

## Analysis of null sets (zero catch) made by the Mexican tuna purse seine fleet (2000–2013)

### Análisis de los lances nulos (sin captura) de la flota atunera mexicana que opera con red de cerco (2000–2013)

Michel J Dreyfus-León<sup>1,2\*</sup>, Adán Mejía-Trejo<sup>3</sup>, Juan Carlos Villaseñor-Derbez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de la Pesca, Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera Ensenada, Carretera Tijuana-Ensenada Km 97.5, Parque Industrial FONDEPORT, El Sauzal de Rodríguez, CP 22760 Ensenada, Baja California, México.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Km. 103 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada CP 22860, Baja California, México.

<sup>3</sup> Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California, Km. 103 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada CP 22860, Baja California, México.

\* Corresponding author. E-mail: dreyfus@cicese.mx

**ABSTRACT.** The world tuna fishing fleet is dominated by purse seine boats. Purse seine sets are sometimes unsuccessful in capturing fish; these unsuccessful attempts are known as null sets. Null sets have been widely documented and the numbers indicate that they happen in large proportions. In Mexico, the tuna fishery represents the second most important fishery by volume and value. The frequency of occurrence of null sets during the period 2000–2013 was analyzed to identify the regions, periods, and oceanographic conditions (e.g., ENSO) related to them. Null sets on free-swimming fish schools and between June and July had a higher relative representation. The region with highest relative occurrence was the mouth of the Gulf of California (between August and October). A positive correlation was observed between the occurrence of null sets on free-swimming fish schools and the Multivariate El Niño Index. The maximum values of occurrence of null sets were related to those months in which the water column structure presented changes. Comprehension of this phenomenon (null sets) and its relation to natural events is of importance for the fishery, as there could be repercussions for the economy and management of the resource.

*Key words:* null sets, tuna fishing, Mexican tuna fleet, eastern Pacific, purse seine.

**RESUMEN.** A nivel mundial, la flota atunera está dominada por embarcaciones con red de cerco como principal arte de captura. En ocasiones, al realizar los lances, no hay éxito de captura y a esos lances se les conoce como lances nulos. Los lances nulos han sido ampliamente documentados y se ha observado que ocurren en una gran proporción. En México, la pesca de túnidos representa la segunda pesquería más importante en volumen y valor. La finalidad de este trabajo fue analizar la frecuencia de ocurrencia de los lances nulos durante el periodo 2000–2013 para identificar regiones, periodos y condiciones oceanográficas (e.g., El Niño) asociados a éstos. Los lances nulos tuvieron mayor representación relativa cuando se realizaron sobre cardúmenes libres y entre junio y julio. La frecuencia relativa fue máxima en la boca del golfo de California, entre agosto y octubre. Se observó una correlación positiva entre la ocurrencia de lances nulos asociados a cardúmenes independientes y el Índice Multivariado de El Niño. Los valores máximos de ocurrencia de lances nulos estuvieron relacionados con los meses en los que se observan cambios en la estructura de la columna de agua. La comprensión de este fenómeno (lances nulos) y su asociación a eventos naturales es de suma importancia para la pesquería del atún, ya que podrían observarse importantes repercusiones en la economía y el manejo del recurso.

*Palabras clave:* lances nulos, pesca de atún, flota atunera mexicana, Pacífico oriental, red de cerco.

## INTRODUCTION

The world tuna fleet is dominated by vessels that primarily use purse seine gear. In 2010, 66% of the global tuna catch was obtained by purse seiners (<http://www.fao.org/fishery/statistics/tuna-catches/query/en>). Tuna schools can be located visually (looking for signs such as the presence of birds, dolphins, and floating objects, or the movement of surface water using helicopters, binoculars, and radar) or by acoustic instruments (e.g., fish aggregating devices) (ICCAT 2008).

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la flota atunera está dominada por embarcaciones que operan con red de cerco como principal arte de captura. En 2010, el 66% de la captura de túnidos se obtuvo con este tipo de embarcaciones (<http://www.fao.org/fishery/statistics/tuna-catches/query/en>). En estas embarcaciones, el atún es detectado visualmente (e.g., por señales como el avistamiento de pájaros, manadas de delfines y objetos flotantes, o el movimiento del agua en la superficie

Despite the detection of schools, on occasion the purse-seining operations fail to capture fish. These unsuccessful attempts are known as null sets. The trial sets made prior to the fishing trip solely to test that the equipment and net are functioning properly do not constitute null sets.

Null sets have been documented in all the oceans where purse seiners operate, and the occurrence of this phenomenon is high. Sarralde *et al.* (2004) documented that 40% of the total number of sets made on free-swimming tuna schools by the Spanish fleet operating in the Atlantic Ocean were unsuccessful. Floch *et al.* (2012) reported the number of null sets made by the French fleet in the Atlantic Ocean between 1991 and 2010. In the Indian Ocean, both the French (Pianet *et al.* 2009) and Spanish (Delgado de Molina *et al.* 2010) fleets have recorded null sets.

In the Caribbean, an analysis of the Venezuelan fishing fleet revealed that null sets occurred more frequently when yellowfin tuna were targeted in comparison to skipjack tuna (Medina-Gaertner and Gaertner 1991). Dreyfus-León and Mejía (2009a, b) documented the null sets made by the Mexican tuna fleet in the eastern Pacific Ocean and found that, while they did occur when dolphin-associated schools were targeted, they were more frequent when free-swimming schools were targeted. Fonteneau *et al.* (2000) reviewed the use of fish aggregating devices in purse seine fisheries worldwide and reported that 90% of the sets were successful when they were used, whereas about 50% of the sets done on free-swimming schools were successful.

The Mexican fleet in the Eastern Tropical Pacific (ETP) operates over a wide area dominated by the California Current and the Mexican Coastal Current. Eddies and coastal-trapped waves are found at the entrance to the Gulf of California. Off the Baja California peninsula, the thermohaline and current structures respond to seasonal forcings, with the occurrence of upwelling mainly in spring and summer (Durazo *et al.* 2010). The ETP is characterized by a permanent, well-developed, shallow thermocline (<100 m), its depth increasing eastwards. Changes in thermocline depth are related to surface currents (Durazo *et al.* 2010). In Mexico, the tuna fishery is the second most important fishery in terms of volume, after the sardine fishery, and the second most important in terms of value, after the shrimp fishery (SEMARNAT 2000). Statistics provided by the Inter-American Tropical Tuna Commission (IATTC 2014) for the eastern Pacific Ocean show that the Mexican tuna fishery is the second most important in terms of volume and the first in terms of the capture of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*).

The objective of this paper is to analyze the information on null sets made by the Mexican tuna fleet and determine the location and spatiotemporal concentration of this phenomenon and its possible relation to physical phenomena in order to identify the areas, periods, and events in which null sets are most likely to occur. The possible relationship between the frequency of null sets and physical phenomena

utilizando helicópteros, binoculares y radares) o con la ayuda de métodos acústicos (e.g., dispositivos agregadores de peces) (ICCAT 2008).

Pese a la detección del cardumen y después de realizar las maniobras de encierro, en ocasiones no hay éxito en capturar los atunes. A esos lances infructuosos se les conoce como lances nulos. Estos lances son diferentes de los “lances de agua” que la flota realiza previo al viaje de pesca para probar el equipo y funcionamiento de la red.

Los lances nulos han sido registrados en todos los océanos donde operan barcos con red de cerco, y la ocurrencia de este fenómeno es alta. Sarralde *et al.* (2004) documentaron que los lances nulos constituían el 40% del total de lances realizados por la flota atunera española sobre cardúmenes libres en el océano Atlántico. Floch *et al.* (2012) documentaron los lances nulos realizados por la flota francesa en el Atlántico de 1991 a 2010. En el océano Índico, tanto la flota francesa (Pianet *et al.* 2009) como la española (Delgado de Molina *et al.* 2010) han documentado estos eventos.

En el Caribe, según un análisis de la flota pesquera de Venezuela, los lances infructuosos son más comunes en la pesca de atún aleta amarilla que en la pesca de barrilete (Medina-Gaertner y Gaertner 1991). Dreyfus-León y Mejía (2009a, b) analizaron los lances nulos realizados por la flota atunera mexicana en el océano Pacífico oriental, y observaron que estos lances se presentaban en la pesca asociada a delfines pero eran más frecuentes en la pesca sobre cardúmenes libres. Fonteneau *et al.* (2000), realizaron una revisión de la pesca con objetos agregadores de peces a nivel mundial y mencionaron que el éxito de la pesca con estos dispositivos era del 90%, mientras que el éxito de la pesca sobre cardúmenes independientes era de aproximadamente 50%.

La actividad de la flota mexicana en el Pacífico Oriental Tropical (POT) se realiza en un área muy amplia dominada por la corriente de California y la corriente costera Mexicana, y donde hay remolinos y ondas atrapadas a la costa en la entrada del golfo de California. En la zona frente a la península de Baja California, la estructura termohalina y de corrientes responde a forzamientos estacionales, y la presencia de surgencias es principalmente en primavera y verano (Durazo *et al.* 2010). El POT se caracteriza por una termoclina permanente, bien desarrollada y relativamente somera (menos de 100 m), cuya profundidad va aumentando hacia el oeste. Los cambios en la profundidad de la termoclina se encuentran asociados a las corrientes superficiales (Durazo *et al.* 2010). En México, la explotación de túnidos representa la segunda pesquería más importante en términos de volumen, después de la pesquería de sardina, y la segunda en términos de valor, después de la pesquería del camarón (SEMARNAT 2000). De acuerdo con las estadísticas de la Comisión Interamericana del Atún Tropical (IATTC 2014), en el Pacífico oriental, la pesquería mexicana de túnidos es la segunda más importante en términos de volumen y la primera en términos de captura de atún aleta amarilla, *Thunnus albacares*.

was analyzed using oceanographic data corresponding to the fleet's area of operation.

## MATERIALS AND METHODS

The National Program for Tuna Use and Dolphin Protection kindly provided the information for this analysis. This program places scientific observers on approximately 50% of the fishing trips undertaken by Mexican tuna beach seine vessels with a hold capacity of more than 400 m<sup>3</sup>. The database used gives the date, position (latitude and longitude), and catch of each fishing set made between 2000 and 2013 (information gathered by the on-board observers). An exploratory analysis performed with this information generated some basic statistics. Programs were then developed to process the data. In order to normalize the data and eliminate the effect of a differential fishing effort, the proportion of null sets relative to the total number of sets was determined per year and area. Georeferenced data were generated to identify patterns of location in space and time of null sets. Using all the spatial data (without temporal discrimination), the percentage of null sets was calculated per 1° × 1° quadrants.

After determining the spatiotemporal distribution patterns, the frequency of null sets was correlated to the oceanographic conditions that may have caused these patterns. We calculated the Pearson correlation coefficient between the proportion of null sets by fishing mode (i.e., on free-swimming or associated schools and in total) and the Multivariate ENSO Index (MEI).

## RESULTS

Determining the proportion of null sets relative to the total number of sets allowed us to filter the possible effect of a differential fishing effort. The proportion of total null sets in the period 2000–2013 ranged from 0.10 to 0.22 (fig. 1). Null sets occurred more frequently when free-swimming or unassociated tuna schools were targeted (0.21–0.50). Conversely, when dolphin-associated schools were targeted, the proportion of null sets was relatively low (0.10–0.16). The proportion of null sets was similar when schools associated with floating objects were targeted (0.10–0.18), except in 2001 when it increased significantly (0.47); however, it should be noted that the Mexican fleet rarely targets the latter.

The spatial distribution of null sets showed a greater density in and near the Gulf of California (fig. 2). The occurrence of null sets declined notably towards warmer and more oceanic waters. Complementarily, to determine the areas where null sets were more likely to occur, we determined the proportion of null sets per 1° × 1° quadrants considering only the areas where at least 10 sets were made to avoid biasing the results due to few data (fig. 3). The probability of null sets was lower in oceanic areas (<0.10) and tropical waters (<0.30), and it was highest in the vicinity of the mouth of the Gulf of California and in nearby areas (0.20–0.50).

La finalidad de este trabajo fue analizar la información de los lances nulos registrada por la flota atunera mexicana y detectar la ubicación y concentración espaciotemporal de este fenómeno y su posible asociación a fenómenos físicos para identificar zonas, periodos y eventos con mayor probabilidad de ocurrencia de estos lances. Se analizó la posible relación entre la frecuencia de estos eventos y los fenómenos físicos con base en información oceanográfica correspondiente a las áreas de operación de la flota.

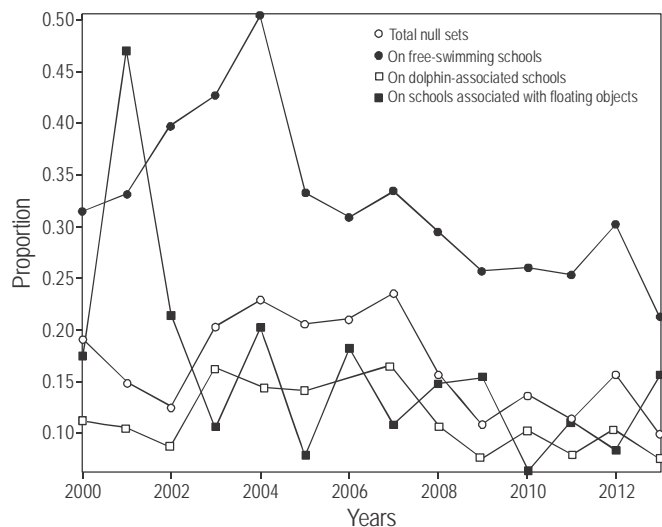
## MATERIALES Y MÉTODOS

El Programa Nacional de Aprovechamiento del Atún y Protección del Delfín proporcionó la información para estos análisis. Este programa cuenta con observadores científicos que cubren aproximadamente el 50% de los viajes de pesca de las embarcaciones atuneras mexicanas con red de cerco y capacidad superior a 400 m<sup>3</sup> de bodega. La base de datos con la que se trabajó está constituida por la fecha, posición (latitud y longitud) y captura de cada lance de pesca efectuado durante el periodo 2000–2013 (información recabada por los observadores a bordo). Se realizó un análisis exploratorio de esta información para obtener algunos estadísticos básicos. Posteriormente, se desarrollaron programas para el procesamiento de la información. Para normalizar los datos y eliminar el efecto de un esfuerzo pesquero diferencial, se realizó la comparación entre la proporción de lances nulos y lances en total por periodo y área. Se generó información georeferenciada para detectar patrones de ubicación en espacio y tiempo de los lances nulos. Utilizando todos los datos espaciales (sin discriminación temporal), se calculó el porcentaje de lances nulos para cuadrantes de 1° × 1°.

Después de la determinación de patrones de distribución espaciotemporal, se correlacionó la frecuencia de lances nulos con las características oceanográficas que pudieran ser causantes de estos patrones. Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson entre la proporción de lances nulos (i.e., sobre cardúmenes independientes, sobre cardúmenes asociados a delfines o a objetos flotantes, y en total) y el Índice Multivariado de ENOS (IME).

## RESULTADOS

El obtener la proporción de lances nulos con respecto a los lances totales permitió filtrar el posible efecto de un esfuerzo pesquero diferencial. La proporción de lances nulos con respecto al total de lances osciló entre 0.10 y 0.22 en el periodo 2000–2013 (fig. 1). Estos lances nulos fueron más frecuentes cuando la pesca se realizó sobre cardúmenes independientes o no asociados (0.21–0.50). Por el contrario, en la pesca sobre cardúmenes asociados a delfines, la ocurrencia de lances nulos fue relativamente baja (0.10 y 0.16). En el caso de los lances sobre cardúmenes asociados a objetos flotantes, el intervalo fue similar (0.10–0.18) excepto en 2001, cuando se observó un incremento significativo que alcanzó



**Figure 1.** Proportion of null sets made by the Mexican tuna purse seine fleet relative to the total number of sets, sets on free-swimming schools, sets on dolphin-associated schools, and sets on schools associated with floating objects during the period 2000–2013.

**Figura 1.** Proporción de lances nulos de la flota atunera mexicana de red de cerco con respecto al total de lances, lances sobre cardúmenes independientes, lances sobre cardúmenes asociados a delfines y lances sobre cardúmenes asociados a objetos flotantes durante el periodo 2000–2013.

A Hovmöller diagram was constructed representing the values of the relative proportions of null sets per month and per year (fig. 4). The probability of null sets was greater from June to November (0.10–0.18). The period with the highest proportion of null sets corresponded to June–July of 2003 and 2004. After 2008 the probability of occurrence of null sets decreased relative to the previous years, especially at the beginning of the year (January–March, <0.10). Deficient information was observed at the end of the year, due to the implementation of a closed season. As the Gulf of California was identified as the area where null sets occurred most frequently, the same analysis was carried out for this specific area (square in fig. 3). There was a higher frequency of null sets from August to November; however, frequencies >50% were not observed in the last four years analyzed, unlike previous years (fig. 5).

The only significant correlation between the proportion of null sets per type of set and MEI corresponded to the null sets on free-swimming schools ( $r = 0.7215$ ), explaining 52% of the variance.

## DISCUSSION

The occurrence of null sets was more frequent when free-swimming fish schools were targeted than when schools associated with dolphins or floating objects were targeted, as also found by Delgado de Molina *et al.* (2010) in the Indian Ocean, by Floch *et al.* (2012) in the Atlantic Ocean, and by

una proporción de 0.47. Cabe mencionar que éste último tipo de lance es poco frecuente en la flota mexicana.

Se observó una mayor densidad de los lances nulos realizados por la flota mexicana dentro y alrededor del golfo de California (fig. 2). La densidad de lances nulos disminuyó hacia regiones más cálidas, al igual que hacia aguas oceánicas. Complementariamente, para determinar las áreas con mayor probabilidad de presentar lances nulos, se determinó la proporción de lances nulos por áreas de  $1^\circ \times 1^\circ$  considerando sólo zonas con al menos 10 lances efectuados para evitar sesgos en los resultados por una cantidad baja de datos (fig. 3). La probabilidad de lances nulos fue baja en zonas oceánicas (<0.10) y aguas tropicales (<0.30), y más alta en la región de la boca del golfo de California y zonas aledañas (0.20–0.50).

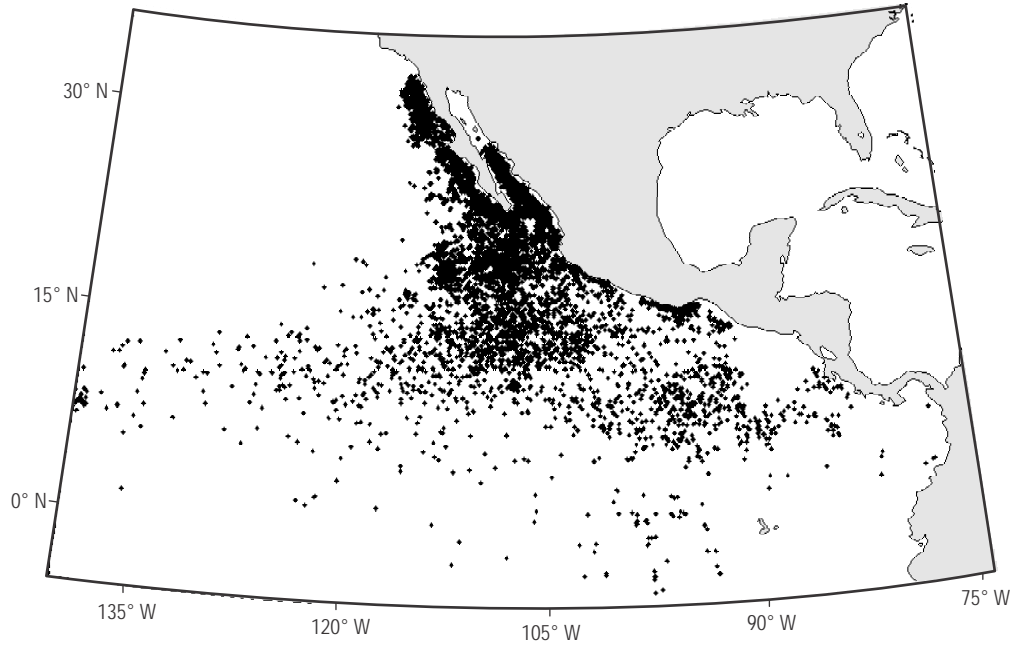
Se realizó un diagrama de Hovmöller que representara los valores de las proporciones relativas de lances nulos por mes y por año (fig. 4). Se detectó una mayor probabilidad (0.10–0.18) de lances nulos entre junio y noviembre. El período con mayor proporción de lances nulos correspondió a junio–julio de 2003 y 2004. A partir de 2008, hubo una disminución en la probabilidad de ocurrencia de estos lances con respecto a los años previos, particularmente notorio al inicio del año (enero–marzo, <0.10). Se observó falta de información al final del año debido a la implementación de una veda a la pesca. Al identificar al golfo de California como la zona con mayor frecuencia de lances nulos (ver recuadro en la fig. 3), se realizó el mismo análisis para esta zona específica. Se observó mayor frecuencia de lances nulos de agosto a noviembre, aunque en los últimos cuatro años analizados no se observaron frecuencias superiores al 50% como en los años previos (fig. 5).

La única correlación significativa que se observó entre la proporción de lances nulos por tipo de lance y el IME fue sobre cardúmenes independientes ( $r = 0.7215$ ), explicando una variación del 52%.

## DISCUSIÓN

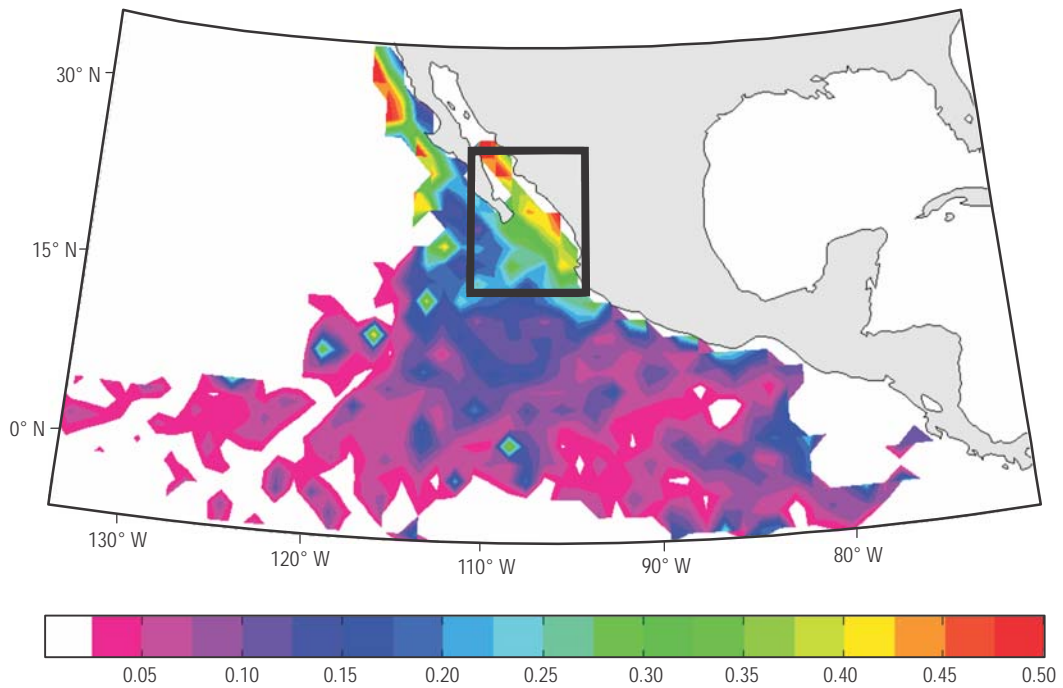
Se observó mayor frecuencia de lances nulos sobre cardúmenes libres que sobre cardúmenes asociados a delfines o a objetos flotantes, al igual que lo observado por Delgado de Molina *et al.* (2010) en el océano Índico, por Floch *et al.* (2012) en el Atlántico y por Fonteneau *et al.* (2000) en el océano Pacífico. Existen algunas opiniones que atribuyen los lances nulos a imponderables causas durante la caza y maniobra de encierro. Fonteneau *et al.* (2000), por ejemplo, sugieren que especies como el atún aleta amarilla de talla media (entre 10 y 25 kg) es muy evasivo y más disperso y, por lo tanto, más difícil de atrapar. Sin embargo, en este trabajo se localizaron áreas específicas donde las frecuencias fueron significativamente mayores, lo cual indica una asociación a eventos oceanográficos locales de mesoescala.

La distribución espaciotemporal de los lances nulos indica que las zonas con mayor probabilidad de estos eventos



**Figure 2.** Spatial distribution of null sets made by the Mexican tuna fleet (2000–2013).

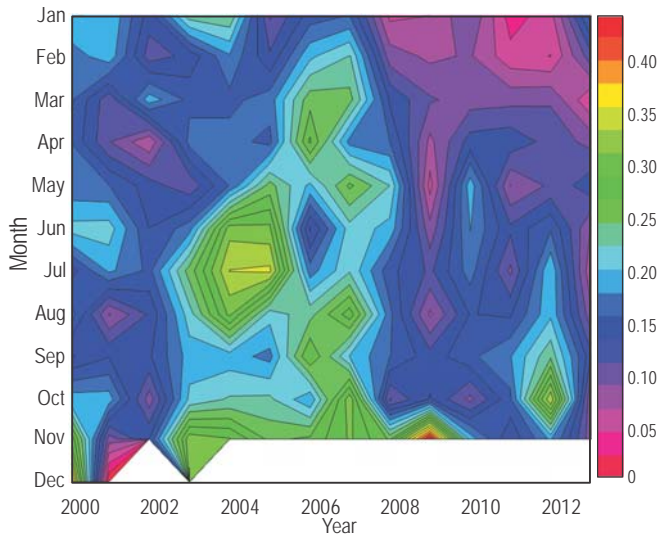
**Figura 2.** Distribución espacial de los lances nulos de la flota atunera mexicana (2000–2013).



**Figure 3.** Percentage of total null sets per  $1^\circ \times 1^\circ$  quadrant (2000–2013). The square indicates the area with greater density of null sets.

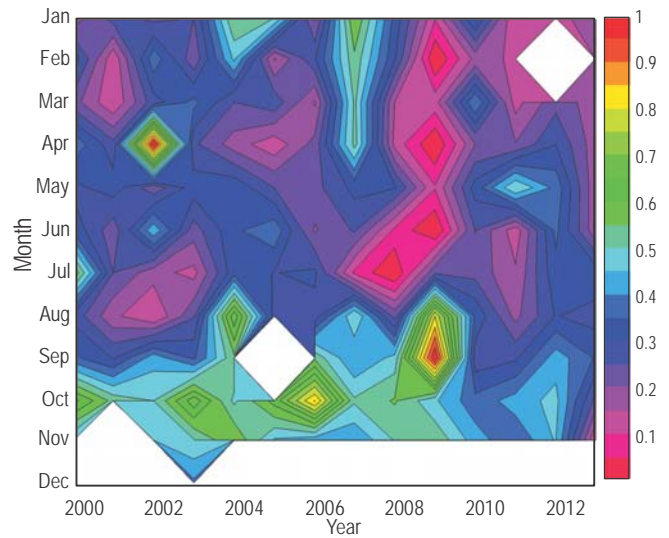
**Figura 3.** Porcentaje de lances nulos totales por cuadrante de  $1^\circ \times 1^\circ$  (2000–2013). El cuadro indica la zona con mayor densidad de lances nulos.





**Figure 4.** Hövmoller diagram representing the probabilities of null sets (2000–2013).

**Figura 4.** Diagrama de Hövmoller que representa las probabilidades de los lances nulos (2000–2013).



**Figure 5.** Hövmoller diagram representing the probabilities of null sets made by the Mexican tuna fleet in the Gulf of California (area marked by a square in fig. 3) between 2000 and 2013.

**Figura 5.** Diagrama de Hövmoller que representa las probabilidades de los lances nulos de la flota atunera mexicana en el golfo de California (zona marcada por un cuadro en fig. 3) entre 2000 y 2013.

Fonteneau *et al.* (2000) in the Pacific Ocean. Some authors have attributed null sets to imponderable causes during the search and encircling operation. Fonteneau *et al.* (2000), for example, suggest that species such as medium-sized yellowfin tuna (10–25 kg) are more evasive and dispersed and, therefore, more difficult to catch. In this study, however, specific areas were identified where the occurrence of null sets was notably higher, indicating that null sets are related to local mesoscale oceanographic events.

The spatiotemporal distribution of null sets showed that there was greater probability of these events occurring in the vicinity of the mouth of the Gulf of California. Thermal and haline fronts are located in this area, and the presence of four seasonal mesoscale eddies has been recorded in the southern region (López-Sandoval *et al.* 2009, Contreras-Catala *et al.* 2012, Lavín *et al.* 2013). These eddies are aligned along the Gulf axis and alternate their direction of rotation (the northernmost eddy is cyclonic and the southernmost, anticyclonic). Lavín *et al.* (2013) observed that the circulation in the region of the mouth of the Gulf of California is dominated by these eddies. They reported that the anticyclonic and cyclonic eddies reached 500–700 and 450–500 m depth, respectively, and that the associated thermoclines and pycnoclines (between 20 and 75 m depth) presented domes of up to 10 m. The structure of the shallow isotherms was not greatly modified by the cyclonic eddies but that of the deep isotherms was (Lavín *et al.* 2013). Changes in the vertical structure of the water column have also been reported by Zamudio *et al.* (2008) and have important implications because they could allow tuna to escape from the purse seine net. The presence of these mesoscale eddies coincides, in

se encuentra cerca de la entrada del golfo de California. Esta zona presenta frentes térmicos y halinos, además de que se han identificado cuatro remolinos estacionales de mesoescala en la región sur del golfo (López-Sandoval *et al.* 2009, Contreras-Catala *et al.* 2012, Lavín *et al.* 2013). Estos remolinos se encuentran alineados sobre el eje del golfo y presentan alternancia en el sentido de su rotación (el remolino más norteño ciclónico y el más sureño, anticiclónico). Lavín *et al.* 2013 recalcan que la circulación de la región de la boca del golfo se encuentra dominada por estos remolinos. Estos autores describieron que los remolinos anticiclónicos alcanzaron profundidades de entre 500 y 700 m y los ciclónicos de entre 450 m y 500 m, y que las termoclinas y piconoclinas asociadas a los remolinos anticiclónicos (entre 20 y 75 m de profundidad) presentaron domos de hasta 10 m. Los remolinos ciclónicos no presentaron modificaciones mayores a la estructura de las isothermas someras, pero sí a las de aguas profundas (Lavín *et al.* 2013). Estas alteraciones en la estructura vertical de la columna de agua han sido registradas también por Zamudio *et al.* (2008) y tienen implicaciones importantes ya que permitirían a los atunes escapar de la zona de cierre de la red de cerco. La presencia de estos remolinos de mesoescala coincide, en espacio y tiempo, con el incremento en la proporción de lances nulos en la zona cerca de la entrada del golfo de California.

Green (1967) registró una importante correlación entre la profundidad de la termoclina (y oxiclina) y la capturabilidad de especies de túnidos. Como se mencionó previamente, la profundidad de la termoclina en la región del POT presenta

time and place, with the increased proportion of null sets in the vicinity of the Gulf mouth.

Green (1967) reported an important correlation between thermocline (and oxycline) depth and the catchability of tuna species. As previously mentioned, the depth of the thermocline in the ETP presents seasonal variations closely related to the seasonal variation of the North Equatorial Current and Countercurrent, which in turn is related to variations in the intensity of trade winds (Wyrтки 1967 in Hall *et al.* 1992). The results presented here are closely related to these atmospheric circulation patterns and their implications for ocean circulation. The intensity of trade winds increases during the first half of the year, when the North Equatorial Current is strong and the thermocline becomes shallower. The lowest relative frequency values of null sets correspond to this period. As the year progresses, the trade winds weaken, and the North Equatorial Countercurrent intensifies and the thermocline deepens. The highest relative frequencies of null sets are observed during the second half of the year.

The diverse effects of the El Niño/Southern Oscillation (ENSO) phenomenon include an increase in thermocline depth in the ETP; hence, under ENSO conditions, the number of null sets may increase and this would have a profound economic impact on the Mexican tuna fleet. Identifying where and when these hydrographic conditions and null set events will occur is therefore important because this information could be used in the taking of decisions with regard to the fleet's operating areas and help to lower operating costs.

From a fishery management viewpoint, when using catch per unit effort as an indicator of abundance, the fact that null sets occur with greater frequency in certain areas and that they show certain temporal variability can produce biased abundance estimates. Therefore, it would be advisable to assess the effect caused by the total number of null sets or by fishing mode and, if necessary, make adjustments to the abundance indices.

## ACKNOWLEDGMENTS

We thank the National Program for Tuna Use and Dolphin Protection for supporting this study.

English translation by Christine Harris.

## REFERENCES

- Contreras-Catala F, Sánchez-Velasco L, Lavín MF, Godínez VM. 2012. Three-dimensional distribution of larval fish assemblages in an anticyclonic eddy in a semi enclosed sea (Gulf of California). *J. Plankton Res.* 34: 548–562.
- Delgado de Molina A, Areso JJ, Ariz J. 2010. Statistics of the purse seine Spanish fleet in the Indian Ocean (1984–2009). *IOTC-2010-WPTT-19*, 21 pp.
- Dreyfus-León M, Mejía A. 2009a. Lances de agua (primera parte). *El Vigía* No. 35: 3–4.
- Dreyfus León, M, Mejía A. 2009b. Lances de agua (segunda parte). *El Vigía* No. 36: 11–13.

variaciones estacionales relacionadas muy cercanamente con la variación de los flujos de la corriente Norecuatorial y la contracorriente Norecuatorial, que a su vez responden a variaciones de intensidad de los vientos alisios (Wyrтки 1967 en Hall *et al.* 1992). Los resultados aquí presentados están asociados a estos patrones de circulación atmosférica y sus implicaciones en la circulación oceánica. El aumento en la intensidad de los vientos alisios se presenta durante el primer semestre de cada año, cuando la corriente Norecuatorial es intensa y la termoclina es más somera. Es en este periodo de tiempo cuando se observaron los menores valores relativos de los lances nulos. Sin embargo, conforme avanza el año y los vientos alisios disminuyen su intensidad, la contracorriente Norecuatorial se intensifica y aumenta la profundidad de la termoclina. Es en este periodo cuando se observaron las mayores frecuencias relativas de lances nulos.

Los diversos efectos del fenómeno ENOS incluyen un aumento en la profundidad de la termoclina del POT; por tanto, bajo condiciones ENOS, existirá la probabilidad de un incremento en el número de lances nulos. Estos incrementos podrían tener grandes repercusiones económicas para la flota atunera mexicana, que desarrolla una de las actividades pesqueras más importantes de México. La identificación de regiones y periodos de tiempo en los cuales se presentan las condiciones hidrográficas asociadas a estos eventos de lances nulos es de gran importancia porque esta información podría considerarse en la toma de decisiones con respecto a áreas de operación de las embarcaciones, lo cual podría reducir los costos operacionales de la flota.

Desde el punto de vista del manejo de los recursos, el hecho de que en ciertas zonas exista una mayor frecuencia de lances nulos y de que existe cierta variabilidad temporal en la frecuencia de lances nulos puede generar un sesgo en la estimación de indicadores de abundancia basada en la captura por unidad de esfuerzo. Por lo tanto, sería conveniente evaluar el efecto causado por los lances nulos en su totalidad o por tipo de lance y, en su caso, realizar el ajuste en los índices de abundancia.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Programa Nacional de Aprovechamiento del Atún y Protección del Delfín el apoyo para realizar este trabajo.

- Durazo R, Ramírez-Manguilar AM, Miranda LE, Soto-Mardones LA. 2010. Climatología de variables hidrográficas. In: Gaxiola-Castro G, Durazo R (eds.), *Dinámica del Ecosistema Pelágico frente a Baja California, 1997–2007. Diez años de investigaciones mexicanas de la Corriente de California*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, ISBN: 978-607-7908-30-2, pp. 25–58.
- Floch L, Chassot E, Damiano E, Fonteneau V, Kouassi Y, Cauquil P, Amandé MJ, Pianet R, Chavance P. 2012. Statistics of the French purse seine fleet targeting tropical tunas in the Atlantic Ocean (1991–2010). *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT* 68: 858–885.
- Fonteneau A, Pallares P, Pianet R. 2000. A worldwide review of

- purse seine fisheries on FADs. In: Le Gall JY, Cayré P, Taquet M (eds.), *Pêche thonière et dispositifs de concentration de poissons*. Actes Colloques-Ifremer, pp 15–35.
- Green RE. 1967. Relationship of the thermocline to success of purse seining for tuna. *Trans. Am. Fish. Soc.* 96: 126–130.
- Hall M, García M, Lennert-Cody C, Arenas P, Miller F. 1992. The association of tunas with floating objects and dolphins in the eastern Pacific Ocean: A review of the current purse-seine fishery. In: *Proceedings of the International Workshop on the Ecology and Fisheries for Tunas Associated with Floating Objects*, 11–13 February 1992. Compiled by Scott MD, Bayliff WH, Lennert-Cody E, Schaefer KM, La Jolla, California, 1999. Inter-American Tropical Tuna Commission, Special Report 11, pp. 87–194.
- [IATTC] Inter-American Tropical Tuna Commission. 2014. Tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean in 2013. Document IATTC-87-03a. Available from: <http://www.iatcc.org/Meetings/Meetings2014/July/PDFs/IATTC-87-03a-Tunas-and-billfishes-in-he-EPO-2013REV.pdf>
- [ICCAT] International Commission for the Conservation of Atlantic Tuna. 2008. Chapter 3.1.1: Purse Seine in ICCAT Manual. ICCAT, pp 1–34.
- Lavín MF, Castro R, Beier E, Godínez VM. 2013. Mesoscale eddies in the southern Gulf of California during summer: Characteristics and interaction with the wind stress. *J. Geophys. Res. (Oceans)* 118: 1367–1381.
- López-Sandoval DC, Lara-Lara JR, Lavín MF, Álvarez-Borrego S, Gaxiola Castro G. 2009. Primary productivity in the eastern tropical Pacific off Cabo Corrientes, Mexico = Productividad primaria en el Pacífico oriental tropical adyacente a Cabo Corrientes, México. *Cienc. Mar.* 35: 169–182.
- Medina-Gaertner M, Gaertner D. 1991. Factores ambientales y pesca atunera de superficie en el mar Caribe. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 36:523-550.
- Pianet R, Nordstrom V, Dewals P. 2009. French purse seine tuna fisheries statistics in the Indian Ocean, 1981–2008. IOTC-2009-WPTT-23, 24 pp.
- Sarralde R, Ariz J, Delgado de Molina A, Pallarés P, Santana JC. 2004. Análisis de los datos obtenidos por observadores en atuneros cerqueros españoles en el océano Atlántico durante las últimas moratorias sobre objetos flotantes (2001–2002 y 2002–2003). *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT* 56: 401–13.
- [SEMARNAT] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2000. Pesquería del atún. [Cited 14 September 2014]. Available from: [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas\\_2000/informe\\_2000/07\\_Aprovechamiento/7.3\\_Recursos\\_pesca/data\\_recursos\\_pesca/recuadro4.htm](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas_2000/informe_2000/07_Aprovechamiento/7.3_Recursos_pesca/data_recursos_pesca/recuadro4.htm).
- Zamudio L, Hogan P, Metzger EJ. 2008. Summer generation of the southern Gulf of California eddy train. *J. Geophys. Res.* 113, C06020. <http://dx.doi.org/10.1029/2007JC004467>

*Received September 2014,  
accepted January 2015.*