

MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A LA ZONIFICACIÓN Y ORDENAMIENTO EN EL LAGO TITICACA DONDE SE DESARROLLA LA ACUICULTURA

MANAGEMENT AND INTERPRETATION OF SATELLITE IMAGERY APPLIED TO ZONING AND PLANNING IN LAKE TITICACA FOR AQUACULTURE DEVELOPEMENT

José Pasapera García (✉) Dennys Arpasi Ordoño¹ Carmen Villanueva Quispe¹

RESUMEN

PASAPERA, J. (✉), ARPASI, D. y VILLANUEVA, C. (2023). Manejo e interpretación de imágenes satelitales aplicadas a la zonificación y ordenamiento en el lago Titicaca donde se desarrolla la acuicultura. *Inf Inst Mar Perú*, 50(1), 96-104.- En el lago Titicaca, una de las actividades con mayor desarrollo es la acuicultura, que en los últimos años ha alcanzado alta producción para la Región Puno. Por ello, esta actividad deberá desarrollarse bajo un criterio de sostenibilidad con el ambiente acuático. El presente estudio pretende dar a conocer la distribución de jaulas flotantes mediante el uso de imágenes satelitales, información del catastro acuícola nacional y el D.S. 003-2016-PRODUCE. Los resultados muestran 39 áreas habilitadas, que comprenden 20 259,74 has de extensión para la producción acuícola, en algunas de ellas sobrepasan las 1 000 has como es en las zonas de Chuñahue-Sihuecani (Platería), Humatunta-Kencco (Acora), Alayquipa-Villa Sicata (Ilave), San Pedro de Huayllata-Pucara (Ilave), Huaylloni-Challapampa (Juli), Pueblo Libre (Pomata), Chatuma Central-Ivijiría Pampa (Cuturapi-Yunguyo) y Kily Yanapata-Ccopani (Copani); del área habilitada, 22,44 % (4 546,4 ha) se encuentran en profundidades menores a 15 m. Además, la mayor parte de las concesiones otorgadas se encuentran en la zona sur del lago Titicaca frente a Ojerani Muelle Barco Chucuito (Puno-Chucuito), Santa rosa y Titilaca (Platería), Chaulluta-Villa Socca (Acora), Kajje-Chucasuyo-Molino (Juli) y Challapampa-Pueblo Libre (Pomata), de las 361 concesiones acuícolas identificadas 84 se encuentran debajo de los 15 m. De las 7 865 jaulas flotantes identificadas que ocupan 33,31 ha, se ha estimado que 29,5 % (2 317 jaulas) se ubicaron por debajo de la isobata de 15 m; 58,1 % (4 569 jaulas) se encuentran fuera de su respectiva área concesionada y 26,2 % (2 060 jaulas) se encuentran fuera del área habilitada.

PALABRAS CLAVE: áreas habilitadas, acuicultura, concesiones, lago Titicaca

ABSTRACT

PASAPERA, J. (✉), ARPASI, D., and VILLANUEVA, C. (2023). Management and interpretation of satellite imagery applied to zoning and planning in Lake Titicaca for aquaculture development. *Inf Inst Mar Perú*, 50(1), 96-104.- Aquaculture is a crucial economic activity in Lake Titicaca, especially in the Puno Region, where it has experienced significant growth in recent years. To ensure its sustainable development, a systematic approach to managing the aquatic environment is essential. This study aims to assess the distribution of floating cages in the lake using satellite imagery, information from the national aquaculture registry, and D.S. 003-2016-PRODUCE. Our results show that there are 39 enabled areas covering a total of 20,259.74 ha of water surface for aquaculture production, some of which exceed 1,000 ha, such as Chuñahue-Sihuecani (Platería), Humatunta-Kencco (Acora), Alayquipa-Villa Sicata (Ilave), San Pedro de Huayllata-Pucara (Ilave), Huaylloni-Challapampa (Juli), Pueblo Libre (Pomata), Chatuma Central-Ivijiría Pampa (Cuturapi-Yunguyo), and Kily Yanapata-Ccopani (Copani). Of the total authorized area, 22.44% (4,546.4 ha) are located at depths of less than 15 m. Most of the aquaculture concessions granted are located in the southern part of Lake Titicaca, specifically in Ojerani Muelle Barco Chucuito (Puno-Chucuito), Santa Rosa and Titilaca (Platería), Chaulluta-Villa Socca (Acora), Kajje-Chucasuyo-Molino (Juli), and Challapampa-Pueblo Libre (Pomata). Out of the 361 identified aquaculture concessions, 84 are located below 15 m depth. Among the 7,865 identified floating cages, occupying a total of 33.31 ha, an estimated 29.5% (2,317 cages) are located below the 15 m isobath, 58.1% (4,569 cages) are outside their respective concession areas, and 26.2% (2,060 cages) are outside the enabled area.

KEYWORDS: enabled areas, aquaculture, concessions, Lake Titicaca

1. INTRODUCCIÓN

La acuicultura es una de las actividades de mayor desarrollo en los últimos años en la Región, debido principalmente a la disponibilidad hídrica y calidad de las aguas del lago Titicaca. El 2016 se

alcanzó una producción de más 43 mil toneladas de trucha fresca y el 2017 fueron más de 47 mil toneladas de trucha fresca (PRODUCE, 2017). Sin embargo, este crecimiento no ha ido acompañado de un buen desarrollo tecnológico, conservación del ambiente acuático y ordenamiento territorial;

¹ Imarpe, Laboratorio Continental de Puno, cvillanueva@imarpe.gob.pe, dennys.arpord@gmail.com

es preciso entonces desarrollar una acuicultura moderna, respetuosa con el medio ambiente y viablemente social, direccionada mediante los principios del “Enfoque ecosistémico de la acuicultura” (FAO, 2011).

Uno de los pilares para lograr el desarrollo de la acuicultura en la región, es sin duda, el mejoramiento del ordenamiento acuícola para el lago Titicaca; en el año 2009 se desarrolló el Proyecto “Mejoramiento del Catastro Acuícola en el Departamento de Puno, efectuando acciones en diversas áreas del lago Titicaca y laguna Lagunillas”, además de la zona de reserva y amortiguamiento del lago Titicaca; con el objeto de tener un conocimiento real de la actividad acuícola lo que contribuirá al ordenamiento, promoción y desarrollo de la actividad de acuicultura (FONCHIP, 2009), lamentablemente esta intervención no contempló las características ambientales donde se desarrolla la acuicultura.

En la actualidad podrían ocurrir conflictos entre pescadores artesanales y acuicultores, ya que muchas zonas de pesca han sido invadidas por módulos de jaulas flotantes, las cuales están ubicadas en algunos casos en zonas muy someras (<15 m), donde abundan plantas acuáticas sumergidas que sirven como áreas de alimentación, reproducción y protección para peces nativos; además se evidencian procesos de eutrofización y contaminación ocasionados por la propia actividad y el ingreso de aguas residuales domésticas, que alteran la calidad del ambiente acuático y ponen en serio riesgo la sostenibilidad de la actividad acuícola en el lago Titicaca

Por ello la teledetección cumplirá un papel fundamental en este estudio, ya que en las últimas décadas se ha convertido en una herramienta imprescindible en numerosos ámbitos de desarrollo de nuestra sociedad, en particular en su aplicación como base en la toma de decisiones en la gestión eficiente de los recursos naturales y el ordenamiento del territorio (CARCAMO y REJAS, 2015; CONDORI *et al.*, 2018) y debido a que la observación satelital permite obtener información de diversas áreas de superficie terrestre en forma continua y tiempo casi real (PUCV, 2016).

Este estudio constituye uno de los primeros reportes de jaulas de cultivo para el ordenamiento acuícola en el lago Titicaca, que busca generar información válida para proponer una zonificación

espacial que sirva como instrumento de gestión para el ordenamiento de la actividad acuícola en el lago Titicaca – sector peruano.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El lago Titicaca, es el lago navegable más alto del mundo y está ubicado entre los territorios del Perú y Bolivia (15°16'21"S a 15°50'20"S - 70°02'10"W a 69°46'23"W) con altitud promedio de 3 810 msnm.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Base de datos satelitales de teledetección

Se utilizó 36 imágenes satelitales Perú-SAT 2017 proporcionadas por la sede central de Imarpe, que están a una fina resolución espacial de 30 metros, y que corresponden a las fechas: 7 y 26 de mayo; 9 y 21 de junio; 5, 12 y 24 de julio 2017. Además, imágenes satelitales Sentinel-2 actualizadas del área de estudio. Para el tratamiento de estas imágenes se utilizaron los programas SAS-planet, Envi y Erdas.

Procesamiento.- Para generar los polígonos de jaulas de cultivo, se tuvo como base las 36 imágenes satelitales de tipo pancromática y policromática de tres bandas, las imágenes pancromáticas permitieron visualizar mejor la ubicación de granjas de cultivo en el área de estudio (Fig. 1).

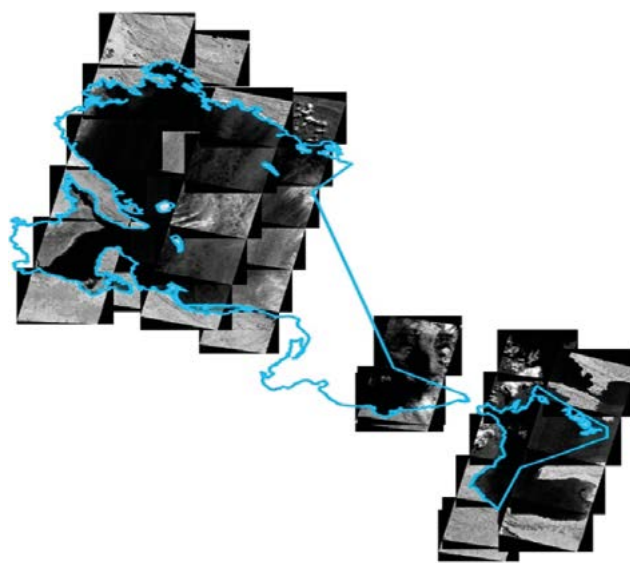


Figura 1.- Imágenes satelitales pancromáticas – Perú-SAT 2017

Para complementar las zonas de nubosidad y áreas faltantes se utilizó imágenes de Google Earth de los años 2015 a 2017, para sus descargas se usó el programa SAS.planet, que permite obtener imágenes policromáticas a tres bandas debidamente georreferenciadas y octorectificadas (Fig. 2).

Los polígonos generados se guardaron en formato .kml, en el programa ArcGIS 10.5 fueron convertidos en formato .shp (*shapefile*) con ayuda de la herramienta "Conversión Tools" - "From KML". Finalmente "Export to data", se utilizó para su procesamiento y acople a los polígonos generados en el programa (Fig. 3).

Base de datos DHN

Para definir la isobata de 15 metros de profundidad, se utilizó la cartografía de HIDRONAV 3400, 653, 651, 652 y 655, estos estudios fueron realizados en el año 1976 y 1977 (Fig. 4).

Base de datos Catastro acuícola - PRODUCE

Información de las áreas habilitadas, concesiones acuícolas fue obtenida del Catastro Acuícola Nacional de la Dirección de Producción, mediante la plataforma digital de PRODUCE, que es de dominio libre para la descarga de información actualizada, para este caso en junio de 2017.

Normas legales

Según el D.S. N° 003-2016-PRODUCE "Ley General de Acuicultura", aprobada por el Decreto legislativo N° 1195. En el capítulo V - Habilitación, Autorizaciones y Permisos, contempla en el Art. 31 "La habilitación de nuevas áreas acuáticas debe compatibilizar los principios y norma de libre tránsito, navegación y desarrollo de otras actividades, así mismo, en el ámbito continental la habilitación de para acuática considerara la isobata mínima de 15 m".

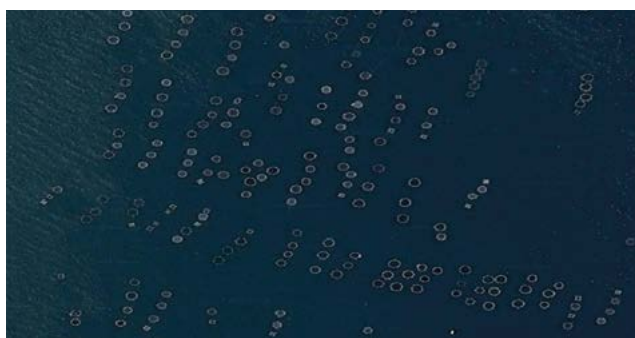


Figura 2.- Imágenes satelitales obtenidas con el programa SAS.planet, 2017

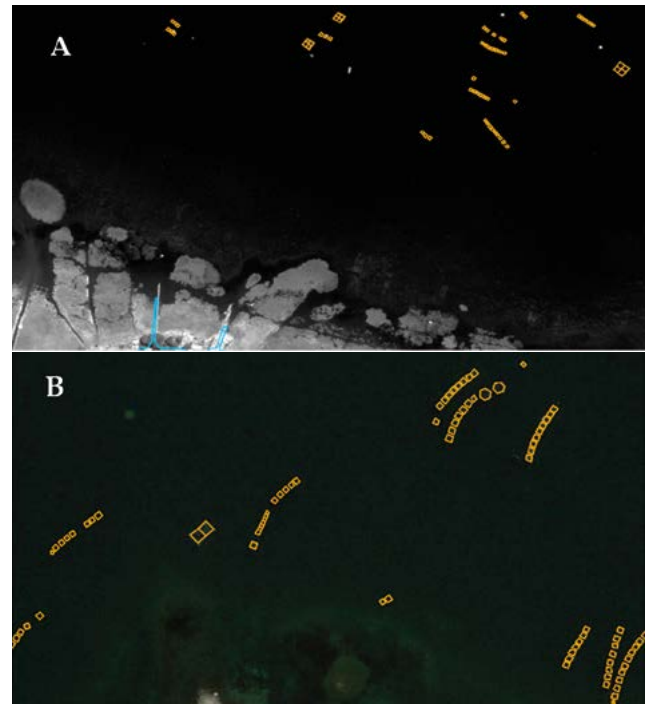


Figura 3.- Vectorización: A) Imágenes satelitales Perú-SAT (2017); B) Imágenes satelitales Google Earth (2015-2017)

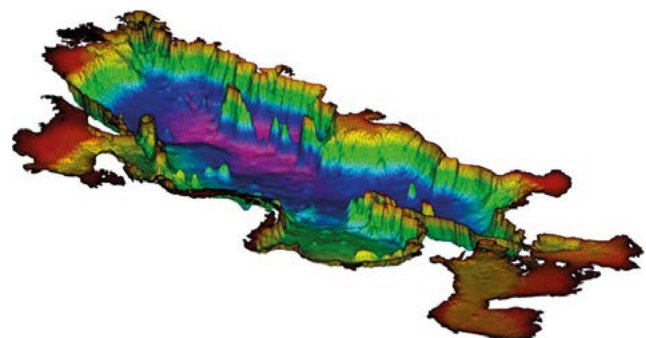


Figura 4.- Carta HIDRONAV, de donde se elaboró la batimetría, escala 1:100 000 Fuente: Sergio Rosales (2010)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución de jaulas respecto a la batimetría

Se vectorizaron 7 865 polígonos que corresponderían a las jaulas de cultivo en el lago Titicaca, las imágenes satelitales empleadas fueron: Perú-SAT, Google Earth y Bing Maps – satélite (Fig. 5A). Con la ayuda del programa ArcGis 10.5 y la carta HIDRONAV, se identificó la isobata de 15 m que sirvió como base para el traslape de la información que se presenta en la Figura 5B.

De las 7 865 jaulas identificadas, 29,5 % corresponderían a 2 317 jaulas de cultivo que se ubicaron por debajo de la isobata de 15 m y que ocuparían 9,73 has (Fig. 6).

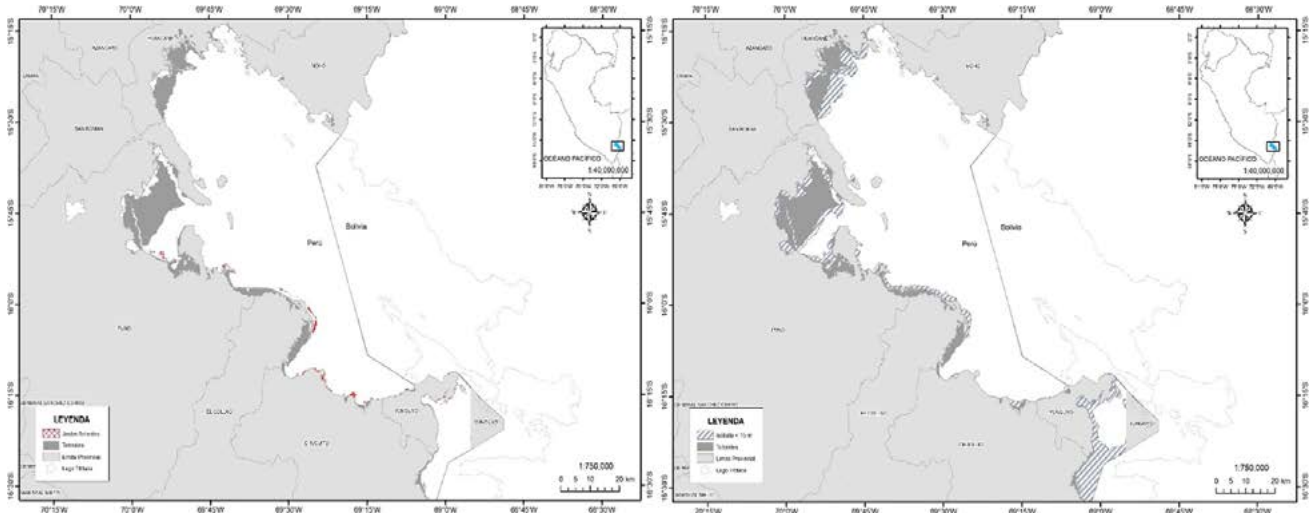


Figura 5.- Mapas temáticos: A) Distribución de las jaulas de cultivo de truchas en el lago Titicaca (izquierda), B) Isobata mínima de 15 m según D.S. 085-2016-PRODUCE, 2017 (derecha)

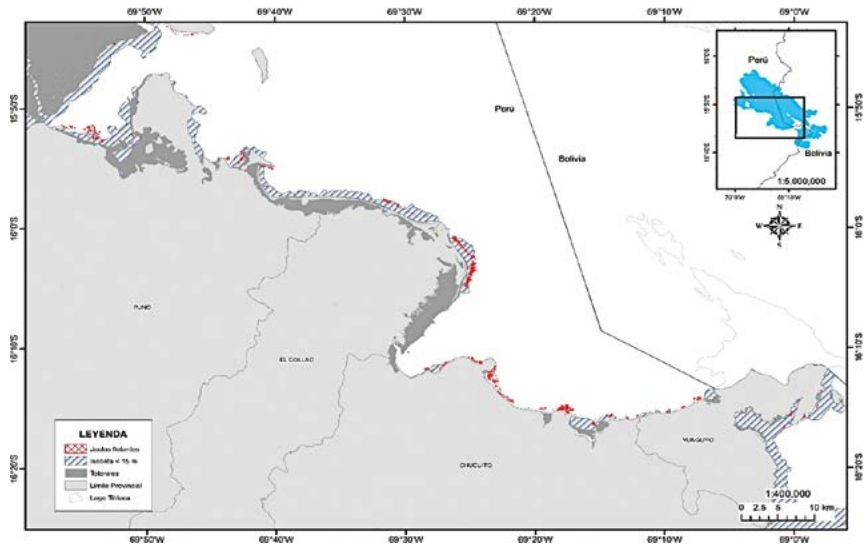


Figura 6.- Jaulas de cultivo ubicadas en profundidades menores a los 15 m, 2017

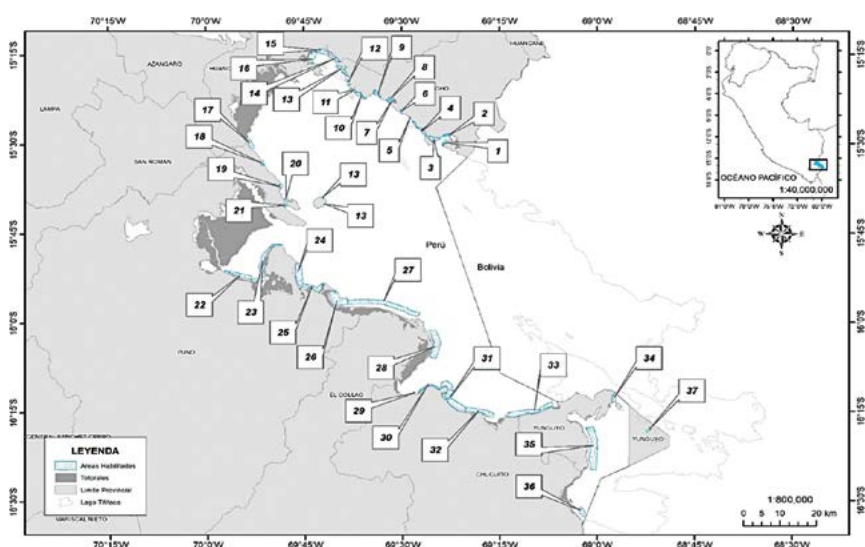


Figura 7.- Número de áreas habilitadas, según Catastro Acuícola Nacional, 2017

Distribución de jaulas respecto al área habilitada

El proceso de habilitación de áreas acuáticas ante DICAPI se realizó desde el año 2001 (CHURA-CRUZ y MOLLOCONDO-HUALPA, 2009) y en el Catastro Acuícola Nacional se identificaron 39 zonas habilitadas para la producción de trucha (Tabla 1).

En la Fig. 7 se observan las áreas habilitadas para la producción de trucha en el sector peruano del lago, que alcanzan a 20 259,74 has, que de acuerdo

a lo reportado por CHURA-CRUZ y MOLLOCONDO-HUALPA (2009) que fue de 13 434 has, se habría incrementado en 50,81 % el territorio acuático. Así mismo, las más importantes áreas habilitadas que sobrepasan las 1 000 ha se encuentran en las zonas de: Chuñahue-Sihuecani (Platería), Humatunta-Kencco (Acora), Alayquipa-Villa Sicata (Ilave), San Pedro de Huayllata-Pucara (Ilave), Huaylloni-Challapampa (Juli), Pueblo Libre (Pomata), Chatuma Central-Ivijiria Pampa (Cuturapi-Yunguyo) y Kily Yanapata-Ccopani (Copani).

Tabla 1.- Áreas habilitadas para la acuicultura, ubicación y área ocupada en el Lago Titicaca, 2017

Código	Áreas habilitadas para cultivo de trucha	Distrito	Área (Ha)
1	ALAUUCUCHO-TAYLASANI	TILALI	128,3
2	CHIJIPAMPA-JAPISE	CONIMA	122,02
3	COLPAUTA-HUATA	CONIMA	303,52
4	PUTINA-CANTILLANI	CONIMA	279,04
5	JAPIASI	MOHO	9,7
6	CHUJUCUYO	MOHO	46,4
7	FULLUPULLONE	MOHO	78,14
8	TUTUNE	MOHO	44,06
9	QUEHABANI-PUCARA	MOHO	158,13
10	WILAPATA-PALACACHA	MOHO	227,41
11	CONDORIQUENA-EATANCIA	MOHO	40,73
12	CATACATA-COLLIPATA	MOHO	64,69
13	POJENA-KANAHUILA	MOHO	289,94
14	KELLPATA-MIAJACHI	VILQUECHICO	219,88
15	LAMPAYANI-UTATA (SAN SALVADOR)	VILQUECHICO	313,52
16	QUELLAHUYO-KAKAJACHI	VILQUECHICO	479,49
17	CATUTANE-CENTRAL LLACTA	CAPACHICA	265,72
18	MUJRE	CAPACHICA	98,84
19	URUCANIS-VALLECITO	CAPACHICA	88,78
20	CALLEJON-ACOPUCRO	CAPACHICA	84,34
21	PUCAMOCOPATA	CAPACHICA	46,64
22	CHIMU VALLECITO-BARCO	PUNO-CHUCUITO	742,62
23	KARANA-QUEHUYO	CHUCUITO	956,73
24	CHUÑAHUE-SIHUECANI	PLATERIA	1084,14
25	AÑO CALLEJON-HUELLATANI	PLATERIA-ACORA	531,65
26	HUMATUNTA-KENCCO	ACORA	1315,65
27	ALAYQUIPA-VILLA SICATA	ILAVE	2620,2
28	SAN PEDRO DE HUAYLLATA-PUCARA	ILAVE	1583,85
29	HUAQUINA ZAPIJICANE	JULI	6,57
30	CONVENTO-HUAYLLONI	JULI	321,78
31	HUAYLLONI-CHALLAPAMPA	JULI	2082,54
32	CAHALLAPAMAPA-PUEBLO LIBRE	JULI-POMATA	1045,11
33	CHATUMA CENTRAL-IVIJIRIA PAMPA	POMATA-CUTURAPI-YUNGUYO	1511,66
34	SIHUALAYA 1-JISKA HUENCALLA	UNICACHI	199,68
35	KILY YANAPATA-CCOPANI	UNGUYO-COPANI	2468,35
36	HUAYNAPATA-PACCHA	DESAGUADERO	314,02
37	SIPSIPAMPA	ANAPIA	65,35
38	OCCOSUYO	AMANTANI	17,24
39	VILLA ORINOJON	AMANTANI	3,31
TOTAL			20259,74

Fuente: Generado por Laboratorio Continental IMARPE- Puno en base a información del catastro acuícola nacional

Mediante traslape de información (isobata de 15 m y áreas habilitadas) dan a conocer que existen áreas habilitadas que se encuentran por debajo de la isobata mínima de 15 metros que ocupan una extensión superficial de 4 546,47 ha (Fig. 8). Así mismo, se ha estimado que 26,2 % que correspondería a 2 060 jaulas de cultivo se encuentran fuera del área habilitada con 6,9 ha.

Distribución de jaulas respecto al área concesionada

Las concesiones acuícolas, con el pasar de los años se vienen incrementando debido a la gran demanda del producto, de acuerdo al catastro acuícola nacional, se tienen 361 concesiones acuícolas, ocupando un área de 400,07 ha en el lago Titicaca (sector peruano) (Tabla 2).

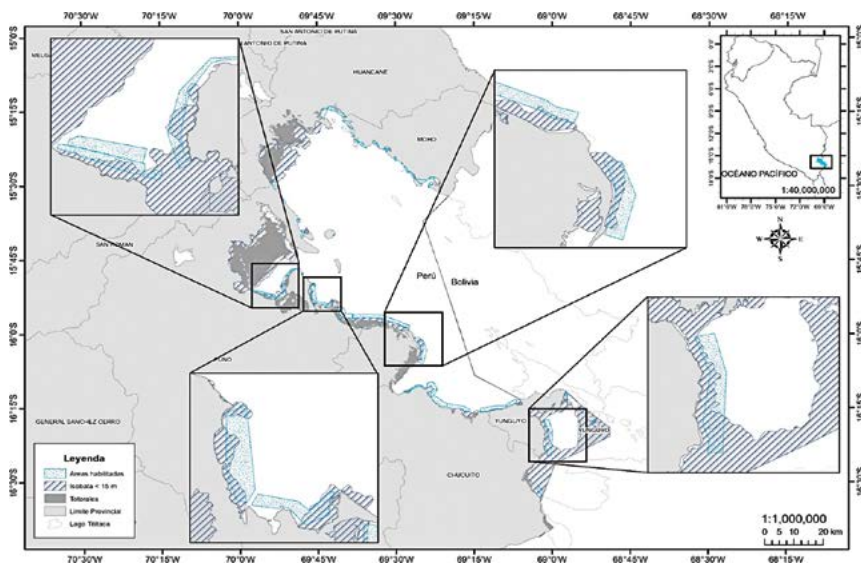


Figura 8.- Mapa de áreas habilitadas por debajo de los 15 m de profundidad, 2017

Tabla 2.- Numero de concesiones otorgadas según zonas de cultivo acuícola, 2017

Código	Zona	Distrito	Nro. de Concesiones	Área (Ha)
A-4	CAMBRIA PUTINA	CONIMA	1	1
A-5	CANJATA JAPIASI	MOHO	1	1
A-6	CHUJUCUYO	MOHO	2	2
A-7	LLACASANI	MOHO	1	1
A-9	UMUCHI	MOHO	4	4,5
A-10	MILLICUYO CHIPOCONI	MOHO	4	4
A-13	JACANTAYA	MOHO	6	6
A-14	MIYAJACHI	VILQUECHICO	2	2
A-15	VILQUECHICO	VILQUECHICO	1	1
A-16	QUELLAHULLO PENINSULA JONSANI	VILQUECHICO	2	2
A-19	MILLICHUPA TAMAN - 02	CAPACHICA	5	6,5
A-20	CCOTOS - 03	CAPACHICA	1	1
A-22	OJERANI MUELLE BARCO CHUCUITO	PUNO-CHUCUITO	30	36,4
A-23	LUQUINA-CARANA	CHUCUITO	3	3
A-24	PERCA OCOCACHI	PLATERIA	5	5
A-25	SANTA ROSA Y TITILACA	PLATERIA-ACORA	34	49,3
A-26	CHAULLUTA-VILLA SOCA	ACORA	20	19,8
A-28	PILCUYO HUALLANTANI	ILAVE	19	21,7
A-29	JULI KAJJE CHOCASUYO	JULI	3	2,5
A-30	JULI KAJJE CHOCASUYO	JULI	31	31,7
A-31	CHUCASUYO-MOLINO CHALLAPAMPA	JULI	83	86,2
A-32	CAHALLAPAMAPA-PUEBLO LIBRE	POMATA	76	86,5
A-33	CHATUNA QUECHUANI-EMICATE	CUTURAPI-YUNGUYO	17	17
	Concesiones fuera de áreas habilitadas		10	8,97
TOTAL			361	400,07

Fuente: Generado por Laboratorio Continental IMARPE- Puno en base a información del catastro acuícola nacional, 2017

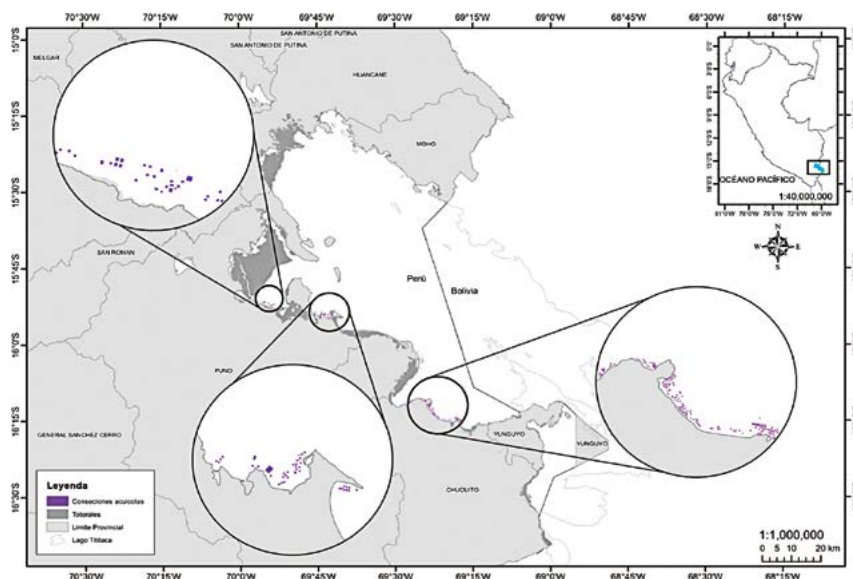


Figura 9.- Mapa de concesiones acuícolas otorgadas, Catastro acuícola Nacional, 2017

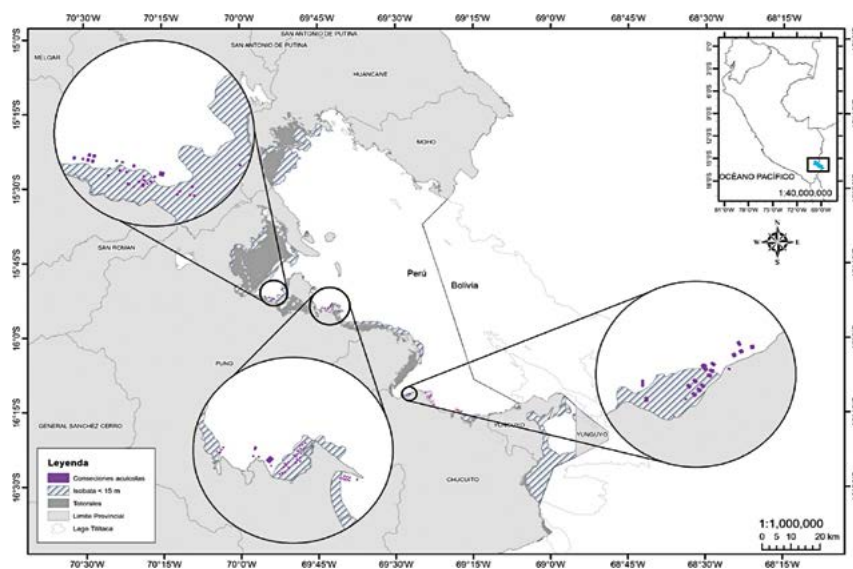


Figura 10.- Mapa de concesiones acuícolas que se encuentran en profundidades menores a los 15 m, 2017

Se registró gran número de concesiones acuícolas en la zona sur del Lago Titicaca, frente a Ojerani Muelle Barco Chucuito (Puno-Chucuito), Santa Rosa y Titilaca (Platería), Chaulluta-Villa Socca (Acora), Kajje-Chucasuyo-Molino (Juli), Challapampa-Pueblo Libre (Pomata), sobrepasando las 20 concesiones acuícolas por área habilitada (Fig. 9).

Se han identificado 84 concesiones acuícolas que se encuentran por debajo de la isobata de 15 metros de profundidad. Estas concesiones se ubican, en su mayoría, al sur del lago Titicaca, al parecer estas concesiones fueron otorgadas sin la verificación de la normatividad vigente y

basándose en los límites de las áreas habilitadas (Fig. 10)

Un traslape entre información satelital de jaulas de cultivo con las concesiones acuícolas otorgadas, muestra que 58,1 %, que representa 4 569 jaulas de cultivo, se encuentran fuera del área concesionada y ocupan un área de 21,02 has (Fig. 11).

Análisis rápido nos indicaría que de 7 865 jaulas flotantes que ocupan 33,31 ha, se ha estimado que el 29,5 % (2 317 jaulas) se ubicaron por debajo de la isobata de 15 m; el 58,1 % (4 569 jaulas) se encuentran fuera del

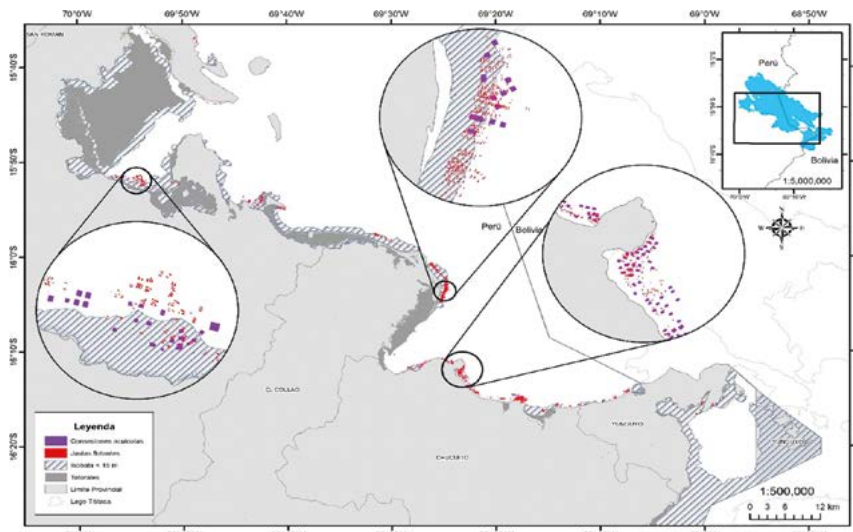


Figura 11.- Mapa de ubicación de jaulas de cultivo distribuidas fuera de sus áreas de concesión según información de satélite PERUSAT, 2017

Tabla 3.- Datos obtenidos mediante el Catastro Acuícola nacional e imágenes satelitales (Peru.SAT), 2017

DESCRIPCION	Ha	Nro. Jaulas
Área total de la región poligonal habilitada para concesión	20 259,74	-
Área total concesionada	400,07	-
Área total ocupada y número de jaulas flotantes	33,31	7 865
Número de jaulas distribuidas debajo de los 15 m.	9,73	2 317
Número de jaulas fuera de áreas concesionadas	21,02	4 569
Número de jaulas fuera del área habilitada	6,96	2 060

área concesionada y el 26,2 % (2 060 jaulas) se encuentran fuera del área habilitada (Tabla 3).

4. CONCLUSIONES

De las 7 865 jaulas de cultivo identificadas que ocupan un área de 33,31 ha, 29,4 % se ubica por debajo de los 15 m, 26,2 % fuera del área habilitada y 59,09% fuera del área de concesión,

lo que demuestra un desorden en la forma como se está desarrollando la actividad.

De 20 259,74 ha de área habilitada el 22,44 % que corresponde a 4 546,47 ha se encuentran por debajo de la isobata de los 15 m. Por otro lado, de las 361 concesiones acuícolas identificadas 84 se encuentran por debajo de la isobata de 15 metros de profundidad.

5. REFERENCIAS

- CARCAMO, A., & REJAS, J. (2015). Análisis multitemporal mediante teledetección espacial y SIG del cambio de cobertura del suelo en el municipio de Danlí, El Paraíso, en los años 1987 -2011. *Revista de Ciencias Espaciales*, 8(2), 259–271.
- CHURA CRUZ, R. y MOLLOCONDO HUALPA, H. (2009). Desarrollo de la acuicultura en el Lago Titicaca (Perú). *AquaTIC*, 31, 6–19.
- CONDORI-LUNA, I. J., LOZA-MURGUIA, M. G., MAMANI-PATI, F., & SOLÍZ-VALDIVIA, H. (2018). Análisis multitemporal de la cobertura boscosa empleando la metodología

- de teledetección espacial y SIG en la sub-cuenca del río Coroico - provincia Caranavi en los años 1989 - 2014. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 9(1), 25–44. <https://doi.org/10.36610/j.jsars.2018.090100025>.
- FAO. (2011). Desarrollo de la acuicultura. 4. Enfoque ecosistémico a la acuicultura. FAO Orientaciones Técnicas para la Pesca Responsable, 5(4), 60 pp.
- FONCHIP. (2009). Mejoramiento del catastro acuícola del departamento de Puno efectuando acciones en diversas áreas del Lago Titicaca y de laguna Lagunillas – Informe Final. Puno, Perú: Acuerdo de Cooperación Interinstitucional entre el Gobierno Regional de Puno (GORE Puno) – Ministerio de la

- Producción (PRODUCE) y el Fondo de Cooperación Hispano – peruano (FONCHIP), 160 pp.
- PRODUCE. (2017). Cultivo de la Trucha Arco Iris: en el Perú, con énfasis en la importación de ovas embrionadas y la comercialización de la producción. Dirección General de Acuicultura del Ministerio de la Producción. 34 p.
- PUNV - PONTIFICIA UNIVERSIDAD NACIONAL DE VALPARAISO (2016) Manejo e interpretación de imágenes satelitales de alta resolución aplicadas a las labores de exploración del borde costero y cuerpos de agua donde se desarrolle la actividad de acuicultura. (FASE II, Proyecto FIP N° 2014-77, Valparaiso-Chile.