco.</p>	<p>La selección de eventos futuros se ha limitado a considerar únicamente el fenómeno de El Niño como un evento climático que afecta las Zonas Marino-Costeras (ZMC). Sin embargo, se omite la especificación de otros eventos climáticos extremos que también representan amenazas significativas para los humedales.</p>	<p>Se sugiere que se prioricen algunas acciones específicas dentro de los objetivos generales. Esto permitirá una asignación más eficiente de recursos y esfuerzos para abordar las amenazas críticas que enfrentan estos ecosistemas.</p>
<p>Estrategia Regional de Cambio Climático (ERCC-Ica) https://www.regionica.gob.pe/pdf/grnma/2015/ercc_1.pdf</p>	<p>Uno de sus puntos fuertes radica en su enfoque estratégico, que incluye la formulación de proyectos de adaptación basados en la restauración, conservación y protección de los ecosistemas.</p>	<p>La descripción de las características climáticas para la región es demasiado genérica y carece de detalles específicos que serían importantes para comprender mejor el clima de la zona.</p>	<p>En la próxima actualización de la ERCC, incorporar estudios especializados relacionados con el tema climático, citando investigaciones relevantes para mejorar la base de información.</p>
<p>Plan de prevención y reducción del riesgo de desastre de la región de Ica 2022-2024 https://www.regionica.gob.pe/pdf/transparencia_2022/resoluciones/gr/283_2022_gr_anexo.pdf</p>	<p>Se considera el aspecto ambiental, y se destaca la pérdida de ecosistemas y déficit del recurso hídrico por el agotamiento de las napas freáticas. lo que evidencia su compromiso con la conservación de la biodiversidad y la preservación de ecosistemas importantes.</p>	<p>La información disponible sobre el aspecto ambiental es muy general y no se tiene mayor precisión para los humedales de Pisco, que podrían ser de utilidad para comprender en profundidad la gestión ambiental de estos ecosistemas.</p>	<p>En la estimación, prevención y reducción del riesgo de desastres, no solo considerar la infraestructura, o la población, sino también el ecosistema de los humedales de Pisco.</p>

Las autoridades regionales y locales son responsables de elaborar, aprobar, implementar, monitorear, evaluar y actualizar la Estrategia Regional de Cambio Climático (ERCC) y el Plan Local de Cambio Climático, según corresponda, de conformidad con la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) y con sus instrumentos de gestión territorial vigentes, considerando los periodos de actualización de su Plan de Desarrollo Regional/Local Concertado, de conformidad con lo establecido en el artículo 10, 11 y 23 del Reglamento de la Ley Marco sobre Cambio Climático (RLMCC), considerando las acciones de cambio climático definidas en los planes

de vida de los pueblos indígenas u originarios, y con la participación de actores no estatales, como los pueblos indígenas u originarios.

El Ministerio del Ambiente (MINAM) por su parte, desempeña una función fundamental al brindar asistencia técnica a los gobiernos regionales para la elaboración de estrategias y planes relacionados con el cambio climático. Esto se logra a través de lineamientos metodológicos que guían la formulación y actualización de Planes Locales de Cambio Climático (PLCC)⁵, y Lineamientos metodológicos para la formulación y actualización de Estrategias Regionales de Cambio Climático⁶.

5 RM N° 196-2021-MINAM. Lineamientos metodológicos para la formulación y actualización de Planes Locales de Cambio Climático. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/2229632-196-2021-minam>

6 RM N° 152-2021-MINAM. Lineamientos metodológicos para la formulación y actualización de Estrategias Regionales de Cambio Climático. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/2076007-152-2021-minam>

Para garantizar la efectividad en la elaboración y/o actualización de planes y estrategias, se enfatiza la necesidad de que los gobiernos regionales y locales se respalden en información técnica-científica actualizada de fuentes oficiales, los conocimientos tradicionales de los pueblos indígenas u originarios, percepción local y en el uso de herramientas participativas. El propósito fundamental de este proceso es reducir la vulnerabilidad de las poblaciones, ecosistemas, bienes y servicios, infraestructuras y territorios dentro de la jurisdicción de los gobiernos regionales frente a los efectos adversos del cambio climático y fortalecer su capacidad de adaptación.

Es importante destacar que la acción gubernamental en relación al cambio climático está respaldada por la Ley Marco sobre Cambio Climático (LMCC) y su reglamento (RLMCC), que proporciona un marco legal sólido para abordar este desafío ambiental. La buena gobernanza es un componente esencial para la gestión exitosa de los humedales, y requiere ser flexible, transparente, inclusiva, y que se incorpore nuevos conocimientos ([Convención de Ramsar, 2018](#)). Por lo cual, es importante fortalecer y garantizar la continuidad de los roles de los gobiernos regionales y locales en los procesos de gobernanza para la protección de humedales. Además, se debe fomentar la colaboración y coordinación entre todas las partes involucradas para no duplicar esfuerzos, sino complementarlos. Esto contribuirá a una protección más efectiva y a la promoción de la conciencia pública sobre el valor de los humedales en la región.

Conclusiones

El presente trabajo evaluó la variabilidad climática en los humedales de Pisco, con énfasis en las variables de temperatura y precipitación, así mismo; se destaca la importancia de los humedales de Pisco como un ecosistema valioso y vulnerable en el contexto del cambio climático. Los hallazgos encontrados revelan lo siguiente:

- La degradación de los humedales de Pisco se debe a múltiples presiones humanas, como la contaminación, el cambio de uso de suelos

debido al desarrollo urbano acelerado, y a la expansión agrícola, y se agrava por el cambio climático.

- A pesar de los avances realizados en el inventario de los humedales costeros de Pisco, persiste la falta de información precisa debido a la gran cantidad y reducida extensión de muchos de estos humedales.
- La disponibilidad de datos observados de series largas es limitada; por lo cual, el análisis se complementó con información de productos grillados PISCO para temperatura y precipitación; sin embargo, solo la temperatura tuvo una representación adecuada del comportamiento observado.
- El clima en los humedales de Pisco es árido. La temperatura promedio es de 20.3 °C y varían estacionalmente, máximas en febrero (28.3 y 30 °C) y mínimas en julio y agosto (11.8 y 14.3 °C). Las precipitaciones son escasas, oscilando entre 0.8 mm y 10.6 mm por año. Además, la distribución de las lluvias muestra patrones interesantes, al este de la zona de estudio, presenta un pico de precipitación en verano, mientras que, al oeste de la zona, se observan dos picos de lluvia en febrero y junio.
- La temperatura en esta zona es fuertemente influenciada por la TSM de la región Niño 1+2. Durante eventos El Niño, se incrementa la temperatura, reflejándose en años cálidos, y se incrementan en más del 20 % los días y noches cálidas. En contraste, durante eventos La Niña, las temperaturas descienden, reflejándose en años fríos y se incrementa los porcentajes de días y noches frías.
- Las tendencias climáticas evidencian un incremento sostenido en las temperaturas, especialmente durante la noche (Tmin), con una tasa de +0.2 °C por década. Así mismo hay aumento en los días y noches cálidos, y temperaturas extremas máximas. Por el contrario, hay una disminución en las noches frías. Estas tendencias son consistentes con los patrones típicos del cambio climático global.
- Los escenarios climáticos proyectan un aumento significativo de las temperaturas en el

rango de +2.0 a +2.4 °C y una disminución considerable de la precipitación hasta el 45 % en la zona de los humedales de Pisco para el año 2050.

- Ante la evidente escasez de estudios sobre la variabilidad y el cambio climático en los humedales de Pisco, es necesario priorizar investigaciones para garantizar la sostenibilidad de los humedales de Pisco basados en el conocimiento científico.
- La protección de los humedales de Pisco frente al cambio climático depende en gran medida de la implementación efectiva de políticas, e instrumentos de gestión a nivel local y regional.

Recomendaciones

Es esencial colaborar con las autoridades pertinentes para desarrollar un inventario integral de los humedales en todo el país, incluyendo los de Pisco. Esto proporcionará una base sólida para la gestión y la conservación de estos ecosistemas.

Dada la limitada disponibilidad de series largas de datos observados, es importante fortalecer los sistemas de monitoreo climático en los humedales de Pisco, lo que puede incluir la instalación de estaciones meteorológicas adicionales.

Los regímenes pluviométricos podrían ser analizados en nuevos estudios mediante el análisis de patrones de la circulación atmosférica y la interacción océano atmósfera en la generación de lluvia. Además, según las proyecciones de aumento de temperatura

y disminución de la precipitación, se deben desarrollar estrategias de adaptación específicas para los humedales de Pisco, como la restauración de humedales degradados, la implementación de prácticas agrícolas sostenibles y la gestión adecuada de los recursos hídricos.

Asimismo, se debe promover y financiar investigaciones científicas que se centren en ampliar el conocimiento sobre los efectos del cambio climático en los humedales de Pisco, incluyendo el balance hídrico, los escenarios climáticos futuros, los impactos de los eventos extremos, la dinámica del carbono, entre otros. Las estrategias de gestión de los humedales de Pisco deben basarse en la evidencia científica obtenida a través de las investigaciones.

La protección de los humedales de Pisco frente al cambio climático requiere la colaboración de diversos actores, incluyendo el gobierno local, regional y nacional, así como instituciones públicas, organizaciones no gubernamentales, la comunidad científica, entre otros. Es importante establecer alianzas y coordinar esfuerzos para abordar de manera efectiva estos desafíos, y el Ministerio del Ambiente (MINAM) juega un papel crucial en la gestión y protección de los humedales de Pisco por lo que es importante respaldar sus esfuerzos y promover políticas, planes y estrategias que estén basados en la investigación científica y que aborden adecuadamente el cambio climático en la región.

Referencias

ANA (2014). Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas. 1ra edn. Edited by N. Santillan and A.

Cochachin. Huaraz, Perú: Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos - Autoridad Nacional del Agua.

ANA (2018). Estudio Piloto: Inventario de Humedales en el Ámbito de la ALA Pisco. Repositorio ANA. 1st edn. Edited by ANA. Lima, Perú: Autoridad Nacional del Agua -ANA.

ANA (2020). Minagri realiza inventario nacional de lagunas y humedales. Available at: <https://www.ana.gob.pe/noticia/minagri-realiza-inventario-nacional-de-lagunas-y-humedales> (Accessed: 6 August 2023).

Aybar, C. et al. (2020). Construction of a high-resolution gridded rainfall dataset for Peru from 1981 to the present day, *Hydrological Sciences Journal*, 65(5), pp. 770–785. doi: 10.1080/02626667.2019.1649411.

Bergkamp, G. and Orlando, B. (1999). Los humedales y el cambio climático. Available at: <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/dn1999-9papers.pdf>

Blanco, J. L. (2023) Informe final - Diagnostico técnico legal de los humedales priorizados de la provincia Pisco- Ica. Ica, Perú.

Cash, D. W. et al. (2006). Scale and Cross-Scale Dynamics: Governance and Information in a Multilevel World, *Ecology and Society*, 11(2). doi: [10.5751/es-01759-110208](https://doi.org/10.5751/es-01759-110208).

Castro, A. et al. (2020). Climas del Perú - Mapa de Clasificación Climática Nacional. SENAMHI PERÚ. 1ra edn. Lima, Perú: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI, Proyecto apoyo a la gestión del Cambio Climático.

Convención de Ramsar (2018). Informe Nacional sobre la Aplicación de la Convención de Ramsar sobre humedales. Dubai, Emiratos Árabes Unidos: Informes Nacionales que se presentarán a la 13ª Reunión de la Conferencia de las Partes Contratantes.

Convención de Ramsar sobre los Humedales (2018). Perspectiva mundial sobre los humedales: Estado de los humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas 2018. 1st edn. Edited by N. Dudley. Gland, Suiza: Secretaría de la convención de Ramsar.

Feliu, E. et al. (2015). Guía para la elaboración de planes locales de adaptación al cambio climático. 1st edn. Edited by J. Picatoste and R. Garza. Madrid, España: Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Fernandez-Palomino, C. A. et al. (2022). A Novel High-Resolution Gridded Precipitation Dataset for Peruvian and Ecuadorian Watersheds: Development and Hydrological Evaluation, *Journal of Hydrometeorology*, 23(3), pp. 309–336. doi: [10.1175/JHM-D-20-0285.1](https://doi.org/10.1175/JHM-D-20-0285.1).

Gálmez, V., Ortega, A. and Villegas, E. (2016). CAMBIO CLIMATICO EN LAS CUENCAS DE LOS RÍOS ICA Y PISCO: Delineando estrategias de adaptación al cambio climático a nivel local con los aportes del Proyecto Adaptación al cambio climático y reducción de riesgo de desastres en cuencas priorizadas de Ica y Huancavelica (ACCIH). Edited by J. Salas and C. Caballero. Lima, Perú: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y Cooperación Alemana, implementada por Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

Gamarra, E. (2021). Elaboración del inventario nacional y clasificación de los humedales costeros con base en la Estrategia Nacional de Humedales para la toma de decisiones para su conservación y protección, 2012-2018. Tesis de grado. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

Gobierno Regional de Ica (2014). Estrategia Regional de Cambio Climático de ICA. Edited by P. Garavito. Ica, Perú: Gobierno Regional de Ica.

Huerta, A., Aybar, C., et al. (2022). High-resolution grids of daily air temperature for Peru - the PISCOt v1.2 dataset. doi: [10.31223/X5P93V](https://doi.org/10.31223/X5P93V).

Huerta, A., Bonnesoeur, V., et al. (2022). PISCOeo_pm, a reference evapotranspiration gridded database based on FAO Penman-Monteith in Peru, *Scientific Data*, 9(1), pp. 1–18. doi: [10.1038/s41597-022-01373-8](https://doi.org/10.1038/s41597-022-01373-8).

Huerta, A., Aybar, C. and Lavado-Casimiro, W. (2018). PISCO temperatura versión 1.1 (PISCOt v1.1), SENAMHI - DHI-2018. Lima - Perú.

IGP (2022) HUMEDALES COSTEROS DEL PERÚ: PISCO - ICA. 1ra edn. Edited by A. Martinez and M. Mendoza. Lima, Perú: Instituto Geofísico del Perú.

INAIGEM (2023). Memoria descriptiva inventario nacional de bofedales 2023. 1ra edn. Huaraz, Perú: Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM).

INDECI - UNICA (2001) Mapa de peligros, plan de uso de suelos y propuesta de medidas de mitigación de los efectos producidos por los desastres naturales de la ciudad de Pisco. Ica, Perú: Marco del Convenio Interinstitucional y Convenio Específico suscrito entre el Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI y la Universidad Nacional “San Luis Gonzaga de Ica” - UNICA.

IPCC (2014). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Top-level findings from the Working Group II AR5 summary for policymakers. New York, USA.

IPCC (2023) Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report, Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland. doi: [10.59327/IPCC/AR6-9789291691647001](https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647001).

Kendall, M. G. (1975) Rank correlation methods. 4th edn. London, U.K.: Charles Griffin.

Klein, A. M. G., Zwiers, F. W. and Zhang, X. (2009). Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. Climate Data and Monitoring. 1st edn. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization.

Llaza, A. et al. (2021). Escenarios climáticos al 2050 en el Perú: Cambios en el clima promedio. Lima, Perú: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI.

Mann, H. B. (1945). Nonparametric Tests Against Trend, *Econometrica*, 13(3), pp. 245–259. doi: [10.2307/1907187](https://doi.org/10.2307/1907187).

Mckee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales, AMS 8th Conference on Applied Climatology, (January), pp. 179–184.

Meng, L. et al. (2016). Focus on the impact of climate change on wetland ecosystems and carbon dynamics, *Environmental Research Letters*, 11(10), pp. 1–4. doi: [10.1088/1748-9326/11/10/100201](https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/10/100201).

MINAM (2019). Diagnóstico sobre el estado situacional actual de los Humedales Costeros. Informe Preliminar. Lima, Perú.

MINAM (2020). Identificación, delimitación y tipificación de los humedales costeros de los departamentos de Lima e Ica. Lima, Perú.

Moya, B. V., Hernández, A. E. and Elizalde Borrell, H. (2005). Los humedales ante el cambio climático, *Investigaciones Geográficas*, (37), p. 127. doi: [10.14198/ingeo2005.3707](https://doi.org/10.14198/ingeo2005.3707).

Newton, A. et al. (2020). Anthropogenic, Direct Pressures on Coastal Wetlands, *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8(July), pp. 1–29. doi: [10.3389/fevo.2020.00144](https://doi.org/10.3389/fevo.2020.00144).

Ore, E. (2019). Estimación de la captura de CO₂ en el humedal caucato del área de conservación regional de Ica. Tesis de doctorado. Universidad Nacional San Luis Gonzaga.

Oria, C. et al. (2013). Evaluación de los modelos CMIP5 del IPCC en el Perú : Proyecciones al año 2030 en la región Ica, Reporte ejecutivo. Lima, Perú: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI.

PNUMA and CONAM (2007). Informe sobre el estado del ambiente Geo Bahía Paracas-Pisco. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Consejo Nacional del Ambiente. Lima, Perú: Consejo Nacional del Ambiente.

ProNaturaleza (2010). Documento base para la elaboración de una estrategia de conservación de los Humedales de la costa peruana. 1st edn. Edited by E. Angulo. Lima, Perú: Conservación Internacional y RAMSAR.

Quijano Vargas, J. J. (2013). Estudio numerico y observacional de la frente a la costa de Ica-Perú. Tesis de Maestría. Universidad Peruana Cayetano Heredia.

Quispe, M. A. (2020) Valoración económica del servicio de ecoturismo en los humedales de Pisco, a partir del método de valoración contingente. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Reynolds, R. W. et al. (2002). An improved in situ and satellite SST analysis for climate, *Journal of Climate*, 15(13), pp. 1609–1625. doi: [10.1175/1520-0442\(2002\)015<1609:AISAS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<1609:AISAS>2.0.CO;2).

Romero-Mariscal, G. et al. (2023). Peruvian Wetlands: National Survey, Diagnosis, and Further Steps toward Their Protection, *Sustainability (Switzerland)*, 15(10). doi: [10.3390/su15108255](https://doi.org/10.3390/su15108255).

Salimi, S., Almuktar, S. A. A. N. and Scholz, M. (2021). Impact of climate change on wetland ecosystems: A critical review of experimental wetlands, *Journal of Environmental Management*, 286 (February), p. 112160. doi: [10.1016/j.jenvman.2021.112160](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112160).

Sen, P. K. (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau, *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), pp. 1379–1389. doi: [10.2307/2285891](https://doi.org/10.2307/2285891).

Tabilo-Valdivieso, E. et al. (2021). Percepción de los pobladores de Caleta El Toro sobre los recursos de la desembocadura del río Limarí (Chile) y su contribución para convertirse en Sitio Ramsar, *Arnaldoa*, 28(2), pp. 397–408. doi: <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.282.28209>

Tabilo E et al. (2017) Humedales y aves playeras en la costa árida del Pacífico Sudamericano. Evaluación Ecológica Rápida. Segunda versión. Centro Neotropical de Entrenamiento en Humedales, Manfred-Hermsen-Stiftung.

Volpedo, A., Bianconi, A.-L. and Fernández, A. (2007). Las funciones en humedales costeros de la misma altitud (26° - 36°): Tres casos de estudio, in Castro, M. and Fernández, L. (eds) *Gestión Sostenible de Humedales*. Buenos Aires, Argentina.

Zevallos, J. and Lavado-Casimiro, W. (2022). Climate Change Impact on Peruvian Biomes, Forests, 13(2). doi: [10.3390/f13020238](https://doi.org/10.3390/f13020238).

Zhang, X., Feng, Y. and Chan, R. (2018). Introduction to RCLimDex v1.9, Climate Research Division Environment Canada. Ontario, Canada, pp. 1–26.

TERCERA PARTE

**ANÁLISIS DEL
POTENCIAL DE
LICUACIÓN DE SUELOS
RELACIONADOS A
LOS HUMEDALES
COSTEROS DE LA
MARGEN IZQUIERDA
DEL RÍO PISCO**

B. Baez , S. Ortiz y J.C. Gómez



Análisis del potencial de licuación de suelos relacionados a los humedales costeros de la margen izquierda del río Pisco

B. Baez⁷, S. Ortiz y J.C. Gómez

Resumen

Los humedales costeros de Pisco están situados en una zona de alta actividad sísmica, donde parte de los suelos de la margen izquierda del río Pisco presentan composición arenosa y arena limosa, están saturados y con baja cohesión, y son propensos a la licuación de suelos ante un sismo de gran magnitud, y, en consecuencia, se producen hundimientos y agrietamientos de terrenos, como lo ocurrido con el sismo de Pisco del 2007, de 7.9 Mw, que afectó zonas urbanas y rurales. Los humedales y sus entornos más próximos también fueron afectados, sin embargo, los estudios que abordan el tema, solo se han enfocado en lugares que contienen infraestructuras; por ello, y dada la importancia de la preservación de los humedales para los ecosistemas desarrollados y futuros, se realizó esta investigación con el fin de contribuir al conocimiento y generación de información del comportamiento de los suelos contiguos a los humedales ante este tipo de eventos.

Los trabajos de campo permitieron identificar zonas de ocurrencia de licuación de suelos relacionados

a los humedales; se delimitaron las áreas de estudio (sectores: Pisco Playa Sur, Bellavista, Costa Rica y Bernales), en las que se distribuyeron y ejecutaron 26 ensayos DPL (penetración dinámica ligera) y 5 calicatas, y se obtuvieron muestras para análisis de granulometría, plasticidad, humedad y corte directo. El cálculo del potencial de licuación, se realizó mediante el método simplificado de Seed et al. (1985), previa correlación DPL vs SPT (ensayos de penetración estándar); y se usó software GIS para la delimitación de zonas licuables y no licuables.

Los mapas de potencial de licuación de suelos, muestran áreas sujetas a ser licuables con un F.S.<1, en los humedales estudiados y sus zonas contiguas, inclusive en humedales desaparecidos y rellenados. son propensos a ser licuables en sus zonas contiguas. Ante los efectos de licuación, como el hundimiento, agrietamiento y elevación del nivel freático, los humedales son afectados temporalmente de forma negativa debido a la inundación, pero al paso del tiempo son favorecidos en su extensión, por lo que

⁷ belinia.baez@gmail.com

se debe considerar los alcances del potencial de licuación a sus alrededores. Los resultados del estudio también indican que, en el sector Pisco Playa Sur, las áreas con alto potencial de licuación tienen un mayor alcance en la parte septentrional, cerca de la Boca de Río. El sector de Bellavista es licuable en la mayor parte de la llanura aluvial, en zonas que probablemente fueron ocupadas por antiguos humedales. Por su parte

los sectores Costa Rica y Bernales presentan zonas licuables ubicadas alrededor de los oasis, totorales y humedales desaparecidos.

Palabras clave: Potencial de licuación, humedales, licuefacción de suelos

Introducción

La zona costera del Perú es la de mayor riesgo ante la ocurrencia de sismos de alta magnitud, que frecuentemente tiene como efectos secundarios a los procesos de licuación de suelos (Tavera, 2014). Durante la licuación o denominada también licuefacción, determinados tipos de suelo (generalmente arenosos y arena limosos, de baja cohesión y saturados en agua), pierden bruscamente su resistencia mecánica ante una carga dinámica rápida, que al momento del suceso, tiene un comportamiento similar al de un fluido y genera importantes deformaciones en el sustrato (INGEOMINAS, 2003), como lo sucedido durante el sismo del 15 de agosto de 2007, de magnitud 7.9 en la escala de Ritter, a 39 km al oeste de la ciudad de Pisco, donde se reportaron múltiples casos de licuación, considerando los daños causados en zonas urbanas e infraestructura de transporte (Tavera et al., 2007; Olcese y Zegarra, 2007), sin embargo, a pesar de que hay registros de licuación cerca de los humedales actuales y humedales desaparecidos por relleno antrópico, no se cuentan con estudios específicos en estos lugares.

Las zonas adyacentes a los humedales costeros, ubicados en la margen izquierda del río Pisco, cumplen con las condiciones para ser susceptibles ante la licuación de suelos, debido a que presentan niveles freáticos entre 0 y 3 m desde la superficie; además, según los estudios del Instituto Nacional de Defensa Civil, Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, CESEL Ingenieros S.A., & Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (2008) realizados en Pisco y San Andrés, los sectores Pisco Playa y Bellavista estarían constituidos mayormente

por arena limosa de compacidad suelta a muy suelta; por otro lado, en el distrito de Humay, los sectores Costa Rica y Bernales presentan niveles de arena y arena limosa, y según los pobladores, se produjeron hundimientos y grietas con expulsiones de agua y arena, que, sin embargo, no fueron registrados en estudios anteriores, ya que solo afectaron zonas agrícolas, las cuales eran consideradas menos importantes. De esta manera, los humedales analizados, están expuestos a hundimientos, levantamientos, agrietamientos, movimientos horizontales, etc., que afectan el equilibrio de los ecosistemas; y aunque existen numerosos estudios de licuación en zonas urbanas debido a la afectación de infraestructuras, son escasos los estudios dedicados a las zonas aledañas a humedales, las cuales son de suma importancia para la preservación de los ecosistemas desarrollados en su entorno y este conocimiento permite conocer los alcances del territorio en aras de una coexistencia en equilibrio de las actividades humanas con la naturaleza.

El objetivo de este estudio es generar información del comportamiento de los suelos ante los procesos de licuación, en las zonas relacionadas a los conjuntos de humedales costeros ubicados en la margen izquierda del río Pisco, mediante el método de Seed et al. (1985), y con ello, analizar el impacto en los humedales; para tal propósito, se realizaron 26 ensayos DPL (penetración dinámica ligera) y 5 calicatas, distribuidas en los sectores Pisco Playa Sur, Bellavista, Costa Rica y Bernales, generando mapas de potencial de licuación, que muestran a las áreas licuables en los humedales actuales y sus bordes, así como en humedales desaparecidos y rellenados.

Materiales y métodos

La metodología de trabajo comprende las etapas de: campo, laboratorio, procesamiento de datos y análisis de resultados. Previo a ello, se recopiló y analizó la información de los antecedentes de ocurrencia de licuación de suelos y los principales factores involucrados como la sismicidad, el nivel freático y el tipo de suelo de las zonas adyacentes a los humedales.

Se realizó una primera campaña de campo, con el objetivo de identificar las zonas susceptibles a licuación de suelos, relacionadas a los humedales costeros, la cual consistió en la visita de las áreas adyacentes a los humedales, donde anteriormente se reportaron algunos de los efectos de la licuación de suelos, tales como hundimientos de terreno, agrietamientos y expulsión de la mezcla arena-agua, producidos como consecuencia del sismo de Pisco del 2007. De acuerdo con la información obtenida, se delimitaron cuatro áreas de estudio, que involucran los principales

conjuntos de humedales que serían afectados ante un evento de licuación de suelos, y se propuso distribuir los ensayos geotécnicos para su estudio.

La segunda campaña de campo consistió en la ejecución de los ensayos geotécnicos propuestos; se realizaron veintiséis (26) ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL), con un equipo metálico (Figura 1a) compuesto por varillas y un martillo que se deja caer por gravedad desde una altura de 0.50 m respecto al tambor que recibe el golpe, en el que contabiliza el número de golpes por cada tramo de 10 cm que entre en el suelo, permitiendo estimar la resistencia del material en kg/cm^2 ; asimismo, mediante una retroexcavadora se efectuaron cinco (5) calicatas, hasta una profundidad promedio de 3 m (Figura 1b), con el objetivo de describir la composición del material, realizar pruebas de densidad y obtener muestras de suelo para su posterior análisis en laboratorio.



Figura 1. a) Equipo de Penetración Dinámica Ligera (DPL). Sector Boca de Río, Pisco Playa Sur. b) Calicata CA-03, sector Pampa de Ocas, distrito de San Andrés. c) Calicata CA-03, donde se observa el nivel freático a 2.50 m de profundidad y la composición de suelos con alto potencial de licuación. Créditos: IGP.



En la etapa de laboratorio se analizaron las muestras de campo, mediante ensayos de granulometría, plasticidad, humedad y corte directo (capacidad de carga admisible). Para el procesamiento de datos, se usaron tablas dinámicas en formato Excel y software GIS para la elaboración de los mapas de potencial de licuación a escala 1:20 000 para Pisco Playa Sur y escala 1:10 000 para los sectores de Bellavista, Costa Rica y Bernales.

Para la evaluación del potencial de licuación, se usó el método simplificado de Seed et al. (1983), basado en ensayos de penetración estándar (SPT), donde los valores obtenidos del número de golpes de los ensayos DPL (Ndpl) fueron correlacionados con el número de golpes ensayos de penetración estándar (Nspt), con el fin de determinar el ángulo de fricción interna corregido y la cohesión, los cuales son de utilidad en el cálculo de potencial de licuación. Finalmente, el análisis de los resultados se encuentra enfocado en los mapas de potencial de licuación de cada sector estudiado, y la relación con los conjuntos de humedales.

Resultados y análisis

Identificación de puntos de ocurrencia a licuación de suelos

La información precedente y la comprobación en campo indican que los humedales de la margen derecha del río Pisco, en los sectores de San Clemente y Pisco Playa Norte, fueron poco afectados con el proceso de licuación, debido a la presencia de afloramientos rocosos de la formación Pisco y los tipos de suelos mayormente de composición arcillosa-limosa, como puede observarse en el mapa de suelos elaborado por Carrillo (2016), los cuales tienden a no ser susceptibles a la licuación, razón por la cual se descarta su análisis en este estudio. El enfoque del presente estudio se orientó hacia los terrenos relacionados a los humedales ubicados en la margen izquierda del río, los cuales cuentan con registros de los efectos de licuación del sismo del 2007, e incluso

actualmente, aún es posible observar la permanencia de sus estragos (Figuras 3, 4 y 5).

De acuerdo a la primera campaña de campo, se recorrieron las zonas aledañas a los humedales, en donde anteriormente se reportó la ocurrencia de licuación de suelos y sus efectos (hundimientos, agrietamientos, expulsión de arena-agua, etc); en base a ello y con el fin de analizar la afectación del potencial de licuación en el sistema de humedales costeros de Pisco, se delimitaron cuatro áreas de estudio (Pisco Playa Sur, Bellavista, Costa Rica y Bernales) que contienen a los principales grupos de humedales costeros de la margen izquierda del río Pisco (Figura 2).

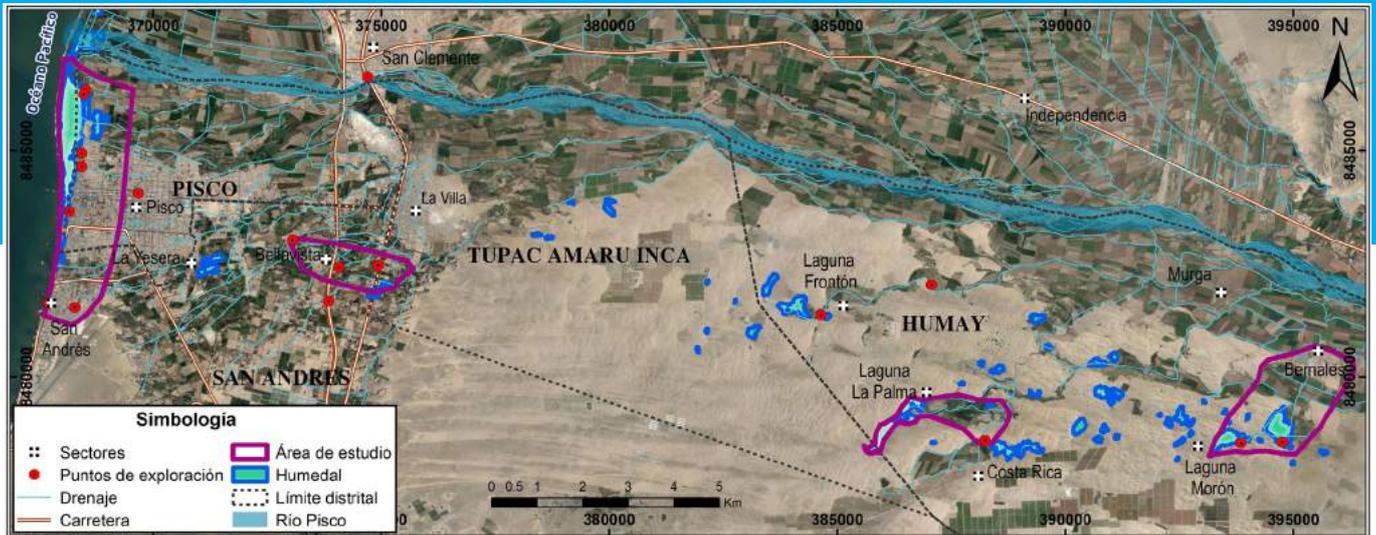
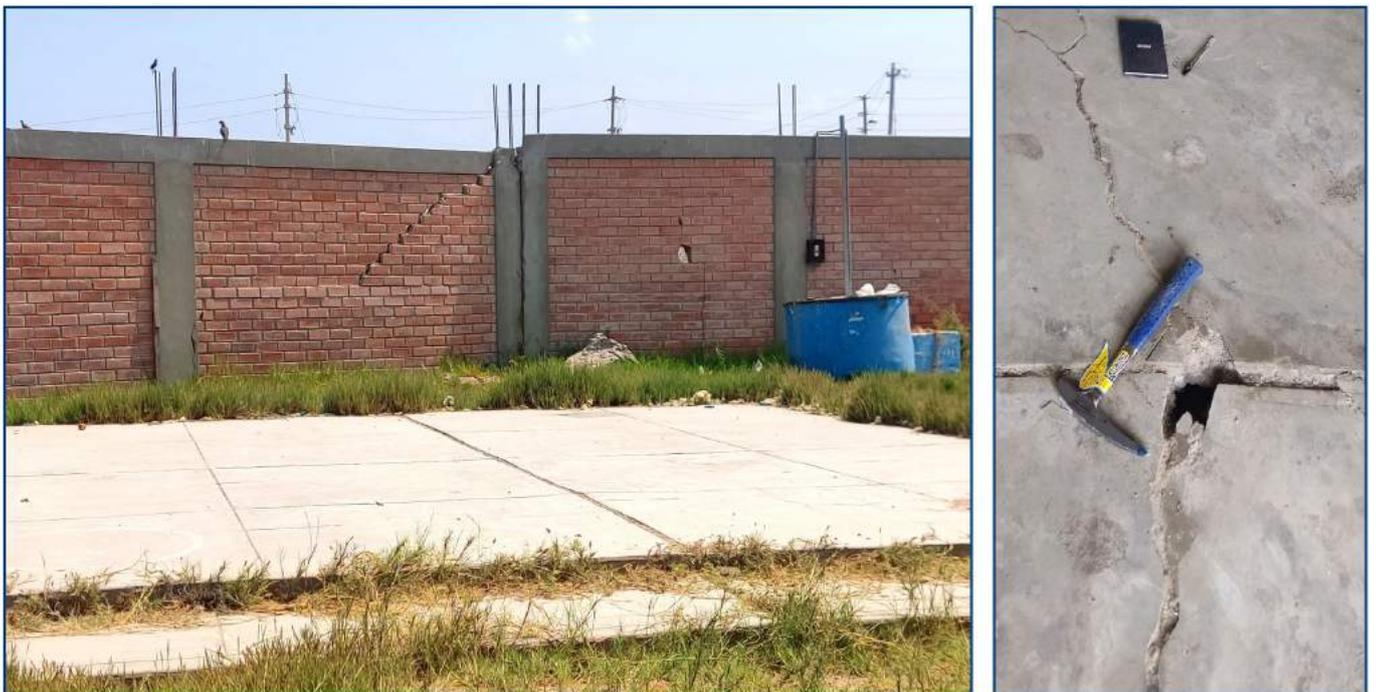


Figura 2. Mapa de ubicación de los puntos de exploración donde se reportaron la ocurrencia de licuación de suelos, y áreas de estudio de los sectores Pisco Playa Sur, Bellavista, Costa Rica y Bernales (de izquierda a derecha). Elaboración: IGP.



(a)

(b)

Figura 3. a) Cerco de la escuela 22749-Virgen de Rosario, que se encuentra agrietado y desnivelado por efecto de licuación de suelos. b) Piso de salón de clase, agrietado y levantado, por donde salió una mezcla de arena y agua, como efecto de la licuación de suelos. Créditos: IGP.



Figura 4. Vivienda asentada, 1 m de hundimiento, donde ha crecido totora, ubicado en la calle Alfonso Ugarte, a 50 m de la Av. Demetrio Miranda. Créditos: IGP.



a)

(b)

Figura 5. a) Vivienda deshabitada, asentada, con 30 cm de hundimiento, donde ha crecido grama; ubicado en la prolongación de la Av. Manuel Pardo, cerca del sector Pisco Playa - Boca de Río. **b)** Grieta paralela a línea litoral, con una abertura de hasta 10 cm, y una extensión aproximada de 10 m que cruza la vivienda mencionada. Créditos: IGP.

Correlación DPL con el SPT

De acuerdo con la norma ASTM D1586, los valores obtenidos del número de golpes del ensayo DPL (NDPL) fueron correlacionados con el número de golpes del ensayo de penetración estándar (NSPT), con el fin de determinar el ángulo de fricción interna corregido, y obtener los parámetros para el cálculo del potencial de licuación (Ortiz y Gómez, 2020); la Figura 6 muestra la tabla de cálculo y diagrama de correlación para el ensayo DPL-25.

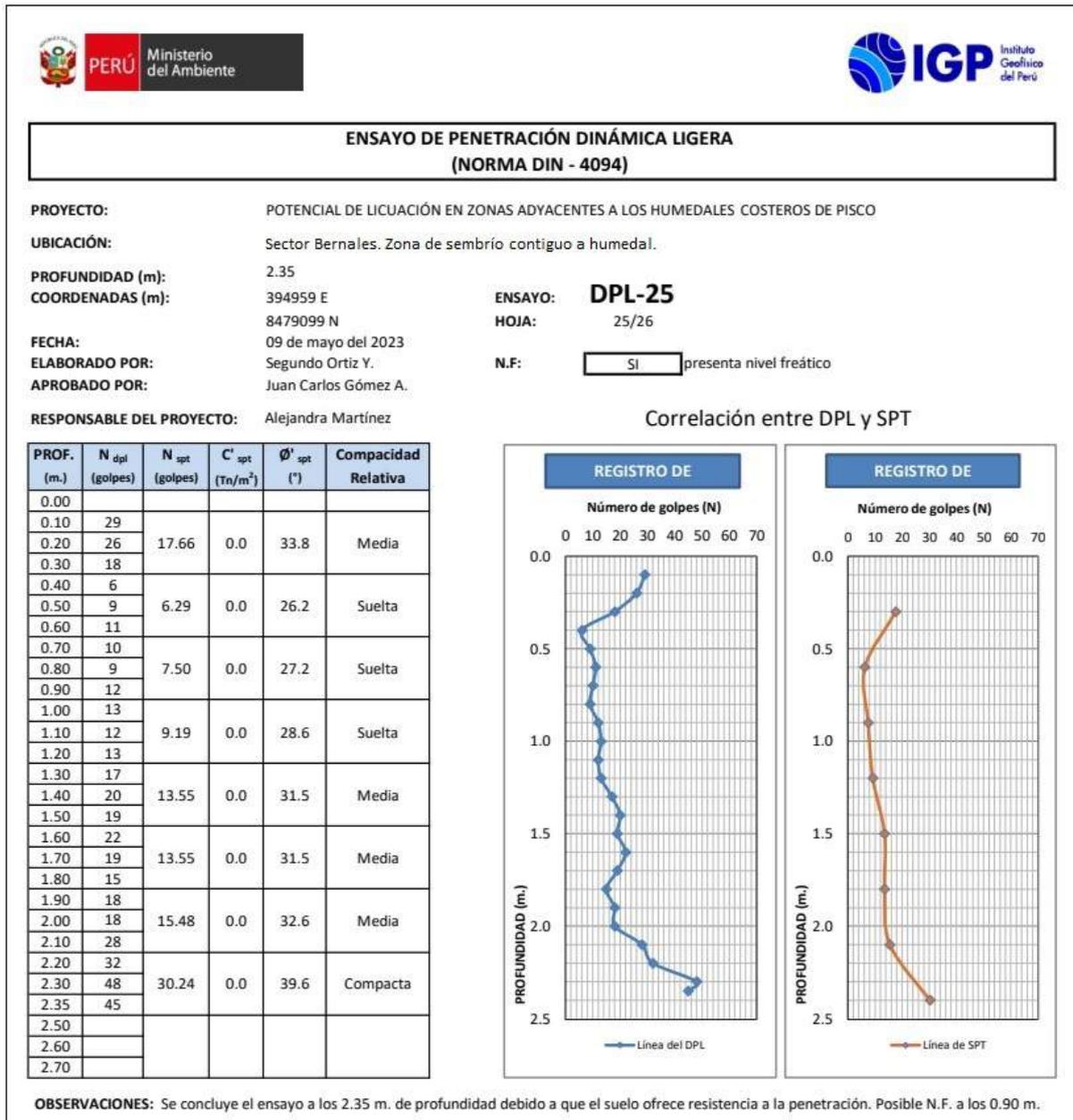


Figura 6. Diagrama de correlación entre el número de golpes del DPL y el número de golpes del SPT, y cálculo del ángulo de fricción interna corregido.

Cálculo del potencial de licuación

El cálculo del potencial de licuación por el método de Seed et al. (1983) requiere de la relación de tensión cíclica (CSR) que representa la relación de tensiones de corte y la tensión efectiva vertical de un estrato de suelo en respuesta a la aceleración horizontal máxima ejercida por un evento sísmico, en comparación con la relación de resistencia cíclica (CRR) que es la capacidad para resistir la licuación de suelos. Para considerar que los suelos son licuables, el factor de seguridad (F.S.) debe ser menor a 1, siendo $F.S. = CSR/CRR$ (Youd et al.) La Figura 7 muestra la tabla de evaluación de potencial de licuación realizada en el ensayo DPL-25.

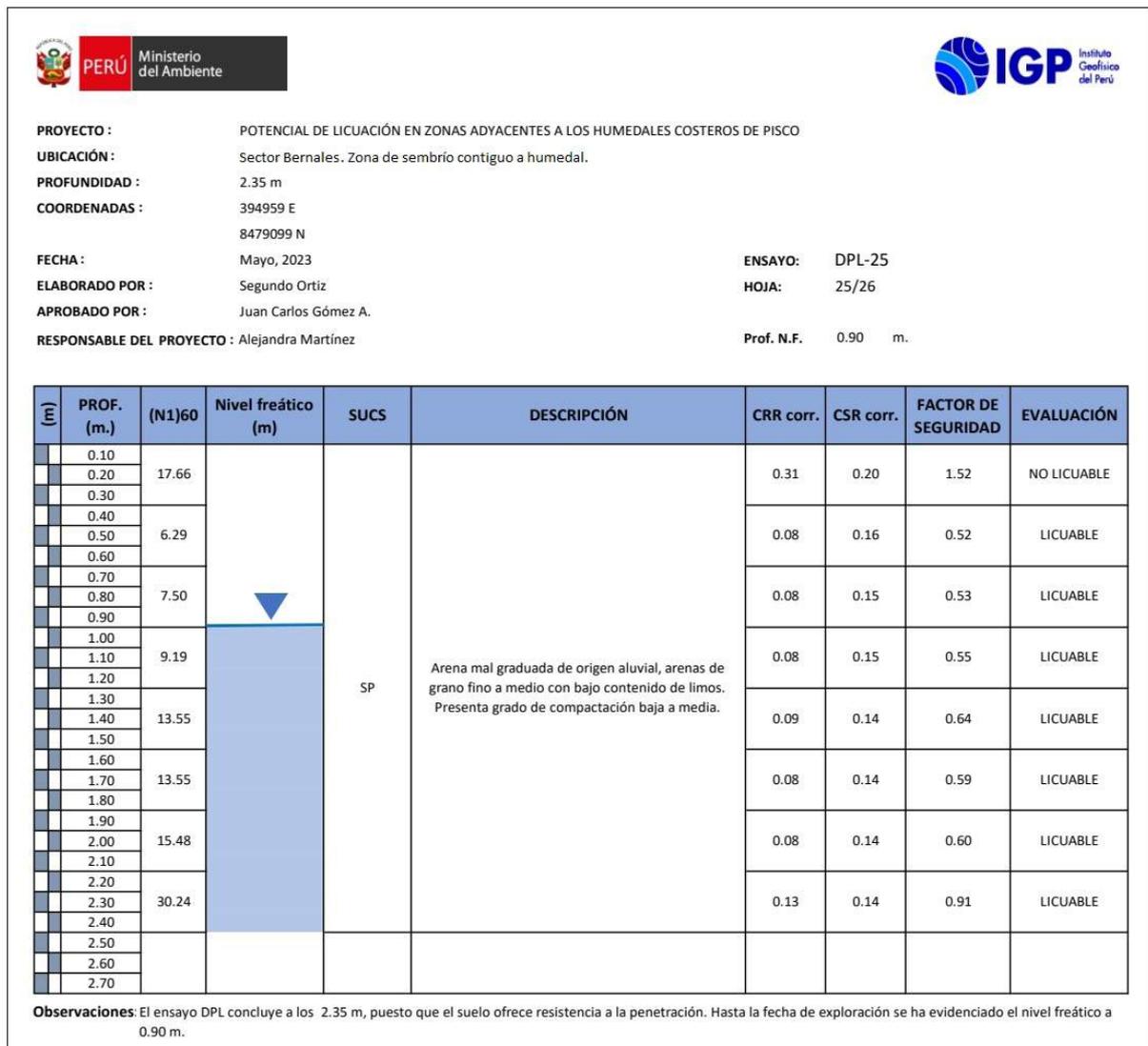


Figura 7. Gráfico que muestra el cálculo del potencial de licuación, en el sector Bernales, DPL-25.

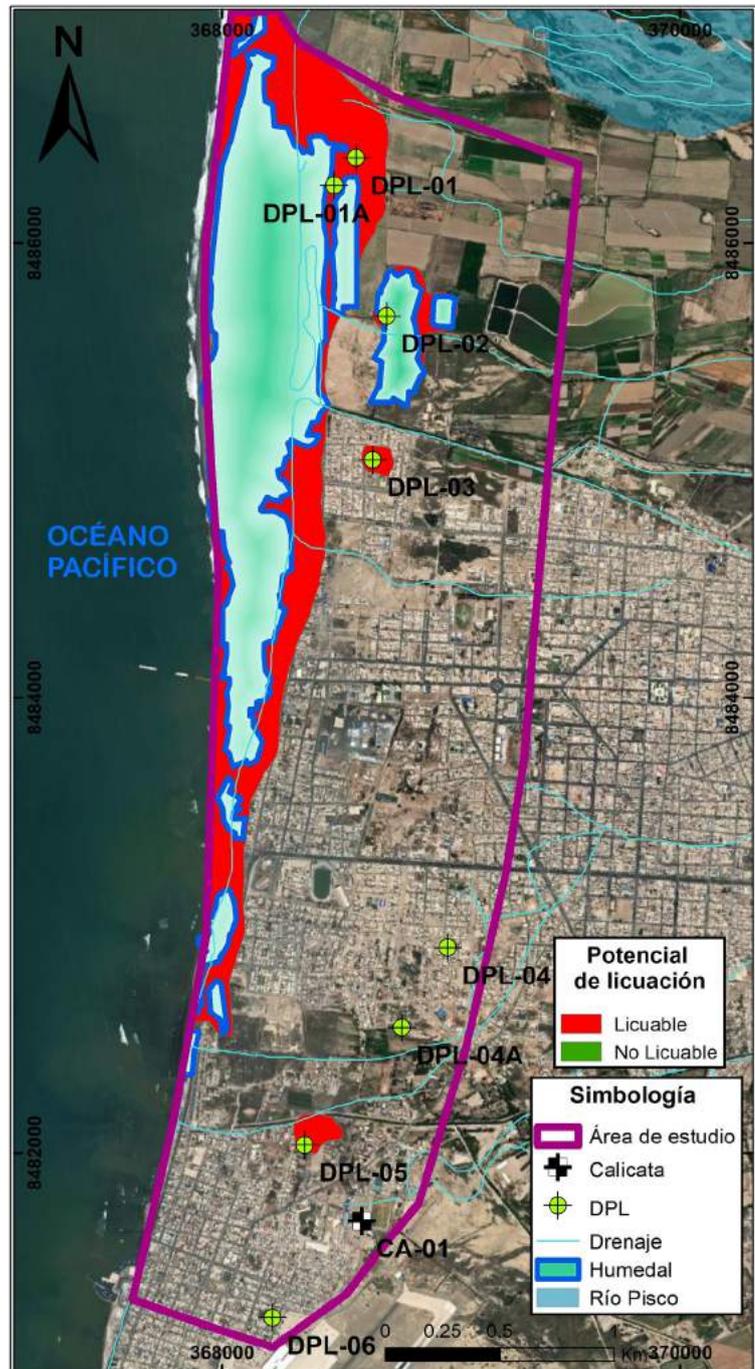
Delimitación de zonas susceptibles a licuación de suelos

Para la delimitación de las áreas susceptibles a licuación de suelos, se utilizaron los resultados de la evaluación del potencial de licuación realizados para cada ensayo DPL, sumado a los datos de las calicatas, así como los datos de estudios anteriores realizados en la zona.

Sector Pisco Playa Sur

Los resultados de los cálculos del potencial de licuación de suelos en el sector Pisco Playa Sur, muestran que el factor de seguridad es menor a 1, en los humedales y zonas aledañas a los humedales, en los DPL-01 (F.S. = 0.5), DPL-02 (F.S. = 0.37), DPL-03 (F.S. = 0.85) y DPL-05 (F.S. = 0.5); los materiales aledaños a los humedales están conformados por arenas mal graduadas y limos, con un nivel freático superficial aproximado de 1.20 m, lo cual lo hace susceptible al potencial de licuación de suelos. Los DPL 04 y 06, son suelos no licuables, debido al contenido de gravas. En la **Figura 8** se observa a las áreas licuables principalmente bordeando a los humedales.

Figura 8. Mapa de potencial de licuación de suelos en el sector Pisco Playa Sur, distrito de Pisco. Elaboración: IGP.



Sector Bellavista

Los resultados de los cálculos de potencial de licuación de suelos, muestran que el factor de seguridad es menor a 1 en los DPL 07, 09, 10, 11, 12, 12A y 12B ubicados en zonas agrícolas y humedales pequeños, así como posibles humedales extintos. En la **Figura 9** se observa las áreas licuables, y se muestra que el casco urbano del centro poblado Bellavista presenta suelos no licuables, debido al contenido de gravas muy compactas, sin presencia de nivel freático.

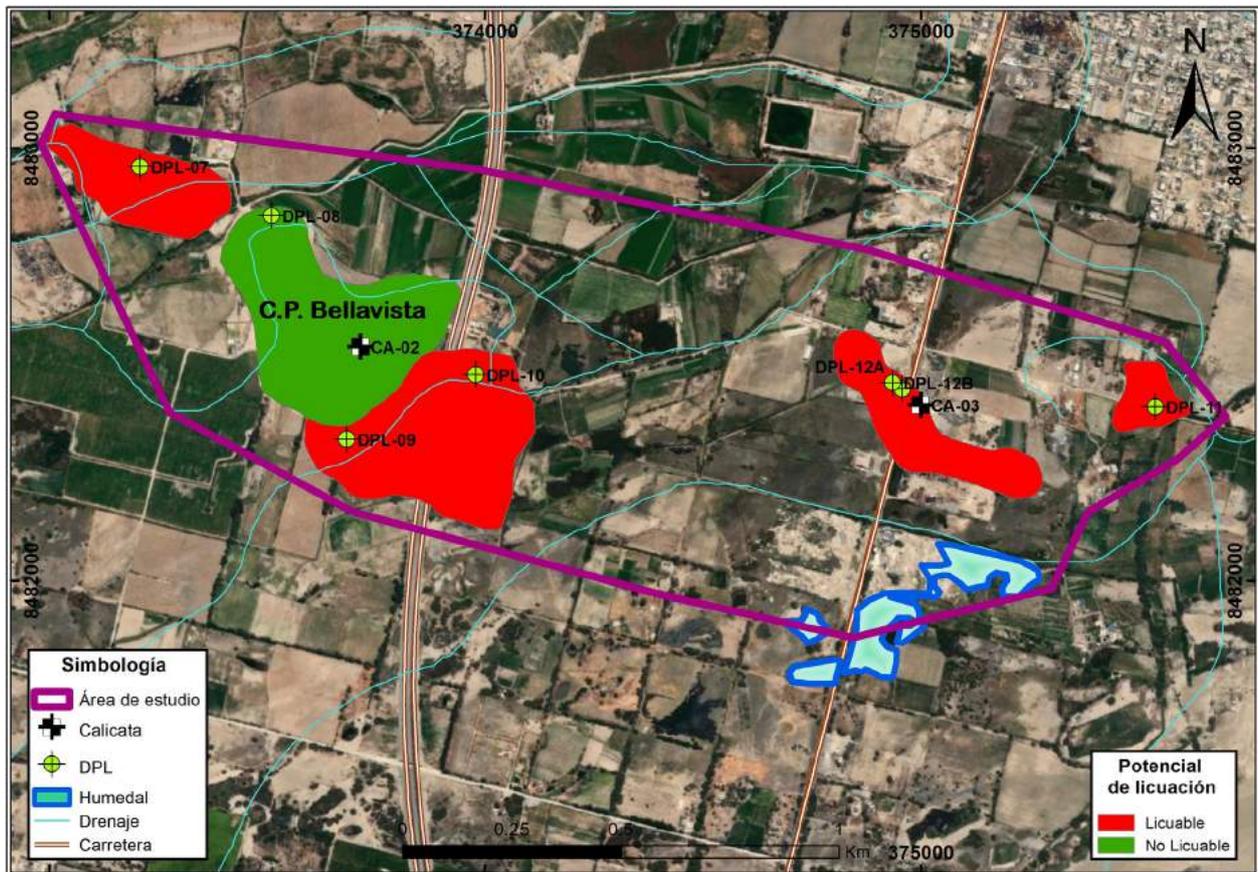


Figura 9. Mapa de potencial de licuación de suelos en el sector Bellavista, distrito de San Andrés, y parte del distrito Túpac Amaru Inca. Elaboración: IGP.

Sector Costa Rica

La zona de estudio se relaciona al oasis denominado Laguna La Palma, el cual se encuentra rodeado de dunas. La **Figura 10** muestra las áreas licuables y no licuables obtenidas de los resultados de los cálculos de potencial de licuación de suelos, donde el factor de seguridad es menor a 1, en los humedales y zonas aledañas a los humedales, en los DPL 13 y 15. Por otro lado, en los DPL 14, 16 y 18, se obtuvieron suelos no licuables, que ofrecieron resistencia a la penetración, esto probablemente debido a que no se encontró el nivel freático y al suelo compuesto por arena y arcilla con buena compactación.

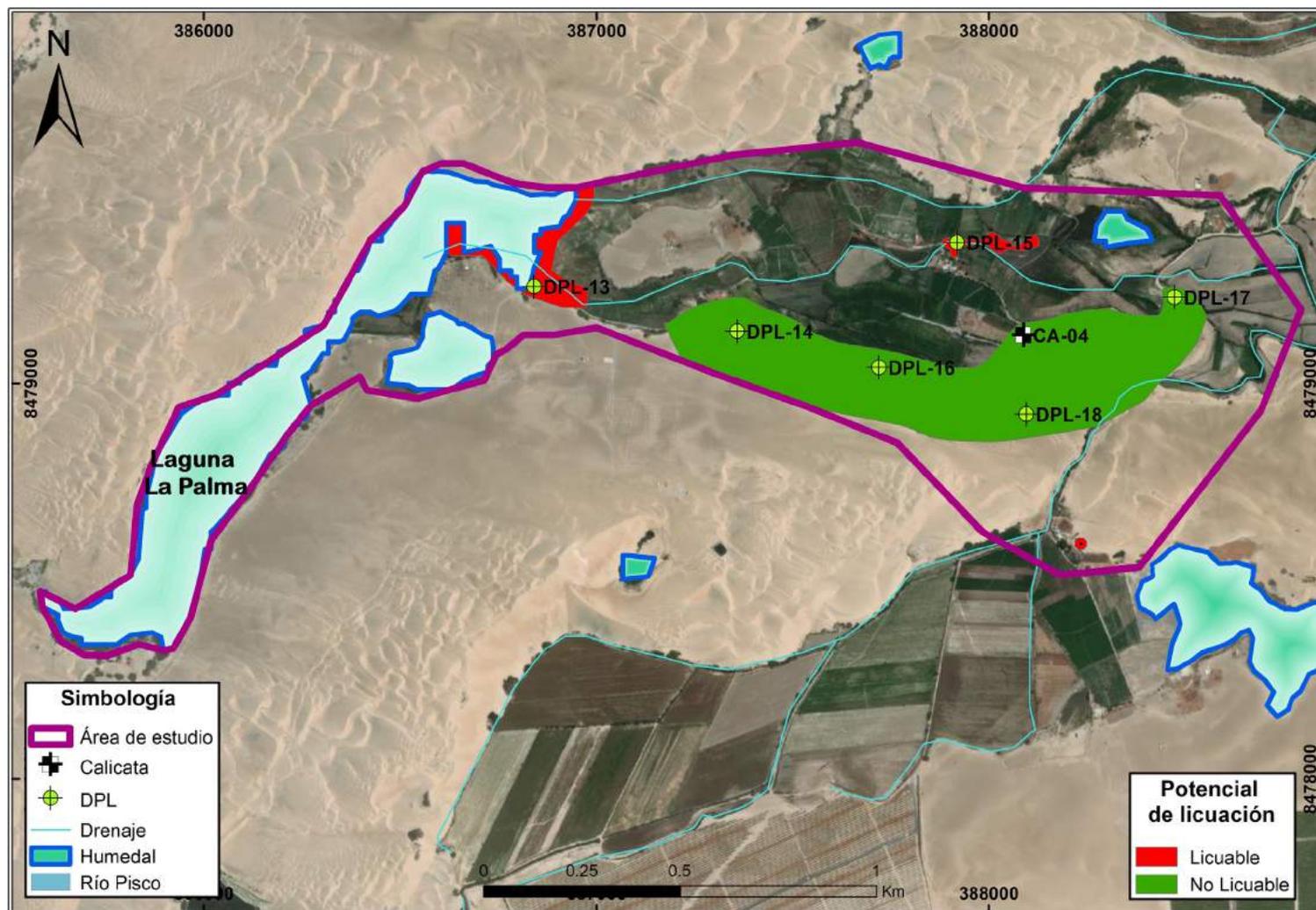


Figura 10. Mapa de potencial de licuación de suelos en el sector Costa Rica, distrito de Humay. Elaboración: IGP.

Sector Bernales

La **Figura 7** muestra los resultados de los cálculos de potencial de licuación de suelos, donde el factor de seguridad es menor a 1, en zonas agrícolas y humedales, en los DPL 23, 24, 25 y 26, que determinan las áreas licuables. La mayor parte del casco urbano de Bernales, presenta suelos no licuables, debido al contenido de arenas mal graduadas y arenas con contenido de limos, sin presencia de nivel freático, en esta zona el promedio del F.S. = 1.5.

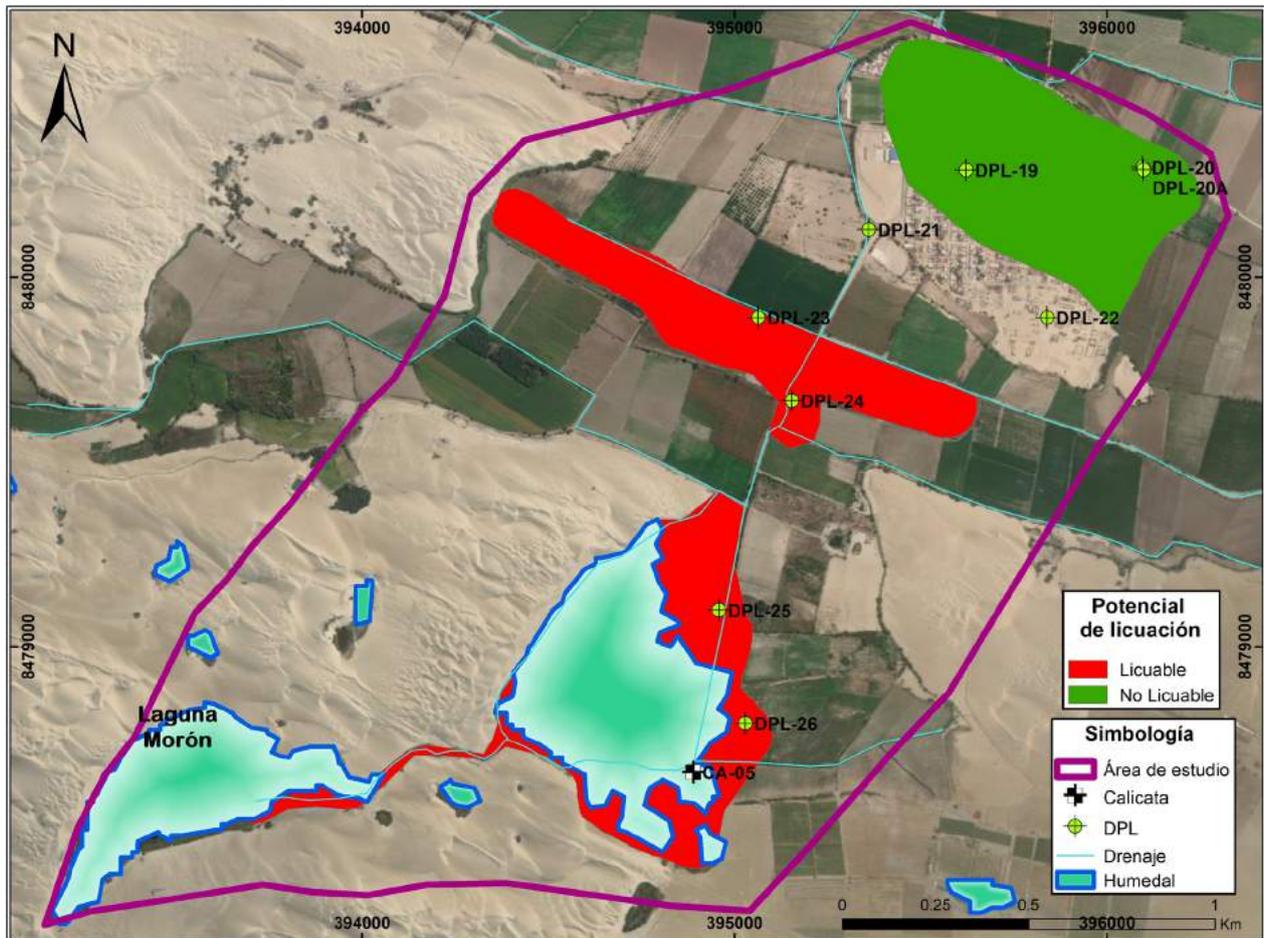


Figura 11. Mapa de potencial de licuación de suelos en el sector Bernales, distrito de Humay.
Elaboración: IGP.

Licuación de suelos en humedales reducidos por actividad antrópica

Se han detectado procesos de licuación de suelos en zonas donde antes existieron humedales, los cuales fueron rellenados con el fin de ser urbanizados. Estos lugares se han manifestado con inundaciones durante fenómenos climáticos y licuación de suelos durante sismos de alta magnitud, existiendo una gran cantidad de casos en

diversos lugares del mundo (Cavada, 2023; Falcón, 2011; Kusler, 2009). Esta práctica pone en peligro tanto a los ecosistemas desarrollados en los humedales como a la población humana, ya que, según Ko et al. (2019), la licuación podría estar relacionada a la condición geológica de un humedal formado, es decir, las características del suelo y condiciones naturales que las hacen propensas a ser licuables; y según Kusler (2009), el relleno de humedales puede aumentar los peligros en las tierras adyacentes, al aumentar la altura, la duración y la velocidad de la inundación en otros sectores cercanos debido a la destrucción del almacenamiento y el transporte natural.

Los humedales costeros de Pisco han sido frecuentemente reducidos e incluso desaparecidos por la actividad antrópica, a través del relleno, quema, drenado, etc. La **Figura 12a**, **12b** y **12c** muestran a los humedales reducidos con relleno y desmonte, donde existen viviendas alrededor de los mismos. En la **Figura 12e** se observa el relleno a parte del humedal Pisco Playa Sur, donde el DPL-02 indica una zona de alto potencial de licuación. Por su parte la **Figura 12d** muestra los depósitos antropógenos (desmonte-relleno) alrededor de los humedales reducidos, los cuales se encuentran a 400 m del colegio 22479-Virgen del Rosario, el cual sufrió los efectos de la licuación de suelos. Existen otros casos de licuación de suelos producidos en el 2007 en humedales desaparecidos, por lo tanto, es posible que, el potencial de licuación de suelos siga siendo alto en áreas de antiguos humedales o áreas adyacentes a los humedales actuales reducidos por la actividad antrópica.



Figura 12. a) y b) Humedales rodeados por depósito antropógeno, se observa el relleno con material aluvial removido y desmonte, asimismo las viviendas se encuentran sobre estos depósitos. Ubicado en el centro poblado La Yesera, distrito de San Andrés. c) Humedal Pisco Playa Sur rodeado por depósito antropógeno constituido por material aluvial cercano removido y desmonte. d) y e) Vista superior de zonas de alto potencial de licuación (DPL con puntos licuables), asociados a humedales reducidos por material de relleno. Sectores Bellavista y Pisco Playa Sur. Créditos: IGP.

Discusión

La evaluación del potencial de licuación de suelos relacionados a los humedales costeros de Pisco, que incluye humedales desaparecidos o reducidos en tamaño, demuestran que éstos presentan áreas con alto potencial de licuación, que sobrepasa sus límites y se extiende hacia zonas contiguas con características de suelos licuables. Los humedales, por lo general, son licuables en sus alrededores, por lo tanto, en lugar de ser reducidos por relleno, quema o drenado, éstos deben ser cuidados, estableciéndose su delimitación formal y los límites de la actividad antropogénica que genere impacto ambiental, con el fin de reducir los riesgos de desastres ante la licuación de suelos y en aras de una convivencia armónica con la naturaleza.

Los humedales como ecosistema poseen una capacidad de resiliencia, es decir, puede resistir un evento como el de un sismo y luego adaptarse al cambio, por ejemplo, los humedales que son

afectados por los procesos de licuación de suelos, en algunos casos pueden reducirse temporalmente, pero en otros, como lo mencionan Lagos et al. (2019), los impactos generados por sismos pueden desempeñar un papel importante para restablecimiento de la dinámica de los humedales. Tal es el caso de los humedales ubicados en el sector de Bernales, alrededor y adyacente a la laguna Morón, donde los trabajadores de totora manifestaron que, luego del sismo del 2007, la vegetación se incrementó alrededor de los totorales; esto se explica como parte de las consecuencias de la inundación producida por agrietamientos y hundimientos, en este caso, después de un tiempo, los humedales se hicieron más extensos debido a que la licuación también puede producir una elevación del nivel freático, además, según los estudios de análisis temporal de la vegetación en Pisco Playa Sur realizados por IGP (2022), la salud vegetal se incrementó luego del sismo del 2007.

Conclusiones

Los resultados de los estudios del potencial de licuación de suelos en los humedales costeros ubicados en la margen izquierda del río Pisco, incluyendo los humedales desaparecidos y rellenados parcialmente y algunas zonas adyacentes, demuestran que, debido a sus características (composición, compactación, nivel freático, etc.), éstos son propensos a ser licuables en sus zonas contiguas, con un alcance aproximado que se extiende a los alrededores entre 50 y 200 m.

El mapa de potencial de licuación de suelos en el sector Pisco Playa Sur y las evidencias de ocurrencia de estos eventos, indican que, las áreas licuables se extienden desde los bordes de los humedales con un mayor alcance en la parte septentrional, cerca de la Boca de Río. El potencial de licuación en el sector Bellavista, demuestra que la mayor parte de la llanura aluvial es una zona licuable, en áreas adyacentes a los humedales actuales, así como las áreas de humedales desaparecidos; solo la parte urbana es no licuable debido al suelo compuesto por gravas compactas. En

el sector Costa Rica, las áreas licuables bordean la Laguna La Palma y una zona aislada donde existen pequeños humedales que están cerca al drenaje. Gran parte de la zona agrícola es no licuable, debido a que no presenta nivel freático cercano, y la llanura aluvial tiene cierta resistencia a la penetración con ensayos DPL. Por su parte, el sector Bernales, presenta áreas licuables en los bordes de la laguna Morón, los totorales y zonas adyacentes, en gran parte de la llanura aluvial; solo la parte la urbana ubicada en el extremo noreste presenta un área no licuable, debido a la ausencia del nivel freático cercano y la resistencia a la penetración con ensayos DPL.

El relleno de humedales y otros impactos que reducen su área, con el fin de convertirlos en zonas urbanas, agrícolas u otra actividad diferente a su naturaleza, es una práctica que pone en peligro tanto a los ecosistemas desarrollados como a la población que se establece allí, debido a que, se ha demostrado que la licuación de suelos, llega a producirse en la misma

zona rellenada, o, en todo caso, la modificación solo desvía la ubicación de los puntos donde surten los efectos de la licuación hacia otros puntos cercanos. Los humedales estudiados, poseen una capacidad de resiliencia ante los efectos de licuación de suelos; donde inicial y temporalmente, la elevación del nivel

freático puede afectarlos de forma negativa debido a la inundación, sin embargo, luego de unos meses, este proceso puede tener un efecto positivo, favoreciendo el incremento de agua y de vegetación, por lo tanto, el incremento de área del humedal.

Referencias

Baez, B. y Gómez J. (diciembre, 2022). Origen geológico del sistema de humedales costeros de Pisco. Humedales costeros del Perú Pisco – Ica, Instituto Geofísico del Perú, 1(1), 48-65, <http://hdl.handle.net/20.500.12816/5347>

Bernal, Y. y Gómez J. (2017). Zonificación sísmica – geotécnica del área urbana de San Clemente, Instituto Geofísico del Perú, 63-67, <http://hdl.handle.net/20.500.12816/5178>

Cavada, A. (enero, 2023) Aprender a convivir con los humedales, Proyecto GEF Conservación de Humedales Costeros de la zona Centro sur de Chile, hotspot de biodiversidad. Recuperado de <https://gefhumedales.mma.gob.cl/aprender-a-convivir-con-los-humedales/>

Carrillo, R. (2016). MAPA DE SUELOS (PROFUNDIDAD 0.90 – 1.20) [Mapa]. En Bernal, Y. y Gómez J. (2017). Zonificación sísmica – geotécnica del área urbana de San Clemente (p. 70). Lima: Instituto Geofísico del Perú.

Falcón, F., y Ramirez, P. (2011). Generación de mapas de licuefacción a partir del sismo de febrero de 2010. SERNAGEOMIN. Santiago de Chile, Chile, <http://vu2018.admin.hosting.ing.udec.cl/descargas/5.pdf>

Instituto Geofísico del Perú. (diciembre, 2022). Análisis temporal de la vegetación en los humedales de Pisco. Humedales costeros del Perú Pisco – Ica, Instituto Geofísico del Perú, 1(1), p. 132, <http://hdl.handle.net/20.500.12816/5347>

Instituto Nacional de Defensa Civil, Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, CESEL Ingenieros S.A., & Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (2008). Mapa de peligros de Pisco y San Andrés: Información para la reconstrucción sismo - 15 de agosto de 2007 - Informe, http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_lca/pisco/piscosanandres_informe.pdf

Instituto Nacional de Defensa Civil, Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, CESEL Ingenieros S.A., & Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (2008). Mapa de peligros de Pisco y San Andrés: Información para la reconstrucción sismo - 15 de agosto de 2007 - Anexos, http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_lca/pisco/piscosanandres_anexos.pdf

Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras [INGEOMINAS] (2003). Zonificación geotécnica por licuación del casco urbano del municipio de Tumaco y sus zonas aledañas, Bogotá-Colombia, <https://catalogo.sgc.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=48509>

Ko, Y., Hsu, S., Yang, H., Lu, C., Hwang, Y., Liu, C. y Hwang, J. (2019). Soil Liquefaction and Ground Settlements in 6 February 2018 Hualien, Taiwan, Earthquake. *Seismological Research Letters*, 90(1), 51-59, <https://doi.org/10.1785/0220180196>

Kusler, J. (2009). Wetlands and Natural Hazards, National Association of Wetland Managers, 41 p., https://www.nawm.org/pdf/lib/wetlands_natural_hazards_012709.pdf

Lagos, N., Labra, F., Jaramillo, E., Marín, A., Fariña, J., y Camaño, A. (2019). Ecosystem processes, management and human dimension of tectonically-infl uenced wetlands along the coast of central and southern Chile, *Gayana* 83(1), <https://doi.org/10.4067/S0717-65382019000100057>

Olcese, M. y Zegarra, J. (agosto, 2008). Aspectos geotécnicos del sismo del 15 de agosto del 2007 en Pisco. *La Geofísica y su aporte en la reducción de riesgos de desastres naturales – Simposio internacional: Terremotos, volcanes, tsunamis, deslizamientos, sismicidad inducida y efectos asociados*, Instituto Geofísico del Perú, 127-133, <http://hdl.handle.net/20.500.12816/5289>

Ortiz, S. y Gómez, J. (2023). Informe técnico de estimación de zonas susceptibles a licuación de suelos relacionados a los humedales de la provincia de Pisco, Instituto Geofísico del Perú. Informe interno.

Ortiz, S. y Gómez, J. (2020). Estimación de parámetros de resistencia en suelos arenosos empleando el ensayo DPL y su aplicación en los estudios de Zonificación Sísmica Geotécnica - caso Catacaos, Instituto Geofísico del Perú. Recuperado de <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/13872>

Seed, H., and Idriss, I. (1970) A simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California*. 26 p. Recuperado de <https://ntrl.ntis.gov/NTRL/dashboard/searchResults/titleDetail/PB198009.xhtml>

Seed H., Idriss I. and Arango I. (1983). Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data, *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 109(3), 458-481, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1983\)109:3\(458\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1983)109:3(458))

Seed, H., Tokimatsu, K., Harder, L. and Chung, R. (1985). Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations. *Journal of Geotechnical Engineering*, 111(12), 1425-1445, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1985\)111:12\(1425\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1985)111:12(1425))

Tavera, H. (2014) Evaluación del peligro asociado a los sismos y efectos secundarios en Perú, Instituto Geofísico del Perú, 1-4, <http://hdl.handle.net/20.500.12816/777>

Tavera, H., Bernal, Y., Salas, H. (2007) El sismo de Pisco del 15 de agosto, 2007 (7.9Mw), departamento de Ica - Perú (informe preliminar), Instituto Geofísico del Perú, 5-10, <http://hdl.handle.net/20.500.12816/1115>

Youd, T. , Idriss, I. , Andrus, R., Arango, I., Castro, G., Christian, J., Dobry, R., Liam , W., Harder, L., Hynes, M., Ishihara, K., Koester, J., Liao, S., Marcuson, W., III, Martin, G., Mitchell, J., Moriwaki, Y., Power, M., Robertson, P., Seed, R., and Stokoe,, K. (2001). Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(10), 40p., [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2001\)127:10\(817\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2001)127:10(817))

CUARTA PARTE

**GOBERNANZA
COTIDIANA EN EL
SISTEMA DE
HUMEDALES
COSTEROS DE PISCO**

Mariel Mendoza, Diana Ruiz y Alejandra Martínez



Gobernanza cotidiana en el sistema de humedales costeros de Pisco

Mariel Mendoza⁸, Diana Ruiz y Alejandra Martínez

Resumen

El estudio aborda la gobernanza cotidiana en los humedales costeros de la provincia de Pisco, destacando la participación de ciudadanos, grupos comunitarios y organizaciones en la toma de decisiones y prácticas que afectan sus vidas y entornos locales. A través de cuatro casos se busca identificar este tipo de gobernanza desde varias perspectivas, incluyendo los procesos y mecanismos desarrollados por las asociaciones público-privadas para gestionar, construir infraestructuras y utilizar los humedales; profundizar en cómo el Estado y sus actores comprenden y legitiman los usos de cada humedal, lo que influye en su presencia o ausencia en la gobernanza cotidiana del agua en los humedales de Pisco; y analizar los mecanismos relacionados con el desempeño ecológico, como la sobreexplotación, resiliencia, biodiversidad y sostenibilidad.

Palabras clave: Gobernanza cotidiana; humedales costeros; Pisco; gestión ambiental.

Introducción

El siglo XXI presenta una serie de desafíos a la gestión ambiental, no solo por el cambio ecológico impulsado por las alteraciones atmosféricas y climáticas globales, sino también por los cambios creados por el uso humano del agua en la tierra y el aumento de la erosión de los sedimentos terrestres, así como la destrucción humana directa de los hábitats costeros (Pratolongo et al., 2019). Sin embargo, también se abren posibilidades para que las partes interesadas como autoridades nacionales, regionales y estatales, así como la población local puedan contribuir a la sostenibilidad de su sistema costero socio ecológico.

En este sentido, la gobernanza ambiental se refiere a los procesos de toma de decisión y de ejercicio

de autoridad en el ámbito de bienes públicos, en los cuales intervienen los servicios gubernamentales en sus distintos niveles o instancias de decisión, pero también para la intervención de otros actores quienes directa o indirectamente tienen que ver con la fijación de los marcos regulatorios y el establecimiento de los límites y restricciones al uso de los recursos naturales y de los ecosistemas (Piñeiro, 2004), y como señala Peña (2013), el concepto de gestión es una manera de abordar la consecución y regulación de un bien público, sin considerar al Estado ni como el único, ni obligatoriamente como el agente más importante.

Diversos estudios señalan que conectarse con la comunidad lleva a resultados positivos (Chouinard et

⁸ mmendozaf@pucp.edu.pe

al., 2015), de ahí la necesidad de que las partes interesadas y los profesionales logren saber cómo llegar a sus grupos o comunidades, cómo involucrarlos en la búsqueda de soluciones a largo plazo, cómo identificar los problemas subyacentes y comprender cómo se integran los problemas para determinar un camino a seguir, entre otros procesos (Baztan et al. 2015). Para comprender la influencia de diversos actores en las políticas ambientales y la gestión de los servicios ecosistémicos, es crucial examinar el proceso de toma de decisiones en la gobernanza ambiental local.

Así, Delgado et al. (2007) precisan que la gestión ya no es un monopolio exclusivo del gobierno, sino que también debe tomarse en cuenta la acción de múltiples otros actores, pues si bien la gobernanza a nivel gubernamental involucra primordialmente a las instituciones y los procesos formales de gobierno, entrelazada a ella -y en un proceso de retroalimentación constante- se desarrolla la gobernanza cotidiana, referida a las normas y/o reglas informales que guían los usos y cotidianidad de un ecosistema -como los humedales costeros-, las que deben ser conocidas por los agentes estatales que desarrollan instrumentos de gestión para su sostenibilidad. Además, el análisis del papel desempeñado por grupos, coaliciones y asociaciones público-privadas en la configuración del desarrollo ambiental nos muestra que las interrelaciones que se desarrollan entre dichos actores no necesariamente serán armónicas, y autores como Cornea et al. (2017) señalan que la gobernanza cotidiana incluye cómo se persiguen y contrarrestan los intereses, cómo se ejerce y se desafía la autoridad, y cómo se institucionaliza y socava el poder, considerando tanto a actores no estatales como a los estatales.

En este contexto, surge el concepto de “régimen”, el que según la definición de Stone (1989), hace referencia a acuerdos informales entre entidades gubernamentales y actores privados para la formulación y ejecución de decisiones políticas; este concepto se compone

de tres elementos fundamentales: la capacidad de acción, la participación de múltiples actores y las relaciones que les permiten colaborar. También debe considerarse una perspectiva diferente del poder, considerándolo como una herramienta para alcanzar objetivos y beneficios colectivos, en contraposición a una herramienta de dominación, enfoque que se alinea con la noción de “poder para” en lugar de “poder sobre” (Eisinger, 1997).

Dado que la inclusión de todos los actores relevantes es crucial para un diagnóstico adecuado y la sostenibilidad de las medidas ambientales, su análisis requiere utilizar enfoques como el multisectorial y el transdisciplinar. El primer enfoque requiere que los gestores públicos conozcan a los actores formales e informales presentes en la gestión del ecosistema, lo que implica ver más allá de las reglas o normas formales existentes, pues existe vida cotidiana propia, donde los diferentes actores tienen y manejan sus propias agendas, a menudo a través de prácticas individuales de gobierno y conlleva a interacciones con características que en muchos casos son muy locales (Zimmer, 2011).

Por otra parte, la transdisciplinariedad reconoce la existencia de perspectivas plurales, todas igualmente legítimas, pero en donde ninguna por sí sola está en condiciones de captar el concepto en su totalidad (Vanderlinden et al. 2015). La transdisciplinariedad va más allá de la multidisciplinariedad y la interdisciplinariedad, y supone un trabajo conjunto entre académicos, entes gubernamentales, usuarios y los actores involucrados, buscando la colaboración y la integración de múltiples disciplinas y perspectivas para comprender y abordar temas complejos en su totalidad. Por ello, es necesario tener una mirada integrativa de las ciencias naturales y las ciencias sociales de la conservación, definidas por Bennet (2016) como un subconjunto de las disciplinas de las ciencias sociales clásicas y aplicadas que se enfocan particularmente en la conservación o la gestión ambiental, tal como se muestra en la [Figura 1](#).

las interacciones que se producen entre los cuatro subsistemas y se expresan en variables como: Los niveles de aprovechamiento de los diferentes usuarios (I1), la información compartida entre usuarios (I2), los procesos de deliberación (I3), los conflictos entre los usuarios (I4), las actividades de inversión (I5), las actividades de presión (I6), las actividades de auto organización de los usuarios (I7) y las actividades de redes (I8).

Debe considerarse que los SSE son un marco de análisis dinámico que permite identificar procesos y componentes locales, que tienen la capacidad de adaptarse a las perturbaciones y generan resistencia para regresar a sus condiciones anteriores, además de ser sistemas abiertos que facilitan la incorporación de variables externas relevantes para la dinámica del sistema (Postigo & Young, 2016). También debe tomarse en cuenta que en un trinomio de perturbación-

SSE-respuesta puede aumentar tanto la estabilidad como la inestabilidad del sistema (Folke y Kofinas, 2009).

A nivel internacional se han desarrollado una serie de marcos teóricos complementarios que permiten analizar la gobernanza y sus implicancias en los SSE, buscando apoyar la implementación de políticas y planes de planificación de la gestión ambiental para enfrentar problemáticas como el cambio climático, la deforestación y la pérdida de humedales, poniendo el énfasis en diferentes matices de la gobernanza. Cada uno de ellos aporta diferentes perspectivas y miradas con las cuales analizar los ecosistemas y sus interacciones sociales y ambientales, y a continuación se describen brevemente aquellos que consideramos como más relevantes para el entendimiento de las dinámicas presentes en el sistema de humedales costeros de Pisco.

Planificación espacial

Los actuales procesos de descentralización y la progresiva transferencia de competencias a los gobiernos regionales que se vienen desarrollando internacionalmente a diferentes escalas, obligan a conceptualizar la planificación a escala regional en nuevas dimensiones. Por ejemplo, Adams et al. (2017) definen la planificación a escala regional como un proceso de planificación espacial llevado

a cabo en una extensión espacial que proporciona una amplia perspectiva socioeconómica y ecológica para las decisiones de gestión local. En los contextos de conservación y gestión de recursos naturales, esta permite considerar los vínculos entre los esfuerzos locales a escala local y regional (procesos bottom-up o de abajo hacia arriba) y las políticas y oportunidades de financiación a mayor escala.

Transformaciones del capital social

El capital social se refiere a las relaciones y transacciones entre los miembros de las comunidades rurales y otros actores, y juega un papel crucial en estas trayectorias (Bebbington, 1999), donde las instituciones, entendidas como las reglas y acuerdos que facilitan la coordinación entre las personas y sus comportamientos, son clave para determinar las respuestas ambientales, infraestructurales y sociales en

este contexto (Bromley, 1989). Este enfoque destaca la importancia de considerar factores políticos, económicos e institucionales en la generación de las trampas de pobreza dentro de la gobernanza ambiental, y reconocer estos elementos es esencial para comprender las dinámicas de los SSE y diseñar estrategias efectivas de desarrollo sostenible (López et al., 2016).

Valoración de los servicios ecosistémicos del humedal

La valoración de los humedales costeros es un proceso complejo que debe considerar una variedad de servicios que ofrecen, su percepción en diferentes contextos y la necesidad de proporcionar estimaciones confiables para respaldar decisiones de gestión. Además de su valor en términos de conservación, es crucial evaluar los diversos servicios ecosistémicos que proporcionan, como la purificación del agua, el apoyo a las comunidades locales, su impacto en la economía regional y su capacidad para proteger contra desastres naturales (Blankespoor et al., 2014). También debe considerarse que la valoración de estos servicios puede cambiar con el tiempo y las circunstancias, por ejemplo, después de un evento desastroso la percepción de qué servicios son más importantes podrá variar drásticamente (Rojas et al., 2017).

Es esencial reconocer las múltiples perspectivas y valoraciones de los humedales costeros, incluyendo el valor social y económico, lo que requiere enfoques transdisciplinarios para tomar decisiones informadas (Rosa-Velázquez et al., 2020), pero a pesar de los avances en la valoración, persiste el escepticismo entre los reguladores, y administradores costeros sobre la utilidad de estos estudios para la toma de decisiones, argumentando que las estimaciones de valor deben ser más precisas y confiables para influir en políticas y gestión (Barbier, 2019; Arnold, 2013).

Restauración de los humedales costeros

Dada la intensa actividad humana en las zonas costeras, es escasa la posibilidad de encontrar humedales costeros en estado prístino, lo que ha llevado a un enfoque internacional en su restauración, que proponen una gestión basada en la comunidad costera como estrategia integral, involucrando a las poblaciones locales y otras partes interesadas en la implementación (Islam et al., 2017). En proyectos de restauración, la consulta pública y el diálogo con las partes interesadas son cada vez más cruciales, donde no basta con imponer soluciones basadas en evidencia científica, ya que las demandas pueden ser diversas e incompatibles. La consulta pública a las comunidades locales puede mejorar el diseño y la implementación de proyectos, pero además la restauración debe abordar las causas fundamentales de la degradación antes que en otros aspectos (Adam, 2019), lo que puede decepcionar a las comunidades locales, por lo que debe existir claridad en las características y los tiempos del proceso de restauración. En ese sentido, las acciones de monitoreo y la comunicación de los resultados de los proyectos de restauración son centrales.

Contaminación

La descarga de aguas residuales tiene un impacto directo en la contaminación de los humedales, pues afecta la capacidad de los humedales para purificar el agua, retener y exportar nutrientes y sedimentos (Bianconi et al., 2005). Un ejemplo de esto se observa en el humedal La Tembladera en Ecuador, donde se superaron los límites permitidos de clostridios y bacterias del grupo *Escherichia coli*. Esta situación se relaciona con la actividad económica de la población local, la descarga de aguas residuales y la ganadería en las cercanías del humedal (Arias et al., 2020: 677). Similar problema se registró también en Chile, según estudios realizados por Bianconi et al. (2005), Pauchard et al. (2006), y Novoa et al. (2020), quienes evidenciaron la desconexión entre la gestión de los humedales y las poblaciones locales cercanas.

Gestión de riesgo de desastres

La gobernanza del riesgo puede definirse como un enfoque sistémico para los procesos de toma de decisiones que busca reducir la exposición al riesgo y la vulnerabilidad al llenar los vacíos en las políticas (Vanderlinden et al 2015). En Chile, se ha estudiado la funcionalidad de los humedales como barreras naturales ante terremotos y tsunamis, demostrando su resiliencia (Lagos, 2019); mientras que para la costa central chilena se utilizó un índice de vulnerabilidad social para evaluar la ocupación humana de los humedales, recomendando la reubicación debido al riesgo asociado a proyectos inmobiliarios (Martínez et al., 2019), y en esa misma dirección se ha observado una expansión urbana preocupante en zonas de riesgo en las cuencas costeras de Ecuador (Da Cruz e Sousa, 2018).

Un fenómeno complejo es el de la comprensión costera: Los ecosistemas costeros se desplazan hacia el interior debido al incremento del nivel del mar, quedando atrapados entre el mar y las densamente pobladas áreas urbanas. Esto reduce el espacio disponible para los ecosistemas costeros debido a la interferencia

de actividades humanas que alteran el clima, los nutrientes, los sedimentos y las tasas de hundimiento (Moorehead y Brinson, 1995), donde el futuro de los humedales costeros ante el rápido aumento del nivel del mar se ve fuertemente afectado por impactos humanos como la construcción de presas, diques y canales, cambios que finalmente alteran el transporte fluvial de sedimentos hacia la costa, promoviendo la erosión, especialmente cuando se combina con la deforestación y la agricultura (Douglas, 1990; Pralongo, 2019).

La gestión del riesgo de desastres está íntimamente ligada con la restauración de estos ecosistemas, permitiendo que las ciudades aumenten su resiliencia frente a inundaciones y buscando una expansión ordenada y limitada de las ciudades (Da Cruz e Sousa et al. 2018), para lo cual es necesario identificar y adoptar a los humedales estrategia local de adaptación/mitigación del cambio climático, y reconociendo los múltiples servicios ecosistémicos que brindan.

Metodología

El trabajo de campo para el recojo de información primaria constó de tres fases desarrolladas entre los años 2021 y 2023. La primera, exploratoria, buscó reconocer y caracterizar los humedales costeros desde un punto de vista de dimensión humana, además de registrar fotográficamente sus principales características, para lo cual se contó a priori con un mapa inicial de los humedales en base a imágenes satelitales e información secundaria. La segunda fase implicó inmersión en el campo y entrevistas a funcionarios estatales de los tres niveles de gobierno en torno cada humedal y la gestión que realiza, lo que implicó visitas a las Municipalidades de Pisco, San Clemente, Humay, Tupac Amaru Inca, ALA Pisco, ATTF SERFOR Chíncha e Ica, FEMA Ica, PRETT Ica,

entre varias otras instituciones; así como dirigentes sociales, comités de riego y usuarios extractores. Los datos recogidos fueron tratados a través del process tracing que estudia secuencia de acciones poniendo énfasis en la historia y contexto, con el fin de registrar condiciones, mecanismos, coyunturas y posibles patrones de secuencias que llevan a resultados diferentes en el acceso a los recursos de humedales, incluyendo una explicación histórica de trayectorias y sus efectos, y reconociendo a los actores relevantes. Finalmente, durante la tercera fase se realizaron entrevistas a miembros de organizaciones estatales de carácter regional en Ica y de carácter nacional en Lima, así como a expertos y exfuncionarios, tanto en forma remota como presencial.



Para las tres etapas se utilizaron herramientas como la entrevista y la observación participante y no participante para recopilar información cualitativa, y se implementó un proceso de consentimiento informado para las entrevistas semiestructuradas, indicándose, además, el propósito de la investigación, y se permitió la absolución de dudas durante el proceso. Si un participante prefería no ser grabado, se tomaron notas, y al final de cada entrevista se consultó a los participantes sobre el uso de la información recopilada –limitada a su uso para fines académicos.

Las observaciones tanto participantes como no participantes se realizaron en eventos públicos organizados por organismos estatales como la Municipalidad Provincial de Pisco, la Autoridad Local del Agua Pisco y la Administración Técnicas Forestal y de Fauna Silvestre (ATFFS) de Chincha, entre varios otros. Además, en la fase inicial de la investigación

de campo se realizaron observaciones en operativos, y se acompañaron a los usuarios extractores, además de llevarse a cabo conversaciones informales con los vecinos.

Los participantes se agruparon en seis categorías: (ex)autoridades, funcionarios públicos, propietarios/poseedores, promotores inmobiliarios, empresas, usuarios y extractores, y con el fin de mantener el anonimato de los entrevistados se codificaron tanto a los participantes como a las entrevistas realizadas. Este análisis de datos requirió de variables de codificación para su sistematización, las cuales se presentan en el Anexo 1. Finalmente, los datos obtenidos del trabajo de archivo, entrevistas transcritas y notas etnográficas se analizaron a través del programa de análisis cualitativo Atlas ti, para aplicar el método comparativo propuesto por Ragin (1987,1990), como una vía que combina elementos de las técnicas cualitativas y cuantitativas.

Unidad de análisis

El estudio tuvo como unidad de análisis a cuatro grupos de humedales de la provincia de Pisco que se escogieron porque muestran diversas trayectorias, problemáticas y usos. El primer grupo, denominado G1, corresponde a la margen derecha de Pisco Playa, e incluye a Pisco Playa norte, Boca del Río, Caucato bajo y Camacho; el segundo grupo (G2) corresponde a la margen izquierda de Pisco Playa, e incluye a Pisco Playa sur, Pozo Hediondo y Pampa Ocas; mientras que el tercer grupo (G3) corresponde a la margen derecha del río Pisco, en San Clemente e incluye a Agua Santa que dado su gran tamaño tiene

varios sectores como: Salinas, California, Agua Santa, Pantanos, además del humedal Manrique y Cabeza de Toro en el distrito de Independencia; y finalmente el cuarto grupo (G4) incluye a Laguna Morón, La Palma, El Frontón, La Parra, Costa Rica, Santo Toribio y La Murga. En cada uno de los grupos se buscó identificar mecanismos y procesos llevados a cabo por las dinámicas que establecen usuarios extractores, agrícolas, inmobiliarias, sector empresarial y que en el tiempo consolidan un acceso diferenciado a los humedales costeros de Pisco. En la [Figura 2](#) se localiza cada uno de ellos.

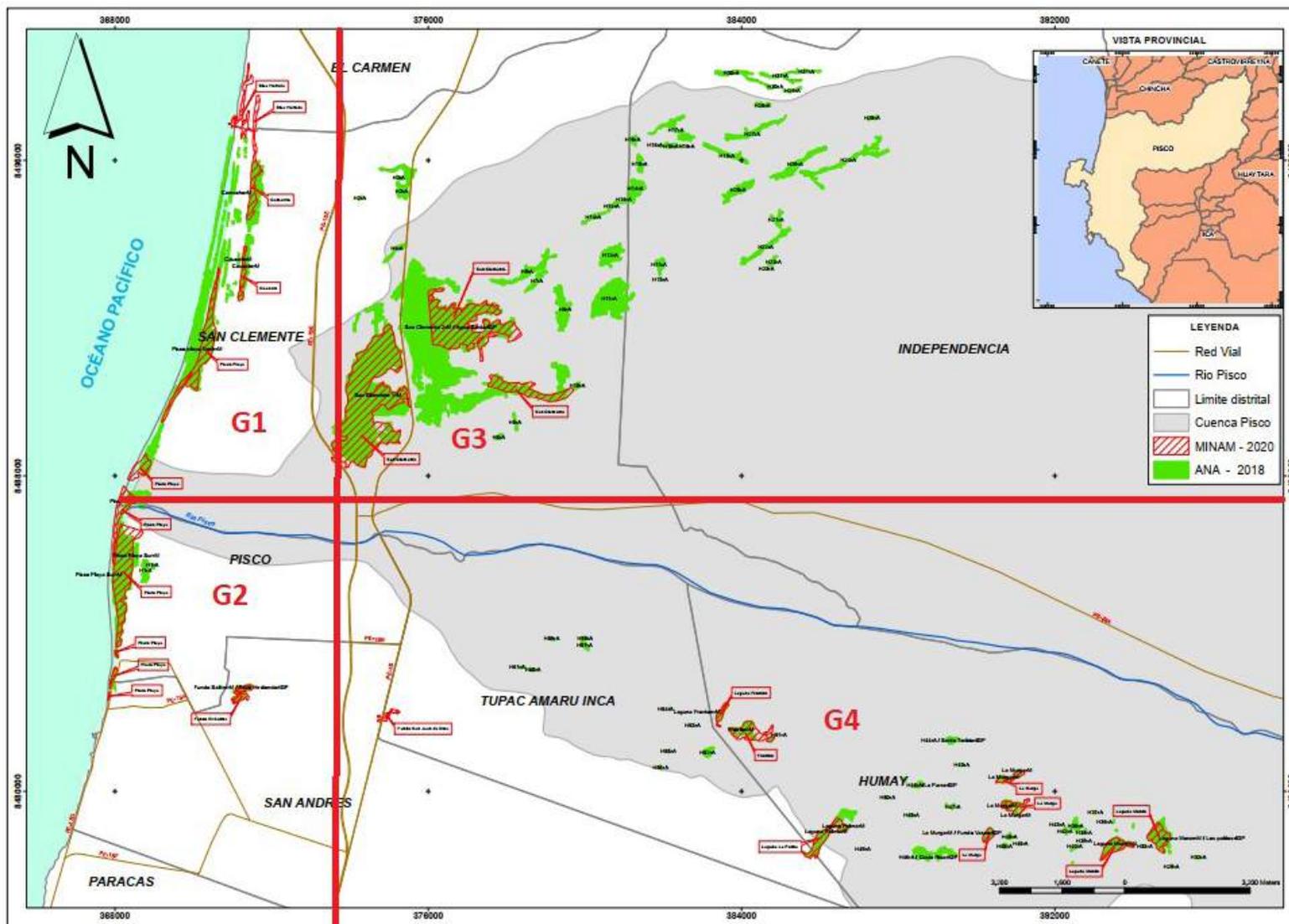


Figura 2: Humedales de la provincia de Pisco bajo estudio.

Gobernanza cotidiana: Estudios de caso en los humedales costeros de Pisco

La gobernabilidad de los humedales pasa por dos sistemas de gestión. Por un lado, los sitios Ramsar -trece a nivel nacional- tienen el estatus de áreas protegidas a cargo del MINAM y el SERNANP, con un nivel alto de supervisión internacional, mientras que aquellos que no cuentan con esa categoría tienen una gestión altamente fragmentada. Como se aprecia en el marco teórico del estudio, todo Sistema de Recursos (SR) interactúa con un determinado Sistema de Gobernanza (SG) que lo administra, el cual debe contemplar la complejidad ecosistémica de los humedales costeros dada su estacionalidad, variabilidad y diversidad, que además se encuentran expuestos a diversos tensiones urbanos y agrícolas.

Un problema de fondo es la falta de un registro nacional con los límites tanto de los humedales individualmente, como del sistema en su conjunto. Entidades como la ANA y el MINAM vienen realizando esfuerzos en ese sentido, sin embargo, esos esfuerzos aún no han sido concertados, y existen variaciones en la medición debido a la diferencia de las metodologías utilizadas, la época en que se han realizado los registros -secos o húmedos-, y la propia variabilidad del sistema entre otros factores. Esto dificulta la protección del ecosistema ante cambios del paisaje, por ejemplo, por acciones de relleno o quema. En ese sentido el decreto supremo N° 006-2021-MINAM que aprueba las disposiciones generales para la gestión multisectorial y descentralizada de los humedales es un avance importante, pues organiza y asigna funciones a varias instituciones públicas, otorgando a la ANA la identificación y delimitación de los humedales.

Antes del decreto, la identificación de los humedales la realizaban las autoridades locales de agua, y el criterio técnico para delimitar un humedal se basaba en considerar el espejo de agua, emitiéndose un informe. Tras el decreto N° 006-2021-MINAM, la delimitación de los humedales debe considerar la extensión del humedal y su faja marginal. Actualmente en la sede central del ANA se vienen desarrollando los instrumentos de gestión para tal delimitación, considerando la variabilidad del ecosistema y su sectorialización a través de dos procedimientos: los inventarios y la delimitación. Los inventarios son un mapeo de carácter referencial respecto a la existencia y límite de un humedal, mientras que la delimitación es un procedimiento de carácter legal que se hace a través de un informe técnico a solicitud del administrado.

En las entrevistas con especialistas, se indicó que si bien la identificación de humedales vía un inventario es útil a nivel macro de planificación nacional, por razones metodológicas, el establecimiento de escalas de extensión territorial podría devenir en un subregistro de los humedales costeros que no calcen en la escala escogida, por ello se resalta la importancia de contar con un rango de flexibilidad tanto en los instrumentos de gestión ambiental, como de la importancia de contar con el criterio técnico del funcionario que realiza la evaluación.

A continuación, se presentan cuatro estudios de caso, que ilustran la forma en que funciona la gobernanza cotidiana en el sistema de humedales costeros de Pisco.

Pisco Playa

En los humedales de Pisco Playa, la protección de aves y zonas de anidamiento es central en su agenda, prevaleciendo una mirada de conservación, vinculada a la promoción del turismo como la actividad productiva posible. Sin embargo, dada su convivencia cercana con la ciudad de Pisco, enfrenta el avance urbano,

contaminación por aguas residuales, procesos de titulación y tras el terremoto del 2007, sufre los impactos de Residuos Sólidos de Construcción y Demolición (RCD⁹). Para este caso, se analizan las relaciones que establecen sus actores para enfrentar las diferentes problemáticas ambientales existentes, y el desarrollo de procesos de gestión a través de actividades de inversión, presión, autoorganización y redes.



Figura 3: Humedal Pisco Playa Margen izquierda con residuos sólidos de construcción. Créditos: IGP.

Una red local enfrentando problemas regionales

El humedal Pisco Playa tiene una gran presencia de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales que influyen en su gobernanza local cuya estructura de red promueve actividades de inversión y presión con una fuerte visión de conservación, probablemente debido a la influencia de la cercana Reserva Nacional de Paracas (RNP), importante sitio Ramsar desde 1992. Si bien los humedales de Pisco Playa originalmente

formaban parte de la zona de amortiguamiento de la RNP¹⁰, sin embargo, ya en el Plan Maestro 2016 de la RNP, pasó de zona de amortiguamiento, a ser considerada zona de influencia¹¹ (Quispe, 2022). La Comisión Ambiental Municipal (CAM)¹², dirigida por la Municipalidad Provincial de Pisco, está conformada por organizaciones ambientales gubernamentales y no gubernamentales, y es el principal ente articulador,

9 Los Residuos Sólidos de Construcción y Demolición (RCD) se diferencian de los Residuos Sólidos Urbanos (fundamentalmente domiciliarios y comerciales) por su composición. "Los escombros pueden ser definidos como todo residuo sólido sobrante de las actividades de la construcción, reparación o demolición de obras civiles o de otras actividades conexas, complementarias o análogas. Basándose en este concepto y en la procedencia de los escombros, surge la sigla RCD (residuo de construcción y demolición), que incluye en su definición la procedencia del ya conocido residuo sólido" (Glinka M. et al 2006: 2).

10 Resolución jefatural N° 465-2002-INRENA.

11 Resolución presidencial N° 020-2016- SERNANP.

12 La CAM es el órgano de coordinación, e instancia de gestión ambiental de la Provincia de Pisco, encargada de coordinar y concertar la política ambiental de la Provincia de Pisco, promoviendo el diálogo y el acuerdo entre los sectores públicos, privado y sociedad civil, articulando sus políticas ambientales con la Comisión Ambiental Regional y la Autoridad Ambiental Nacional - Ministerio del Ambiente.

promueve espacios de diálogo y propuestas de solución a las problemáticas de los humedales. Se fomenta la conservación de los humedales de Pisco Playa como un ecosistema vinculado a la RNP, con el respaldo de las entidades técnicas locales y regionales, donde además interviene la cooperación internacional.

Las titulaciones de tierra de grandes porciones del humedal es uno de los principales problemas en Pisco Playa, y son parte de la interacción -a menudo descoordinada- entre la gestión de nivel regional y la local. El Programa Regional de Titulación de Tierras (PRETT ICA) a cargo del Gobierno Regional de Ica¹³,

brinda seguridad jurídica y adjudicaciones de predios rurales con fines productivos a solicitud, pero esas titulaciones suelen incluir a humedales costeros dentro de las áreas catastrales asignadas. Existen diferentes procedimientos de titulación que varían en tamaño, escala y actividad. Por ejemplo, la entrega de tierras en base al D.S. 026-2003-AG está condicionada a la realización de un proyecto productivo agrícola o agropecuario en un plazo de tres años, y si tras una inspección se constata que no se realizó el proyecto, se aplica una cláusula de reversión de la tierra al Estado, se notifica al solicitante y a registros públicos para afectar la partida registral asignada.



Figura 4: Cercamiento de terrenos dentro del humedal de Pisco Playa. Créditos: IGP.

13 El PRETT tiene como objetivo: "planificar, organizar, dirigir y controlar los procesos en materia de administración y adjudicación de terrenos de propiedad del Gobierno Regional de Ica. Su visión y misión es lograr que la Región de Ica mantenga información catastral rural actualizada, para de esta manera proporcionar la seguridad jurídica a los propietarios y poseedores de predios rurales, generando las condiciones básicas para el desarrollo ágil y transparente del mercado de tierras de uso agrario ya sea para su acceso al crédito formal y por ende el incremento de inversiones privadas del agro con el fin de contribuir al desarrollo integral de la Región Ica" (PRETT 2023).

Hasta el 2022 no existía un registro compartido de los humedales en la base de datos catastrales que maneja el PRETT, SERFOR y el ALA Pisco, y cada institución utilizaba una base de datos diferente. Por ello, el PRETT ha solicitado que la autoridad competente, señale las coordenadas en las cuales se encuentran los humedales para evitar su superposición, negar la asignación de tierras en tales coordenadas y solicitarles a los interesados una reformulación del área solicitada para su proyecto productivo. Esto promovería indirectamente la intangibilidad y consecuente conservación de los humedales en Pisco Playa, donde actualmente existen cinco unidades catastrales y siete partidas registrales en SUNARP (Blanco, 2022).

Un caso de reversión de una titulación en áreas del humedal Pisco Playa muestra cómo la presencia y articulación de actores locales puede funcionar para la protección del ecosistema: Antes de pandemia y preocupados por la conservación del humedal, profesionales ambientalistas locales informaron a la CAM de un cercamiento en una zona del humedal y solicitaron a la Municipalidad de Pisco acciones correctivas al respecto. Este cercamiento del humedal fue un punto de agenda en varias reuniones organizadas por la CAM.

La CAM y sus organizaciones desarrollaron actividades de presión y redes con organizaciones de nivel regional como la FEMA, el PRETT y el GORE Ica, lo que fue central para lograr sus objetivos. Para ello, realizó invitaciones a sus reuniones a otras

instituciones claves de escala regional, y desarrolló talleres de sensibilización vinculadas a la gestión conservacionista alertando sobre los peligros de la titulación de áreas del humedal. El PRETT fue incorporado a las reuniones de un grupo de trabajo ad hoc para analizar esta problemática, mientras que en el 2022 el proyecto EbaMar¹⁴ desarrolló una consultoría sobre el saneamiento físico legal de los varios humedales de la provincia del Pisco.

Estas acciones generaron procesos de deliberación para lograr una solución. Una vez incorporado el PRETT a la red, este recomendó una salida legal aplicando el artículo 3 de reversión de la titularidad. Esta medida se planteó como un proceso de gestión para la protección del humedal en caso de titulaciones dadas por el PRETT, generando un caso emblema de reversión en el humedal de Pisco Playa. Sin embargo, cabe señalar que el proceso de reversión tomó un largo periodo, y se vio favorecido por la constatación que realizó el PRETT, de la no existencia del proyecto productivo en las seis hectáreas asignadas, por lo que el titular de la concesión -solicitada en el 2012- perdió su titulación. El PRETT generó un informe legal que concluye en la reversión al Estado de las seis hectáreas y envió un oficio a los registros públicos¹⁵. Este caso de reversión fue posible porque existen arreglos institucionales que posibilitaron y dinamizaron este proceso, y además se ha abierto una vía legal que podría facilitar el revertir procesos de titulación que afectan a la mayoría de los humedales de la provincia.

La fortaleza del tejido institucional

La principal fortaleza del sistema de gobernanza es el tejido institucional que posibilita el desarrollo de actividades de redes, inversión, presión, autoorganización y procesos de deliberación en la

gestión ambiental que desarrolla la CAM. Esta es una organización local con lazos organizacionales importantes con el MINAM y el Proyecto EbaMar, que surgen dada su cercanía a las políticas ambientales

14 <https://www.giz.de/en/worldwide/91889.html>

15 Si el administrado no apela, este proceso da por concluido. Si apela, se elevará el pedido a la Gerencia Regional de Asesoría Jurídica para que resuelva

de la Reserva Nacional de Paracas, que en algún momento incluyeron a estos humedales. Por ello, la gestión de estos humedales se vincula incluso al desarrollo de un Plan de Manejo integrado de la Zona Marino Costera (PMIZMC) de la provincia de Pisco. La CAM en sus actividades de redes involucra a organizaciones locales como: ALA Pisco, SERFOR y ONGS ambientales locales y posteriormente a organizaciones de escala regional como el GORE Ica, la FEMA, el PRETT, etc. En sus reuniones abordan la gestión ambiental del humedal. Les preocupa el saneamiento físico legal de varios humedales y sus

consecuencias, ya que posibilitan a los propietarios del suelo su relleno, construcción de infraestructura y/o destrucción del hábitat de aves.

En la **Figura 5** se muestra, a través de un gráfico de radar, la influencia de los actores en la gobernanza del humedal Pisco Playa. Este gráfico se inspira en la investigación que realizaron Barreto et al. sobre las interpretaciones y usos de las "dimensiones humanas" en 92 artículos indexados sobre áreas marinas protegidas y la pesca artesanal (Barreto et al., 2020).

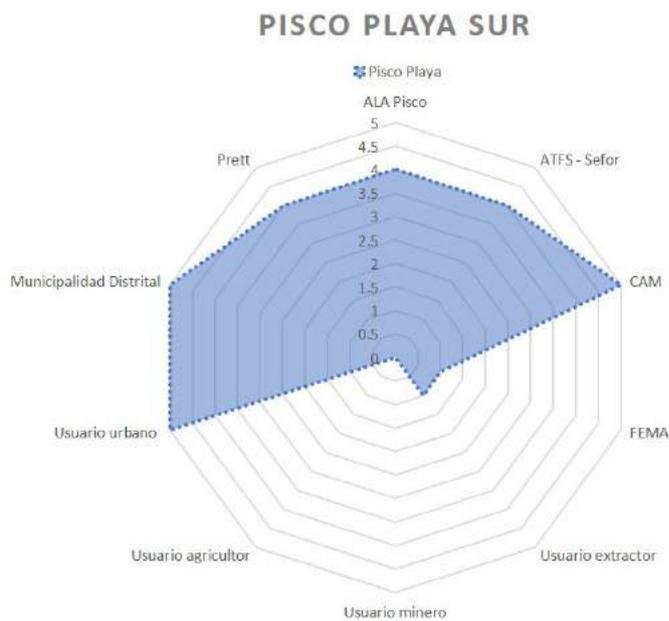


Figura 5: Articulación e influencia de actores en la gobernanza del humedal Pisco Playa.

Cabe mencionar que la gestión de los humedales es una parte de una de las actividades de la CAM, pero no la única. Por ejemplo, en noviembre del 2022 vinculada al Proyecto Humboldt II, y para mejorar la gestión ambiental en la bahía de Paracas y el borde marino costero de Pisco, se realizó la primera reunión de trabajo para coordinar la conformación del grupo interinstitucional vinculado al Comité de Gestión Local del Plan de Manejo integrado de la Zona Marino Costeras (PMIZMC) de la Provincia de Pisco, el cual será liderado por la Municipalidad Provincial de Pisco y el Ministerio del Ambiente. Otra fortaleza del sistema de gobernanza es que, dada la influencia del MINAM y con el apoyo del proyecto EBAMAR, se ha

fortalecido una institucionalidad conservacionista de los humedales, la cual promueve su uso contemplativo por la urbe y el turismo que podría atraer. A diferencia de otros casos, existe continuidad de algunos funcionarios en el tema desde el 2002, lo que ha permitido poca rotación y cambios en los proyectos a pesar del cambio de gobierno municipal.

Entre las debilidades del sistema de gobernanza se encuentra la sectorialización que atraviesa la gestión del ecosistema vinculada a las políticas gubernamentales de los humedales a nivel nacional y su aplicación a escala local. También debe considerarse que la escala de la solución a las problemáticas ambientales excede

al tejido institucional local, pues a menudo depende de acciones regionales o nacionales. Tal es el caso del proceso de acumulación de los Residuos Sólidos de Construcción y Demolición (RCD) originado tras el terremoto del 2007, el que marcar una especie de frontera del humedal con la zona agrícola: si bien la CAM ha mostrado interés por el traslado del desmonte, esta acción se dificulta porque no se cuenta con una escombrera provincial, y los esfuerzos municipales por desarrollar un proyecto que permita su remoción aún no han dado resultados positivos.

Otra problemática es la contaminación de las aguas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de EMAPISCO, ubicada aguas arriba del humedal (Figura 6). La empresa señala que los agricultores de la zona utilizan las aguas residuales sin autorización para regar sus cultivos y el agua de rebose contamina

el humedal. Si bien la ALA Pisco y la comisión de riego realizaron diligencias y sanciones, la actividad persiste en la zona. Los nitratos y fósforos de las aguas residuales son nutrientes para los cultivos, sin embargo, deben tener Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para no afectar la salud de las personas y ecosistemas, generando además un olor fétido que llega a las poblaciones urbanas contiguas, y las aves que utilizan las aguas del humedal para su descanso tienen menores espacios, dados los procesos de eutrofización generados por las aguas residuales. El crecimiento urbano poco planificado, la falta de gestión de las aguas residuales y la PTAR, superan las capacidades de solución de la CAM, la Municipalidad y EMAPISCO, EPS que se encuentra bajo el Régimen de Apoyo Transitorio (RAT) de la OTASS desde el 2016¹⁶, debido a su insolvencia económica y financiera.



Figura 6. Contaminación del humedal por aguas residuales. Créditos: IGP.

¹⁶ Acuerdo de la sesión N°019-2016-OTASS/CD.

Pisco Playa norte

Los humedales de Pisco Playa norte se refieren a los tres ubicados en el distrito de San Clemente: Boca del Río, Caucato y Camacho, en ese orden de sur a norte. Dada su pertenencia al corredor ecológico de la bahía, los tres fueron humedales priorizados en el inventario de la ALA Pisco en el 2018. El humedal Boca de Río tiene menor presión inmobiliaria y agrícola dada su cercanía a la desembocadura del río Pisco y a sus desbordes estacionales en época de avenida, que opera como una especie de frontera natural. En comparación, el humedal Caucato y Camacho que han sido afectados por la especulación y valorización para suelo urbano, el desarrollo de proyectos inmobiliarios de casas de playa y el avance de la frontera agrícola, como se desarrolló en el artículo de tensores en el Volumen I de este reporte.

Existen conflictos entre los usuarios extractores de totora y pastores antiguos del humedal y algunos nuevos "propietarios o posesionarios" del suelo. Informantes locales señalan que en décadas pasadas no se percibía interés por los terrenos del litoral, y señalaron conocerse y existir un respeto entre usuarios de las actividades agrícolas, los de extracción y pastoreo, actividades que se realizaban en forma paralela. Actualmente se registran cercos, letreros y tranqueras que dificultan el acceso al humedal, y para acceder a los caminos se solicita permiso al personal de vigilancia, quienes señalan que al ser propiedad privada no es posible el libre acceso, debiendo solicitar acceso a través de llamadas telefónicas en el momento.

La titulación del área colindante de un humedal afecta la gestión local estatal. Varios funcionarios locales señalaron la dificultad para llevar a cabo sus funciones de supervisión o fiscalización por la dificultad en el acceso a los humedales dentro de áreas de propiedad privada, por lo que en ocasiones deben solicitar apoyo a la Fiscalía Medioambiental o la Policía Medioambiental de Paracas. Esta es una

problemática preocupante pues el humedal Camacho tiene superposición con ocho predios catastrados y formalizados por el PRETT y 22 partidas registrales en SUNARP. El humedal de Caucato tiene superposición con nueve predios catastrados y con 17 propiedades privadas inscritas en SUNARP y según el Plan de Desarrollo Urbano de la Municipalidad Provincial de Pisco tiene una zonificación de Zona de Habilitación Recreacional (ZHR) (Blanco, 2022).

Acción pública y el relleno de humedal Caucato

Este segundo caso analiza cómo opera la gobernanza local para enfrentar el progresivo de relleno en el humedal de Caucato para su conversión en suelo agrícola, y probablemente en una siguiente etapa en suelo urbano, dada la valorización del litoral. Se presentan a los actores clave del proceso, cómo enfrentan el relleno y las acciones públicas locales que se desarrollan.

Uno de los principales recursos que se extraen del humedal es la fibra vegetal. Las políticas gubernamentales señalan que el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) es el organismo técnico especializado que otorga autorización hasta por cinco años renovables para la extracción con fines comerciales de plantas medicinales y vegetación acuática emergente en bosques y otros ecosistemas de vegetación silvestre, como los humedales. Así, las Administraciones Técnicas Forestales y de Fauna Silvestre (ATFFS) correspondientes de SERFOR autorizan a los usuarios extractores a extraer fibra vegetal y ellos tienen el deber de cuidar y vigilar el humedal. La autorización para la extracción de totora en principio es una actividad a escala e intensidad reducida, que no genera impactos ambientales significativos, como sí lo pueden hacer otras actividades de extracción. De acuerdo con el procedimiento establecido, el

17 La R.A. N° 274-2016-SERFOR-ATFFS ICA del 21/12/2016 con código de la autorización: 11-ICA/AUT-VAE-2016-031, y la R.A. N° 161-2018-MINAGRI SERFOR-ATFFS ICA del 23/11/2018 con código de la autorización: 11-ICA/AUT-VAE-2018-029.

usuario extractor presenta una Declaración de Manejo (DEMA) ante la ATFFS correspondiente: en el humedal Caucato se han otorgado dos autorizaciones¹⁷ para la extracción de totora.

Los procesos de autorización generan lazos organizacionales entre la ATFFS Sede Chincha, la ALA Pisco y el usuario extractor. El procedimiento requiere que la ATFFS SERFOR solicite una opinión técnica al ALA Pisco, y esta realiza una verificación técnica de campo, evalúa el expediente del solicitante y que la extracción no impacte, ni altere la cantidad y la calidad del cuerpo de agua, generando un informe técnico, que emite a la ATFFS solicitante de su opinión técnica.

La extracción de fibra vegetal es una actividad económica de larga data. Una de las usuarias autorizadas para la extracción de totora y junco en el humedal de Caucato señaló que lleva en la actividad alrededor de 20 años. Explicó el difícil acceso al humedal en los últimos tiempos, pues varios agricultores con quien tenía relaciones cotidianas habían fallecido, y sus hijos habían vendido sus parcelas a terceros. Además, han aparecido nuevos propietarios y empresas, especialmente cerca a la playa, cuyos suelos se empezaban a valorizar por el desarrollo inmobiliario en el litoral de Pisco.

El conflicto inició en el 2017, cuando la usuaria llega al humedal Caucato para extraer totora y encontró a un grupo de personas que intentaban tomar violentamente la posesión del humedal, removiendo y rellenando el humedal con maquinaria pesada, señalando ser sus posesionarios. Ante ello, la usuaria interpuso una denuncia¹⁸ en la ATFFS SERFOR Chincha que gestionó

acciones para intervenir en el humedal junto con la Policía Ambiental de Paracas y el ALA Pisco, y lograron expulsar a los invasores en esa primera ocasión. Especialistas ambientales locales que conocen del caso, señalaron que el denunciado nunca se retiró del todo, siendo su presencia intermitente.

El ALA Pisco verificó la existencia del recurso forestal en el humedal ubicado en el sector Caucato y opinó favorablemente a la extracción del recurso forestal totora¹⁹, mientras que la ATFFS Ica mediante un informe técnico²⁰ sobre evaluación espacial y superposición de áreas de plano reformulado, concluía que las UMF asignadas comprenden un área de 8.1639 ha y que no se superponían con ningún predio catastrado al amparo del Decreto Legislativo 1089 Régimen Temporal Extraordinario de Formalización y Titulación de Predios Rurales que otorga el PRETT.

La usuaria denunció que, a inicios del mes de enero del 2021, al intentar ingresar al terreno donde estaba autorizada a extraer totora, encontró al denunciado y su nieto, realizando acciones de siembra sobre el humedal rellenado con tierra (Figura 7). Al lugar se constituyó la PNP junto con la ATFFS SERFOR, emitiendo un informe²¹ donde señalaba que en la zona supuestamente afectada no se evidenciaban rastros de productos forestales no maderables, es decir, se ponía en duda la misma existencia del humedal, sin considerar los antecedentes del área, del acusado y la denuncia anterior. Los usuarios extractores señalan que la rotación de personal en la ATFFS influye negativamente en la gestión de los humedales, pues nuevos funcionarios desconocen lo actuado.



18 Denuncia código SINADA ODIC-0026-2017 (Registro No. 2017-E01-054721), de fecha 20 de julio de 2017.

19 Informe N° 019-2019-ANA-AAA.CH-ALA.P-AT/EDR.

20 Informe Técnico N° 012-2019-MINAGRI-SERFOR-ATFFS ICA, de fecha 22 de abril de 2019.

21 Informe No. D000040-2021-Minagri SERFOR ATFFS-Ica Sede Pisco.

Figura 7. Relleno y secado del humedal Caucato. Créditos: IGP.

Las dos usuarias extractoras de totora de Caucato pertenecen a la Asociación de Extractores de Chincha-Pisco de Totorá, Junco, Caña y Carrizo. Esta organización denunció la expansión agrícola y cierre de caminos de acceso en varios humedales de Pisco. Además, desarrolló actividades de presión y con la opinión favorable del ALA Pisco, posibilitaron una nueva diligencia de constatación²², encontrándose al denunciado realizando la limpieza y sembrado de pallar y camote. Esta acta posibilitó la emisión de un nuevo informe técnico²³, que concluyó que al interior de la Unidad de Manejo Forestal (UMF), se evidenció aproximadamente 0.5 ha de terreno

arado, 100 m² de cultivos de camote y 100 m² de tallos de totora afectados por la actividad de arado del terreno (Figura 8).



Figura 8: Realización del acta de verificación de la ATFFS SERFOR con la Policía ambiental y la usuaria extractora denunciante en agosto del 2022. Créditos: IGP.

Para secar humedales se abren y desvían los canales de riego que los alimentan, por lo que la ATFFS emitió un informe²⁴ donde concluía que correspondía a la ATFFS de Ica determinar la responsabilidad administrativa del invasor a efectos de iniciar un Procedimiento Administrativo Sancionador (PAS), en caso existiera la apertura de un canal o acequia, hecho que constituye una infracción al reglamento de la Ley de Recursos Hídricos.

22 Acta de Verificación N° 023-2021-Minagri SERFOR-ATFFS-Ica-Sede Pisco-Chincha, del 5 de marzo del 2021.

23 Informe Técnico N° D00041- 2021-Minagri-SERFOR-AATFFS-Ica-Sede Pisco-Chincha, del 19 de marzo de 2021.

24 Informe N° D000029-2021-SERFOR ATFFS-Ica, del 4 de junio de 2021.



Figura 9. Humedal Caucato. Cambio de uso de suelo. Créditos: IGP.

Durante el trabajo de campo de julio y agosto del 2021, se verificó la apertura de canales de riego que alimentan al humedal Caucato para desviar el agua directamente al mar. En agosto del 2022, se presenció en Caucato el levantamiento de un acta por parte de la ATFFS SERFOR ante la denuncia de la misma extractora al mismo invasor, por continuar realizando actividades de cultivo en el humedal, el cual había reducido ostensiblemente su tamaño. Asimismo, durante el año 2021, la extractora denunciante señaló que la ATFFS le negó la renovación de su autorización, ya que existía una superposición entre áreas catastrales y partidas registrales, por lo que señala que realizará denuncias ante la OEFA y otras instituciones. Si bien, por un lado es necesario contar con mayor y mejor información sobre los usuarios a los que se les entregan concesiones, y tener una mirada más amplia de la forma de manejo de dichos espacios, una de las consecuencias de retirar usuarios extractores, es dejar al humedal sin un actor que denuncie a la ATFFS o al ALA Pisco los intentos de cambio de uso de suelo a través de quemas, modificaciones o rellenos.

Fortalezas y debilidades del sistema de gobernanza

Una de las principales fortalezas del sistema de gobernanza cotidiana tras el análisis de relleno del humedal de Caucato son los lazos organizativos que operan entre el ALA Pisco, las dos usuarias extractoras, la ATFFS SERFOR sede Chincha/Ica y la policía medioambiental, que son los principales actores en la gestión y protección del humedal de Caucato. Es destacable las actividades de presión que desarrolla la asociación de extractores. Como señala Ostrom (2009), a menudo son los usuarios que tienen comprometidos sus medios de vida, los más interesados en la gestión y protección del ecosistema que les brinda tales recursos. En la [Figura 10](#) se presenta un diagrama de red que muestra la articulación e influencia de actores en Caucato.

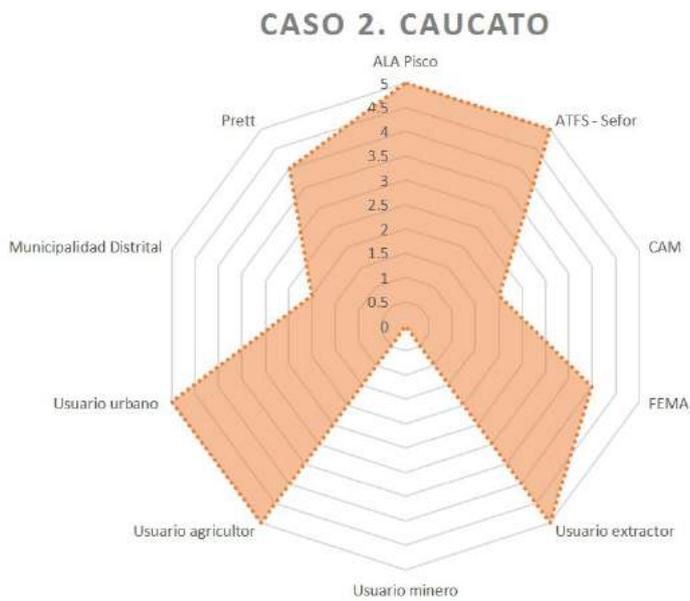


Figura 10. Articulación e influencia de actores en la gestión del humedal Caucato.

En este humedal aparecen nuevos actores importantes como son los invasores, los titulares de predios catastrados y los nuevos propietarios. Esta competencia por el suelo del litoral se expresa en la presencia de elementos de seguridad como tranqueras, cercos y varios letreros que señalan propiedad privada. En el humedal de Caucato, también se pone en evidencia algunas debilidades del sistema de gobernanza, pues si bien el marco normativo puede sancionar las acciones de remoción de tierra, relleno y desvío de canales, los procesos suelen ser largos y tediosos, pues los tiempos administrativos para las sanciones y acciones complementarias pueden tomar varios años. Por ejemplo, si una persona presenta una denuncia al ALA Pisco (Figura 11), se desarrollan diligencias que pueden durar un mes, pues se debe realizar un informe, identificar el tipo de infracción, y abrir un proceso administrativo sancionador con una notificación. Desde esa apertura, se cuenta con nueve meses, sea para la resolución de sanción o archivamiento del proceso. Pasados los nueve meses, la persona podría presentar dos recursos: la reconsideración para que la institución revise de nuevo su resolución, o la apelación, que se dirige al Tribunal Nacional de Controversias Hídricas²⁵, que es su máxima y última instancia, pero que no tiene un plazo fijo para resolver procesos de apelación. Si la persona no cumple con la medida complementaria o con pagar la multa, pasa a la unidad de ejecución coactiva. Todo ese proceso puede durar de uno a cuatro años.

Figura 11. Usuaría extractora registra el secado de totora en el humedal Caucato por desvío de canal de alimentación. Créditos: IGP.



25 <https://www.ana.gob.pe/organizacion-funciones/tribunal-nacional-resolucion-controversias-hidricas#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20el%20Tribunal%20Nacional,la%20Autoridad%20Nacional%20del%20Agua.>

Dada la sectorialización, la supervisión de las afectaciones le correspondería al ALA Pisco si se tratase del cuerpo de agua y al SERFOR si se trata de la vegetación asociada, como la totora. Por ello, es central que la gestión de los humedales supere la fragmentación administrativa y los analice como un ecosistema eco hidrológico en sí mismo, y a su vez integrado a otros humedales, pues los impactos de los humedales aguas arriba suelen afectar directa o indirectamente a los humedales aguas abajo.

La invasión de humedales, aunque son frenados por el ALA Pisco y la ATFFS SERFOR, deben tener como aliado central a la Fiscalía Especializada en Materia Ambiental de Ica (FEMA Ica), como señala un experto ambiental consultado. La FEMA Ica se creó en septiembre del año 2019, como parte de

las políticas ambientales nacionales, y aunque según su reglamento el equipo debería estar conformado por cinco personas (un fiscal provincial, dos fiscales adjuntos y dos asistentes de función fiscal y/o administrativa), a agosto del 2022 solo se contaba con el fiscal provincial y un fiscal adjunto, y solicitaban el apoyo de un asistente en función fiscal perteneciente a otra fiscalía, lo que sin duda es insuficiente para cumplir con sus labores, ya que su jurisdicción abarca toda la región Ica y algunos distritos de Ayacucho y Huancavelica.

Un tema escasamente tratado es la falta de acciones de remediación y/o restauración del humedal en las zonas que se conoce han sido afectadas, generando a menudo daños irreversibles y la progresiva pérdida del humedal (Figura 12).



Figura 12: Consolidación del avance de suelo agrícola en el humedal de Caucato agosto del 2022. Créditos: IGP.

Agua Santa, el humedal más grande de Pisco

El tercer caso de estudio sobre gobernanza es el del humedal Agua Santa en San Clemente. Este es el humedal costero más grande de la cuenca baja de Pisco con una extensión de 5.2 km², y tiene una valoración productiva antes que conservacionista, en comparación con Pisco Playa. Fue uno de los seis humedales priorizados para ser inventariados en el estudio piloto del ALA Pisco, pero no cuenta con los datos completos, debido a que los especialistas no lograron acceder por un tema de derechos de propiedad (ANA, 2018). Según el inventario, este humedal es el resultado de las infiltraciones del río Pisco y de la actividad agrícola, y el análisis multitemporal

realizado muestra una reducción de 2 ha entre los años 2002 y 2011, y una reducción mucho mayor de 33 ha entre los años 2011 y 2019, pasando de 597 ha a 564 ha (Inchaustegui, 2020).

El humedal tiene un uso minero, agrícola y urbano. Cuenta con concesiones mineras no metálicas en el sector Pantanos de Agua Santa que incluyen a Las Dunas N° 2 y Las Dunas N° 3 Segunda, cuyo titular es la Unión Andina de Cementos S.A (UNACEM). Cerca del 53% de los humedales de esta unidad hidrográfica está bajo alguna modalidad de concesión minera, y se encuentra en trámite la concesión La Suerte 13-2014, cuyo titular es la Compañía Minera Agregados Calcáreos S.A. (ANA, 2018). El humedal, además, está rodeado de urbanizaciones, y existen dos autorizaciones para la extracción de totora en el sector de Salinas y en el sector de Agua Santa.



Figura 13: Acceso limitado al humedal. El permiso para el ingreso a la concesión se otorga solo al personal autorizado. Créditos: IGP.

San Clemente presenta un fuerte crecimiento urbano en la última década, dada su cercanía a importantes vías de comunicación. Existen asociaciones de vivienda colindantes con el humedal como: Nuevo Amanecer, Juan José Quispe, la Cooperativa Agua Santa y Jerusalén. El 16 de octubre del 2020, la Municipalidad Provincial de Pisco firmó un convenio con la Municipalidad Distrital de San Clemente para la formalización y titulación de predios de las siguientes posesiones y habilitaciones urbanas: Agua Santa, Costa Verde, Los Rosales, El Mirador, Los Laureles, Nuevo Amanecer, Ollanta, Virgen Natividad, Eddy García, Villa Josué, Renacer, Nuevo Milenio, Sr. De Luren, Caucato, Agua Sta. Porvenir, Sta. Clara. Buen Pastor, Camacho, Bellavista, J.J. Quispe, Nueva Esperanza, Prol. Los Andes, Carlos Palomino, Grupo 5, La Nueva Luz de Esperanza.



Figura 14: Avance urbano y PTAR cercanos al humedal Agua Santa. Créditos: IGP.

El crecimiento poblacional impacta directamente en el humedal por la contaminación por residuos sólidos, y existen al menos dos denuncias a OEFA sobre un botadero de residuos sólidos en el lado sur del humedal. Además, existe un problema de salinización del terreno debido a la actividad minera otorgada a la concesión de UNACEM en el lado norte del humedal. También existe contaminación de aguas residuales, pues la PTAR construida sobre el humedal actualmente no funciona; y por ello, el ALA Pisco supervisó y multó a la municipalidad por el vertimiento de sus aguas sin tratamiento.



Figura 15. Cercamiento en el Humedal de San Clemente – Agua Santa. Crédito: IGP.

También el uso agrícola es importante, se ha registrado la presencia de establos de empresas, cercos y actividades de pastoreo, y dentro del humedal existen quince propiedades privadas inscritas con partidas registrales (Blanco, 2022). A continuación, se presentarán los arreglos institucionales que influyen en la gestión del humedal.

El humedal discreto y trabajador

El humedal Agua Santa es valorado como un área productiva para sus diversos usuarios y parece invisibilizado como humedal a conservar. Se encuentra rodeado por una serie de infraestructuras antrópicas que han avanzado sobre sus límites, sobre los cuales no existe claridad, y se requiere una

mayor delimitación para promover su protección. Sin embargo, hasta la fecha no ha sido posible establecer dicha delimitación por la propia ALA Pisco, por el impedimento de acceder a este espacio por los cercos que lo rodean, al ser propiedad privada, como constatan en su inventario de humedales del 2018.



Figura 16. *Humedal de San Clemente – Agua Santa. Créditos: IGP.*

El humedal Agua Santa fue fragmentado en el tiempo por las diversas actividades que se realizan, especialmente la actividad de minería no metálica y la construcción de la Carretera Panamericana. En la zona oeste del humedal, colindante con la zona agrícola se aprecian varios canales de riego que lo alimentan, y se advierte la presencia de cercos, zonas

de pastoreo de animales y establos de empresas privadas que impiden el acceso a zonas del humedal. Esta actividad productiva influye en el crecimiento de algunos centros poblados formados por migrantes, mano de obra de establos y/o empresas de la zona. Por ejemplo, Jerusalén que está formado por migrantes de Pucallpa.

El desarrollo de vías de comunicación como la nueva y antigua Panamericana promueven el crecimiento urbano del distrito y avanzan hacia el humedal. Varios entrevistados señalan que los humedales de Agua Santa no son considerados como un tema estratégico por las autoridades, y su gestión tiene como principales actores a los usuarios de sus actividades económicas productivas y crecimiento urbano, y solo en segundo plano al ALA Pisco, ATFFS SERFOR y la Municipalidad de San Clemente.

Las municipalidades distritales pueden ser un actor importante en la gestión del humedal, y se han registrado actividades de redes interinstitucionales

entre la ALA Pisco, SERFOR y la Municipalidad de Independencia. El humedal del sector Manrique (Figura 17) tuvo un conflicto entre usuarios extractores y la municipalidad, tras la expansión del cementerio municipal al costado del humedal, pues los extractores denunciaron su contaminación y relleno con residuos sólidos. Por su parte, la municipalidad acreditó una titulación que incluye al humedal, y tras la intervención del ALA Pisco, se acordó con la municipalidad su protección, aunque fue difícil la identificación de los responsables de la contaminación. La municipalidad desarrolló una limpieza de residuos sólidos y algunas vigilancias del serenazgo para evitar el arrojado de desmonte.



Figura 17. Residuos sólidos arrojados en el humedal Manrique. Crédito: IGP.

Finalmente, la Gerencia Ambiental de la Municipalidad de Independencia señaló el interés de promover la conservación y estudio del Humedal Cabeza de Toro, donde se avistó al cuy andino.

Sectorialización y diversidad de usuarios

La principal característica del sistema de gobernanza del humedal Agua Santa es la coexistencia de los diversos usuarios. Ante el avance de la urbanización en una de las fronteras del humedal, la municipalidad permite el desarrollo de asociaciones de vivienda y afecta al humedal con el rebose de las aguas residuales de su laguna de oxidación que se encuentra inoperativa tras el robo del motor, la falta gestión y mantenimiento. Un importante actor regional es el PRETT, que ha entregado titulaciones para proyectos productivos en áreas que se superponen al humedal. Además, existen usuarios agrícolas en varias zonas del humedal. En la [Figura 18](#) se observa la mayor influencia de actores productivos vinculados a minería, actividad agrícola y otros usuarios urbanos, así como la poca presencia de las instituciones gubernamentales.

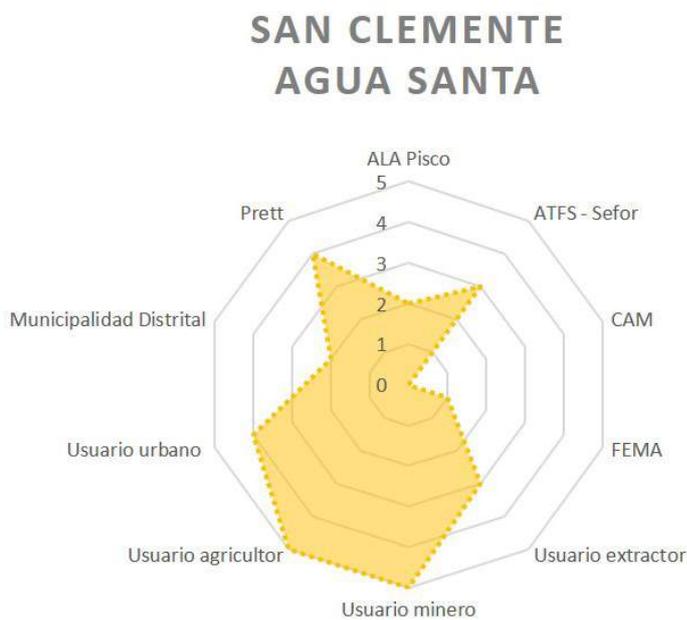


Figura 18. Articulación e influencia de actores en la gestión del humedal Agua Santa

Entre las principales debilidades del sistema de gobernanza, se encuentran las pocas acciones de fiscalización del ALA Pisco y la ATFFS SERFOR, a pesar de que usuarios extractores han denunciado la quema en el humedal, relleno y su secado con la desviación de canales para una posible expansión urbana sobre este. Asimismo, existe poco involucramiento de la CAM, la Municipalidad Distrital de San Clemente, la FEMA y otras organizaciones que tienen una presencia más activa en los humedales de Pisco Playa y de Humay, como se tratará en la siguiente sección.

Los humedales de Humay

En el distrito de Humay existe una cadena de humedales que parecen fragmentados pero que son parte de un sistema, por ende, desde un enfoque de cuenca, la gestión del agua subterránea los podría afectar a todos en su conjunto. Existe una valorización de las pampas de Humay para agricultura de consumo y la agricultura de agroexportación a pesar de que es una zona de veda de agua subterránea ante el estrés hídrico. Además, todos los humedales de Humay se encuentran superpuestos con unidades catastrales y propiedades como se aprecia en la [Tabla 1](#).

Tabla 1.

Unidades catastrales, partidas registrales y autorizaciones según humedal

Humedal	Unidades catastrales	Partidas registrales en Sunarp	Autorización extracción de totora
Laguna Morón	7	14	4
La Palma	5	13	4
Frontón	20	11	1

Fuente: ATFFS SERFOR. Blanco 2022. Elaboración propia.

Trayectorias diferenciadas y riesgos comunes

Este cuarto caso de gobernanza muestra la trayectoria diferenciada entre la gestión municipal de la Laguna Morón y la gestión de los humedales de Costa Rica, El Frontón, La Palma, La Parra y Murga. La laguna Morón es un humedal importante en el imaginario del distrito de Humay, y se recoge una valoración conservacionista por parte del gobierno municipal que desarrolló un plan de gestión. Para ello, la municipalidad desplegó actividades de inversión y se generó un sistema de derechos de propiedad municipal con su titulación. En búsqueda de su desarrollo turístico se generaron actividades de inversión, redes y presión, declarando la laguna Morón como patrimonio del distrito y se vincularon a un proyecto con el Mincetur para su promoción turística (Figura 19).



Figura 19. La Laguna Morón. Créditos: IGP.

La Municipalidad distrital de Humay desarrolló actividades de inversión para su promoción turística, como la inversión en la mejora del camino de acceso a la laguna, la construcción de un pequeño muelle e infraestructura para el turismo y un vigilante para la zona (Figura 20), aunque actualmente tiene limitado mantenimiento. Ante la preocupación por la disminución de la cantidad de agua de la laguna, realizó actividades de redes y presión para gestionar con el ALA Pisco la construcción de un piezómetro para medir el nivel del agua subterránea, y actualmente los niveles de agua son registrados por el personal de vigilancia. Además, en vinculación con una ONG solicitaron al ALA la delimitación de su faja marginal para buscar su preservación. Dirigentes de Bernales han señalado conflictos en la zona con traficantes de tierra que años atrás intentaron tomar pampas cercanas



Figura 20. Infraestructura turística y de vigilancia en la Laguna Morón. Créditos: IGP.

Otra, muy diferente, es la trayectoria de los humedales vecinos de Morón como Frontón, Costa Rica, La Palma, La Parra, La Murga y Patitos, entre varios otros de pequeña extensión. Por un lado, la valorización de ese suelo para el desarrollo de proyectos de agroexportación generó una serie de conflictos de titulación de tierras entre varios actores, y debe considerarse que existe una historia de uso de los humedales de Humay como fuentes de agua: En todos los humedales visitados se encontraron mangueras, motores, pozos e infraestructura en funcionamiento y otros en desuso para la extracción de agua subterránea (Figura 21).



Figura 21. Infraestructura abandonada de recolección de agua cerca a humedal Murga. Créditos: IGP.

Existen litigios por el mejor derecho de propiedad del suelo, y se entiende que los humedales es un activo adicional del suelo para empresas y/o privados, existiendo numerosos cercos y vigilancia privada de las tierras y caminos con letreros de advertencia, personal armado y en motocicletas (Figuras 22 y 23). Si bien la municipalidad busca incluirlos en su gestión, la limitante es su carácter de propiedad privada. Por ello, la protección de este grupo de humedales es llevada a cabo solo por las instituciones con competencia en el tema: la ALA Pisco y la ATFFS SERFOR Chincha; y por usuarios extractores que han denunciado afectaciones al humedal.



Figura 22. Cartel de advertencia.
Créditos: IGP.



Figura 23. Vigilancia en moto en el humedal La Parra. Créditos: IGP.

En el humedal El Frontón, la extracción de agua subterránea ilegal que realizaba la empresa Redondos fue denunciada por una usuaria extractora perteneciente a la Asociación de Extractores Chincha Pisco en el año 2019. El ALA Pisco realizó operativos in situ en coordinación con la ATFFS SERFOR Chincha e Ica. Tras ello, la ALA Pisco informa a la Autoridad Administrativa del Agua (AAA) Chaparra Chincha y esta sancionó a la empresa con una multa de 2.5 UIT, disponiendo el retiro del equipo de bombeo (Figura 24). La empresa apeló, señalando que cuando adquirió el predio éste ya contaba con los equipos, no haber sido quien los instaló, y no estar de acuerdo con la sanción, pues no existe algún estudio técnico realizado que determine la afectación del humedal²⁶.

Esta apelación sería finalmente resuelta por el Tribunal de Resolución de Controversias Hídricas del ANA con sede en Lima, el que declaró fundado en parte el recurso de apelación interpuesto por la empresa, reduciendo la sanción a 2.1 UIT²⁷. Asimismo,

concluyó que la empresa usó el recurso de una cocha sin autorización de la ANA, lo que constituye una infracción a la ley de recursos hídricos, sin embargo, la cocha no se encuentra en la lista de humedales de importancia internacional Ramsar, sustento por lo que el tribunal consideró la reducción de la sanción. Cabe resaltar que existió un voto en discordia de un vocal que sustentó que, en la Estrategia de Nacional de Humedales, una cocha es un tipo de humedal que provee recursos importantes para las poblaciones locales y precisas que el hecho de que no se encuentra en la lista de humedales Ramsar, no significa que no sean objeto de protección.

Existe una percepción en Bernales de que la disminución del agua de la Laguna Morón está vinculada al desarrollo de agricultura de agroexportación de la empresa agrícola Andrea en los últimos años. La cuenca baja del río Pisco se encuentra bajo estrés hídrico según el ANA, y según la Ley de Recursos Hídricos, solo se puede acceder al agua con licencia, permiso o autorización

²⁶ Resolución N°098-2020 ANA/TRCH: 3,4

²⁷ Resolución N°098-2020 ANA/TRCH.

entregada por el ANA. Sin embargo, agrícola Andrea cuenta con una constancia temporal²⁸, otorgada por la Autoridad Administrativa del Agua Chaparra-Chincha a

favor de la agroexportadora para el uso provisional del agua subterránea con fines agrarios por un volumen de 2 191 449.0900 m³/año, respecto a 12 pozos²⁹.



Figura 24. Equipo de bombeo del Humedal El Frontón. Créditos: IGP.

Cerca a uno de esos pozos, un usuario extractor adulto mayor perteneciente a la Asociación de Extractores de Chincha-Pisco de Totorá, Junco, Caña y Carrizo, tenía autorización para la extracción de totora. Sin embargo, la perdió debido a una superposición con los títulos de propiedad de la empresa agroexportadora. Esto generó un conflicto entre la empresa Agrícola Andrea y el usuario extractor de totora, quien denunció usurpación de terrenos, extracción ilegal de agua subterránea, pérdida de sus áreas de trabajo, cierre de caminos, colocación de cercos, y en ocasiones hostigamiento de parte del personal de vigilancia, ante la Municipalidad de Humay y la Fiscalía.

El área especializada de la Administración Local de Agua Pisco sancionó a la Agrícola Andrea por

sobreexplotación del agua subterránea en uno de sus pozos³⁰, al considerar que la empresa había sobreexplotado el volumen de agua autorizado en su constancia temporal, incurriendo en la infracción tipificada de utilizar el agua con mayores caudales o volúmenes que los otorgados, e iniciando un procedimiento administrativo sancionador³¹. La empresa presentó sus descargos, negando que el reporte de un mayor volumen de explotación constituyera una infracción en materia de recursos hídricos, y por no existir medios probatorios. La AAA estableció finalmente una multa de 6UIT, ante lo cual la empresa presentó una reconsideración, llegando la controversia hídrica al Tribunal Nacional de Resolución de Controversias Hídricas.

28 Constancia temporal N°0423-2016-ANA-AAA-CH.OH del 7 de noviembre de 2016.

29 Resolución Jefatural N° 177-2015-ANA, en el marco del Decreto Supremo N° 007-2015-MINAGRI.

30 Informe Técnico N°049-2018-ANA-AAA-CH.CH-ALA PISCO/LEMP.

31 Notificación N° 037-2018-ANA-AAA.CH.CH-ALA PISCO.

Humedales como fuente de agua y stress hídrico

Las fortalezas del sistema de gobernanza cotidiana en el distrito de Humay se vinculan a la importancia que les atribuye la municipalidad y la población a sus humedales, especialmente a la Laguna Morón, lo que ha impulsado su centralidad y el despliegue de actividades de inversión, presión, redes y autoorganización, existiendo además una continuidad en la gestión de diferentes alcaldes, que ha conseguido la titulación a nombre de la municipalidad. Otros actores que fortalecen el sistema de gobernanza son la ALA Pisco y los usuarios extractores, especialmente denunciando la afectación de los otros humedales, que están bastante alejados y son de difícil acceso. El ALA Pisco ha recibido las denuncias de usuarios extractores que señalan que no los dejan ingresar a realizar la extracción, tendido y secado de la totora a pesar de que cuentan con las autorizaciones brindadas por la ATFFS SERFOR, mientras que el ALA Pisco ha salido en defensa del uso ilegal de agua subterránea de los humedales ya que el área de encuentra en

Los liderazgos y emprendimientos de los usuarios extractores de totora a través de su asociación pueden ser favorables a la conservación y vigilancia del humedal. Cuentan con un incentivo económico, que hace que se involucren en su gestión del humedal, tienen años de conocerse, así como vínculos de parentesco,

déficit hídrico. Entre las debilidades del sistema de gobernanza se identifica la falta de articulación con la gestión local para la conservación de los humedales de organizaciones de escala provincial como la CAM, regional como el GORE o el PRETT, y otras de escala nacional como los proyectos de conservación del MINAM u ONGs ambientalistas.

Por su parte, los humedales de Humay han tenido un uso productivo de pequeña escala, vinculado a las actividades agrícolas de larga data en el valle. Un usuario extractor señaló que en la época de hacienda la extracción de fibra vegetal dependía de los acuerdos que establecían los extractores y los hacendados, mientras que otros usuarios extractores señalan que con la creación de SERFOR y la normatividad que controla la extracción de fibra, se viene ejerciendo cierto ordenamiento y formalización a sus actividades, sobre todo a cargo de gestiones anteriores a la pandemia.

y casi todos viven en Chincha. Su formalización fue resultado de un esfuerzo institucional de la anterior gestión de la ATFFS que conllevó al registro como persona jurídica de su asociación en SUNARP. Los usuarios extractores señalan que en la actual gestión de la ATFFS es distante, que no presenta una apertura y consideran que la CAM no los incluye en las actividades sobre la gestión de los humedales. En la [Figura 25](#) se presenta un diagrama sobre la articulación e influencia de actores en la gestión de los humedales de Humay.

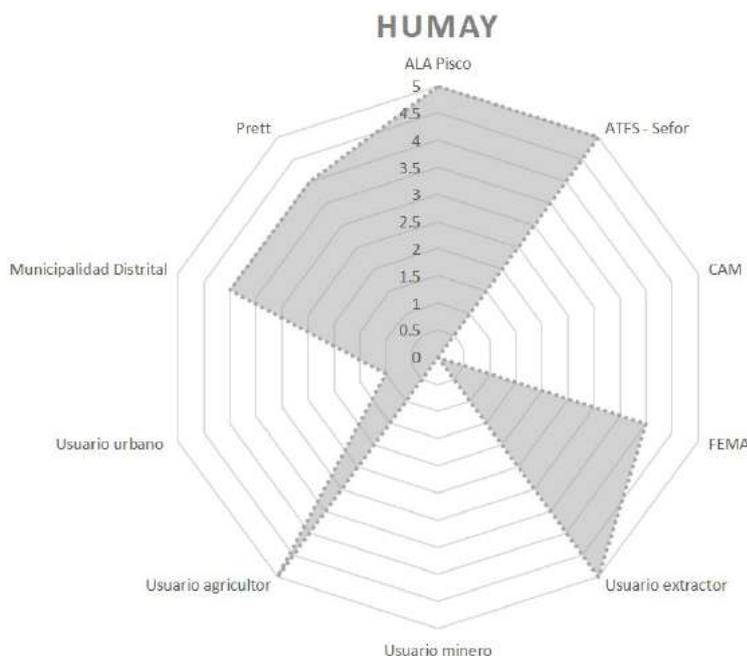


Figura 25. Articulación e influencia de actores en la gestión de los humedales de Humay.

Se ha registrado que la autorización y/o negación de autorizaciones para la extracción de totora también depende del performance del funcionario y su criterio técnico: Las gestiones anteriores de la ATFFS otorgaban autorizaciones a usuarios extractores, mientras que la actual, al no tener un catastro actualizado, ha empezado a utilizar las partidas registrales de SUNARP, en las cuales se visibiliza una superposición, por lo que se han empezado a denegar las autorizaciones por ser propiedad privada y no generarse problemas o denuncias.

A pesar de que en la norma señala que, tras un acuerdo, puede ser viable la autorización en propiedad de un tercero, los funcionarios a cargo no proponen esa vía, por no interferir o evitar conflictos con la propiedad privada. Sin embargo, los humedales al ser fuentes de agua, son bienes públicos y cuentan con una normativa para su protección, y no se considera que los usuarios extractores fungan de facto como una suerte de vigilantes del sistema.

Conclusiones

La gobernanza cotidiana varía en los cuatro estudios de caso de acuerdo con la presencia y acción de organizaciones gubernamentales, no gubernamentales y usuarios agrícolas, urbanos, extractores y/o mineros. La ALA Pisco y la ATFFS de SERFOR son las organizaciones gubernamentales presentes en la gestión de la mayoría de los humedales de la provincia de Pisco, aunque de forma diferenciada. Las otras organizaciones gubernamentales permanecen de forma variable, en función de sus competencias. La coalición de actores gubernamentales y no gubernamentales más fuerte es la Comisión Ambiental Municipal (CAM), dirigida y organizada por la Municipalidad Provincial de Pisco. La CAM está presente dentro de la gestión de los humedales de Pisco Playa con mayor fuerza en la margen izquierda y menor en la margen derecha de Caucato y Camacho, y su presencia y participación es mucho menor en los humedales de San Clemente y de Humay.

A escala regional, algunos funcionarios locales señalaron que la gestión ambiental del GORE Ica es central para la protección de humedales, ya que puede considerarlos en su Zonificación Ecológica Económica (ZEE), incluyéndolos como ecosistemas frágiles³². En los cuatro casos analizados, existen áreas catastrales

asignadas por el PRETT, por lo que su gestión influye en los humedales costeros de la provincia, ya que podría evitar asignar unidades catastrales en áreas donde se encuentran los humedales.

Un actor no gubernamental importante es la Asociación de Extractores de Tatora Caña y Junco de Pisco-Chincha, quienes, al depender económicamente de la extracción de fibras vegetales, están interesados en la gestión y protección de los humedales, y son los principales denunciadores de afectaciones como el relleno de humedales, la remoción de humedales con tierra y maquinaria pesada, el desvío de canales de alimentación, la contaminación por aguas residuales, residuos sólidos y la extracción ilegal de aguas subterráneas. Sin embargo, también vale la pena anotar que hace falta estudios que caractericen a los miembros y redes existentes en este tipo de asociaciones, y la forma en que ejercen la actividad de extracción.

Hay varias estructuras de red en la gobernanza cotidiana de los humedales de la provincia de Pisco. Una de ellas, es la estructura de red formada por la triada: ALA Pisco, la ATFFS SERFOR y el usuario extractor. En caso de sanciones y monitoreo se activa una estructura de red integrada por el ALA Pisco, la ATFFS SERFOR, el usuario extractor denunciante, la

³² Los ecosistemas frágiles forman parte de la categoría de zona de protección conservación ecológica y constituyen áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad

Policía Ambiental de Paracas, la FEMA Ica y la Policía Nacional del Perú, red que activa a la ATFFS SERFOR y la ALA Pisco ante la denuncia de un extractor. Luego ambas instituciones pueden coordinar un operativo in situ, la que sin embargo está limitada por la logística de cada entidad.

Existe una competencia entre varios actores por los derechos de propiedad del suelo para uso urbano y agrícola en la provincia de Pisco como se detalló en el artículo de tensores en el Volumen I de este Reporte Técnico. A nivel local se identificó un mecanismo de relleno de humedal explicado en el caso de Caucato, donde primero ocurre la ocupación del suelo, luego se procede a relleno con tierra, secarlo desviando sus canales de riego, se completa el relleno con tierra gracias al uso de maquinaria pesada. Paralelamente se gestiona un pedido de adjudicación de ese suelo, señalando que es un suelo erizado al PRETT, que en pandemia limitó las verificaciones in situ. También se puede gestionar una constancia de posesión, como un documento de aval de la ocupación.

Del caso de Morón se concluye que hay formas municipales de proteger al humedal y visibilizarlo localmente como un activo ecológico a través de las declaraciones municipales o regionales, al considerarlos como Áreas de Conservación Ambiental (ACA), o con una resolución o norma interna de la municipalidad. Esto tiene un efecto político y social a nivel local, aunque no necesariamente legal. Estas declaratorias pueden involucrar y comprometer a las autoridades locales, así como crear expectativas de uso y protección de parte de la población para asegurar una opinión favorable a la conservación del humedal.

Sobre el uso del suelo, podemos concluir que prevalece el respeto de la propiedad privada del suelo en desmedro del carácter público de los humedales. Expertos ambientales señalan que la propiedad del suelo no tiene que ver con la prerrogativa de modificarlo, pues el dueño del recurso natural es el Estado, y tal como ocurre con la gestión de bosques donde el propietario, aunque es dueño de una zona de bosques, no puede deforestar la zona sin

la autorización de SERFOR. Hace una década, el procedimiento de entrega de títulos habilitantes para la extracción de fibra vegetal que realizó la ATFFS de SERFOR, marcaba las reglas operacionales en la mayoría de los humedales de Pisco; sin embargo, el cambio de los sistemas de derechos de propiedad nos permite observar cómo están variando las reglas operacionales de la gestión de los humedales. Los cercamientos de la propiedad privada impiden el ingreso de funcionarios locales del ALA o la ATFFS a los humedales para acciones de control o monitoreo, y en las reglas operacionales actuales, el catastro es el instrumento de gestión central, pero como no se encuentra actualizado, vienen adquiriendo importancia las partidas registrales de SUNARP.

Las reglas de uso colectivo de los humedales varían en las cuatro zonas estudiadas. En la zona de Pisco Playa, el humedal tiene un uso colectivo hacia el disfrute dada su belleza, aunque limitado por el arrojamiento de residuos sólidos, aguas residuales y la falta de mantenimiento de su equipamiento urbano en la alameda del litoral. En el caso de Caucato y Camacho, el uso colectivo se encuentra limitado por los cercamientos y el difícil acceso ante las tranqueras y controles de seguridad en las áreas del litoral. En el caso de Agua Santa hay reglas de uso colectivo pero desagregadas, ya que dependen de las variadas actividades productivas que se realizan como: Minería no metálica, infraestructura vial, agricultura, invasiones urbanas, pastoreo, extracción de sal y de totora. En el caso de Humay, la laguna Morón es el único humedal que tiene reglas de uso colectivo otorgadas por la municipalidad para su promoción turística, y el resto de los humedales como Frontón, La Palma, Costa Rica, entre otros, dependen de su uso privado y podrían ser afectadas por la extracción de agua subterránea que desarrolla la agroexportación y agricultura.

Existen varios procesos de sanción y monitoreo en los humedales de la provincia.

Algunos de ellos, se ven limitados por la ausencia de una delimitación de los humedales, lo cual dificulta las acciones legales que realiza la FEMA

Ica, mientras que la ALA Pisco y la AAA Chaparra Chincha han establecido procesos sancionadores por el uso de agua sin autorización en los humedales de Humay. Los procesos de sanción cuando existe afectación al recurso forestal es responsabilidad de la ATFFS de SERFOR que desarrolla un Procedimiento Administrativo Sancionador (PAS) por la tala y corte del recurso: Realiza la evaluación económica del daño y establece una multa, estimando la valorización por metro cuadrado o cúbico. Mientras que los procesos de sanción que afectan al cuerpo de agua son responsabilidad del ALA Pisco, y algunos de sus procesos administrativos sancionadores a empresas han escalado al Tribunal de controversias hídricas del

ANA, como se explicó en el caso de las empresas Redondos y Agrícola Andrea.

Los cambios institucionales ambientales nacionales tienen un efecto en la gobernanza local. Sin embargo, debe considerarse que estos cambios no son inmediatos ni uniformes en todo el territorio, y la implementación local de las políticas nacionales se vincula a los usuarios locales presentes en el uso de determinado recurso. Los cuatro casos presentados muestran cómo varía la articulación de actores, tal como se presenta en la **Figura 26**, donde se observa la variación de la forma de gobernanza en los cuatro casos estudiados.

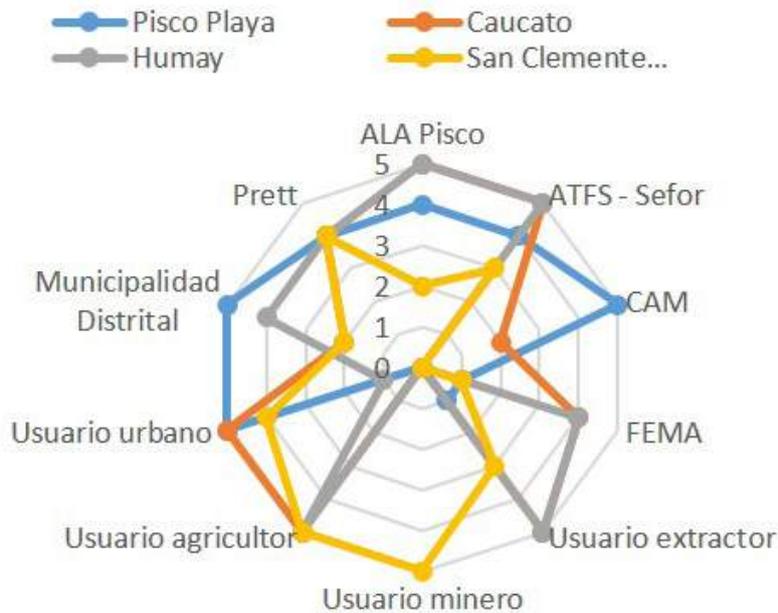


Figura 26. Variabilidad de actores en cuatro humedales de la provincia de Pisco.

El humedal Caucato viene sufriendo modificaciones ante la presión agrícola y urbana, problemática que viene siendo enfrentada por la ATFFS de SERFOR, la ALA Pisco y las usuarias extractoras denunciando su relleno, el desvío de sus canales de alimentación, cercamiento y relleno de tierra con maquinaria pesada.

fraccionado, y que además registra una menor participación de las organizaciones gubernamentales nacionales.

El humedal sector Agua Santa en San Clemente, es el humedal más grande de la provincia de Pisco y el más productivo, y sus usuarios son urbanos, agrícolas, mineros y extractores quienes se ubican en diferentes zonas del humedal que se encuentra altamente

En los humedales de Humay, los usuarios extractores denunciaron la extracción ilegal de agua subterránea en los humedales o en sus cercanías: El uso de humedales como fuentes de agua sin licencia, autorización o permiso ha generado importantes intervenciones de la ALA Pisco y la AAA Chaparra Chincha, pues la extracción de agua ilegal está prohibida ya que es una zona en veda y catalogada con estrés hídrico según el ANA.

Recomendaciones

La extensión del suelo rural estatal supone un desafío para la gestión de su uso para actividades productivas que respeten a los humedales ubicados dentro de los mismos. Se sugiere una actualización y socialización de instrumentos técnicos como el catastro, georreferenciando y con coordenadas que señalen a los funcionarios la ubicación de los humedales.

Las sanciones que estableció el ALA Pisco a EMAPISCO y agricultores por la contaminación de aguas residuales al humedal de Pisco Playa dada la complejidad del uso del agua urbana residual de la ciudad y la necesidad de agua para riego de los agricultores de la parte baja, hace difícil la remediación o acciones correctivas tras las sanciones administrativas. Sin embargo, las acciones para el cuidado del humedal requieren regular esta práctica antes que condenarla, pues se podría considerar el reúso de aguas residuales para riego cumpliendo sus ECAS, con una inversión en la PTAR para promover la comercialización del agua residual a los agricultores que requieren agua de riego.

La mayoría de los humedales de la provincia tienen usos productivos por lo que las acciones de protección deben adecuarse a esa realidad, e involucrarlos, pues su presencia es central para acciones de conservación vinculadas al tipo aprovechamiento que realizan. Un enfoque prístino y conservacionista podría ser contraproducente y generar conflictos, por lo que se recomienda en este punto, un censo o una identificación a fondo de los usuarios de los humedales de la provincia como Agua Santa en San Clemente, Cabeza de toro y Manrique en Independencia, La Palma, El Frontón, Murga, Santo Toribio, Costa Rica, La Parra, La Palma en Humay y Pozo Hediondo en San Andrés.

Aunque existe un marco normativo para la gobernanza ambiental de los humedales. Se recogen brechas entre la ley y la implementación de las políticas para su gestión. Las acciones de fiscalización y control se ven afectadas por las limitaciones de personal y logísticas como la gasolina, movilidad, personal técnico especializado, rotación de funcionarios, etc. Aunque el Decreto Ley N° 006-2021 MINAM señala lo que cada entidad debe realizar, se han registrado diferencias en la capacidad de coordinación dentro de una misma institución así como entre instituciones, lo que influye negativamente en los resultados de gestión de los humedales.

En cuanto a los procesos de participación, el acceso a las plataformas de coordinación y negociación son diferenciados. Por lo que es necesaria una mayor transparencia de los procesos de cambios de zonificación y/o entrega de terrenos que pueden llevar a incluir a los humedales dentro de propiedad privada. El fortalecimiento de la capacidad institucional local es necesario para la protección de los humedales de la región.

Los usuarios del humedal generan exclusiones de uso y sus condiciones de uso. Por lo que es necesaria involucrarlos, así como una intervención de las organizaciones gubernamentales ambientales en su gestión. Finalmente se recomienda involucrar a las comunidades locales con el sistema de humedales y los múltiples beneficios que brindan -más allá de solo su uso turístico o recreativo-, pues su participación y acción es central para su defensa y valoración. Especialmente, en el contexto de stress hídrico que vive la cuenca baja del río Pisco, que incluso lleva a proyectar plantas desalinizadoras para el abastecimiento de agua para consumo humano ante la escasez de agua.

Referencias

Adam, P. (2019). Salt marsh restoration. In *Coastal Wetlands* (pp. 817-861). Elsevier

Adams, V. M., Álvarez-Romero, J. G., Capon, S. J., Crowley, G. M., Dale, A. P., Kennard, M. J., ... & Pressey, R. L. (2017). Making time for space: The critical role of spatial planning in adapting natural resource management to climate change. *Environmental Science & Policy*, 74, 57-67.

Barbier, E. B. (2019). The value of coastal wetland ecosystem services. In *Coastal wetlands* (pp. 947-964). Elsevier.

Barreto, G. C., Di Domenico, M., & Medeiros, R. P. (2020). Human dimensions of marine protected areas and small-scale fisheries management: A review of the interpretations. *Marine Policy*, 119, 104040.

Baztan, J., Chouinard, O., Jorgensen, B., Tett, P., Vanderlinden, J. P., & Vasseur, L. (2015). *Coastal zones: Solutions for the 21st century*. Elsevier.

Blankespoor, B., Dasgupta, S., & Laplante, B. (2014). Sea-level rise and coastal wetlands. *Ambio*, 43(8), 996-1005. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0500-4>

Bennett, N.J., et al., Conservation social science: Understanding and integrating human dimensions to improve conservation, Biological Conservation (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.006>

Bianconi, A.L; Volpedo, A.V; Fernández Cirelli, A. (2005). Las funciones en humedales costeros de la misma latitud (26°- 36°S): tres casos de estudio. CYTED, Programa de Interculturalidad UCHILE. Chile

Chouinard, O., Rabeniana, T. R., & Weissenberger, S. (2015). Transfer of Knowledge and Mutual Learning on Canadian Atlantic Coast. *Coastal Zones: Solutions for the 21st Century*; Baztan, J., Chouinard, O., Jorgensen, B., Tett, P., Vanderlinden, J.-P., Vasseur, L., Eds, 13-25.

Delgado, L., Bachmann, P., & Oñate, B. (2007). Gobernanza ambiental: una estrategia orientada al desarrollo sustentable local a través de la participación ciudadana. <AD3-2007.indd> (cehum.org)

Eisinger, P. (1997). *Theoretical models in urban politics* (p. 1). Westport, CT: Greenwood Press.

Islam, S. N., Reinstädler, S., & Gnauck, A. (2017). Degraded coastal wetland ecosystems in the Ganges-Brahmaputra Rivers Delta region of Bangladesh. *Coastal Wetlands: Alteration and Remediation*, 187-213.

Lagos, Nelson A., Labra, Fabio A., Jaramillo, Eduardo, Marín, Andrés, Fariña, José Miguel, & Camaño, Andrés. (2019). Ecosystem processes, management and human dimension of tectonically-influenced wetlands along the coast of central and southern Chile. *Gayana (Concepción)*, 83 (1), 57-62. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-65382019000100057>

Cornea, N. L., Véron, R., Zimmer, A. 2017. Every governance and urban environments: Towards a more interdisciplinary urban political ecology. *Geography Compass*. <https://doi.org/10.1111/gec3.12310>

Ley de Recursos, R. D. L. L. (2010). Hídricos, Ley N° 29338. Perú, Ministerio de Energía y Minas.

Liu, J., Dietz, T., Carpenter, S. R., Alberti, M., Folke, C., Moran, E., ... & Taylor, W. W. (2007). Complexity of coupled human and natural systems. *science*, 317(5844), 1513-1516.

López, Santiago; López, María Fernanda. (2016). Una visión sistémica de los cambios socio-ecológicos en el territorio jívaro del suroriente del Ecuador. *NATURALEZA Y SOCIEDAD*, p. 67.

Martínez, Carolina & Cienfuegos, Rodrigo & Inzunza, Simón & Urrutia, Novoa, Vanessa & Rojas, Octavio & Ahumada-Rudolph, Ramón & Saez, Katia & Fierro, Pablo & Rojas, Carolina. (2020). Coastal Wetlands: Ecosystems Affected by Urbanization?, *Water* 12, no. 3: 698. <https://doi.org/10.3390/w12030698>

Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325(5939), 419-422.

Peña, F. (2013). El misterio de la sed urbana: la ciudad como construcción hidráulica. *La sed urbana: la ciudad como construcción hidráulica*. San Luis Potosí, México, El Colegio de San Luis, 9-20.

Pauchard A., Aguayo M., Peña E., Urrutia R. (2006). Multiple effects of urbanization on the biodiversity of developing countries: The case of a fast-growing metropolitan area (Concepción, Chile), *Biological Conservation*, Volume 127, Issue 3, Pages 272-281. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.05.015>.

Postigo, J., & Young, K. (2016). Introducción perspectivas sociológicas actividades productivas y cambios globales. En: *Naturaleza y sociedad. Perspectivas socio-ecológicas sobre cambios globales en América Latina*. Lima: Desco, IEP e INTE-PUCP.

Pratolongo, P., Leonardi, N., Kirby, J. R., & Plater, A. (2019). Temperate coastal wetlands: morphology, sediment processes, and plant communities. In *Coastal Wetlands* (pp. 105-152). Elsevier. ISO690

Rosa-Velazquez, M. I. D. L., & Ruiz-Luna, A. (2020). Valoración social de los servicios ecosistémicos de humedales costeros: Estado actual y perspectivas. *Acta Biológica Colombiana*, 25(3), 403-413.

Vanderlinden, J. P., Quenet, G., Da Cunha, C., & Baztan, J. (2015). Paradigm shifts, coastal zones and adaptation to fast paced change: Moving toward transdisciplinary community centred approaches. *Coastal Zones: Solutions for the 21st Century*, 3-9.

Zimmer, A (2011). Thesis: "Everyday governance of the waste waterscapes". Universität Bonn.

QUINTA PARTE

ANEXO 1: VARIABLES DE CODIFICACIÓN



Anexo 1:

Variables de codificación

1. Variables descriptivas

1.1 El sistema de recursos de humedales (SR)

- SR1 Sector: agua, bosques, totora, junco
- SR2 Claridad de los límites del sistema de humedales
- SR3 Tamaño del sistema del humedal
- SR4 Instalaciones construidas antrópicas en el humedal
- SR5 Actividades productivas en humedales
- SR6 Propiedades de equilibrio del humedal
- SR7 Predictibilidad de las dinámicas del sistema del humedal
- SR8 Características de almacenamiento del humedal
- SR8 Localización del humedal

1.2 Sistema de gobernanza (SG)

- SG1 Organizaciones gubernamentales presentes en el humedal
- SG2 Organizaciones no gubernamentales presentes en el humedal
- SG3 Estructura de red en el humedal
- SG4 Sistemas de derechos de propiedad visibles en el humedal
- SG5 Reglas operacionales en el humedal
- SG6 Reglas comunitarias en el humedal
- SG7 Reglas constitucionales en el humedal
- SG8 Procesos de monitoreo y sanción en el humedal

1.3 Las unidades de recursos (RU)

- UR1 Movilidad de la unidad de recursos del humedal, totora, aves, agua, etc.
- UR2 Tasa de crecimiento o reemplazo de totora, agua, vida silvestre
- UR3 Interacción entre unidades de recursos totora, agua, vida silvestre
- UR4 Valor económico de la totora, agua, vida silvestre
- UR5 Número de unidades de vegetación, agua y vida silvestre
- UR6 Marcas distintivas de los humedales visitados
- UR7 Distribución espacial y temporal (para los residentes locales)

1.4 Los usuarios de los recursos (U)

- U1 Número de usuarios *(presentes en cada humedal)
- U2 Atributos socioeconómicos de los usuarios
- U3 Historia de uso de los usuarios
- U4 Localización de los usuarios
- U5 Liderazgos locales/emprendimientos* de los usuarios
- U6 Normas y/o capital social de los usuarios del humedal
- U8 Importancia del recurso*
- U9 Tecnología utilizada

2. Variables de Interacciones y resultados

2.1 Variables de Interacciones (I)

- I1 Los niveles de aprovechamiento de los diferentes usuarios
- I2 información compartida entre usuarios
- I3 Procesos de deliberación
- I4 Conflictos entre los usuarios
- I5 Las actividades de inversión
- I6 Actividades de influencia (lobby)
- I7 Actividades de autoorganización de los usuarios
- I8 Actividades de redes

2.2 Variables de Resultados (O)

- O1 Medidas de desempeño social: eficiencia, equidad, rendición de cuentas, sostenibilidad
- O2 Medidas de desempeño ecológico: sobreexplotación, resiliencia, biodiversidad, sostenibilidad
- O3 Externalidades a otros SESs

3. Variables de los Marcos sociales, económicos y políticos (S)

- S1 Desarrollo económico
- S2 Tendencias demográficas
- S3 Estabilidad Política
- S4 Políticas gubernamentales del recurso
- S5 Incentivos de mercado
- S6 Organización de medios

4. Variables relacionadas o conexas a ecosistemas circundantes (ECO)

- ECO1 Patrones climáticos
- ECO2 Patrones de contaminación
- ECO3 Flujos dentro y fuera del SES focal

* * * * *



ISBN: 978-612-49525-0-0



© Instituto Geofísico del Perú
Calle Badajoz N° 169, Urb. Mayorazgo,
IV Etapa. Ate, Lima, Perú
Central Telefónica: (511) 317-2300
<http://www.igp.gob.pe>
<http://www.facebook.com/igp.peru>
http://twitter.com/igp_peru