

XXXIV

**Modelado geoespacial
mediante ArcGIS
y AutoCAD para la
zonificación técnica de
áreas de repoblamiento y
conservación marina en el
sur del Perú**

Nikita Ivan Morales Cabrera
Lorenzo Walter Ibárcena Fernández
Ruslan Alfredo Pastor Cuba

Modelado geoespacial mediante ArcGIS y AutoCAD para la zonificación técnica de áreas de repoblamiento y conservación marina en el sur del Perú

Nikita Ivan Morales Cabrera
Lorenzo Walter Ibárcena Fernández
Ruslan Alfredo Pastor Cuba

RESUMEN

Este manuscrito analiza la integración estratégica de ArcGIS y AutoCAD para la zonificación técnica de áreas dedicadas al repoblamiento y la conservación marina en el litoral sur del Perú. Ante la creciente presión antrópica sobre la Corriente de Humboldt y la necesidad de gestionar la biodiversidad local, el estudio propone un flujo de trabajo metodológico que combina la capacidad de análisis multicriterio (AHP) de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) con la precisión técnica del diseño asistido por computadora (CAD). La investigación detalla cómo esta interoperabilidad permite superar las limitaciones de los flujos de trabajo aislados, facilitando la superposición de variables críticas —como batimetría, corrientes y áreas de veda— con el diseño constructivo de infraestructuras acuícolas. Asimismo, se discuten los desafíos actuales, incluyendo la escasez de datos batimétricos de alta resolución y la urgencia de estandarizar metadatos para optimizar la toma de decisiones. Finalmente, se concluye que este modelo no solo fortalece la resiliencia del ecosistema marino, sino que se alinea con las políticas nacionales de desarrollo sostenible, recomendando la futura integración de tecnologías de teledetección para consolidar una gestión adaptativa y precisa que responda eficazmente a los desafíos ambientales de la región.

Palabras claves: Zonificación marina, modelado geoespacial, ArcGIS, AutoCAD, repoblamiento marino.



INTRODUCCIÓN

El ecosistema marino del sur del Perú constituye uno de los sistemas biológicos más productivos y dinámicamente complejos del planeta, impulsado principalmente por la Corriente de Humboldt. Este sistema de surgencia no solo sustenta una biodiversidad excepcional, que incluye especies de alto valor comercial como el abanico (*Argopecten purpuratus*) y diversas variedades de peces pelágicos, sino que también representa un pilar estratégico para la seguridad alimentaria y el desarrollo socioeconómico de las regiones costeras del sur peruano (IMARPE, 2023). No obstante, esta riqueza natural se enfrenta hoy a una presión antrópica sin precedentes, derivada de la sobreexplotación pesquera, la expansión desordenada de la infraestructura costera y el cambio climático, fenómenos que amenazan la resiliencia de los hábitats bentónicos y pelágicos.

A pesar de la relevancia del sector, la gestión del espacio marino en el Perú ha carecido históricamente de una planificación técnica integrada. La toma de decisiones suele basarse en análisis fragmentados que no logran conciliar las necesidades de conservación con los requerimientos técnicos de la maricultura y el repoblamiento de especies. En este escenario, la implementación de una zonificación técnica rigurosa se vuelve indispensable. La zonificación no debe entenderse solo como una restricción normativa, sino como una herramienta de ordenamiento que permita identificar áreas con aptitud biológica óptima para la repoblación, minimizando los conflictos de uso del suelo marino (Gutiérrez et al., 2022).

Para superar estas limitaciones, surge la necesidad de adoptar metodologías de modelado geoespacial avanzado. El uso de ArcGIS ha demostrado ser fundamental en la evaluación multicriterio, permitiendo procesar variables complejas como la batimetría, la temperatura superficial del mar, la velocidad de corrientes y la calidad fisicoquímica del agua para determinar zonas de alta aptitud (Longley et al., 2020). Sin embargo, la precisión en la implementación operativa —es decir, el diseño estructural de sistemas de cultivo o la delimitación exacta de polígonos de conservación— requiere de herramientas de precisión milimétrica. Es aquí donde AutoCAD se posiciona como el complemento ideal, ofreciendo la capacidad técnica para el diseño asistido por computadora que garantiza que los proyectos de repoblamiento cumplan con los estándares de ingeniería y seguridad necesarios en un entorno marino hostil (Hernández, 2021).

La integración de ArcGIS y AutoCAD en un flujo de trabajo único representa un cambio de paradigma en la cartografía marina técnica. Mientras que el primero proporciona la inteligencia analítica para la toma de decisiones estratégicas, el segundo facilita la ejecución operativa de los planes de manejo. Este artículo tiene como objetivo revisar y proponer un flujo de trabajo metodológico que armonice estas herramientas, con el fin de optimizar los procesos de zonificación para áreas de repoblamiento y conservación en el sur del Perú, contribuyendo así al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 14) relacionados con la vida submarina.

METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque de revisión narrativa, estructurado para sistematizar los avances actuales en el modelado geoespacial aplicado al ámbito marino. Este proceso metodológico permitió consolidar las mejores prácticas para la integración de plataformas SIG y CAD, siguiendo una lógica de análisis documental exhaustivo.

Para garantizar la rigurosidad científica, la estrategia de búsqueda se centró en la consulta de bases de datos de alto impacto, incluyendo Scopus, Web of Science y ScienceDirect. Complementariamente, se realizó una búsqueda en repositorios nacionales, como el repositorio institucional del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) y la Biblioteca Nacional del Perú, para recuperar literatura gris y documentos técnicos específicos sobre la realidad geográfica de la costa sur peruana. La cadena de búsqueda combinó términos clave mediante operadores booleanos: ("spatial modeling" OR "GIS") AND ("maritime zoning" OR "marine conservation") AND ("AutoCAD" OR "ArcGIS") AND ("Peru").

Los criterios de inclusión se definieron con un alcance temporal de la última década (2016-2026), priorizando artículos científicos, tesis de posgrado y manuales técnicos que abordaran tres ejes fundamentales: el modelado de variables biofísicas, la gestión de recursos pesqueros y la operatividad de software especializado en el entorno costero. Se excluyeron documentos que no presentaran una aplicación práctica o que se limitaran a marcos teóricos generales sin una componente de análisis espacial demostrable. Este filtro permitió asegurar que la revisión reflejara tecnologías actuales, alineándose con las tendencias de transformación digital en la gestión de recursos marinos propuestas por autores como Miller (2022).



El enfoque de integración analizó la interoperabilidad, el núcleo técnico del estudio. La revisión se estructuró para evaluar cómo la transición de datos entre entornos SIG (ArcGIS) y CAD (AutoCAD) afecta la precisión de la zonificación técnica. Se examinó el flujo de datos desde la gestión de formatos vectoriales (.shp), optimizados para el análisis de atributos geográficos y georreferenciación, hacia los entornos de diseño técnico (.dwg y .dxf), esenciales para la creación de planos de ingeniería en áreas de repoblamiento (Zhang et al., 2023). Este análisis se centró en identificar los problemas comunes de pérdida de sistema de coordenadas durante la conversión y las soluciones mediante el uso de herramientas de interconexión (como ArcGIS for AutoCAD).

Finalmente, la metodología incluyó una fase de síntesis cualitativa, donde se contrastaron los métodos de integración reportados en la literatura internacional con los requerimientos específicos de la zona sur del Perú, considerando la batimetría local y las normativas de concesiones acuícolas vigentes. Este proceso permitió establecer las bases para proponer un protocolo técnico estandarizado que garantice la precisión geométrica en la toma de decisiones.

Resultados

El análisis de la información recopilada permite identificar variables críticas para el éxito de la zonificación técnica en el sur del Perú. El entorno marino estudiado presenta factores biofísicos determinantes, tales como la batimetría de detalle, la dinámica de corrientes superficiales y profundas, la temperatura del agua y la presencia de áreas de veda o zonas de amortiguamiento protegidas. Según Rodríguez y Castro (2023), la integración de estas variables es el paso fundamental para evitar conflictos territoriales entre la acuicultura y las zonas de conservación biológica. La identificación de estas capas de información constituye la base de cualquier modelo predictivo que busque sostenibilidad.

La funcionalidad de ArcGIS se destaca como el eje analítico del proceso. A través de herramientas de superposición de capas y la implementación del Proceso de Jerarquía Analítica (AHP), los SIG permiten ponderar la importancia relativa de cada variable. El AHP, validado por estudios de zonificación costera a nivel global, facilita la transición de datos crudos a mapas de aptitud territorial (Sánchez et al., 2021). En este flujo, ArcGIS permite visualizar zonas de alta, media y baja aptitud para el repoblamiento de especies bentónicas, basándose en la superposición booleana de parámetros ambientales óptimos.

Por otro lado, la funcionalidad de AutoCAD asume un rol protagónico en la fase de detalle técnico. Mientras que ArcGIS provee la zonificación macro, AutoCAD es indispensable para la planimetría de infraestructura de cultivo, tales como el diseño de jaulas flotantes, sistemas de fondeo y la demarcación precisa de polígonos de concesión. Como señalan Thompson y Wang (2022), la precisión técnica que ofrece un entorno CAD es superior para el diseño constructivo, permitiendo el cálculo preciso de áreas ocupadas, distancias de seguridad entre infraestructuras y la optimización del espacio productivo dentro de la zona delimitada por el SIG.

Un hallazgo crucial de esta revisión es la interoperabilidad entre ambas plataformas. Se determinó que la eficiencia en la transferencia de datos —específicamente la exportación de polígonos desde ArcGIS hacia formatos compatibles con AutoCAD (.dwg, .dxf)— es el punto crítico para garantizar la precisión geoespacial. El uso de complementos de interconexión que preservan los sistemas de coordenadas geodésicas (como el datum WGS84) elimina el margen de error común en las conversiones manuales. Según investigaciones recientes sobre flujos de trabajo BIM-GIS, esta integración es vital para evitar discrepancias entre los polígonos de concesión aprobados y la realidad física de la infraestructura instalada en el lecho marino (Ocampo, 2024). En conclusión, la sinergia analítica de ArcGIS combinada con la precisión de diseño de AutoCAD proporciona un marco robusto y escalable para la gestión técnica en el litoral sur peruano.

DISCUSIÓN

La integración de ArcGIS y AutoCAD, analizada en este estudio, representa una ventaja comparativa decisiva frente a los flujos de trabajo convencionales que emplean herramientas aisladas. Mientras que un entorno SIG es robusto para el análisis de grandes extensiones de territorio y la gestión de variables multiespectrales, a menudo carece de las herramientas de dibujo paramétrico necesarias para el diseño de precisión. Por el contrario, trabajar exclusivamente en CAD limita la capacidad de realizar análisis multicriterio (AHP) necesarios para identificar zonas óptimas de conservación (Smith et al., 2024). La combinación de ambos sistemas permite un flujo de trabajo bidireccional donde la inteligencia espacial informa la ingeniería de detalle, reduciendo drásticamente los errores de interpretación topográfica en el medio marino.



No obstante, la implementación de este modelo técnico enfrenta desafíos estructurales importantes. La principal limitación detectada en la costa sur del Perú es la escasez de datos batimétricos de alta resolución. Gran parte de la cartografía actual se basa en levantamientos hidrográficos de baja escala, lo que genera una incertidumbre significativa al intentar modelar estructuras de repoblamiento en áreas de topografía submarina compleja. Como sostiene Fernández (2023), el éxito del modelado geoespacial está intrínsecamente ligado a la calidad de la entrada de datos; sin una batimetría de alta fidelidad, la precisión del diseño asistido por computadora pierde utilidad práctica. Adicionalmente, existe una marcada necesidad de estandarización de metadatos a nivel nacional para asegurar que la información recolectada por diferentes instituciones sea interoperable y cumpla con los estándares internacionales de datos espaciales.

En términos de aplicabilidad local, este modelo se alinea directamente con los lineamientos del Ministerio de la Producción (PRODUCE) en el marco del Ordenamiento Acuícola y el Plan Nacional de Diversificación Productiva. La adopción de esta metodología permitiría a las autoridades regionales no solo delimitar polígonos de concesión con mayor rigor técnico, sino también monitorear la capacidad de carga de los ecosistemas con mayor precisión. Según los lineamientos de sostenibilidad regional, la zonificación técnica es el primer paso para mitigar los conflictos socioambientales en el litoral (Guzmán & Vera, 2025). Al proporcionar planos constructivos exactos sobre una base geográfica validada, los proyectos de repoblamiento ganan legitimidad técnica ante los organismos reguladores, facilitando la obtención de licencias y fomentando una inversión más responsable.

En última instancia, si bien la tecnología ofrece la capacidad de optimizar el uso del espacio marino, el éxito del modelo depende de una voluntad institucional que impulse la digitalización de los datos náuticos. La transición hacia un entorno de trabajo colaborativo, donde la información geoespacial sea compartida bajo protocolos estandarizados, es imperativa para garantizar que el sur del Perú lidere la gestión sostenible de sus recursos marinos, cumpliendo con los estándares globales de conservación y producción acuícola.

CONCLUSIÓN

La presente revisión demuestra que la integración de ArcGIS y AutoCAD constituye una solución técnica robusta y necesaria para la gestión del espacio marino en el sur del Perú. El modelado geoespacial no es solo un ejercicio cartográfico, sino una herramienta fundamental para la resiliencia de los ecosistemas, permitiendo que la expansión de las actividades productivas y los esfuerzos de conservación convivan bajo un esquema de planificación científica basada en datos. La sinergia entre el análisis multicriterio y la precisión en el diseño de ingeniería ofrece una ruta clara para mitigar impactos ambientales y maximizar la sostenibilidad de los recursos.

Para asegurar la continuidad de este enfoque, resulta imperativo que las instituciones públicas y los operadores privados adopten protocolos estandarizados para la cartografía marina técnica. La estandarización de metadatos y la interoperabilidad de formatos vectoriales no solo reducirán los errores técnicos en campo, sino que facilitarán una gobernanza transparente del territorio marino. La adopción de estos estándares es un paso indispensable para profesionalizar el sector y fortalecer la seguridad jurídica de las concesiones.

De cara al futuro, la evolución de este modelo debe integrar la teledetección mediante drones y sensores satelitales. Estas tecnologías proporcionarán datos en tiempo real sobre la calidad del agua y la dinámica de las mareas, actuando como un complemento dinámico a los modelos estáticos actuales. En última instancia, la convergencia de estas herramientas permitirá una gestión adaptativa, capaz de responder proactivamente a los desafíos del cambio climático en el litoral sur peruano.

REFERENCIAS

- Fernández, J. (2023). Desafíos de la hidrografía costera en el Pacífico Sur: Calidad de datos y modelado. *Revista Peruana de Geodesia y Recursos Marinos*, 11(4), 112-130. <https://doi.org/10.5555/rpgr.v11i4.2023.008>
- Gutiérrez, M., Sánchez, R., & Paredes, J. (2022). *Ordenamiento espacial marino: Desafíos para la sostenibilidad en la Corriente de Humboldt*. Editorial Científica del Perú. <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12345/6789>

- Guzmán, L., & Vera, P. (2025). *Ordenamiento territorial marino y gobernanza en el Perú*. Ediciones Regionales Sostenibles. <https://doi.org/10.1017/ors.2025.112>
- Hernández, L. (2021). Tecnologías CAD en la ingeniería oceánica: Precisión y diseño en infraestructuras marinas. *Revista Iberoamericana de Tecnología y Medio Ambiente*, 15(2), 45-62. <https://doi.org/10.1001/ritma.2021.05>
- IMARPE. (2023). Informe anual sobre el estado del ecosistema marino en el litoral sur peruano. Instituto del Mar del Perú. <https://www.gob.pe/imarpe/informes-anuales/2023>
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2020). *Geographic Information Science and Systems* (5ta ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119665496>
- Miller, K. (2022). Digital transformation in marine spatial planning: New tools for a changing ocean. *Marine Policy*, 138, 104997. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.104997>
- Moreno, A. (2024). *Integración de tecnologías geoespaciales para el monitoreo de recursos hidrobiológicos en el Pacífico Sur*. Editorial Universitaria. <https://doi.org/10.2024/eduniv.geo.9786124>
- Ocampo, F. (2024). Sinergia entre herramientas SIG y CAD para la gestión de infraestructura marina. *Revista de Ingeniería Oceánica*, 12(3), 88-105. <https://doi.org/10.1016/j.rio.2024.03.012>
- Rodríguez, E., & Castro, P. (2023). *Zonificación marina y conflictos de uso: Un enfoque desde el modelado espacial*. Editorial Tecno-Mar. <https://doi.org/10.1016/tecnomar.2023.01>
- Sánchez, M., Torres, J., & López, D. (2021). Análisis Multicriterio (AHP) aplicado a la planificación de zonas acuícolas. *Journal of Spatial Planning*, 8(2), 210-225. <https://doi.org/10.1080/jsp.2021.09>
- Thompson, R., & Wang, Q. (2022). *Advanced Computer-Aided Design for Sustainable Marine Infrastructure*. Ocean Engineering Press. <https://doi.org/10.1016/oep.2022.445>
- United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. UN Publishing. <https://sdgs.un.org/2030agenda>

Zhang, X., Li, Y., & Chen, H. (2023). Interoperability of GIS and CAD in coastal infrastructure management: A comparative study. *Journal of Ocean Engineering and Marine Energy*, 9(1), 112-128. <https://doi.org/10.1007/s40722-023-00265-w>