

CÁLCULO DE LA INTENSIDAD LUMINOSA DE UNA EMBARCACIÓN PESQUERA USANDO IMÁGENES SATELITALES DEL SENSOR VIIRS-NPP

CALCULATION OF THE LIGHT INTENSITY OF A FISHING VESSEL USING SATELLITE IMAGES OF THE VIIRS-NPP SENSOR

Carlos Paulino¹Edward Alburqueque¹German Velaochaga¹

RESUMEN

PAULINO C, ALBURQUEQUE E, VELAACHAGA G. 2021. *Cálculo de la intensidad luminosa de una embarcación pesquera usando imágenes satelitales del sensor VIIRS-NPP. Inf Inst Mar Perú. 48(3): 361-366.*- En el mar, frente al litoral de Chimbote, en octubre 2018, se efectuó la medición de intensidad de luminosidad producida por 2 lámparas de 2 kw de potencia ubicadas en babor y estribor del BIC Imarpe V durante 3 noches, el cual fue registrado con un luxómetro. Los registros de intensidad luminosa indican que una lámpara de 2 kw presenta a menos de 10 m de distancia un valor de 11 lux, lo que indica alta pérdida de intensidad luminosa en condiciones de oscuridad total. Por otro lado, a partir de imágenes satelitales de luminosidad del sensor VIIRS-NPP de 750 metros de resolución espacial se evidenció que la intensidad/luminosidad emitida por una embarcación calamarera industrial es >120 watts/cm²/sr, mientras que lo emitido por el BIC Imarpe V es menor a 10 watts/cm²/sr y no es detectado por la imagen satelital.

PALABRAS CLAVE: luminosidad, VIIRS-NPP, Chimbote, Perú

ABSTRACT

PAULINO C, ALBURQUEQUE E, VELAACHAGA G. 2021. *Calculation of the light intensity of a fishing vessel using satellite images of the VIIRS-NPP sensor. Inf Inst Mar Peru. 48(3): 361-366.*- We measured the luminosity intensity produced by 2 lamps of 2Kw power located on the port and starboard sides of the R/V Imarpe V during 3 nights at sea off Chimbote. A luxmeter was used to record the light intensity. The records indicate that a 2Kw lamp has a value of 11 lux less than 10 m away, which means a high loss of light intensity in conditions of total darkness. On the other hand, 750-meter spatial resolution satellite images from the VIIRS-NPP sensor showed that the luminosity emitted by an industrial squid jigger vessel is >120 Watts/cm²/sr, while that emitted by the R/V Imarpe V is less than 10 Watts/cm²/sr, which cannot be detected by the satellite image.

KEYWORDS: luminosity, VIIRS-NPP, Chimbote, Peru

1. INTRODUCCIÓN

El calamar gigante o pota (*Dosidicus gigas*), es uno de los principales recursos del mar peruano, con una importante actividad pesquera a nivel artesanal (local) e industrial de bandera extranjera (japonesa, coreana y taiwanesa). La distribución de este recurso es amplia, favorecida por su naturaleza de ser una especie altamente migratoria. Su hábitat, en el Océano Pacífico Oriental, abarca de 60°N a 60°S (GERSHANOVIKH *et al.*, 1974; HATFIELD & HOCHBERG, 2007), y por el oeste llega hasta 125°W. En el hemisferio sur, las mayores concentraciones se ubican en la región oceánica frente a Perú y, en el hemisferio norte en el Golfo de California (NESIS, 1983).

En Perú, la pesquería del calamar gigante tuvo mayor actividad por presencia de una flota

industrial constituida por barcos especializados y equipados con sistemas de luces y máquinas automáticas, con capacidad de bodega de 300 a 1000 t que iniciaron sus operaciones en 1991 (TAIPE *et al.*, 2001).

La pota, es la principal especie de invertebrado capturada en el Perú. Durante los últimos 10 años, sus capturas han representado más del 45% (llegando al 60%) de los desembarques mundiales de la especie. El norte del Perú es donde se desarrolla esta pesquería con mayor intensidad y Paita (Piura) es el principal puerto donde se desembarca esta especie (Sociedad Nacional de Industria). La pota es el principal recurso de sustento de la pesquería artesanal de la región Piura, representa más del 40% de las exportaciones para el consumo humano directo (alrededor de 400 MM US\$/año) y es la actividad que más empleo genera.

1 Instituto del Mar del Perú, Área Funcional de Sensoramiento Remoto, Av. Argentina 2245-Callao, Lima-Perú, cpaulino@imarpe.gob.pe

RODHOUSE *et al.* (2001) refieren que las embarcaciones poteras industriales trabajan de noche utilizando potentes lámparas que superan los 300 kw por embarcación para atraer al recurso a la superficie.

El uso de imágenes satelitales es una fuente de información única que permite la observación continua de un área en estudio. Investigaciones preliminares realizadas por WALUDA *et al.* (2004) detectaron y estimaron el número de embarcaciones a partir de imágenes satelitales del sensor DMSP-OLS para el periodo de julio a diciembre 1999, mientras que PAULINO *et al.* (2017) analizó la variabilidad espacio temporal de las áreas de pesca del *Dosidicus gigas* fuera de la zona económica exclusiva peruana del 2004 al 2015. Ambos estudios permitieron la identificación de patrones de distribución espacial de la pesquería industrial del calamar gigante.

Este estudio tiene como objetivo medir el valor de la intensidad de luminosidad producida por el Buque de Investigación Científica - BIC Imarpe-V y contrastarlo con el valor digital del pixel de luminosidad de las imágenes satelitales VIIRS-NPP, para determinar la posibilidad de usar este sensor para el monitoreo de la flota calamarera artesanal.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Se registró información de intensidad luminosa durante las noches entre 21:00 y 02:00 (hora local) a bordo de la embarcación BIC Imarpe-V. Se instaló 2 lámparas incandescentes de 2000 watts de potencia (NEW HI-CREEN) a babor y estribor del BIC. La medición de la intensidad luminosa (iluminación) de los focos se realizó con un luxómetro digital portátil LX-107 que tiene rangos de medición entre 2000 y 5000 lux.

Asimismo, se utilizó imágenes satelitales nocturnas diarias (*Day Night Band - DNB*) del sensor VIIRS (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*) de 750 metros de resolución espacial del satélite SUOMI-NPP, recibidos por el sistema receptor de imágenes satelitales TeraScan del Instituto del Mar del Perú.

La metodología consistió en mantener encendidas las lámparas desde las 21:00 hasta las 2:00 horas durante las noches del 13 al 15 de octubre 2018, para que la intensidad luminosa emitida por el BIC Imarpe-V pueda ser registrada por el sensor VIIRS-NPP durante su paso por el área de estudio (Fig. 1). Con los valores de radiancia del pixel de la imagen satelital en ($\text{watts/cm}^2/\text{sr}$) para cada estación se contrastaron los valores obtenidos de la intensidad luminosa emitida por las lámparas del Imarpe-V.



Figura 1.- Estaciones de medición de intensidad de luminosidad (L-1, L-2 y L-3) frente a Chimbote

Como consecuencia de la propagación en línea recta de la luz, si aumenta la intensidad de una fuente, también aumenta el flujo luminoso F transmitido a cada unidad de área de superficie cerca de la fuente. La superficie aparece más brillante. La iluminación E de una superficie A se define como el flujo luminoso F por unidad de área A , como se indica en la siguiente ecuación:

$$E = \frac{F}{A}$$

Cuando el flujo F se mide en lúmenes y el área A en metros cuadrados, la iluminación E tiene unidades de lúmenes por metro cuadrado o lux. Para entender la relación entre intensidad e iluminación, consideremos una superficie A a una distancia R de una fuente puntual de intensidad I . El ángulo sólido Ω subtendido por la superficie de la fuente es:

$$\Omega = \frac{A}{R^2}$$

donde el área A es perpendicular a la luz emitida. Si el flujo luminoso forma un ángulo θ con la normal de la superficie, debemos considerar el área proyectada $A \cos \theta$. Esta representa el área efectiva que el flujo "ve". Por tanto, el ángulo sólido, en general, se puede determinar a partir de la ecuación:

$$\Omega = \frac{A \cos \theta}{R^2}$$

Siendo la intensidad luminosa I de una fuente de luz el flujo luminoso F emitido por unidad de ángulo sólido Ω ,

$$I = \frac{F}{\Omega}$$

Al despejar el flujo luminoso de la ecuación anterior obtenemos:

$$F = I\Omega = I \frac{A \cos \theta}{R^2}$$

Por tanto, la iluminación E quedaría expresada como:

$$E = \frac{F}{A} = \frac{I A \cos \theta}{AR^2} = \frac{I \cos \theta}{R^2}$$

Para el caso especial en que la superficie es perpendicular al flujo $\theta = 0^\circ$ la ecuación se simplifica a:

$$E = \frac{I}{R^2}$$

Las ecuaciones anteriores que incluyen la iluminación (E) y la intensidad luminosa (I) son formulaciones matemáticas de la ley del inverso al cuadrado, que puede enunciarse en la siguiente forma: "La iluminación de una superficie es proporcional a la intensidad luminosa de una fuente de luz puntual y es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia".

La representación gráfica de este enunciado se puede ver en la figura 2a. En este experimento la medición se realizó a un lado de la embarcación como se observa en la figura 2b, con el propósito de registrar cambios en la intensidad luminosa respecto a la distancia (TIPPENS, 2001).

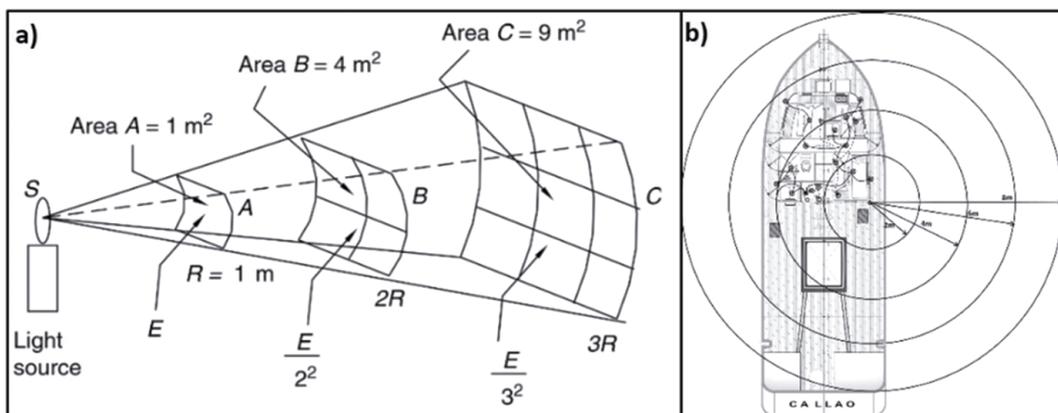


Figura 2.- a) Ley Inversa del cuadrado de la luz, figura tomada de ABDUL (2006) (izquierda) y b) distancia de medición de intensidad luminosa iluminación en el BIC Imarpe-V (derecha)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Intensidad de luminosidad

Los registros de la intensidad luminosa de las lámparas del BIC Imarpe V en relación a la distancia fue disminuyendo de forma progresiva, la Tabla 1 muestra los valores promedios de intensidad de luz obtenidos en las 4 estaciones. A partir de estos valores se graficó la curva de la Ley de la inversa del cuadrado de la luz (Fig. 3) por consiguiente, la intensidad de la luz emitida desde la fuente de luz del punto varió inversamente al cuadrado de la distancia desde la fuente de luz.

Tabla 1.- Valores promedio de intensidad luminosa de las estaciones medidas

Distancia entre fuente de luz y luxómetro (m)	Intensidad de luz (2000 w) (Lux)
2,25	342
3,01	280
4,59	110
6,41	39
8,31	11

Dada las características de intensidad luminosa del BIC Imarpe V, desde un punto fijo de 2 kw a una distancia de 3 metros, el valor de la iluminación es de 280 lux, mientras que a 8,3 metros el valor de intensidad fue de 11 lux, lo cual demuestra una alta pérdida de intensidad luminosa a una corta distancia (Fig. 3). Bajo estas condiciones no es posible localizar embarcaciones artesanales a través de imágenes nocturnas satelitales, quedando la posibilidad de detección cuando se trata de numerosas embarcaciones artesanales.

Ley de la inversa del cuadrado de la luz

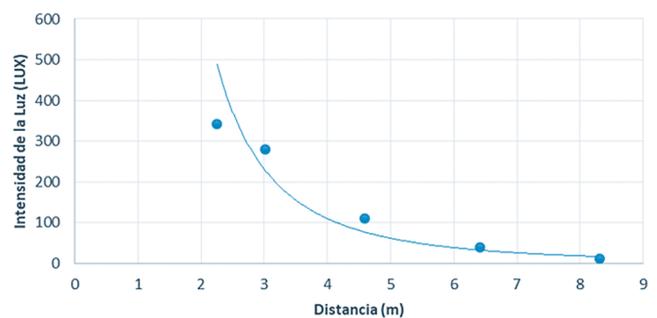


Figura 3.- Gráfico de la relación entre la distancia y la intensidad luminosa del BIC Imarpe V

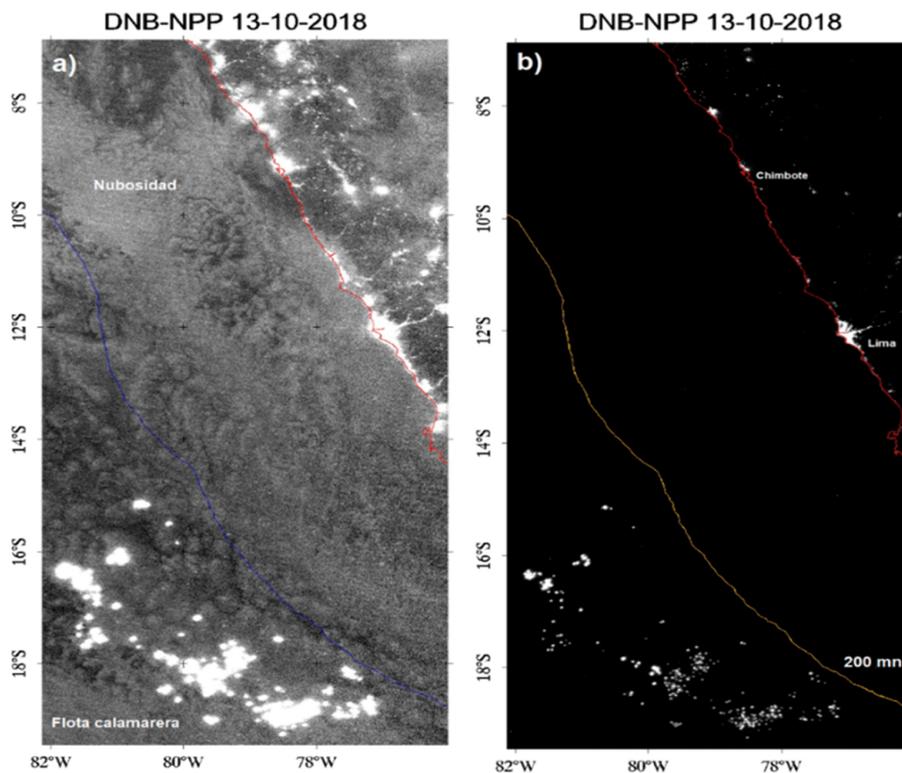


Figura 4.- Imagen Day/Night Band del sensor VIIRS del 13 octubre 2018, 01:42 horas. a) se identificó luces de embarcaciones fuera de la ZEE peruana, b) imagen filtro lineal 2% y suavizado (smooth) de 3x3 píxeles

Imágenes satelitales VIIRS

Las imágenes satelitales nocturnas del sensor VIIRS permiten identificar la luminosidad de las lámparas de embarcaciones poteras industriales, la detección es mejor cuando se presentan condiciones de cielo despejado o cuando la capa nubosa es delgada, mientras que cuando las nubes son densas, estos afectan el valor real de pixel de la imagen y genera confusión al momento de identificar la presencia de una embarcación.

La figura 4a, muestra la detección de intensidad de luminosidad tanto en tierra (luces de las ciudades) y en mar (embarcaciones). Para mejorar la detección, en la figura 4b se aplicó un filtro lineal de 2% y un suavizado (*smooth*) de 3x3 pixeles a los valores digitales de la imagen, lo cual permite identificar un gran número de embarcaciones fuera de las 200 millas náuticas (línea naranja). Con este procedimiento es posible realizar una cuantificación visual del número de embarcaciones fuera de las 200 mn.

La Figura 5a muestra un acercamiento sobre la imagen de un área aproximada de 2655 km²,

en la cual se puede identificar la presencia de por lo menos 13 embarcaciones y cuyo valor de intensidad de luminosidad del pixel central (a, b, c y d) que corresponde a una embarcación se presenta en la Tabla 2. En estos casos, el número de los pixeles de luminosidad dependen de la cantidad de lámparas que usan las embarcaciones para atraer el recurso a la superficie, siendo el sensor VIIRS el que permite una mejor detección del número de embarcaciones calamareras en comparación con el sensor OLS-DMSP tal como lo refieren PAULINO y ESCUDERO (2010).

Por otro lado, los cuadrados rojos de las imágenes 5b, 5c y 5d muestran la intensidad luminosa de la embarcación BIC Imarpe V durante los días 13, 14 y 15 de octubre. La intensidad luminosa para cada pixel fue de 9,566, 5,502 y 8,707 watts/cm²/sr, respectivamente y tal como se observa, estos pixeles presentan bajos valores de luminosidad que no son posibles de ser detectados claramente en la imagen satelital en comparación con la intensidad luminosa producida por una embarcación calamarera industrial que son >100 watts/cm²/sr (Tabla 2).

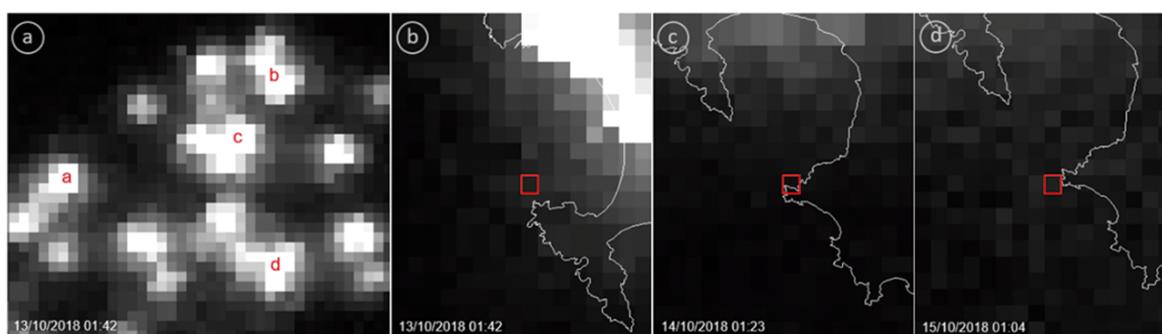


Figura 5.- Imágenes satelitales DNB-VIIRS del 13 al 15/10/2018. a) Pixeles de luminosidad que indican una concentración de embarcaciones con luces encendidas fuera de las 200 millas, las letras en rojo representan el pixel central de luminosidad de una embarcación. Cuadrado rojo de figuras b), c) y d) indican la localización del IMARPE V durante el experimento

Tabla 2.- Valores de intensidad de pixeles identificados como embarcaciones industriales de la Figura 5a y estaciones donde se registró la intensidad/luminosidad del BIC IMARPE V

Fecha	Hora	Pixel	Coordenadas		Intensidad de pixel (watts/cm ² /sr)
			Latitud	Longitud	
13/10/2018	01:42	a	18°46'50,56"	78°16'13,81"	122,8933
13/10/2018	01:42	b	18°41'34,30"	78°05'09,44"	120,7535
13/10/2018	01:42	c	18°44'44,12"	78°07'15,98"	224,0024
13/10/2018	01:42	d	18°51'35,40"	78°05'09,44"	122,7036
13/10/2018	01:42	L-1	09°08'59,42"	78°36'40,22"	9,5663
14/10/2018	01:23	L-2	09°15'57,52"	78°31'23,75"	5,5029
15/10/2021	01:04	L3	09°16'37,29"	78°31'39,46"	8,7073

ELVIDGE *et al.* (2015) desarrollaron un algoritmo para la detección de flotas a partir de información satelital de intensidad de luminosidad para estimar el número de embarcaciones en operaciones de pesca, sin embargo, dicho algoritmo funcionó para embarcaciones industriales debido a la autonomía que tienen para sostener un gran número de lámparas.

4. CONCLUSIONES

Se determinó que la intensidad luminosa de 4000 watts de potencia generada por el BIC Imarpe-V representa en la imagen satelital pixeles entre 5 y 9 watts/cm²/sr en comparación a los valores >100 watts/cm²/sr emitidos por la flota calamarera industrial.

De acuerdo a las pruebas realizadas, una lámpara de 2 kw alcanza una distancia máxima de 10 m que puede ser registrada por un luxómetro, por lo tanto, no puede ser registrada por una imagen satelital que tiene una resolución espacial de 750 metros.

Para que una embarcación artesanal pueda ser registrada por el satélite se requiere que las embarcaciones usen al menos 10 focos de 2000 watts; sin embargo, dado el alto costo que representa generar energía para estas embarcaciones, es improbable la identificación de embarcaciones artesanales usando información satelital.

Las embarcaciones artesanales no cuentan actualmente con la capacidad de aumentar su luminosidad debido a la principal limitación que es el tamaño de eslora (15 metros) y asimismo el alto nivel de informalidad por los bajos precios de venta de este recurso en el Perú, esto genera que los armadores inviertan poco en comprar baterías y equipos.

5. REFERENCIAS

- ABDUL AL-AZZAWI. 2006. Light and Optics. CRC Press. ISBN 0849383145, 9780849383144
- ELVIDGE CHRISTOPHER D, ZHIZHIN M, KIMBERLY BAUGH K, FENG-CHI HSU. 2015. Automatic Boat Identification System for VIIRS Low Light Imaging Data. *Remote Sensing*. 7(3): 3020-3036. <https://doi.org/10.3390/rs70303020>
- GERSHANOVICH D E, NATAROV V V, CHERNY E I. 1974. Oceanologic bases as the forming up of the increased production areas in the Pacific Ocean. *Trudy VNIRO*. 98: 35-42.
- HATFIELD E M C, HOCHBERG F G. 2007. *Dosidicus gigas*: northern range expansion events. CalCOFI Annual Conference 2007. Shedd Auditorium. Hubbs-Sea World Research Institute, San Diego, CA, 26-28 November 2007. 12 pp.
- NESIS K N. 1983. *Dosidicus gigas*. In: Boyle, P.R. (Ed.), Cephalopod Life Cycles, Vol 1. Species Accounts. Academic Press, London. Pp: 215-231.
- PAULINO C, ESCUDERO L. 2010. Use of night satellite imagery to monitor the squid fishery in Peru. In: Handbook of Satellite Remote Sensing Image Interpretation. Applications for Marine Living Resources. Conservation and Management. EUPRESPO and IOCCG, Dartmouth, Canada. pp. 143-152.
- PAULINO C, ARONI E, XU H, ALBURQUEQUE E, DEMARCQ H. 2017. Use of nighttime visible images in the study of the spatial and temporal variability of fishing areas of jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) outside Peruvian EEZ 2004-2015. *Fisheries Research*. 191: 144-153.
- RODHOUSE P G, ELVIDGE C D, TRATHAN P N. 2001. Remote sensing of the global light-fishing fleet: an analysis of interactions with oceanography, other fisheries and predators. *Adv. Mar. Biol.* 39: 261-303.
- SAITOH S, FUKAYA A, SAITOH K, SEMEDI B, MUGO R, MATSUMURA S, TAKAHASHI F. 2010. Estimation of number of Pacific saury fishing vessels using nighttime visible images. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial*.
- TAIPE A, YAMASHIRO C, MARIÁTEGUI L, ROJAS P, ROQUE C. 2001. Distribution and concentrations of jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) off the Peruvian coast between 1991 and 1999. *Fish. Res.* 54: 21-32.
- TIPPENS P E. 2001. Física Conceptos y Aplicaciones. McGraw-Hill. Sexta Edición.
- WALUDA C M, YAMASHIRO C, ELVIDGE C D, HOBSON V R, RODHOUSE P G. 2004. Quantifying light-fishing for *Dosidicus gigas* in the Eastern Pacific using satellite remote sensing. *Remote Sensing of Environment*. 91(2): 129 - 133.