



**FACULTAD DE OCEANOGRAFIA, PESQUERIA, CIENCIAS ALIMENTARIAS Y
ACUICULTURA**

DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE EFICIENCIA PARA LA FLOTA
INDUSTRIAL Y SU CONSUMO ÓPTIMO DE COMBUSTIBLE EN EMPORADAS
DE CONSUMO HUMANO INDIRECTO Y DIRECTO UTILIZANDO
INFORMACIÓN SATELITAL

Línea de investigación:

Competitividad industrial, diversificación productiva y prospectiva

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Pesquero

Autor:

Sarasi Benites, Luis Alberto

Asesor:

Hinojosa Blanco, Ignacio Leonidas

ORCID: 0000-0003-4410-6467

Jurado:

Zambrano Cabanillas, Abel Walter

Llontop Vélez, Carlos

Blas Ramos, Walter Eduardo

Lima - Perú

2022

Referencia:

Sarasi, B. (2022). *Determinación de indicadores de eficiencia para la flota industrial y su consumo óptimo de combustible en temporadas de consumo humano indirecto y directo utilizando información satelital* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV. <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/5972>



Reconocimiento - No comercial - Sin obra derivada (CC BY-NC-ND)

El autor sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede generar obras derivadas ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias Alimentarias y Acuicultura

DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE EFICIENCIA PARA LA FLOTA
INDUSTRIAL Y SU CONSUMO ÓPTIMO DE COMBUSTIBLE EN
TEMPORADAS DE CONSUMO HUMANO INDIRECTO Y DIRECTO
UTILIZANDO INFORMACIÓN SATELITAL

Línea de Investigación:

Competitividad industrial, diversificación productiva y prospectiva

Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Pesquero

Autor:

Sarasi Benites, Luis Alberto

Asesor:

Hinojosa Blanco, Ignacio Leonidas

ORCID: 0000-0003-4410-6467

Jurado:

Zambrano Cabanillas, Abel Walter

Llontop Vélez, Carlos

Blas Ramos, Walter Eduardo

Lima – Perú

2022

“Nuestras vidas se definen por las oportunidades, incluso las que perdemos”

(F. Scott Fitzgerald, El curioso caso de Benjamin Button)

DEDICATORIA

A mi hermosa madre y mis queridos hermanos, a quienes más amo en esta vida, mi inspiración, motor y motivo, por su apoyo incondicional, por inculcarme valores y principios que me formaron como persona y profesional.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor Ignacio Hinojosa Blanco, por el apoyo desinteresado, las oportunidades brindadas en mi etapa como estudiante, la asesoría en este trabajo y las útiles revisiones de mi tesis.

A mis queridos amigos: Percy, Richard, Franco, Sergio, Alfredo, Angel, Jaime, Eder, Francisco, Ricardo, Yvonne y Yhuliana que con sus ocurrencias me sacan una carcajada todos los días, excelentes personas, gracias por acogerme con amistad en el grupo y por compartirme sus valiosos conocimientos que ayudaron para la elaboración de mi tesis.

Al Ing. Luis Clemente, por las enseñanzas, los sabios consejos y sus entretenidas clases que nos brindó a quienes tuvimos la oportunidad de tenerlo como maestro. Aunque ya no esté físicamente con nosotros siempre lo tenemos presente, gracias por todo.

A Javier Calmet, Wilder Salazar y Jhonatan Romero con quienes compartí poco tiempo, pero pude aprender mucho, gracias por compartirme sus experiencias y conocimientos que me sirvieron de mucho para la culminación de este trabajo.

A Mavi Ordoñez y Nathalie Malca por las entretenidas explicaciones, observaciones y aportes que ayudaron en la elaboración de mi tesis.

A Ramiro Castillo, Rodolfo Cornejo y Luis La Cruz por las oportunidades brindadas, las enseñanzas y los sabios consejos.

A Salvador Peraltilla, Rosa Vinatea y Cristian Vasquez que me recibieron con los brazos abiertos en mis primeros pasos como profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Descripción y formulación del problema	2
1.2 Antecedentes	3
1.2.1 Uso de sistemas satelitales en la flota pesquera.....	3
1.2.1.1 Sistema de Seguimiento Satelital (SISESAT - VMS).....	5
1.2.1.2 Sistema de Identificación Automática (AIS)	6
1.2.2 Sistemas satelitales y el consumo eficiente de combustible.....	9
1.2.3 Temporada de Consumo Humano Indirecto (CHI)	11
1.2.3.1 Anchoveta.....	12
1.2.4 Temporada de Consumo Humano Directo (CHD).....	13
1.2.4.1 Jurel	13
1.2.4.2 Caballa.....	14
1.3 Objetivos	15
1.3.1 Objetivo general	15
1.3.2 Objetivos específicos	15
1.4 Justificación e importancia	15
1.5 Hipótesis General	16
1.5.1 Hipótesis Específica	16
II. MARCO TEÓRICO	17
2.1 Bases teóricas sobre el tema de investigación	17
2.1.1 Sistemas satelitales en la industria pesquera	17
2.1.1.1 Funcionamiento de los sistemas satelitales	17
2.1.1.2 Despliegue de la flota en operaciones de pesca y su monitoreo satelital.....	19
2.1.1.3 La velocidad en el proceso de pesca	20
2.1.1.4 Tracking de una faena de pesca en el sistema satelital	21
2.1.2 Indicadores de eficiencia de flota	22
2.1.2.1 Eficiencia de recorridos (ER).....	23

2.1.2.1.1 Recorrido por viaje (RV).....	23
2.1.2.1.2 Distancia en línea recta (DR).....	24
2.1.2.1.3 Tipos de trayectoria según su recorrido.....	25
Tipo Balística	25
Tipo Lévy	25
Tipo Browniana.....	26
2.1.2.2 Eficiencia de captura (EC)	26
2.1.2.2.1 Captura obtenida (CO) y capacidad de bodega (CB)	26
2.1.2.3 Índice temporal (IT)	27
2.1.2.3.1 Duración del viaje (DV)	27
2.1.2.4 Eficiencia de viaje (EV)	28
2.1.3 La velocidad y el consumo óptimo de combustible	28
2.1.3.1 Tipos de hélice en embarcaciones pesqueras	28
2.1.3.1.1 Hélice de paso fijo	28
2.1.3.1.2 Hélice de paso variable.....	29
2.1.3.1.3 La velocidad en hélices de paso fijo.....	30
2.1.3.1.4 La velocidad en hélices de paso variable.....	30
2.1.3.2 Transmisión de datos satelitales en la gestión del ahorro de combustible	31
2.1.3.2.1 Motores eléctricos.....	31
Repetidor ECM	31
IDP Satelital	31
2.1.3.2.2 Motores mecánicos	32
Flujómetros KRAL.....	32
PLC.....	32
IDP Satelital	32
2.1.3.3 Sistema de control de combustible.....	33
2.1.3.4 Seguimiento y control del consumo de combustible.....	35
2.1.3.5 Ahorro de combustible en las operaciones de pesca	37
2.1.3.5.1 Consumo previsto	37
2.1.3.5.2 Consumo real.....	37
III. MÉTODO	40

3.1 Tipo de investigación	40
3.2 Ámbito temporal y espacial	40
3.2.1 Primera Temporada de Pesca 2019 en la Zona Norte – Centro.....	40
3.2.2 Primera Temporada de Pesca de Consumo Humano Directo (CHD) – 2020.....	40
3.3 Variables	41
3.3.1 Variable independiente.....	41
3.3.2 Variable dependiente	41
3.4 Población y muestra	42
3.5 Instrumentos	43
3.5.1 Recolección de datos VMS.....	43
3.5.2 Recolección de datos sobre el consumo de combustible	43
3.6 Procedimientos	45
3.6.1 Fish Web	45
3.6.2 Perucontrol.....	46
3.7 Análisis de datos	47
3.7.1 Análisis de datos VMS.....	47
3.7.2 Análisis de datos sobre el consumo de combustible	48
IV. RESULTADOS	49
4.1 Análisis de los datos VMS	49
4.1.1 Distribución espacial de los datos VMS durante la temporada CHI y CHD	49
4.1.1.1 Latitud	50
4.1.1.2 Velocidad	50
4.1.1.3 Rumbo	50
4.1.2 Distancia a costa de los datos VMS	51
4.1.3 Distancia entre emisiones de los datos VMS	52
4.2 Análisis de los indicadores eficiencia de flota en la temporada CHI y CHD	54
4.2.1 Eficiencia de recorrido (ER).....	57
4.2.1.1 Recorrido por viaje de pesca (RV).....	57
4.2.1.2 Distancia en línea recta (DR)	58
4.2.1.3 Tipos de trayectoria según su eficiencia de recorrido	59
4.2.2 Índice temporal.....	68

4.2.2.1 Duración del viaje de pesca (DV)	68
4.2.3 Eficiencia de captura (EC).....	71
4.2.3.1 Capacidad de bodega (CB).....	71
4.2.3.2 Captura obtenida (CO)	72
4.2.4 Eficiencia del viaje de pesca (EV).....	75
4.3 Análisis del consumo de combustible.....	80
4.3.1 Consumo de combustible en la navegación a RPM o porcentaje de paso óptimo	80
4.3.1.1 Ahorro de combustible en una embarcación de paso variable	81
4.3.1.2 Ahorro de combustible en una embarcación de paso fijo	83
4.3.2 Cuantificación del ahorro de combustible en la temporada de CHI y CHD	85
V. DISCUSIONES.....	88
VI. CONCLUSIONES	90
VII. RECOMENDACIONES.....	92
VIII. REFERENCIAS.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos VMS exportados del recorrido de las embarcaciones.....	45
Tabla 2. Datos exportados del consumo de combustible durante la navegación	46
Tabla 3. Clasificación de los tipos de trayectoria según su ER.....	60
Tabla 4. Resumen de los indicadores de eficiencia de flota.....	78
Tabla 5. Cuantificación del ahorro de combustible en dólares (\$).....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Despliegue del esfuerzo pesquero observado mediante sistemas satelitales	4
Figura 2. Funcionamiento del SISESAT y Bitácora Electrónica	6
Figura 3. Funcionamiento del sistema AIS	7
Figura 4. Naves acuáticas con el sistema AIS.....	8
Figura 5. Consumo de combustible en la industria pesquera.....	9
Figura 6. Litros de diésel utilizados para desembarcar 1 tonelada de pescado.....	10
Figura 7. Área de extracción en temporadas de CHI zona centro norte y CHI zona sur	11
Figura 8. Distribución espacial de la anchoveta (<i>Engraulis ringens</i>)	12
Figura 9. Distribución espacial del jurel (<i>Trachurus murphyi</i>) en el océano Pacifico Sur	14
Figura 10. Distribución espacial de la caballa (<i>Scomber japonicus</i>)	14
Figura 11. Funcionamiento del sistema satelital VMS en una embarcación	18
Figura 12. Despliegue de la flota en temporada de pesca	19
Figura 13. Velocidad de una embarcación en una cala	20
Figura 14. Tracking de una embarcación en un viaje de pesca.....	21
Figura 15. Distancia ortodrómica entre dos coordenadas	23
Figura 16. Recorrido por viaje de pesca (RV - líneas rojas)	24
Figura 17. Zarpe y arribo en un mismo puerto (1). Zarpe y arribo en diferentes puertos (2)	24
Figura 18. Tipos básicos de movimientos y trayectorias adaptados a pesquerías	26
Figura 19. Hélice de paso fijo	29
Figura 20. Hélice de paso variable	29
Figura 21. Palanca de cambio de velocidad (RPM) en una hélice de paso fijo	30
Figura 22. Palancas de cambio de velocidad (RPM y % de paso) en una hélice de paso variable	30
Figura 23. Sistema de transmisión satelital en motores electrónicos.....	32
Figura 24. Sistema de transmisión satelital en motores mecánicos	33
Figura 25. Tablero de control de seguimiento de RPM y porcentaje de paso óptimo	34
Figura 26. Reportes satelitales sobre el consumo de combustible	35
Figura 27. Consumo de combustible en las etapas del proceso de pesca	35
Figura 28. Embarcaciones arribando a puerto de Chimbote para descargar su pesca	36
Figura 29. Curva de consumo de combustible en el proceso de pesca	37

Figura 30. Partes involucradas en la gestión del ahorro de combustible	38
Figura 31. Ubicación de la baliza satelital en una embarcación pesquera	43
Figura 32. Instrumentos de transmisión de datos en ME y MM	44
Figura 34. Viaje de pesca observado desde el Perucontrol donde se observa los parámetros del consumo de combustible por cada reporte satelital	48
Figura 35. Histograma de los datos VMS - CHI CN 2019 I	49
Figura 36. Histograma de los datos VMS - CHD 2020 I	49
Figura 37. Distancia a costa de los datos VMS en la temporada CHI y CHD	51
Figura 38. Distancia entre emisiones de los datos VMS en la temporada CHI y CHD	52
Figura 39. Distancia entre dos reportes VMS durante la navegación	54
Figura 40. Viajes de pesca y calas en la temporada CHI Centro Norte 2019 – I	55
Figura 41. Viajes de pesca y calas en la temporada CHD 2020 – I	56
Figura 42. Recorrido por viaje de pesca para la flota CHI y CHD	57
Figura 43. Distancia en línea recta alcanzada por la flota CHI y CHD	59
Figura 44. Eficiencia de recorrido (ER) para la flota CHI y CHD	60
Figura 45. Tipos de trayectorias realizadas por la flota CHI según su ER	61
Figura 46. Tipos de trayectorias realizadas por la flota CHD según su ER	61
Figura 47. Viajes de pesca con trayectorias Balística – Temporada CHI	62
Figura 48. Viajes de pesca con trayectorias Balística – Temporada CHI	63
Figura 49. Viajes de pesca con trayectorias Lévy – Temporada CHI	64
Figura 50. Viajes de pesca con trayectorias Brownianas – Temporada CHI	65
Figura 51. Viajes de pesca con trayectorias Balísticas – Temporada CHD	66
Figura 52. Viajes de pesca con trayectorias Lévy – Temporada CHD	67
Figura 53. Duración del viaje de pesca para la flota CHI y CHD	68
Figura 54. Índice temporal (IT) para la flota CHI y CHD	70
Figura 55. Correlación entre RV y DV en la temporada CHI	71
Figura 56. Correlación entre RV y DV en la temporada CHD	71
Figura 57. Capacidad de bodega (CB) de la flota CHI y CHD	72
Figura 58. Captura obtenida (CO) de la flota CHI y CHD	73
Figura 59. Eficiencia de captura (EC) de la flota CHI y CHD	74
Figura 60. Indicadores de eficiencia de flota para la flota de CHI y CHD	76

Figura 61. Calas en la temporada de CHI y CHD.....	77
Figura 62. Eficiencia de los viajes de pesca (EV) para la flota CHI y CHD	78
Figura 63. Indicadores de eficiencia de flota en la temporada CHI CN 2019 – I.....	78
Figura 64. Indicadores de eficiencia de flota en la temporada CHD 2020 – I.....	79
Figura 65. Consumo de combustible normal y óptimo (en GPH) durante la navegación.	80
Figura 66. Curva del consumo de combustible y el porcentaje de paso en los eventos del proceso de pesca	81
Figura 67. Curva de la velocidad y el porcentaje de paso en los eventos del proceso de pesca ...	82
Figura 68. Curva del consumo de combustible y las RPM en los eventos del proceso de pesca .	83
Figura 69. Curva de la velocidad y las RPM en los eventos del proceso de pesca.....	84
Figura 70. Ahorro del combustible en la temporada CHI.....	85
Figura 71. Ahorro del combustible en la temporada CHD	85
Figura 72. Distribución del ahorro de combustible en cada viaje de pesca durante las temporadas de CHI y CHD.....	86

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo determinar indicadores de eficiencia de la flota industrial y su respectivo consumo óptimo de combustible. Para ello, se utilizó la información satelital recolectada por embarcaciones pesqueras que participaron en una temporada de Consumo Humano Indirecto (CHI) cuya especie objetivo es la anchoveta (*Engraulis ringens*) y en una temporada de Consumo Humano Directo (CHD) que tienen como especie objetivo el jurel (*Trachurus murphyi*) y la caballa (*Scomber japonicus*). Después de procesar y analizar la data se logró determinar indicadores como el índice temporal (IT), la eficiencia de captura (EC) y eficiencia de recorrido (ER). Al realizar el promedio de las tres variables mencionadas se obtuvo una eficiencia de viaje (EV) de 0,69 para la flota CHI y 0,60 para la flota CHD. En cuanto al consumo óptimo de combustible, se demostró que la mejor manera de ahorrar combustible es controlar la velocidad de navegación en RPM si la embarcación tiene una hélice de paso fijo y en porcentaje de paso si la embarcación cuenta con una hélice de paso variable, aplicando este método se ahorraron 733 352 galones de combustible en la temporada de CHI y 165 690 galones en la temporada CHD. Los resultados demuestran que es posible determinar los indicadores de eficiencia flota y su respectivo consumo óptimo de combustible para diferentes tipos de pesquerías utilizando información satelital.

Palabras clave: Consumo de combustible, eficiencia de flota, flota industrial, velocidad óptima, viajes de pesca.

ABSTRACT

The objective of this work is to determine efficiency indicators of the industrial fleet and their respective optimal fuel consumption. For this, the satellite information collected by fishing vessels that participated in a season of Indirect Human Consumption (CHI) whose target species is anchovy (*Engraulis ringens*) and in a season of Direct Human Consumption (CHD) that have as the target species was used the jack mackerel (*Trachurus murphyi*) and the pacific mackerel (*Scomber japonicus*). After processing and analyzing the data, it was possible to determine indicators such as the temporal index (IT), the capture efficiency (EC) and the route efficiency (ER). By averaging the three variables mentioned, a travel efficiency (EV) of 0.69 for the CHI fleet and 0.60 for the CHD fleet was obtained. Regarding optimal fuel consumption, it was shown that the best way to save fuel is to control the sailing speed in RPM if the boat has a fixed pitch propeller and in percentage pitch if the boat has a variable pitch propeller, Applying this method saved 733,352 gallons of fuel in the CHI season and 165,690 gallons in the CHD season. The results show that it is possible to determine the fleet efficiency indicators and their respective optimal fuel consumption for different types of fisheries using satellite information.

Keywords: Fuel consumption, fleet efficiency, industrial fleet, optimum speed, fishing trips.

I. INTRODUCCIÓN

La industria pesquera nacional se sostiene principalmente por la captura de tres especies: la anchoveta (*Engraulis ringens*) que se captura en temporadas de Consumo Humano Indirecto (CHI), el jurel (*Trachurus murphyi*) y la caballa (*Scomber japonicus*) que se captura en la temporada Consumo Humano Directo (CHD). En los últimos años estas pesquerías se han manejado de manera sostenible debido a los entes regulatorios y científicos como el Ministerio de Producción (PRODUCE), Instituto de Mar del Perú (IMARPE) y Dirección General de Capitanías y Guardacostas (DICAPI); una de las tantas regulaciones vigentes y que ha tenido una buena aceptación por parte de la flota industrial es el uso de los sistemas satelitales VMS (Vessel Monitoring System) que en el Perú recibe el nombre de Sistema de Seguimiento Satelital (SISESAT). La función principal de este sistema es asegurar que los barcos no ingresen a zonas vedadas o restringidas para la pesca. Sin embargo, las operaciones e indicadores de la flota industrial también pueden estudiarse utilizando estos datos VMS y de esta manera se pueden tomar decisiones que optimicen la eficiencia de la flota a corto plazo ya que estas decisiones pueden tomarse el pleno desarrollo de una temporada de pesca. Es decir, en la actualidad estos datos son usados por entidades del estado con fines regulatorios y parte de las empresas solo para ver la ubicación y distribución de la flota.

Por otro lado, la flota industrial genera costos de operación, uno de ellos y el más crítico es el consumo de combustible, para poder disminuir estos costos se plantea usar eficientemente este recurso y esto se logra monitoreando el consumo óptimo de combustible por parte de las embarcaciones pesqueras en cada faena de pesca, este monitoreo es en tiempo real gracias a los sistemas satelitales actuales.

La presente tesis abarca estas problemáticas, para ello se busca determinar indicadores de eficiencia de la flota industrial utilizando datos satelitales georeferenciados obtenidos en un intervalo de 9 minutos y a partir del cual se puede determinar indicadores como la distancia recorrida, la duración del viaje de pesca, ubicación de los puntos de cala, captura obtenida, entre otros. Con respecto al consumo óptimo de combustible los datos también pueden obtenerse en tiempo real en un intervalo de 15 minutos ya que los motores de las embarcaciones cuentan con sistemas de transmisión satelital, los datos que se obtienen por este sistema es el consumo de

combustible, porcentaje de paso si la embarcaciones tiene una hélice de paso variable o las revoluciones por minuto (RPM) si la embarcación tiene una hélice de paso fijo.

1.1 Descripción y formulación del problema

En el Perú existen varias empresas pesqueras que monitorean sus embarcaciones de manera satelital generalmente solo para ver la ubicación, distribución de su flota, monitorear que sus embarcaciones no ingresen a zonas vedadas o restringidas como islas, islotes, reservas naturales, etc. Sin embargo, no usan la data satelital recolectada para generar indicadores de eficiencia de flota a través de los recorridos de los barcos, esta información puede ayudar a optimizar las decisiones de pesca y generar mejoras en cada una de las etapas del proceso de la pesca. (Oceana y Colegio de Ingenieros del Perú, 2016)

La información que se obtiene de los sistemas satelitales son de mucha utilidad para fines de evaluación, manejo y control de las principales pesquerías (Ñiquen & Díaz, 2001). En este sentido, los estudios que utilizan información satelital pueden enfocarse a analizar las operaciones de la flota industrial peruana y sus respectivos indicadores de eficiencia ya sea en temporadas de Consumo Humano Indirecto (CHI) o en la de Consumo Humano Directo (CHD).

Otro aspecto a tomar en cuenta en la industria pesquera es el consumo de combustible, existen factores que pueden alterar su uso normal, uno de ellos es el aumento en el precio de este recurso, una medida poco viable para compensar este aumento es incrementar el precio de los productos derivados de la pesca (World Bank, 2009; Gulbrandsen, 2015). Es por ello que la opción más viable es administrar eficientemente el consumo de combustible, las empresas pesqueras están dispuestas a asumir este factor y tomar medidas que ayuden a utilizar de manera eficiente este recurso energético (Abernethy et al., 2010).

Son pocos los estudios sobre el uso eficiente del combustible en la parte extractiva, esto implica la navegación a zonas de pesca, calas y retorno a puerto. En el año 2010 el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) elaboró un estudio sobre el uso eficiente de energía por parte de la industria pesquera pero solamente enfocado al proceso de producción de harina de pescado, es decir consumo de energía por parte de las plantas industriales.

La mayoría de las pesquerías dependen en gran medida del combustible (Suuronen et al., 2012), y las emisiones de la quema de combustible son uno de los impulsores del cambio climático que está afectando la distribución, abundancia y tamaño de las especies marinas (Baudron et al., 2020; Lotze et al., 2019; Queirós et al., 2018). Sin embargo, el consumo de combustible se ha excluido en gran medida de cualquier análisis y gestión basados en ecosistemas (Basurko et al., 2021).

Se estima que en todo el mundo las embarcaciones pesqueras y de transporte marítimo queman alrededor de 60 millones de barriles de petróleo crudo al año, lo que genera mil millones de toneladas de emisiones de gases de efecto invernadero (Reitz, 2013; Smith et al., 2014).

El consumo de combustible por parte de la pesca a nivel mundial es de aproximadamente 40 mil millones de litros de combustible y las emisiones de GEI a la atmósfera es de 179 millones de toneladas (Parker et al., 2014). Estas cantidades, junto con el aumento del precio del combustible, han dado lugar a análisis de rendimiento energético e impactos ambientales para todo tipo de pesquerías.

Por tanto, la dinámica de la flota, el comportamiento de los pescadores y los costos de pesca pueden ser examinados a través de los viajes de pesca, desde el momento en que una embarcación zarpa hasta su arribo a puerto (Watson & Haynie, 2016).

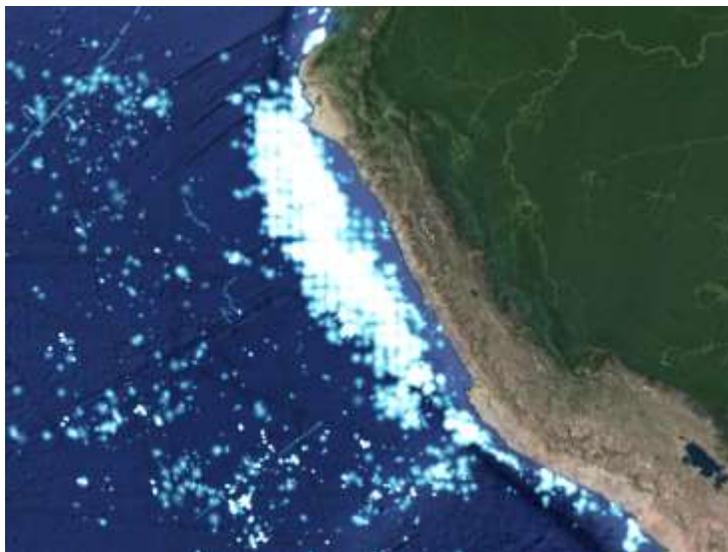
1.2 Antecedentes

1.2.1 Uso de sistemas satelitales en la flota pesquera

La aplicación de sistemas de seguimiento relacionados con satélites está muy extendida en la gestión de la pesca, el monitoreo satelital y control de actividades pesqueras es parte integral de los esfuerzos nacionales e internacionales para gestionar y regular la pesca en Zonas Económicamente Exclusivas (ZEE) y aguas internacionales, este sistema ha encontrado una amplia aceptación en las principales naciones pesqueras y ha demostrado ser una herramienta eficaz (Lemoine et al., 2005). Sin embargo, el uso que se le da actualmente es más amplio, ya no solo para observar reportes de ubicación sino también para obtener, previo análisis, registros operacionales de la flota pesquera.

Figura 1

Despliegue del esfuerzo pesquero observado mediante sistemas satelitales



Fuente: Global Fishing Watch, 2017.

Los datos satelitales comprenden información como la identificación del barco, la fecha, hora, longitud, latitud, rumbo y velocidad. A partir de estas variables se desprenden las trayectorias de los barcos que muestran la distribución del esfuerzo pesquero de manera completa y detallada.

Años anteriores existía una falta de datos geo referenciados, esto limitaba el uso de información satelital aplicado a la administración de pesquerías (Larkin 1996, citado por Bertrand et al., 2007). Con el avance de la tecnología se han implementado los sistemas de monitoreo VMS (Vessel Monitoring System), que proporcionan las posiciones de los barcos en tiempo real. Inicialmente fueron implementados por un tema de seguridad naval y como norma en las regulaciones pesqueras (Bertrand et al., 2007).

La información satelital proveniente de las embarcaciones fue utilizada para estudiar la ubicación de las actividades de pesca y su impacto en la distribución del stock de especies como la anchoveta (*Engraulis ringens*), es decir la información satelital es significativa y valiosa ya que ayuda tomar medidas de manejo pesquero (Bertrand et al., 2008). Por lo tanto esta información se puede desplegar en un análisis de la eficiencia de la flota en pesquerías como la de anchoveta, jurel y caballa.

La flota industrial peruana está compuesta de dos tipos de embarcaciones: una flota de acero que va de 110 a 1 080 m³ de CBOD y una flota de madera con una CBOD que oscila entre 32,6 y 110 m³ (IMARPE, 2019). Ambas flotas están legalmente obligadas a usar dispositivos de emisión VMS (Vessel Monitoring System) desde 1999. Hasta el año 2000 la flota industrial de acero estaba cubierta casi por completo con este sistema, mientras que para la flota de madera la implementación de este sistema fue mucho más gradual (Joo et al., 2010).

En la actualidad la mayor parte de la flota industrial cuenta con dos sistemas de posicionamiento: el VMS (Vessel Monitoring System) generalmente usado para la administración y gestión de pesquerías y el AIS (Automatic Identification System) que se utiliza para la seguridad y navegación marítima (Bautista, 2018).

1.2.1.1 Sistema de Seguimiento Satelital (SISESAT - VMS)

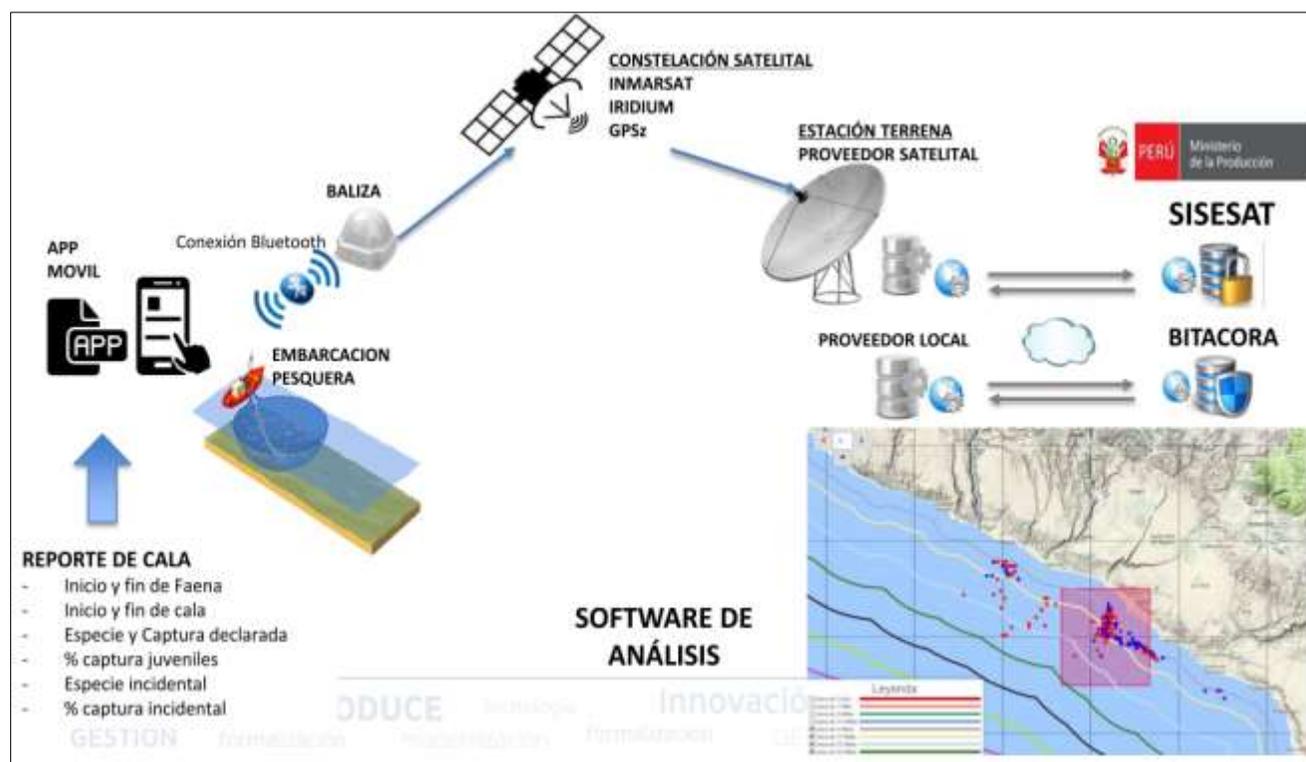
En el Perú el uso de sistemas satelitales está contemplado como una técnica complementaria al Sistema de Seguimiento Satelital (SISESAT); este sistema ha estado operativo para toda la flota industrial desde 1999 (Bertrand et al., 2005). Todas las embarcaciones pesqueras industriales que tienen licencia de pesca vigente para capturar anchoveta (para Consumo Humano Indirecto) o jurel y caballa (destinadas al Consumo Humano Directo) están obligadas a contar con este sistema, las embarcaciones que no cuenten con los dispositivos o balizas de posicionamiento satelital a bordo de la nave están impedidas de realizar actividades extractivas. La finalidad de este sistema es mejorar los esfuerzos de vigilancia dentro del territorio marítimo nacional que es controlado por el Ministerio de la Producción (PRODUCE) y la Dirección de Capitanías y Guardacostas (DICAPI).

El Ministerio de la Producción, además del SISESAT, cuenta con la Bitácora Electrónica en el que se registran en tiempo real reportes de pesca como: inicio y fin de cala, especie capturada, toneladas declaradas, porcentaje de juveniles, porcentaje de especies incidentales, entre otros datos. Por ende, el SISESAT y la Bitácora Electrónica permiten realizar el seguimiento, control y monitoreo de las embarcaciones pesqueras que efectúan actividades extractivas a fin de verificar que estas no incursionen en zonas de pesca no autorizadas o prohibidas según la normativa legal vigente, asegurando de esta manera la trazabilidad de los recursos hidrobiológicos y por ende un manejo sostenible de las pesquerías.

El SISESAT y el sistema de Bitácora Electrónica reciben información de empresas extranjeras como Iridium e Inmarsat que captan señales VMS (Vessel Monitoring System) y AIS (Automatic Identificación System) de diferentes satélites y las envía a empresas locales que finalmente envían esta información al centro de control de PRODUCE.

Figura 2

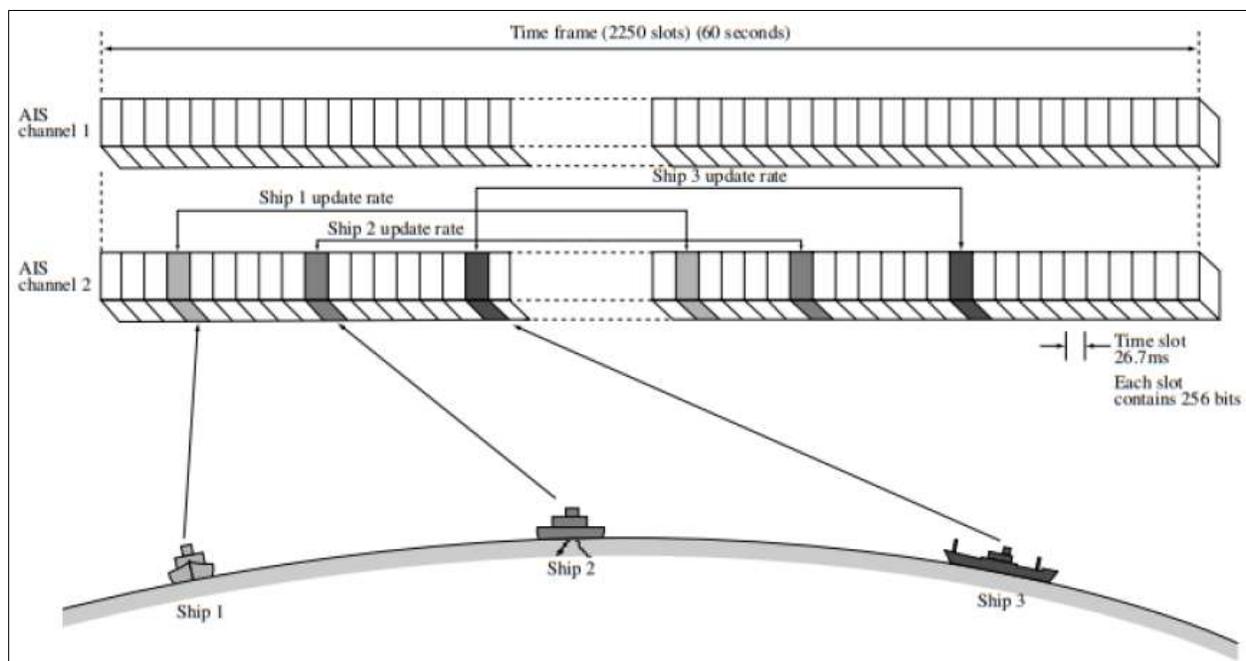
Funcionamiento del SISESAT y Bitácora Electrónica



Fuente: Ministerio de Producción, 2016.

1.2.1.2 Sistema de Identificación Automática (AIS)

El Sistema de Identificación Automática (AIS) es un sistema de seguimiento de buques, chatas, embarcaciones pesqueras y todo tipo de naves, fue implantado por la OMI (Organización Marítima Internacional), la posición de las embarcaciones se transmite por medio de una banda marítima VHF y usando frecuencias ya predeterminadas, la información se actualiza en diferentes intervalos de tiempo a fin de tener reportes actualizados (Vilela et al., 2018).

Figura 3*Funcionamiento del sistema AIS*

Fuente: Bole et al., 2005.

El AIS fue concebido con el objetivo de mejorar la seguridad y eficiencia en la navegación. Las embarcaciones que cuentan con este sistema pueden ver otras naves que también cuentan con este sistema, es de gran ayuda ya que puede detectar diferentes barcos cercanos y así prevenir posibles colisiones.

El AIS contempla todo tipo de naves acuáticas a nivel mundial, cada nave puede proporcionar diversa información: nombre de la nave, país de origen, eslora, manga, tipo de buque, posición, velocidad, rumbo, puerto de destino y ETA (Estimated Time of Arrival).

Figura 4*Naves acuáticas con el sistema AIS*

Fuente: Marine Traffic, 2015.

Existen diferencias en la manera de emitir datos: mientras el sistema VMS emite los datos utilizando satélites, el sistema AIS utiliza principalmente la vía VHF y los datos son captados por una antena costera (aunque también puede ser mediante satélites). Esto provoca que exista una cobertura más amplia en el sistema VMS y un sesgo con el sistema AIS (Bautista, 2018). Cabe recalcar que en este estudio los datos provenientes de las embarcaciones pesqueras son de tipo VMS y con una alta frecuencia de emisión y precisión.

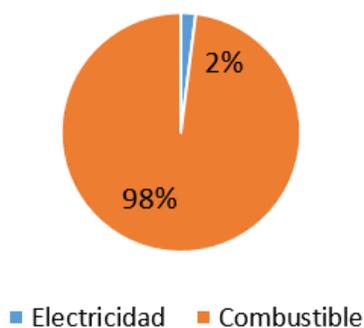
1.2.2 Sistemas satelitales y el consumo eficiente de combustible

Una de las ventajas de los sistemas satelitales es que permite transmitir todo tipo de información, una de ellas es información sobre el consumo de combustible por parte de las embarcaciones pesqueras.

El sector pesquero utiliza como fuentes de energía el combustible y la electricidad, siendo el petróleo y el gas natural los más usados como fuente de energía térmica. En la figura 5 se puede apreciar que el 98% de energía utilizada es el combustible mientras que el 2% es energía eléctrica.

Figura 5

Consumo de combustible en la industria pesquera



Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2010.

Parker et al. (2014) menciona que las decisiones de gestión de combustible y las mejoras tecnológicas como los sistemas satelitales pueden reducir aún más el consumo de combustible a corto plazo. Este autor llegó a dicha conclusión después de realizar un estudio sobre el consumo de combustible de las flotas pesqueras a nivel mundial, en especial pesquerías del Pacífico Norte y el Atlántico, obteniendo como resultado un alto consumo de combustible en embarcaciones con artes de pesca activas (como la red de arrastre y curricán principalmente) y que navegaban grandes distancias para capturar la especie objetivo.

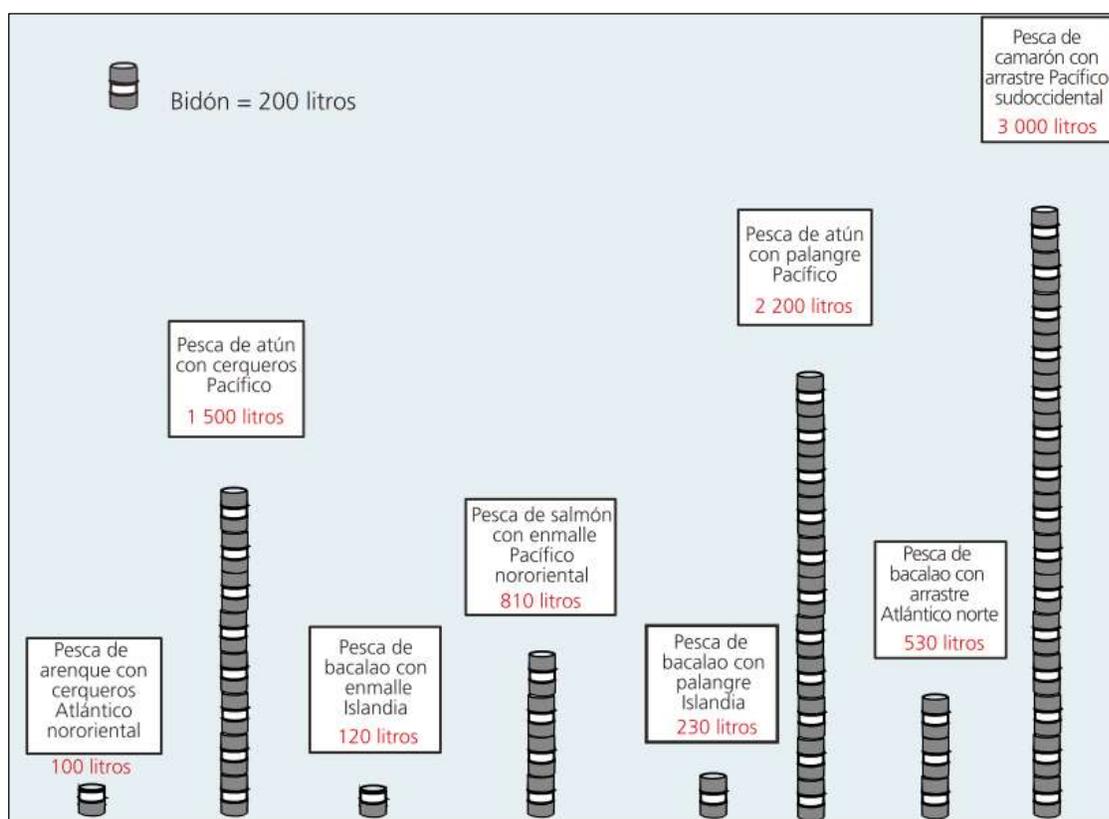
Gulbrandsen (2015) determinó que las medidas más eficaces para el ahorro de combustible en embarcaciones pesqueras pequeñas son el de reducir la velocidad de navegación, el uso del motor a bajas revoluciones, mantener el casco y la hélice libre de incrustaciones, de esta manera se

reduce la fricción con el agua durante la navegación. Sin embargo, estas medidas se cumplen tanto para flota de menor y mayor escala.

Existen estudios como el de Tyedemers (2004) donde se determinó la eficiencia de consumo de combustible expresado en la cantidad de combustible usado para desembarcar 1 tonelada de pescado. Sin embargo, este estudio no contempla la pesca de anchoveta, jurel y caballa, solo se analizan otras pesquerías como la del arenque, bacalao, salmón y atún.

Figura 6

Litros de diésel utilizados para desembarcar 1 tonelada de pescado



Fuente: Tyedemers, 2004.

En la Figura 6 se puede observar que el consumo de combustible varía ampliamente y está relacionado con el precio de especie objetivo. Por ejemplo, el camarón y el atún tienen un alto precio en el mercado debido a que se consume mucho combustible para su captura, caso contrario la pesca de bacalao tiene un precio menor en el mercado debido al bajo consumo de combustible.

1.2.3 Temporada de Consumo Humano Indirecto (CHI)

En esta temporada de pesca la flota industrial captura anchoveta (*Engraulis ringens*) para realizar harina de pescado, generalmente destinado para la exportación. La harina de pescado es fundamental para elaborar alimentos balanceados en áreas como la acuicultura, porcicultura, avicultura, entre otros. Un derivado de la harina de pescado es el aceite que una vez refinado y concentrado en plantas especializadas se emplea en la industria alimentaria y farmacéutica.

En el Perú, al año se dan generalmente 4 temporadas de pesca para la anchoveta: 2 temporadas para la zona centro norte donde el área de extracción permitida para este recurso está comprendida desde el extremo norte del dominio marítimo del Perú hasta los 16°00'LS (Puerto Viejo) y 2 temporadas para la zona sur donde el área permitida de extracción va desde los 16°00'LS hasta la frontera con Chile y con respecto a la distancia de costa el área de extracción en ambas temporadas está comprendida desde las 5 millas hasta las 200 millas. Cabe indicar que la temporada centro norte es la de mayor abundancia y con mayor cuota de captura.

Figura 7

Área de extracción en temporadas de CHI zona centro norte y CHI zona sur



Elaboración propia.

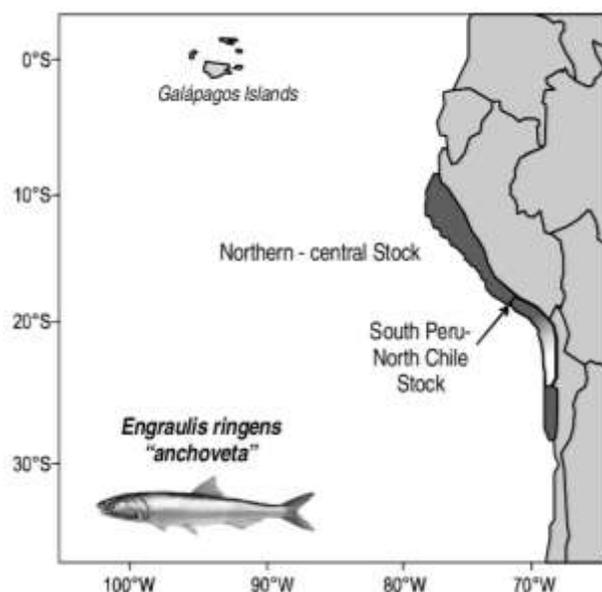
En esta temporada de pesca participan embarcaciones con permiso de pesca vigente, se emplean redes de cerco con un tamaño de malla de 13 milímetros (1/2 pulgada), las embarcaciones tienen que contar con el Sistema de Seguimiento Satelital (SISESAT) y se debe efectuar solo una faena de pesca en un intervalo de 24 horas (PRODUCE, 2019).

Hay dos flotas industriales que participan en esta temporada de pesca: la flota de madera que tiene una capacidad de bodega que oscila entre 32,6 m³ a 110 m³ y una flota acero cuya capacidad de bodega está entre 110 m³ y 1 080 m³ (IMARPE, 2019). Las embarcaciones que participan en esta temporada pueden tener o no un sistema de preservación a bordo. Sin embargo, las embarcaciones que no cuentan con sistemas de preservación a bordo no pueden tener la pesca en sus bodegas un periodo mayor a 24 horas.

1.2.3.1 Anchoveta: Es una especie pelágica cuya distribución de stocks en el Perú es bastante amplia: stock norte centro que va desde Zorritos (04°30'S) hasta Puerto Viejo (16°00'S) y stock sur que va desde Puerto Viejo (16°00'S) hasta Antofagasta (24°00'S) en el norte de Chile (Chirichigno y Vélez, 1998).

Figura 8

Distribución espacial de la anchoveta (Engraulis ringens): stock del norte-centro, stock sur y el stock del norte de Chile



Fuente: Mori et al., 2011.

1.2.4 Temporada de Consumo Humano Directo (CHD)

En esta temporada de pesca la flota industrial captura jurel (*Trachurus murphyi*) y caballa (*Scomber japonicus*) que es destinado para el consumo humano en forma de fresco, congelado o conserva.

La caballa es una especie acompañante del jurel, tanto así que en las calas puede llegar a ser hasta la tercera parte de la captura total (Dioses, 1995). Es por ello que en los últimos años los desembarques de caballa han sido producto de las capturas de jurel, aunque también proviene de la captura incidental de anchoveta y la pesca artesanal (IMARPE, 2019).

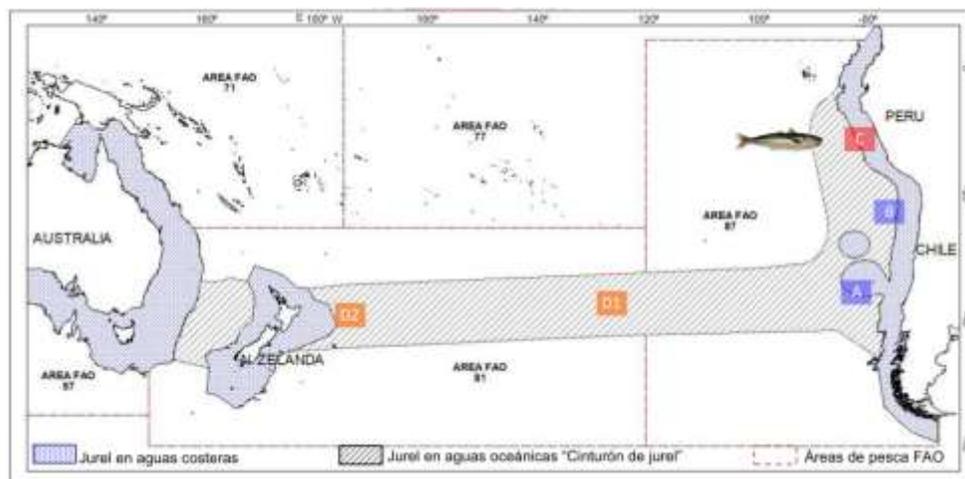
El jurel y la caballa están destinados exclusivamente para el consumo humano directo (CHD) desde el año 2002, según R. M 001-2002-PRODUCE y la flota industrial que participa en estas pesquerías está conformada por embarcaciones cuya capacidad de bodega oscila entre 270 m³ y 1 080 m³ (IMARPE, 2019). Estas embarcaciones están obligadas a contar con sistemas de preservación a bordo, generalmente RSW (Refrigerated Sea Water) con la finalidad de garantizar la calidad del pescado.

Las embarcaciones tienen que contar con un permiso de pesca vigente y emplean redes de cerco con un tamaño de malla de 38 milímetros (1 ½ pulgada). El área de extracción permitida para el jurel y la caballa por parte de la flota industrial está comprendida desde el extremo norte hasta el extremo sur del dominio marítimo del Perú y a partir de las 10 millas hasta las 200 millas (PRODUCE, 2007).

1.2.4.1 Jurel: Es una especie pelágica nerítica de carácter oceánico y de gran desplazamiento en el Pacífico Sur (Espinoza, 2018). Es considerada una especie transoceánica que se distribuye desde Ecuador (02°10'S) hasta la isla Victoria (52°30'S) en Chile y desde la costa de América del Sur hasta las costas de Nueva Zelanda y Tasmania; y con respecto a Perú esta especie se distribuye en todo el litoral alcanzando y sobrepasando las 200 millas que es el límite de nuestra Zona Económicamente Exclusiva (Dioses, 1995).

Figura 9

Distribución espacial del jurel (Trachurus murphyi) en el océano Pacífico Sur. A: Stock chileno Centro – Sur, B: Stock chileno Norte; C: Stock peruano: D1 y D2: Stock Centro – Sur del Pacífico Suroccidental.



Fuente: Espinoza, 2018. Elaborado a partir de Gerlotto et al. (2012).

1.2.4.2 Caballa: Es una especie pelágica que se distribuye desde Ecuador específicamente desde Manta e Isla Galápagos ($00^{\circ}56'S$) hasta la bahía de Darwin ($45^{\circ}30'S$) en Chile, en el Perú se distribuye en todo el litoral y sobrepasando las 100 millas de costa (Dioses, 1995).

Figura 10

Distribución espacial de la caballa (Scomber japonicus)



Fuente: Instituto del Mar del Perú, 2010.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general:

- Determinar los indicadores de eficiencia para la flota industrial y su respectivo consumo óptimo de combustible en una temporada de CHI y CHD mediante el uso de datos satelitales.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Calcular indicadores relacionados a la distancia recorrida, tiempo de navegación y captura en cada viaje de pesca.
- Analizar y clasificar los viajes de pesca de acuerdo a su trayectoria e indicadores de eficiencia.
- Cuantificar el ahorro y consumo de combustible en cada viaje de pesca.
- Desarrollar una metodología de post-procesamiento para la data satelital recolectada por las embarcaciones industriales en cualquier temporada de pesca y poder calcular sus respectivos indicadores de eficiencia así como su consumo óptimo de combustible.

1.4 Justificación e importancia

Lo que se busca con este trabajo es implementar el uso de información satelital para reconocer y determinar los indicadores de eficiencia de flota, además de la gestión y monitoreo del consumo óptimo de combustible. Las empresas pesqueras siempre buscan alcanzar mayores índices de productividad y competitividad, por eso se ven impulsadas a establecer estrategias operativas que les permitan optimizar las operaciones de pesca, esto se puede conseguir analizando e interpretando la información recolectada por la flota en sus actividades extractivas (INPESCA, 2002, citado por Sobenes et al., 2005).

En cuanto al consumo de combustible, la industria pesquera como cualquier industria busca generar utilidades tratando de reducir los costos que estas generan. Una de las principales variables en el costo de extracción es el consumo de combustible, ya que esta se encuentra entre el 25% y 30% del costo variable de extracción (Gulbrandsen, 2015) y en algunas pesquerías del Atlántico representa el 60 y 70% de los costos anuales de la actividad de un barco (Rojon & Smith, 2014). Por ende, el consumo eficiente del combustible (mediante la navegación a velocidad óptima de las embarcaciones) reduce los costos e incrementa la rentabilidad de las empresas. Así mismo, disminuye las emisiones de gases tipo CO₂ que son contaminantes del medio ambiente (Falcón y

Rodriguez, 2014). Dada la importancia de la pesquería de anchoveta, jurel, caballa y considerando su consumo de combustible y la huella de carbono resultante, la contribución actual de este trabajo tiene como objetivo investigar la eficiencia energética de estas pesquerías.

Además, se analizaron e interpretaron los datos satelitales recolectados en dos temporadas de pesca: Consumo Humano Directo que tiene como especie objetivo la anchoveta y Consumo Humano Indirecto que tiene como especie objetivo el jurel y la caballa. Se escogieron estas dos temporadas ya que estos peces son las principales especies objetivo de las empresas pesqueras y la cantidad de embarcaciones y operaciones varía de acuerdo a la especie que se captura. Conocer los indicadores de eficiencia de flota nos permitirá establecer puntos de mejora operacional. Además, es importante conocer como es el comportamiento del ahorro de combustible para cada temporada de pesca, ya que en temporadas de CHD los barcos generalmente recorren más distancia que en temporadas de CHI.

Los sistemas satelitales actuales permiten conocer la dinámica de las embarcaciones de manera frecuente y regular, lo que nos permite estimar indicadores de eficiencia de flota en función a datos geo referenciados, tales como la eficiencia en el recorrido, eficiencia por captura, eficiencia del viaje de pesca y ahorro de combustible en la navegación. La información satelital permite estimar el esfuerzo desplegado de la flota pesquera.

1.5 Hipótesis General:

- Los datos satelitales permiten determinar indicadores de eficiencia para la flota industrial y su respectivo consumo óptimo de combustible en temporadas de CHI y CHD.

1.5.1 Hipótesis Específica:

- Se pueden calcular indicadores relacionados a la distancia recorrida, tiempo de navegación y captura en cada viaje de pesca.
- De acuerdo a la trayectoria de navegación y los indicadores de eficiencia se pueden analizar y clasificar los viajes de pesca.
- Es posible cuantificar el ahorro y consumo de combustible en cada viaje de pesca.
- Se puede desarrollar una metodología de post procesamiento para la data satelital recolectada.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.1.1 Sistemas satelitales en la industria pesquera

Los datos VMS nos permiten conocer la ubicación y rastrear los movimientos de una determinada flota de manera constante, los barcos que cuentan con este sistema brindan información sobre su ubicación actual (latitud, longitud, fecha y hora), velocidad y rumbo.

En los últimos años, han surgido servicios privados de monitoreo de embarcaciones que proporcionan datos operativos en tiempo real basados en satélites en línea. Uno de ellos es CLS (Collecte Localisation Satellites) y el otro relacionado al consumo de combustible es ORBCOMM (Connecting the World's Assets).

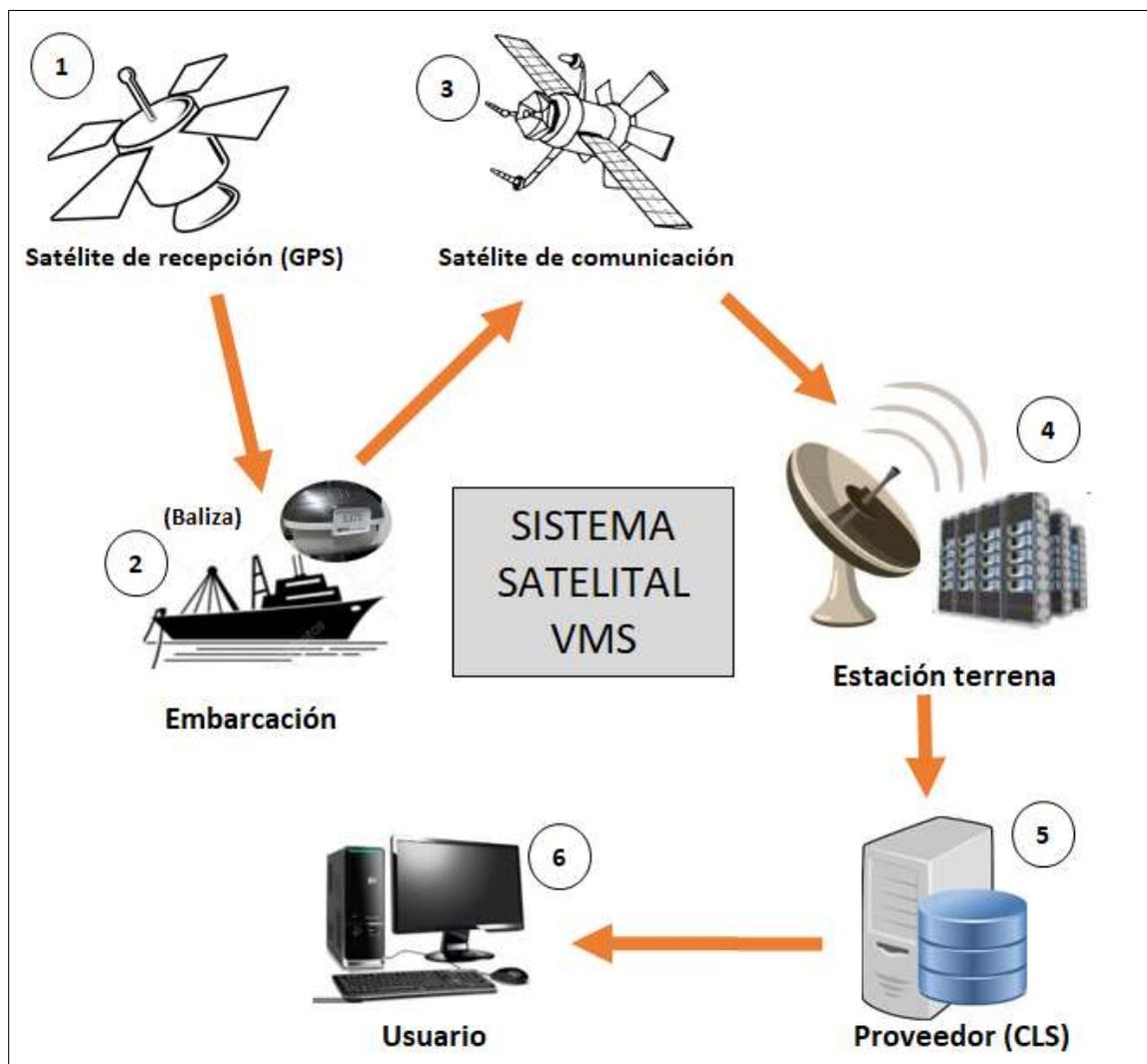
2.1.1.1 Funcionamiento de los sistemas satelitales

Según Suhendar (2012) los sistemas satelitales de transmisión de datos VMS cuentan con 3 partes principales: el equipo electrónico instalado a bordo (baliza), el sistema de comunicaciones (satélites) y un centro de recepción terrestre.

En el caso del Perú, cada embarcación pesquera tiene una baliza; esta baliza contiene un receptor y un transmisor, el receptor recopila datos de posicionamiento de una constelación de satélites GPS (Global Positioning System), el transmisor envía datos de su posición a los receptores que se encuentran en los satélites de comunicación. Esta información recolectada por los satélites es enviada y procesada por centros especializados, generalmente empresas privadas que brindan datos VMS (Vessel Monitoring System), en el caso de Perú es CLS (Collecte Localisation Satellites) cuya central se encuentra en Francia. La información de posicionamiento es enviada a usuarios en forma de coordenadas con una precisión de una milésima de grado y con una frecuencia de transmisión de cada 9 minutos.

Figura 11

Funcionamiento del sistema satelital VMS en una embarcación



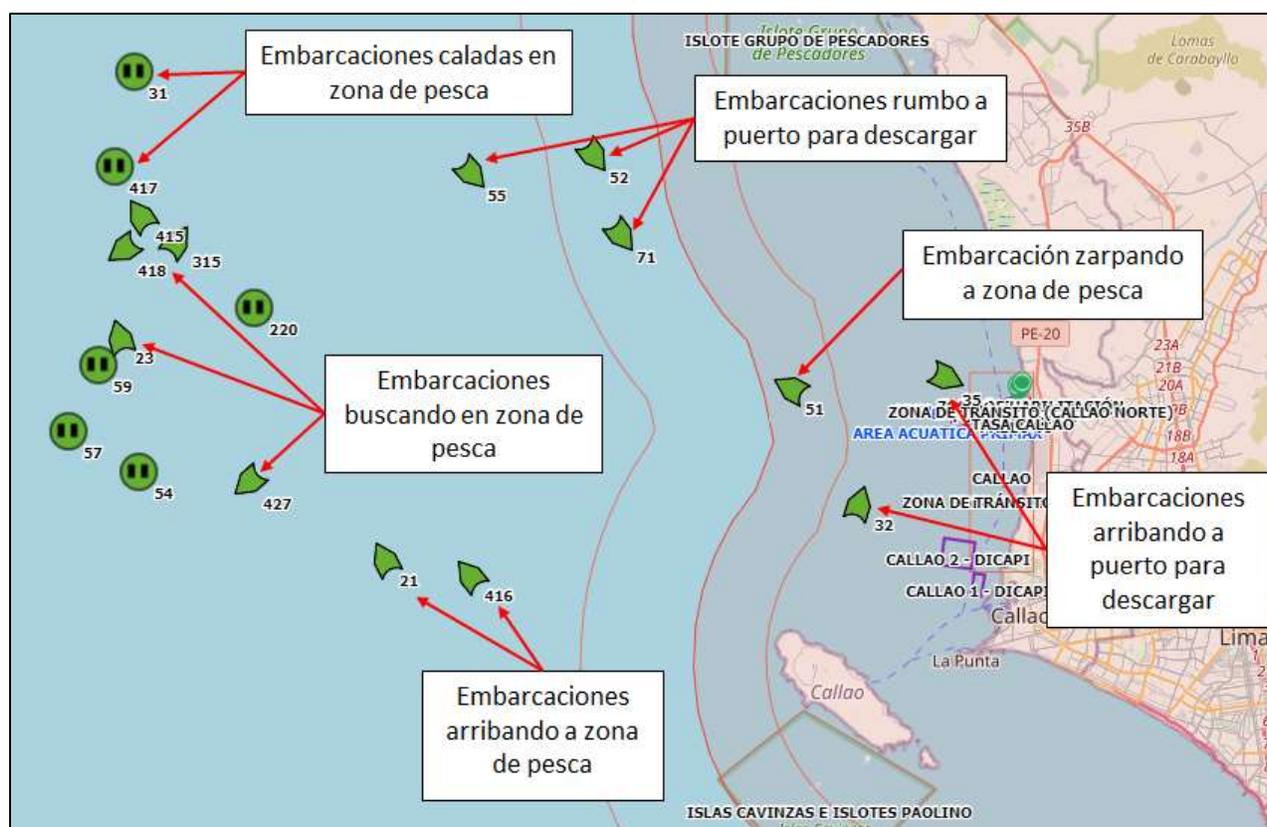
Elaboración propia.

2.1.1.2 Despliegue de la flota en operaciones de pesca y su monitoreo satelital

La secuencia de operaciones a grandes rasgos es la siguiente: se identifica una zona probable de pesca, la embarcación zarpa, una vez en zona de pesca la embarcación comienza a pescar (cala), retorna a puerto y se evalúa si en dicho retorno navegará a velocidad óptima (con la finalidad de ahorrar combustible), y finalmente arriba a puerto para iniciar el proceso de descargar. En la figura 12 se puede observar una zona de pesca frente a Callao (a 20 millas de costa) y el despliegue de la flota en plena temporada de pesca.

Figura 12

Despliegue de la flota en temporada de pesca



Elaboración propia.

Cabe indicar que la decisión de navegación a velocidad óptima o normal implica varios factores que se describirán a detalle más adelante.

tiempo promedio para realizar esta actividad. Según los registros de pesca, en esa cala la embarcación logró capturar 110 toneladas de anchoveta.

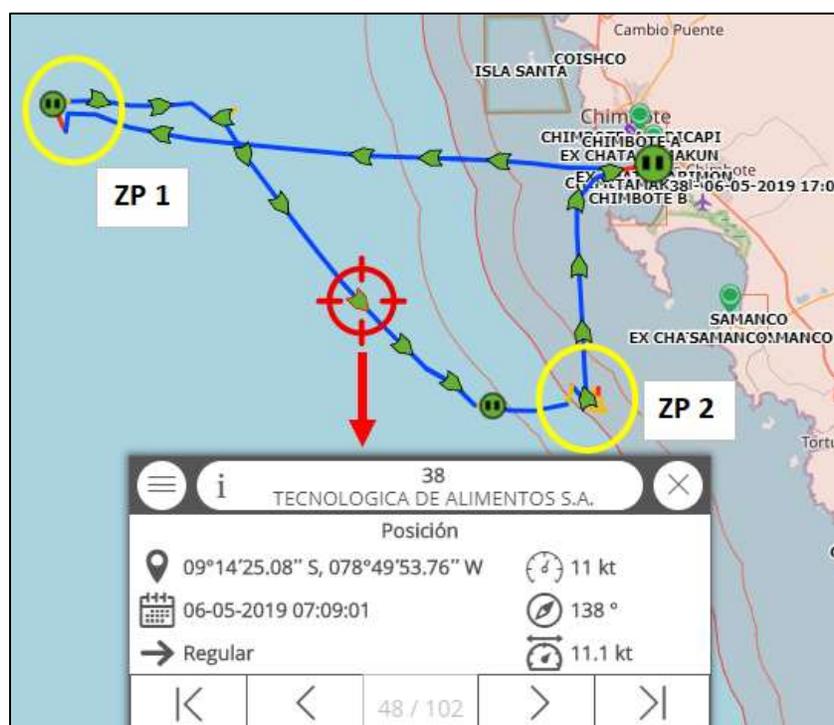
Es más, según las regulaciones vigentes, cuando una embarcación navega por zonas vedadas y restringidas está prohibido que en el sistema satelital esta nave presente velocidades de navegación inferiores a 2 nudos por un periodo mayor a una hora, ya que es el tiempo necesario para que una embarcación realice el proceso de cala en una zona prohibida y podría ser sancionada.

2.1.1.4 Tracking de una faena de pesca en el sistema satelital

Los sistemas satelitales nos brindan información detallada y tiempo real de la latitud, longitud, hora, fecha, rumbo y velocidad. Incluso se pueden identificar zonas de pesca donde trabajo la flota. En la figura 14 se puede observar el recorrido completo de una embarcación en una faena de pesca. Además, hay dos zonas de pesca (ZP), una frente a Chimbote a 25 millas de costa ($09^{\circ}03'S$ $79^{\circ}06'W$) y otra a la altura de Samanco a 7 millas de costa ($09^{\circ}19'S$ $78^{\circ}37'W$).

Figura 14

Tracking de una embarcación en un viaje de pesca



Elaboración propia.

2.1.2 Indicadores de eficiencia de flota

En los últimos años varios estudios señalan que los datos satélites nos ayudan a comprender mejor la dinámica y el comportamiento de la pesca (Bertrand et al., 2005; Bertrand et al., 2007; Bertrand et al., 2008; Bertrand et al., 2015; Diaz E., 2005; Joo et al., 2010; Joo, et al., 2013; Lemoine et al, 2005) y por ende nos permite determinar indicadores de eficiencia en embarcaciones que participan en una determinada pesquería.

El comportamiento y desplazamiento de la flota industrial pesquera está bien documentada, hoy en día gracias a los sistemas satelitales las posiciones de los barcos se registran de manera frecuente y regular, lo que abre perspectivas prometedoras para mejorar la estimación y gestión del esfuerzo pesquero (Joo et al., 2010). Es por ello que el esfuerzo desplegado de la flota pesquera puede examinarse espacialmente mediante la información satelital.

La eficiencia en la pesca está determinada muchas veces por la cuota de pesca, disponibilidad del recurso, accesibilidad, capturabilidad, buenas condiciones del mar e incluso el azar. Es un trabajo en equipo que implica una adecuada distribución de la flota, contar con naves operativas, patrones experimentados, una tripulación capacitada y disciplinada, tener estrategias de búsqueda, entre otros (Gutierrez, 2016).

Bertrand et al. (2007) indica que los sistemas VMS nos permiten comprender los mecanismos espaciales involucrados en la dinámica de las pesquerías debido a que:

- Esta data es continua y de alta resolución temporal.
- Permite controlar y monitorear la flota.
- La información es independiente de las declaraciones de los pescadores.
- La naturaleza de estos datos abre la posibilidad de realizar análisis de eficiencia de flota utilizando el recorrido de las embarcaciones.

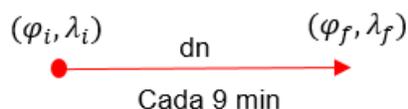
Gutierrez (2016) establece indicadores que implican el uso de la distancia recorrida por los barcos, tiempo que dura un viaje de pesca, la captura obtenida y la eficiencia del viaje. Dichos indicadores se explican a detalle a continuación:

2.1.2.1 Eficiencia de recorridos (ER)

Este indicador toma como base principal la distancia recorrida y la distancia máxima que logra alcanzar una embarcación (con respecto al puerto de zarpe o arribo) cuando esta sale a realizar una faena de pesca.

2.1.2.1.1 Recorrido por viaje (RV)

RV es la distancia navegada (en millas náuticas) desde el zarpe hasta el arribo. Un viaje de pesca está compuesto por varios reportes satelitales que cuentan con datos de longitud, latitud y además con una frecuencia de emisión de cada 9 minutos, a partir de esta información se puede calcular la distancia (d_n) entre dos emisiones continuas de la siguiente manera:



$$d_n = \sqrt{(\varphi_i - \varphi_f)^2 + (\lambda_i - \lambda_f)^2} \cdot \cos\left(\frac{\varphi_i - \varphi_f}{2}\right) \cdot 60 \text{ (millas náuticas)} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde φ y λ indican la latitud y longitud inicial (i) y final (f) en cada segmento n , respectivamente.

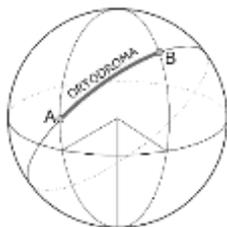
Entonces, el recorrido por viaje (RV) es:

$$RV = \sum d_n \text{ (millas náuticas)} \quad \text{Ecuación 2}$$

La distancia entre dos coordenadas también es llamada distancia ortodrómica.

Figura 15

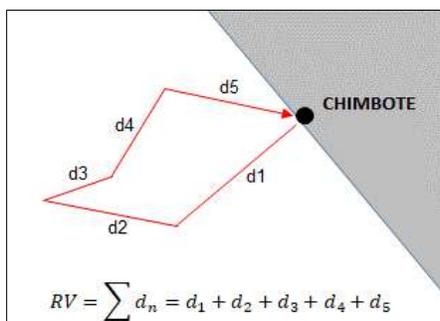
Distancia ortodrómica entre dos coordenadas



Fuente: Marin, 2021.

Figura 16

Recorrido por viaje de pesca (RV - líneas rojas). Cada viaje de pesca está compuesto por un número n de segmentos (d_n)



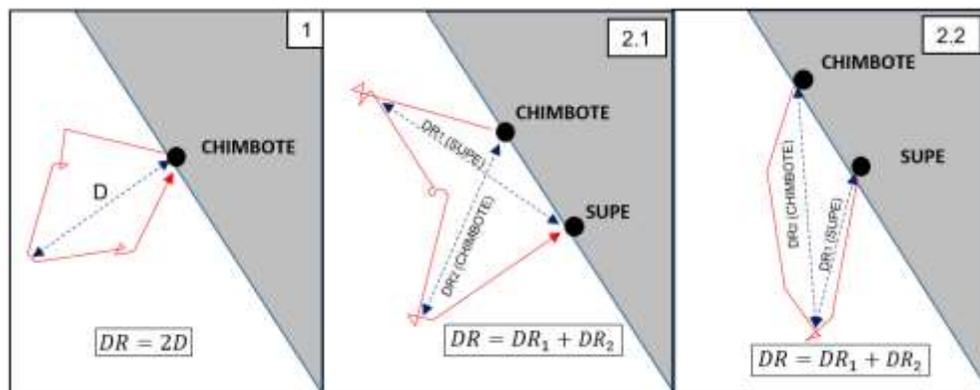
Fuente: Elaboración propia a partir de Gutierrez (2016).

2.1.2.1.2 Distancia en línea recta (DR)

DR es un factor que está relacionado con la distancia máxima que alcanza una embarcación durante cada viaje de pesca con respecto a los puntos de zarpe y arribo. En el caso de que el puerto de zarpe y arribo sean diferentes se calcula DR para cada puerto y se suman los resultados. Para calcular DR se utiliza la ecuación 1, que es la misma para calcular d_n , pero considerando como puntos de referencia la latitud (φ) y longitud (λ) del puerto de zarpe y/o arribo con la distancia máxima alcanzada por una embarcación.

Figura 17

Zarpe y arribo en un mismo puerto (1). Zarpe y arribo en diferentes puertos (2)



Fuente: Elaboración propia a partir de Gutierrez (2016).

En la figura anterior se presentan dos casos frecuentes respecto a la determinación de DR para cada viaje de pesca: zarpe y arribo en un mismo puerto (1), donde DR es el doble de la distancia más lejana; y zarpe y arribo en diferentes puertos (2,1 y 2,2), donde DR es la suma de las distancias parciales (DR_1 y DR_2). Existe un tercer caso donde un barco tiene que entrar a puerto pero no para descargar sino para abastecerse, para dejar un tripulante herido, etc. en este caso ese recorrido se considera como parte del viaje.

Al igual que el recorrido por viaje (RV), DR es un indicador que mientras más pequeño es representa mayor eficiencia, lo cual es en realidad una función de la disponibilidad del recurso, capturabilidad de pesca y además de la distancia a la zona de pesca.

Una vez determinado la distancia recorrida (DR) y distancia en línea recta (DR) se puede establecer una relación entre ambas para obtener la eficiencia del recorrido (ER):

$$ER = \frac{DR}{RV} \quad \text{Ecuación 3}$$

El valor de ER fluctúa entre 0 y 1, desde este punto de vista la mayor eficiencia de un recorrido o viaje se dará cuando ER se aproxime a la unidad.

2.1.2.1.3 Tipos de trayectoria según su recorrido: Según el intervalo de variación de la eficiencia de recorrido (ER) Gutierrez (2016) ha logrado caracterizar tres tipos de movimientos o recorridos adaptados a pesquerías a partir de la recopilación de datos del movimiento de los principales depredadores de la anchoveta como las aves marinas y la flota pesquera. Por ende, de acuerdo a los movimientos de búsqueda se establecieron 3 tipos de trayectorias:

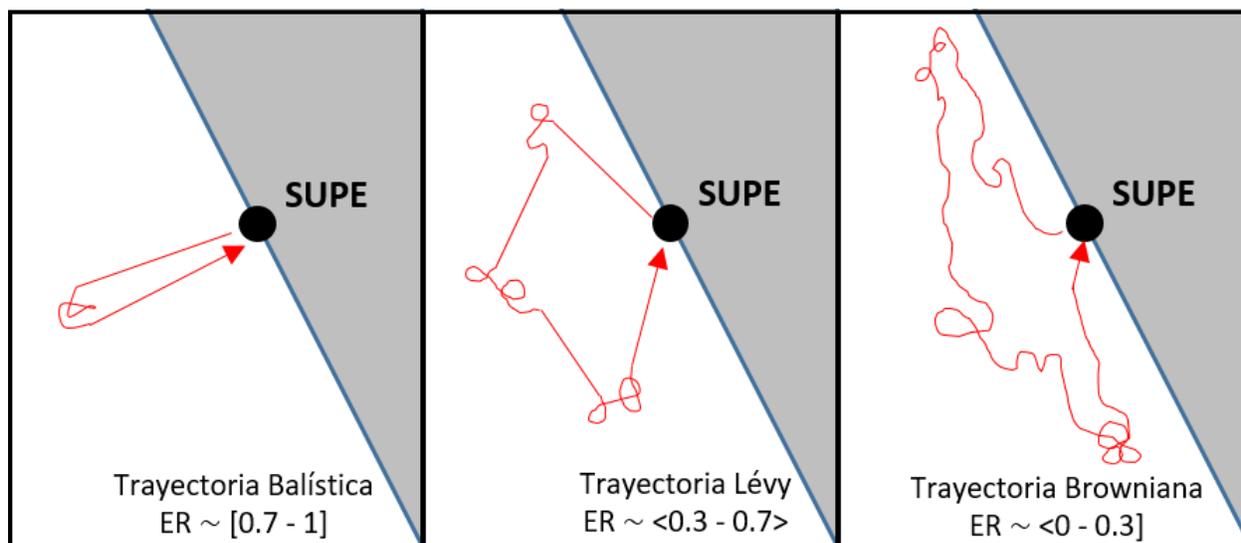
Tipo Balística: Es decir en línea recta a la zona de pesca, esto puede ser gracias a que se tenía un conocimiento previo de la ubicación de dicha zona o bien por puro azar. El valor de ER para este tipo de trayectoria fluctúa entre $[0,7 - 1]$.

Tipo Lévy: En este tipo de trayectoria no se conoce con exactitud la zona de pesca, se hace una búsqueda en el camino, pero se tiene un éxito relativo al momento de la captura. El comportamiento por parte del patrón de pesca se asemeja al de los depredadores superiores tales como aves marinas cuando buscan a sus presas (Bertrand et al., 2015). Para el caso de movimientos tipo Lévy el valor de ER se encuentra entre $\langle 0,3 \text{ y } 0,7 \rangle$.

Tipo Browniana: En este caso la embarcación recorre una distancia considerable buscando la especie objetivo y si la encuentra la cantidad que se captura no es la deseable y busca otros caladeros. Observado en la naturaleza y en la cual ciertas especies no desarrollan una estrategia espacial de búsqueda. El valor de ER se encuentra en un intervalo de $<0 - 0,3]$.

Figura 18

Tipos básicos de movimientos y trayectorias adaptados a pesquerías



Fuente: Elaboración propia a partir de Gutierrez (2016).

2.1.2.2 Eficiencia de captura (EC)

EC es indicador que establece la relación entre la captura obtenida en una faena de pesca (CO) y la capacidad de bodega (CB) de una embarcación. La mayor eficiencia se alcanza cuando EC es igual a la unidad e indicaría que la embarcación está ingresando a puerto con las bodegas llenas. Este índice fluctúa entre 0 y 1.

$$EC = \frac{CO}{CB} \quad \text{Ecuación 4}$$

2.1.2.2.1 Captura obtenida (CO) y capacidad de bodega (CB)

La captura obtenida (CO) es la cantidad de pesca descargada por una embarcación al término de su faena y se expresa en toneladas al igual que la capacidad de bodega (CB). Se

considera una mayor eficiencia de captura si la descarga en el puerto es igual o parecida a la capacidad de bodega.

Una embarcación puede tener una eficiencia de recorrido (ER) cercano a la unidad, lo cual es un buen indicador. Sin embargo, ello no implica que dicha nave ingrese a puerto con buena cantidad de pesca, incluso puede entrar sin pesca, debido a un tripulante accidentado, fallas mecánicas entre otras causas, es por ello la importancia del indicador de eficiencia de captura (EC).

2.1.2.3 Índice temporal (IT)

Este índice toma como indicador el tiempo navegado en un viaje de pesca ya sea en horas o días.

2.1.2.3.1 Duración del viaje (DV)

Es la diferencia, en horas, entre los momentos de zarpe y arribo. Una trayectoria Balística, sumada a una alta captura, pierde su eficacia si el tiempo utilizado en la operación es demasiado prolongado, esto se puede deber a varios factores como “quedarse en zona” y “estar al garete” que son términos que se usan cuando una embarcación se queda en la zona de pesca hasta el día siguiente esperando que las condiciones de pesca mejoren, incluso este tiempo puede afectar la calidad de la pesca. Por esta razón es importante incorporar este índice:

$$DV = \text{Fecha y hora de arribo} - \text{fecha y hora de zarpe} \quad \text{Ecuación 5}$$

Según las regulaciones vigentes sobre la pesquería de anchoveta un barco no puede efectuar dos desembarques en un plazo de 24 horas, es por ello que es conveniente incorporar el índice temporal (IT) que pondera los tiempos según esta restricción:

$$IT = \frac{24}{DV} \quad \text{Ecuación 6}$$

Por motivos prácticos se considera que el viaje de pesca que tenga una duración menor a 24 horas reciba un índice temporal (IT) igual a 1 (ya que es lo ideal en cada temporada de pesca). En cambio, un viaje de pesca cuya duración sea mayor a 24 horas irá reduciendo su índice temporal. El rango de valores fluctúa entre 0 y 1.

2.1.2.4 Eficiencia de viaje (EV)

Este indicador sintetiza todos los anteriores, el valor mínimo es cero y el máximo es 1. La eficiencia de recorrido (ER), el índice temporal (IT) y la eficiencia de captura (EC) se ponderan con similar importancia:

$$EV = \frac{1}{3}(ER + IT + EC) \quad \text{Ecuación 7}$$

Como se mencionó anteriormente los tres indicadores engloban aspectos fundamentales de las operaciones de pesca y dan como resultado una eficiencia de viaje para cada embarcación y para cada temporada de pesca ya sea CHI o CHD.

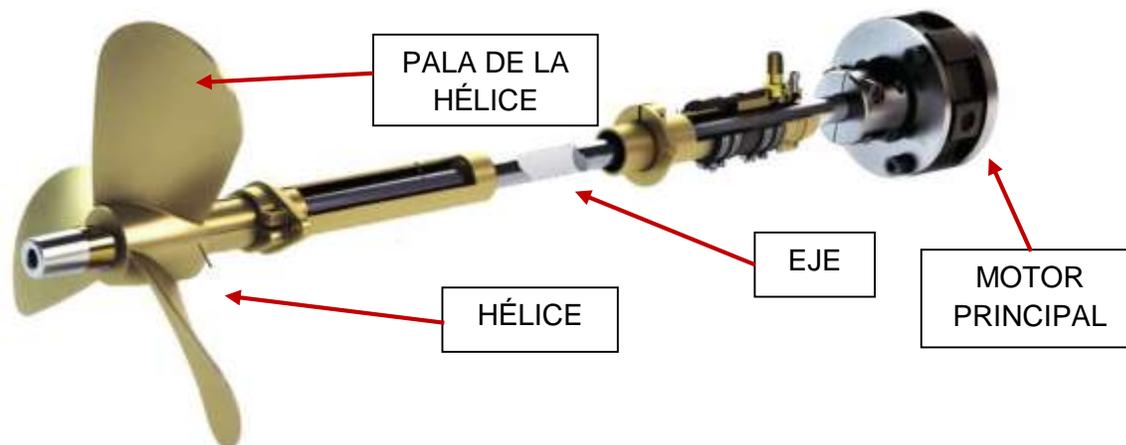
2.1.3 La velocidad y el consumo óptimo de combustible

La velocidad es el factor más importante en el consumo de combustible y es medido en nudos (1 milla/hora). Sin embargo la velocidad de una embarcación se puede ver afectada por las corrientes marinas, es decir la corriente puede estar a favor aumentando su velocidad o en contra disminuyendo su velocidad ya que la embarcación está encabuzada (cuando una embarcación tiene mayor calado en proa que en popa) y hay mucha resistencia por parte del agua (Wilson, 2005; Belenky et al., 2011).

Para contrarrestar lo anterior las embarcaciones cuentan con palancas de aceleración y desaceleración que les permite aumentar o disminuir su velocidad, esta velocidad es expresada en revoluciones por minuto (RPM) o en porcentaje de paso, eso depende del tipo de hélice de la embarcación (Gulbrandsen, 2015).

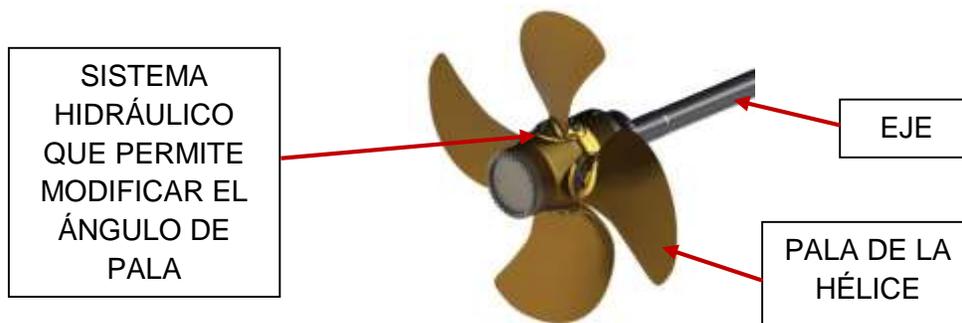
2.1.3.1 Tipos de hélice en embarcaciones pesqueras:

2.1.3.1.1 Hélice de paso fijo: Están construidas en una sola pieza. Las hélices están unidas al motor por medio de un eje, es decir cualquier rotación de este eje se transmite directamente y con las mismas revoluciones a la hélice, este tipo de hélice no se puede modificar el ángulo de su pala.

Figura 19*Hélice de paso fijo*

Elaboración propia.

2.1.3.1.2 Hélice de paso variable: Conocidos también como hélices de paso controlado ya los barcos que la poseen son capaces de hacer rotar las palas de la hélice debido a que poseen un sistema hidráulico o hidromecánico, esto les permite modificar su ángulo de pala cuando se crea conveniente.

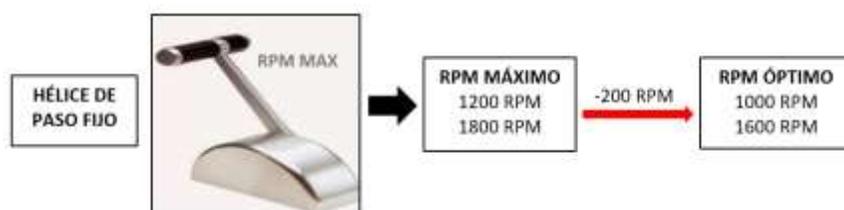
Figura 20*Hélice de paso variable*

Elaboración propia.

2.1.3.1.3 La velocidad en hélices de paso fijo: Los barcos que cuentan con este tipo de hélice la velocidad se mide en RPM. En la figura 21 se puede observar que hay un RPM máximo y un RPM óptimo, este último es el ideal para optimizar el consumo de combustible. Además, para llegar al consumo óptimo se tiene que reducir en 200 al valor del RPM máximo.

Figura 21

Palanca de cambio de velocidad (RPM) en una hélice de paso fijo



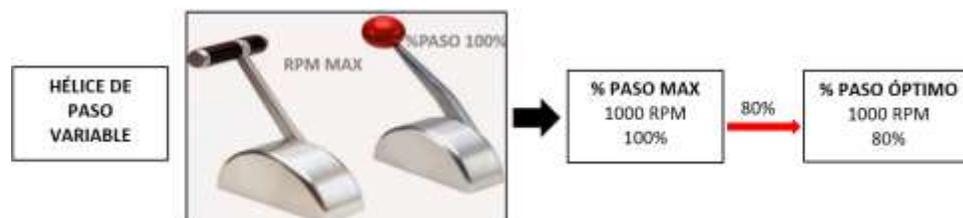
Elaboración propia.

Ejemplo: De acuerdo a la figura 21, si una embarcación quisiera ahorrar combustible debe navegar a 1 000 RPM que es lo óptimo y no a 1 200 RPM que es el máximo. Cabe indicar que las RPM máximas son establecidas por los fabricantes de los motores marinos y varían de acuerdo al tipo de motor.

2.1.3.1.4 La velocidad en hélices de paso variable: Los barcos que cuentan con este tipo de hélice la velocidad se mide en porcentaje de paso y RPM. En la figura 22 se puede observar que hay dos palancas de cambio, una que controla los RPM y otra el porcentaje de paso. Para que una embarcación tenga un consumo óptimo de combustible tiene que mantener sus RPM y navegar siempre a un 80% de paso variable.

Figura 22

Palancas de cambio de velocidad (RPM y % de paso) en una hélice de paso variable



Elaboración propia.

Ejemplo: De acuerdo a la figura 22, si una embarcación quisiera ahorrar combustible debe navegar siempre a 80% de paso variable y 1 000 RPM que es el óptimo. Cabe indicar que el porcentaje de paso máximo siempre es 100% independientemente del tipo de motor.

En conclusión la reducción de las RPM o porcentaje de paso al óptimo es la manera más fácil y eficiente de ahorrar combustible es por ello que también se denomina como navegación a “velocidad óptima” y en el caso que no reduzca las RPM o porcentaje de paso se considera una navegación a “velocidad normal”. La velocidad para poder generar un ahorro en el consumo de combustible tiene que ser medido en RPM o porcentaje de paso según sea el caso y no en nudos.

2.1.3.2 Transmisión de datos satelitales en la gestión del ahorro de combustible

Los satélites pueden recolectar información sobre el consumo de combustible ya que a los motores principales (MP) de las embarcaciones pesqueras se les puede instalar medidores de flujo que registran dicho consumo, a la vez estos dispositivos se encuentran conectados a un controlador de datos (PLC o ECM) que permiten la transmisión de la información recolectada a un satélite. La información que fue enviada al satélite llega a una estación terrena (los servidores) para ser procesada y distribuida a proveedores que finalmente envían esta información a un usuario. De esta manera se puede monitorear el consumo de combustible en tiempo real, de manera constante y precisa.

Las embarcaciones pesqueras generalmente tienen dos tipos de motores: electrónicos y mecánicos. La transmisión de datos satelitales varía según el tipo de motor.

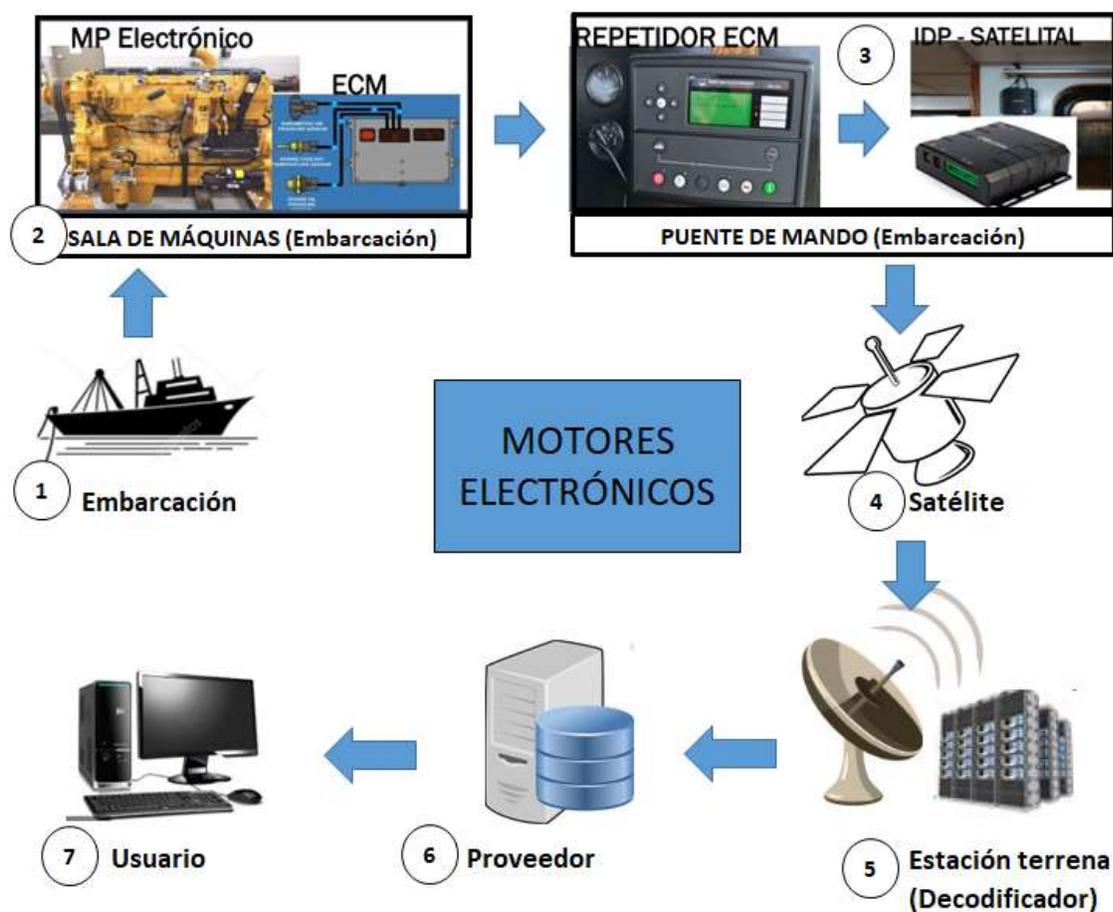
2.1.3.2.1 Motores eléctricos

Repetidor ECM: Este dispositivo se conecta al computador del motor electrónico obteniendo los datos de consumo de combustible y demás parámetros que se necesiten.

IDP Satelital: Recibe los datos del repetidor ECM, los codifica y los transmite de manera satelital. Una vez transmitida, se decodifica, se envía a un servidor y se accede a la información vía web por medio del programa Perucontrol.

Figura 23

Sistema de transmisión satelital en motores electrónicos



Elaboración propia.

2.1.3.2.2 Motores mecánicos

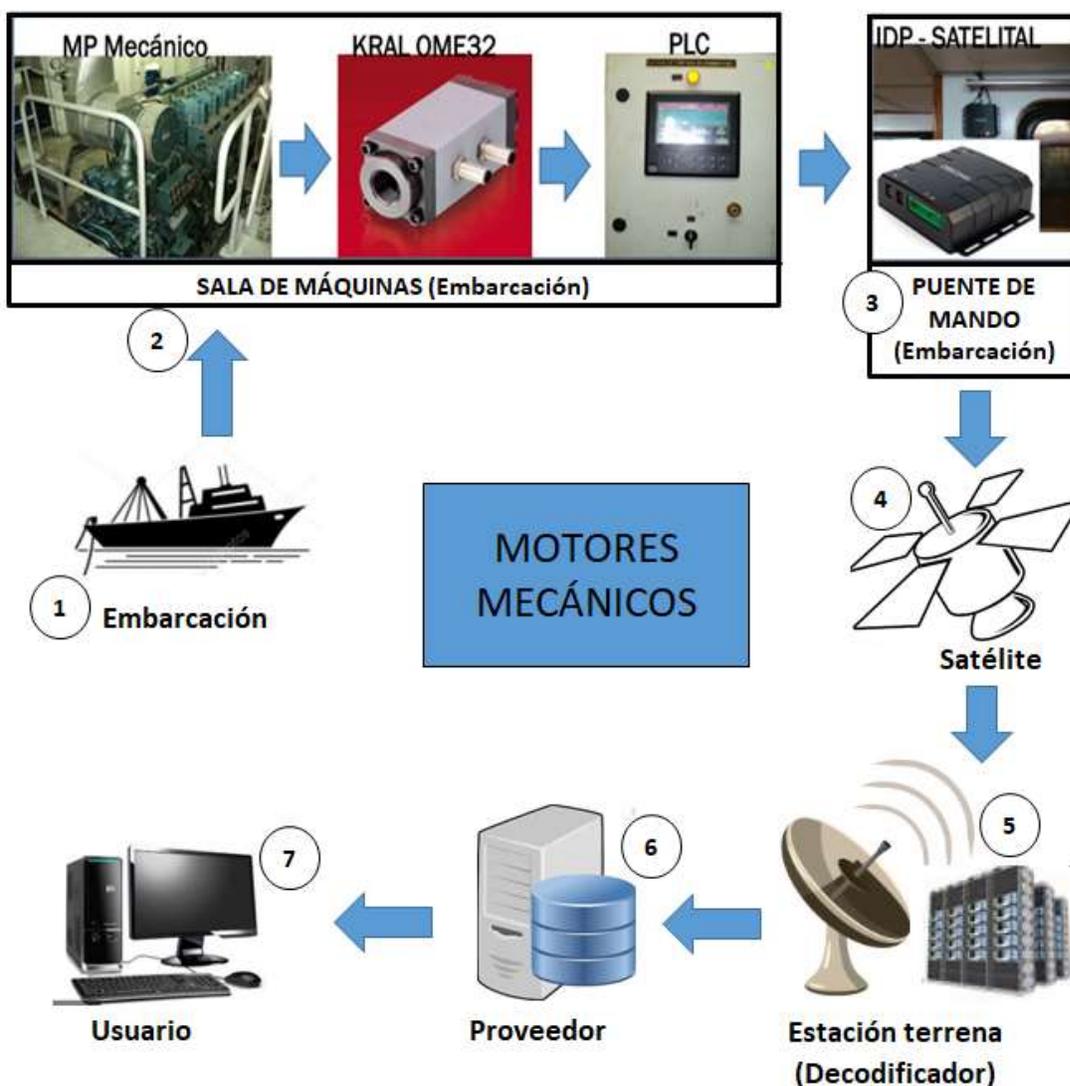
Flujómetros KRAL: Este dispositivo obtiene el caudal de petróleo a la entrada y salida de los motores.

PLC: Recibe datos de los flujómetros y otros sensores como el de temperatura.

IDP Satelital: Recibe los datos del PLC, los codifica y los transmite de manera satelital. Una vez transmitida, se decodifica, se envía a un servidor y se accede a la información vía web.

Figura 24

Sistema de transmisión satelital en motores mecánicos



Elaboración propia.

2.1.3.3 Sistema de control de combustible

Toda la información recolectada sobre el consumo de combustible se muestra en un tablero de control para el respectivo seguimiento de las RPM y porcentaje de paso óptimo.

Existe una escala de cumplimiento en la navegación a velocidad óptima y estas se identifican con colores tal como muestra la figura 25: El color rojo indica que la nave no está

cumpliendo con la navegación a velocidad óptima, el color amarillo indica que está cumpliendo a medias o solo por intervalos de tiempo mientras que el color verde indica que la embarcación si está cumpliendo con la acordado, es decir está navegando a velocidad óptima.

Figura 25

Tablero de control de seguimiento de RPM y porcentaje de paso óptimo

EP	Helice	Fecha y Hora	SPEED MAX	RPM MAX	NPASO MAX	GPH MAX	SPEED OPT	RPM OPT	NPASO OPT	GPH OPT	SPEED REAL	RPM REAL	NPASO REAL	GPH REAL
Tasa 412	PASO FIJO	2019-05-09 10:50:00	11.3	1200		55	9.0	1000		35	8.3	1104	0	58.5
Tasa 413	PASO FIJO	2019-05-09 10:55:00	11.2	1240		45.5	9.2	1000		24.4	10.6	1256	0	44.7
Tasa 414	PASO FIJO	2019-05-09 10:45:00	11.2	1230		48.8	9.2	1000		27.2	9.2	1151	0	47.0
Tasa 415	PASO FIJO	2019-05-09 10:53:00	11.4	1230		58.4	9.2	1000		32.5	9.8	1160	0	49.4
Tasa 416	PASO FIJO	2019-01-04 16:16:00	11.3	1220		58.2	9.1	1000		32.1	0.2	0	0	2.0
Tasa 417	PASO FIJO	2019-05-09 10:54:00	11.0	1240		42.5	9.0	1000		23.3	8.8	1067	0	30.3
Tasa 418	PASO FIJO	2019-05-09 10:44:00	11.3	1240		55.5	9.3	1000		30.1	9.4	1041	0	35.2
Tasa 419	PASO FIJO	2019-05-09 10:56:00	11.6	1200		65.5	9.7	1000		30.3	10.4	1127	0	51.5
Tasa 420	PASO FIJO	2019-05-09 10:53:00	11.2	1230		47	9.2	1000		26.9	9.4	1184	0	53.0
Tasa 424	PASO FIJO	2019-05-09 10:57:00	11.2	1800		35.7	9.5	1600		25.1	9.2	1630	0	32.5
Tasa 425	PASO FIJO	2019-05-09 10:47:00	12.1	1210		60.5	10.0	1000		37	8.1	1142	0	61.3
Tasa 419	PASO FIJO	2019-06-26 10:26:00	11.6	1200		65.5	9.7	1000		30.3	10.1	1002	0	30.9
Tasa 420	PASO FIJO	2019-06-26 04:23:00	11.2	1230		47	9.2	1000		26.9	0	530	0	2.3
Tasa 424	PASO FIJO	2019-06-26 02:27:00	11.2	1800		35.7	9.5	1600		25.1	0.3	498	0	1.3
Tasa 425	PASO FIJO	2019-06-26 10:17:00	12.1	1210		60.5	10.0	1000		37	11.1	1022	0	38.8
Tasa 426	PASO FIJO	2019-06-26 02:58:00	10.8	1135		44	9.5	1000		29.6	0.3	454	0	1.4
Tasa 427	PASO FIJO	2019-06-26 10:25:00	11.5	1215		67.5	9.5	1000		35.9	10.2	1014	0	37.0

Fuente: Perucontrol, 2021.

Se tiene que considerar que el consumo de combustible por parte de las embarcaciones representa un costo importante en las operaciones de pesca, es por ello que el monitoreo satelital del consumo de combustible es crucial, básicamente se tiene que monitorear que la embarcaciones presenten reportes de color verde durante su programación. Estos reportes de cumplimiento son medidos en tiempo real en el motor de la embarcación y se actualizan cada 15 min. Además, toda esta información recolectada queda almacenada en el sistema y permite realizar los análisis de eficiencia y cumplimiento. En la Figura 26 se puede observar la información que se puede obtener para cada embarcación: fecha, hora, latitud, longitud, velocidad, rumbo, RPM, % de paso, consumo de combustible, etc.

Figura 26

Reportes satelitales sobre el consumo de combustible

	Fecha	Latitud	Longitud	Velocidad	Rumbo	%load-RPM	RPM	Fuel Rate	Consumo Total
18	2020-07-05 19:40	-11.3186833	-78.1670666	9.2	0	64	1046	24.040	82710.932
19	2020-07-05 19:25	-11.3578833	-78.16335	9.5	0	56	1052	21.398	82705.385
20	2020-07-05 19:10	-11.3969166	-78.1619333	8.3	0	60	1063	22.190	82699.837
21	2020-07-05 18:55	-11.4362666	-78.1608333	9.6	0	60	1045	22.719	82694.025
22	2020-07-05 18:40	-11.4753166	-78.1556666	9.3	0	61	1037	23.247	82688.478
23	2020-07-05 18:25	-11.515	-78.15165	10.1	0	62	1037	23.511	82682.666
24	2020-07-05 18:10	-11.5553	-78.14775	9.9	0	62	1027	23.511	82677.118
25	2020-07-05 17:55	-11.5953833	-78.1422166	9.6	0	58	1041	22.190	82671.571
26	2020-07-05 17:40	-11.6356166	-78.13645	9.8	0	59	1039	22.455	82665.759
27	2020-07-05 17:25	-11.6752	-78.1297666	9.1	7	62	1037	23.775	82660.211
28	2020-07-05 17:10	-11.7125	-78.1119166	9.4	7	62	1056	23.511	82654.400
29	2020-07-05 16:55	-11.7341	-78.0771333	10.5	7	60	1032	22.719	82648.588

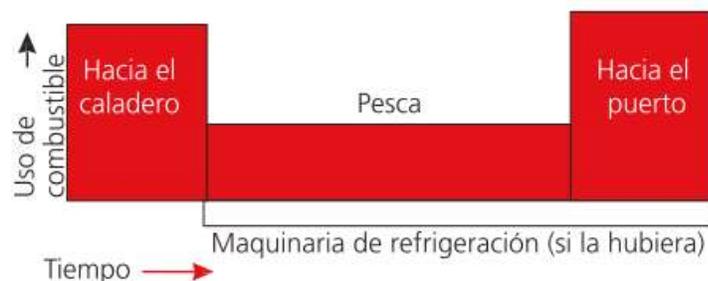
Fuente: Perucontrol, 2021.

2.1.3.4 Seguimiento y control del consumo de combustible

Es importante conocer en qué etapa del proceso de pesca se tiene que tomar medidas para el ahorro de combustible. En la figura 27 se puede observar que el consumo de combustible es mayor en la navegación a la zona de pesca y en el retorno a puerto, en la cala el consumo de combustible es bajo.

Figura 27

Consumo de combustible en las etapas del proceso de pesca



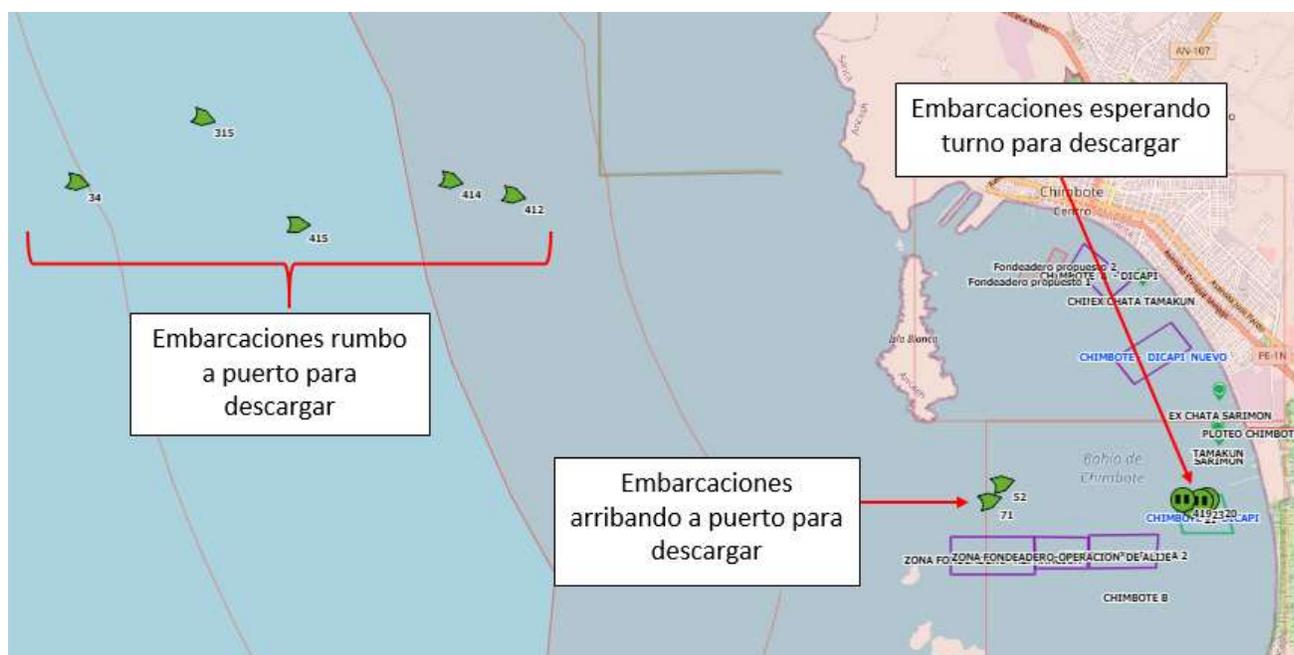
Fuente: Gulbrandsen, 2015.

Con lo antes mencionado se tiene que aplicar la velocidad óptima para ahorrar combustible cuando la embarcación retorna a puerto y no cuando zarpa a zona de pesca ya que las embarcaciones tienen que tener cierta “libertad” al momento de planificar sus estrategias de pesca, es decir: llegar primero a la zona de pesca antes que otras embarcaciones para tener mayores posibilidades de captura, terminar una cala y dirigirse a otro caladero para llenar sus bodegas o ingresar a puerto para iniciar su descarga.

Cuando una embarcación retorna a puerto lo hace con una velocidad y rumbo constante lo cual facilita el control del consumo eficiente de combustible. En la figura 28 se puede observar que cuando una faena de pesca termina son varias las embarcaciones que se dirigen a un mismo puerto a descargar. Es decir, al arribo son varios los barcos que están esperando su turno de descarga y se genera un “tiempo muerto” que puede ser aprovechado en la navegación a velocidad óptima y generar un impacto positivo en el ahorro de combustible.

Figura 28

Embarcaciones arribando a puerto de Chimbote para descargar su pesca



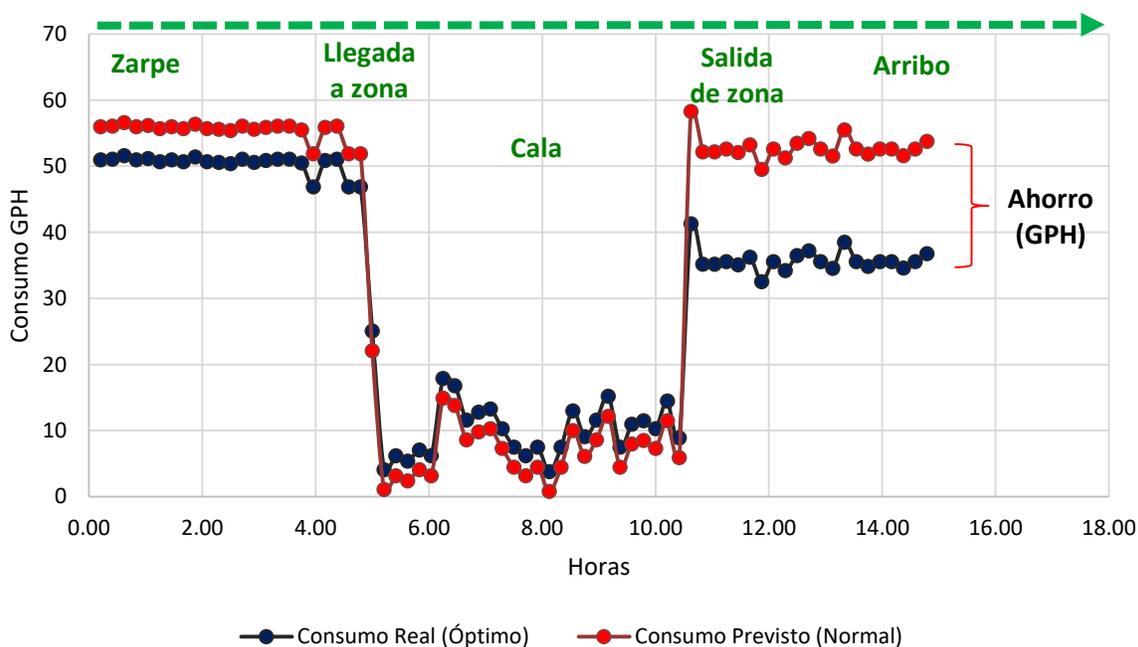
Elaboración propia.

2.1.3.5 Ahorro de combustible en las operaciones de pesca

Las embarcaciones pesqueras tienen un consumo de combustible normal y uno óptimo, este último se consigue al navegar respetando las indicaciones de ahorro de combustible. En la figura 29 se muestra la curva de consumo de combustible en galones por hora (GPH), cuando una embarcación navega a velocidad óptima (medida en RPM o porcentaje de paso) consume menos combustible y se genera un saldo que es el ahorro.

Figura 29

Curva de consumo de combustible en el proceso de pesca



Elaboración propia.

2.1.3.5.1 Consumo previsto: Es el consumo de combustible que se prevé que gastará una embarcación en su faena de pesca y se da cuando navega a una velocidad normal.

2.1.3.5.2 Consumo real: Es el consumo de combustible que realmente gasta una embarcación cuando navega a una velocidad óptima y además implica un ahorro. La diferencia de estos dos consumos nos da el ahorro en cada viaje de pesca ya sea en una temporada de CHI o CHD.

$$\text{Consumo previsto} - \text{Consumo real} = \text{Ahorro} \quad (\text{galones}) \quad \text{Ecuación 8}$$

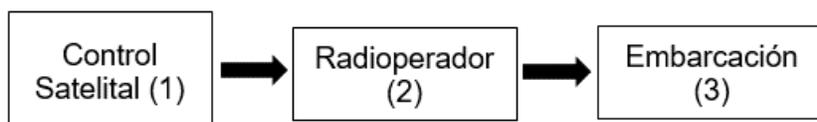
Sin embargo, hay factores que pueden alterar la programación de una embarcación a velocidad óptima y son las siguientes:

- Cuando hay un tripulante accidentado la embarcación tiene que navegar a máxima velocidad al puerto más cercano a fin de salvaguardar la salud del personal.
- Las primeras embarcaciones en arribar al puerto tienen que entrar a una velocidad máxima siempre en cuando la planta esté lista para iniciar con la producción, las demás embarcaciones deben navegar a velocidad económica ya que a su arribo van a tener que esperar su turno de descarga y habrá un “tiempo muerto” en la producción.
- Cuando una embarcación presente problemas de mantenimiento y tiene que ingresar a puerto, debe navegar a máxima velocidad para que a su arribo se solucione el problema. El objetivo es tratar de que la embarcación no pierda ningún día de pesca.

Cuando se monitorea el consumo óptimo de combustible se tiene que conocer las partes involucradas, es un trabajo en equipo que incluye a 3 agentes específicos:

Figura 30

Partes involucradas en la gestión del ahorro de combustible



Elaboración propia.

- (1) El centro de control satelital es quien programa los barcos cuando retornan a puerto en la plataforma web previa evaluación de los factores indicados anteriormente. Además, debe asegurar el cumplimiento de estas directivas por medio del monitoreo constante.
- (2) El radioperador es quien comunica a las embarcaciones que naveguen a velocidad óptima o máxima, según sea el caso. Cuando el centro de control satelital observa que una embarcación no cumple con las directivas establecidas se comunica con el radioperador para este informe a la embarcación y navegue a velocidad óptima.

- (3) En la embarcación es el patrón y/o piloto quienes tienen que cumplir con la directiva establecida, ya que son ellos quienes están a bordo.

III. MÉTODO

3.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es descriptiva y correlacional ya que se recopiló, analizó e interpretó la data satelital proveniente de las embarcaciones pesqueras con el fin determinar indicadores de eficiencia de la flota industrial y también su consumo óptimo de combustible.

3.2 Ámbito temporal y espacial

En este estudio se consideró el despliegue de la flota industrial en dos temporadas de pesca:

3.2.1 Primera Temporada de Pesca 2019 en la Zona Norte – Centro: donde se estableció un Límite Máximo de Captura Permisible (LMCP) de dos millones cien mil (2 100 000) toneladas para el recurso anchoveta (*Engraulis ringens*) y anchoveta blanca (*Anchoa nasus*) destinado al Consumo Humano Indirecto (CHI), según R.M N° 162 – 2019 – PRODUCE.

Esta temporada de pesca inició el 28 de abril del 2019 y culminó el 31 de julio del mismo año. El área de extracción permitida para estos recursos está comprendida desde el extremo norte del dominio marítimo del Perú hasta los 16°00'LS (Puerto Viejo) y a partir de las 5 millas hasta las 200 millas.

3.2.2 Primera Temporada de Pesca de Consumo Humano Directo (CHD) – 2020: donde se estableció un límite de captura para el recurso jurel (*Trachurus murphyi*) de setenta mil (70 000) toneladas y para el recurso caballa (*Scomber japonicus*) de setenta y cinco mil doscientas (75 200) toneladas, según R.M N° 25 – 2020 – PRODUCE.

Esta temporada de pesca inició el 19 de enero de 2020 y culminó el 01 de marzo del mismo año. El área de extracción permitida para estos recursos está comprendida desde el extremo norte hasta el extremo sur del dominio marítimo del Perú y a partir de las 10 millas hasta las 200 millas.

3.3 Variables

La base de datos está compuesta por los datos satelitales: VMS, consumo de combustible y algunos registros operacionales.

3.3.1 Variable independiente

Latitud: Es la distancia en grados sexagesimales, que hay con respecto al paralelo principal (Ecuador). Es una variable continua y circular.

Velocidad: Es la relación entre la distancia que recorre la embarcación y el tiempo que le toma ello. Se mide en nudos (millas/hora)

Rumbo: Es el ángulo formado por la línea proa/popa y el Norte Magnético. Se mide en grados.

Pesca descargada: Es la cantidad de pesca que la embarcación descarga en chata, es medida por las tolvas de pesaje que están en planta y calibradas por el ente regulatorio. Es una variable indicadora.

Revoluciones por minuto (RPM): Es la unidad de medida de la velocidad en las hélices de paso fijo. Es una variable indicadora.

Porcentaje de paso: Es la unidad de medida de la velocidad en las hélices de paso variable. Es una variable indicadora.

3.3.2 Variable dependiente

Como variables calculadas tenemos:

Distancia recorrida: Es la distancia navegada (en millas náuticas) desde el zarpe hasta el arribo.

Duración del viaje de pesca: Es la diferencia, en horas o días, entre los momentos de zarpe y arribo.

Distancia en línea recta: Es la distancia máxima que alcanza una embarcación durante cada viaje de pesca con respecto a los puntos de zarpe y arribo.

Eficiencia de recorrido: Este indicador toma como base principal la distancia recorrida y la distancia máxima que logra alcanzar una embarcación con respecto a su puerto de zarpe o arribo.

Eficiencia de captura: Es un indicador que establece la relación entre la captura obtenida en una faena de pesca (CO) y la capacidad de bodega (CB) de una embarcación.

Índice temporal: Este índice toma como indicador el tiempo navegado en un viaje de pesca ya sea en horas o días.

Eficiencia de viaje: Este indicador sintetiza todos los anteriores, ya que es el promedio de la eficiencia de recorrido (ER), el índice temporal (IT) y la eficiencia de captura (EC).

Consumo previsto: Es el consumo de combustible que se prevé que gastará una embarcación en su faena de pesca y se da cuando navega a una velocidad normal.

Consumo real: Es el consumo de combustible que realmente gasta una embarcación cuando navega a una velocidad óptima y además implica un ahorro.

3.4 Población y muestra

La población está determinada por las 742 embarcaciones que participaron en la Primera Temporada CHI Centro Norte 2019 (anchoveta) y 118 embarcaciones que participaron en la Primera Temporada CHD (jurel y caballa).

La muestra está determinada por la data satelital generada por 48 barcos que participaron en la temporada CHI y 11 barcos que participaron en la temporada CHD. Los datos VMS y los reportes satelitales del consumo de combustible utilizados en este estudio corresponden aproximadamente al 7 % del total de embarcaciones que operaron en ambas temporadas.

Se utilizó una técnica de muestreo no probabilística denominado muestreo accidental o consecutivo (Walpole, 1996; Hernández, 2006; Bai, 2013; Otzen, 2017). Esto, fundamentado en la conveniente accesibilidad y proximidad a los 48 barcos de CHI y 11 barcos de CHD que participaron en ambas temporadas de pesca y la data satelital que generaron. Cabe indicar que estos barcos pertenecen a la empresa Tecnología de Alimentos S.A. que tienen el 14.16 % de la cuota nacional en las temporadas CHI Centro Norte y en la Primera Temporada de CHD - 2020 logró capturar el 18.95 % de la cuota nacional.

3.5 Instrumentos

3.5.1 Recolección de datos VMS

La baliza de las embarcaciones son las piezas fundamentales para la recepción y envío de información satelital, además es el único nexo entre la embarcación, los satélites GPS y satélites de comunicación. Después que la información es recolectada por centros especializados es enviada a los usuarios finales que por medio de software y programas pueden observar, monitorear los movimientos y la distribución de la flota en tiempo real.

Figura 31

Ubicación de la baliza satelital en una embarcación pesquera



Fuente: Collecte Localisation Satellites, 2020.

3.5.2 Recolección de datos sobre el consumo de combustible

Con respecto al consumo de combustible existen instrumentos que hacen posible la transmisión de información vía satélite: En el caso de las embarcaciones con motores eléctricos (ME) contamos con el repetidor ECM y el IDP satelital; y en el caso de los barcos con motor mecánico (MM) están los flujómetros KRAL, el PLC y el IDP satelital. Todos estos instrumentos forman un sistema que permite la transmisión de información como el consumo de combustible, la velocidad de navegación y todo tipo de información georeferenciada, además que permite conocer el estado de estos parámetros en tiempo real.

Figura 32

Instrumentos de transmisión de datos en ME y MM



Fuente: Elaboración propia.

3.6 Procedimientos

Con respecto a la recolección y procesamiento de los datos VMS así como los datos sobre el consumo de combustible lo primordial es exportar la data recolectada por los instrumentos anteriormente mencionados para posteriormente analizar e interpretar los resultados. Para exportar la data VMS se usa el sistema Fish Web y para la data sobre el consumo de combustible se usa el sistema Perucontrol.

3.6.1 Fish Web: Con este sistema se pudo exportar data (en extensión *csv*) de los siguientes parámetros: longitud, latitud, fecha, hora de la posición, velocidad en nudos y rumbo de todas las embarcaciones. Toda esta información se recibe con una frecuencia de emisión satelital de cada 9 minutos.

Tabla 1

Datos VMS exportados del recorrido de las embarcaciones

Nave	Longitud	Latitud	Fecha de la posición	Velocidad	Rumbo	Fuente
Vessel 1	-77,1423	-11,9603	28-04-2019 04:56:00	8,01 kt	279 °	Iridium
Vessel 1	-77,1644	-11,9703	28-04-2019 05:00:01	8,01 kt	290 °	Iridium
Vessel 1	-77,1821	-11,9782	28-04-2019 05:06:01	9 kt	292 °	Iridium
Vessel 1	-77,2029	-11,9858	28-04-2019 05:15:01	9,51 kt	306 °	Iridium
Vessel 1	-77,2228	-11,9974	28-04-2019 05:24:01	9,51 kt	298 °	Iridium
Vessel 1	-77,2415	-12,0133	28-04-2019 05:33:01	9 kt	306 °	Iridium
Vessel 1	-77,2584	-12,0313	28-04-2019 05:42:01	9,99 kt	258 °	Iridium
Vessel 1	-77,2748	-12,0501	28-04-2019 05:51:01	9,99 kt	218 °	Iridium
Vessel 1	-77,2887	-12,0708	28-04-2019 06:00:01	9,51 kt	225 °	Iridium
Vessel 1	-77,3014	-12,0922	28-04-2019 06:09:01	9,99 kt	225 °	Iridium
Vessel 1	-77,313	-12,1145	28-04-2019 06:18:01	9,51 kt	218 °	Iridium
Vessel 1	-77,3232	-12,137	28-04-2019 06:27:01	9,51 kt	218 °	Iridium
Vessel 1	-77,3307	-12,1595	28-04-2019 06:36:01	9,99 kt	225 °	Iridium
Vessel 1	-77,3385	-12,1821	28-04-2019 06:45:01	9,99 kt	185 °	Iridium

Elaboración propia, adaptado de Fish Web, 2021.

3.6.2 Perucontrol: Este sistema nos permite observar y monitorear el consumo óptimo de combustible, se logró exportar datos como la fecha, hora, latitud, longitud, velocidad de navegación, rumbo, consumo de combustible en galones por hora (GPH), consumo total de combustible, % de paso variable o RPM, según sea el caso de cada embarcación. Esta información se recibe con una frecuencia de emisión satelital de cada 15 minutos.

Tabla 2

Datos exportados del consumo de combustible durante la navegación de una embarcación

Fecha	Latitud	Longitud	Velocidad (nudos)	Rumbo	Consumo G/H	RPM	% Paso
2019-04-28 03:19:00	-11,96	-77,14	0,20	5	3,43	589	80
2019-04-28 03:34:00	-11,96	-77,17	9,20	7	19,81	1646	80
2019-04-28 03:49:00	-11,95	-77,21	9,50	7	19,55	1648	80
2019-04-28 04:04:00	-11,94	-77,25	10,20	7	25,89	1778	80
2019-04-28 04:19:00	-11,92	-77,29	10,20	7	25,10	1785	80
2019-04-28 04:34:00	-11,91	-77,33	10,30	6	25,36	1785	80
2019-04-28 04:49:00	-11,92	-77,37	9,40	6	18,49	1619	80
2019-04-28 05:04:00	-11,88	-77,39	11,00	7	25,63	1785	80
2019-04-28 05:19:00	-11,86	-77,43	10,60	7	25,36	1792	80
2019-04-28 05:34:00	-11,84	-77,47	10,10	7	25,89	1799	80
2019-04-28 05:49:00	-11,81	-77,51	10,80	7	25,36	1785	80
2019-04-28 06:04:00	-11,79	-77,54	10,50	6	26,42	1792	80
2019-04-28 06:19:00	-11,77	-77,59	10,50	7	26,15	1760	80
2019-04-28 06:34:00	-11,75	-77,63	10,40	7	24,57	1798	80

Elaboración propia, adaptado de Perucontrol, 2021.

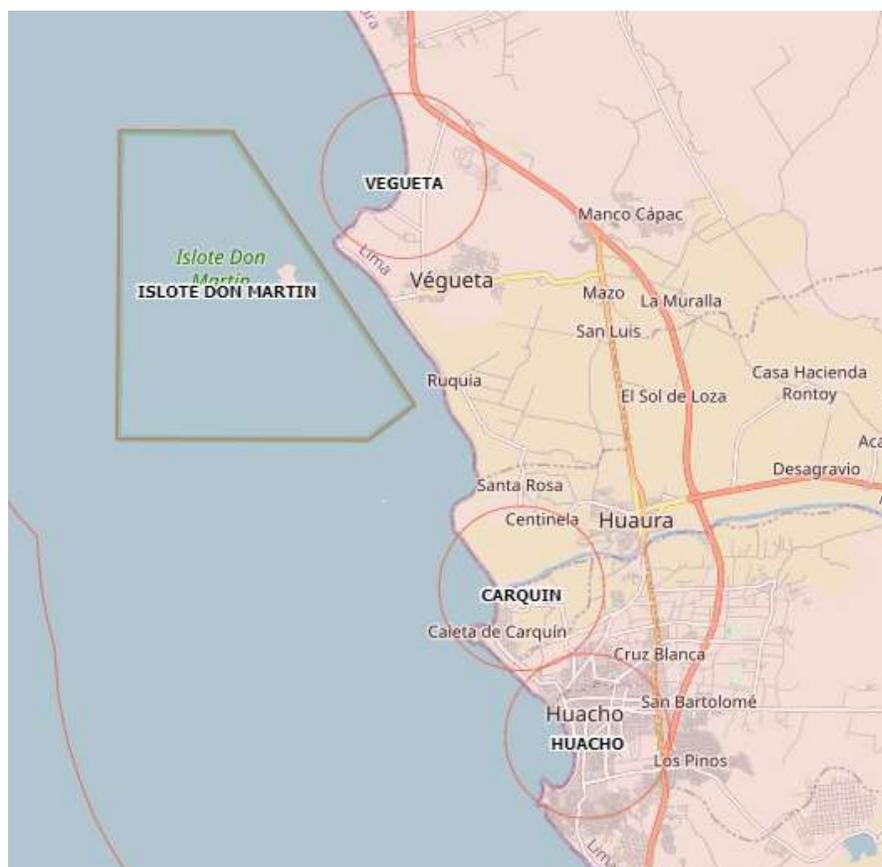
3.7 Análisis de datos

3.7.1 Análisis de datos VMS

Se analizó la información satelital (VMS) desde el momento del zarpe hasta el arribo y no se consideraron las emisiones en puerto, esto es porque los barcos emiten señal satelital de manera continua en el mar y en el puerto. Además la frecuencia de transmisión en puerto es de cada 2 horas esto debido a que en cada puerto de descarga existe una “geofence” que es un área geométrica cerrada que fue creada con el fin de distinguir emisiones en mar y en puerto. Fuera de la “geofence” la embarcación cambia automáticamente su frecuencia de emisión satelital, es decir emite señal cada 9 minutos y es un indicador que la embarcación ya está navegando rumbo a zona de pesca o en travesía a otro puerto.

Figura 33

Geofence del puerto de Vegueta, Carquin y Huacho (círculo rojo)



Fuente: Fish Web, 2021.

3.7.2 Análisis de datos sobre el consumo de combustible

Con respecto a estos datos se consideró el consumo de combustible para cada viaje de pesca, desde el zarpe hasta el arribo. La frecuencia de transmisión de estos datos es de cada 15 minutos sin ninguna distinción entre mar y puerto es por ello que se “limpiaron” las emisiones en puerto ya que las embarcaciones están fondeadas esperando descargar su pesca y el consumo de combustible es mínimo. También hay que considerar que en el puerto las embarcaciones se abastecen de combustible para sus próximas faenas de pesca.

Figura 34

Viaje de pesca observado desde el Perucontrol donde se observa los parámetros del consumo de combustible por cada reporte satelital



Fuente: Perucontrol, 2021.

También se usaron software de programación como Rstudio donde se hicieron gráficos y cálculos estadísticos de los resultados obtenidos y software de Sistema de Información Geográfica (SIG) como Surfer con el cual se plotearon los viajes de pesca, trayectorias y calas de las embarcaciones.

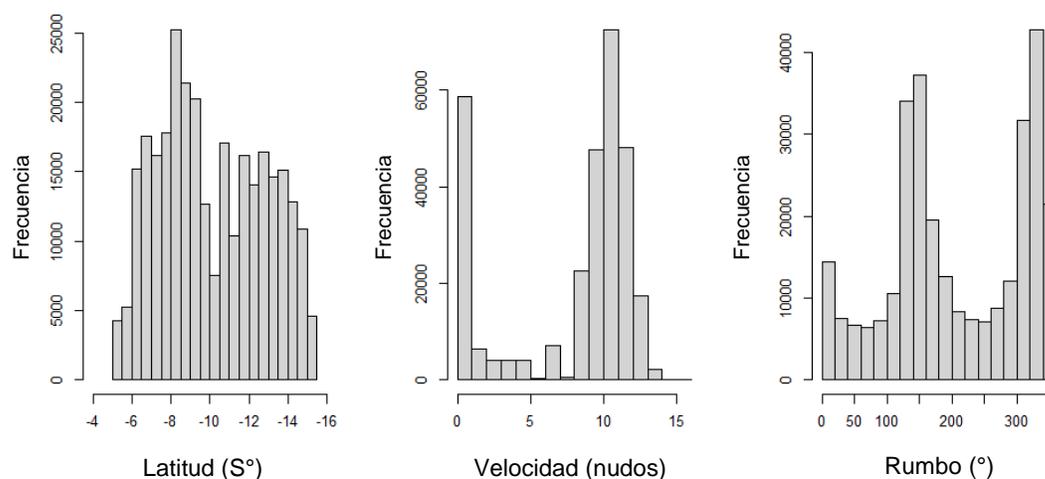
IV. RESULTADOS

4.1 Análisis de los datos VMS

4.1.1 Distribución espacial de los datos VMS durante la temporada CHI y CHD

Figura 35

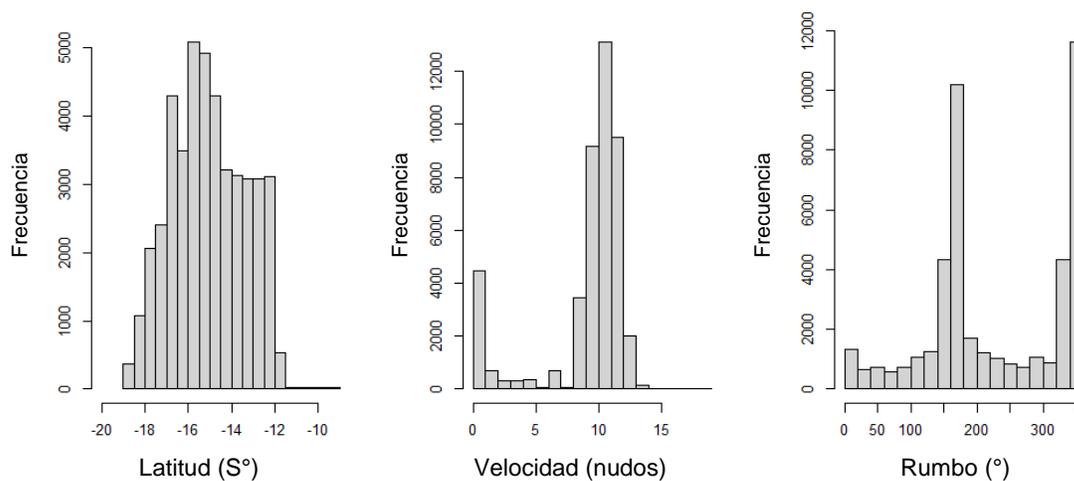
Histograma de los datos VMS - CHI CN 2019 I



Elaboración propia.

Figura 36

Histograma de los datos VMS - CHD 2020 I



Elaboración propia.

4.1.1.1 Latitud

En una temporada de CHI el área permitida para la captura de anchoveta está comprendida desde el extremo norte del dominio marítimo del Perú hasta los 16°00'LS y a partir de las 5 millas hasta las 200 millas. Según el histograma de la latitud en figura 35 se puede observar que la flota trabajo desde la zona de Paita (5°LS) hasta la zona de Punta San Juan (15,6°LS) cubriendo gran parte de la zona permitida.

Por otro lado, en una temporada CHD la flota tiene permitido trabajar desde el extremo norte hasta el extremo sur del dominio marítimo del Perú y a partir de las 10 millas hasta las 200 millas. Según el histograma de latitud en la figura 36 se puede observar una distribución de los datos satelitales desde Callao (12°LS) hasta el puerto Morro Sama (18° LS). Cabe indicar que en los últimos años la flota industrial CHD viene trabajando en la zona sur del Perú específicamente entre Pisco (13°LS) y la frontera con Chile (18,3°LS). En este estudio se determinó que las zonas de pesca estuvieron en su mayoría entre la Punta Azua (14,3°LS) y la frontera con Chile (18,3°LS).

4.1.1.2 Velocidad

Con respecto a esta variable se puede observar en la figura 35 y 36 que la velocidad que predomina en ambas temporadas está en un intervalo de 8 y 12 nudos aproximadamente y que corresponden a velocidades de navegación, esto se debe a que las embarcaciones pasan más tiempo navegando que pescando. En ambos casos también se observa una velocidad mínima de 0 nudos que es cuando una embarcación se detiene para pescar, por problemas de mantenimiento o para planificar su estrategia de pesca. El valor máximo es de aproximadamente 15 nudos que es cuando la embarcación navega a velocidad máxima.

4.1.1.3 Rumbo

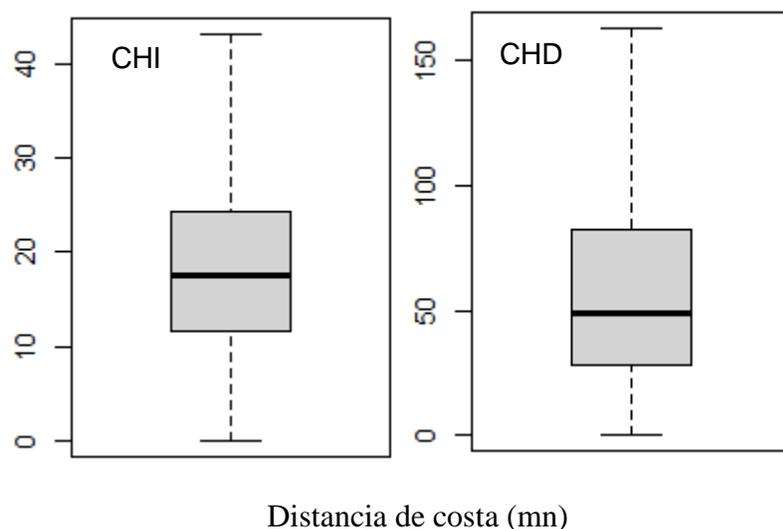
El rumbo de navegación que predominó en ambas temporadas de pesca está comprendido en el intervalo de 140° a 160° que implica que las embarcaciones tienen una navegación con rumbo constante en la dirección sureste (SE). Por otra parte, el otro grupo mayoritario corresponde al intervalo de 340° y 360° que comprende una navegación con rumbo constante en la dirección noroeste (NW).

Para los siguientes análisis se realizaron diagramas de caja con los datos VMS ya procesados en ambas temporadas de pesca y sin contar con las emisiones en puerto. Se analiza la distancia de costa y la distancia entre emisiones.

4.1.2 Distancia a costa de los datos VMS

Figura 37

Distancia a costa de los datos VMS en la temporada CHI y CHD



Elaboración propia.

Nota: La distribución de los reportes VMS de la flota de CHI se concentraron en su mayoría entre las 10 a 25 millas aproximadamente y tienen una distribución desde la línea de costa hasta las 45 millas de costa, el Q_1 tiene el 25% de los datos y es igual a 11.68 mn y el Q_3 tiene el 75% de los datos y es igual a 24.27 mn. En la flota de CHD los barcos recorrieron más distancia ya que estuvieron operando mayormente entre las 30 y 80 millas de costa, llegando incluso hasta las 150 millas de costa, el Q_1 tiene el 25% de los datos y es igual a 25.45 mn y el Q_3 tiene el 75% de los datos y es igual a 82.65 mn.

En la figura 37 se observa que los reportes VMS de la flota de CHI se concentraron en su mayoría entre las 10 a 25 millas aproximadamente y es donde se registraron las zonas de pesca más contudentes para la captura de anchoveta. También se observa que las emisiones VMS tienen una

distribución desde la línea de costa que es cuando zarpan de puerto y llegan a alcanzar como máximo una distancia de 45 millas de costa.

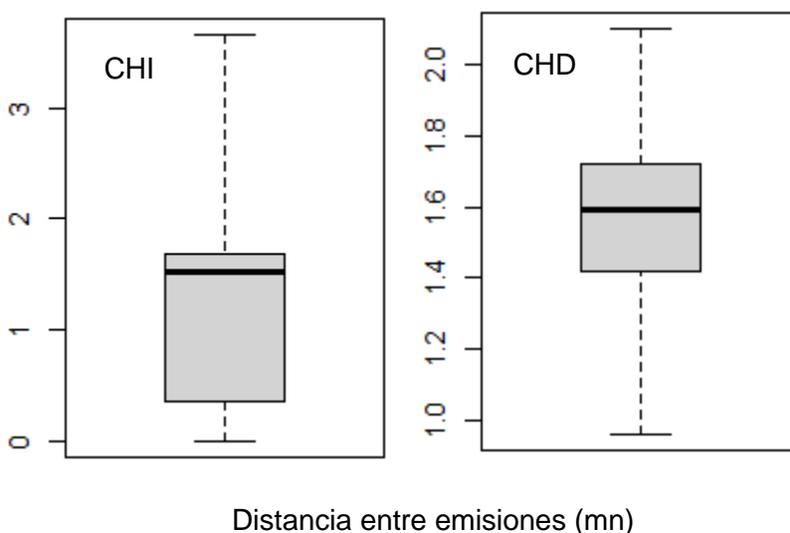
Para el caso de la flota de CHD se puede observar claramente que estos barcos recorren más distancia para capturar la especie objetivo que es el jurel y la caballa, en la figura 37 se puede observar que la flota de CHD estuvo operando mayormente entre las 30 y 80 millas de costa, llegando incluso a navegar a más de 150 millas de costa.

Se observa claramente que los datos VMS permiten identificar que la flota CHD recorre más distancia que la flota CHI debido a la distribución de la especie objetivo, la anchoveta es una especie pelágica cuya distribución es más pegada a costa y en el caso del jurel y la caballa que también son especies pelágicas pero de carácter más oceánico.

4.1.3 Distancia entre emisiones de los datos VMS

Figura 38

Distancia entre emisiones de los datos VMS en la temporada CHI y CHD



Elaboración propia.

Nota: La dispersión de la distancia entre emisiones de los datos VMS es de 1.6 millas para ambas temporadas de pesca. En el diagrama se puede observar una distancia de 3.6 millas que se debe a retrasos en la emisión satelital. **En la temporada CHI** el Q_1 tiene el 25% de los datos y es

igual a 0.33 mn y el Q_3 tiene el 75% de los datos y es igual a 1.75 mn. **En la temporada CHD** el Q_1 tiene el 25% de los datos y es igual a 1.41 mn y el Q_3 tiene el 75% de los datos y es igual a 1.75 mn.

En la figura 38 se observa que la mayoría de los datos VMS tienen una distancia entre emisiones de 1.6 millas aproximadamente tanto para la flota de CHI y CHD. Generalmente esta distancia resulta de dos reportes consecutivos cuando la embarcación se encuentra navegando a puerto o a la zona de pesca. Sin embargo esa distancia puede variar de acuerdo a las operaciones de pesca, cuando la embarcación está calada las distancias entre dos emisiones es corta, es por ello que se observa distancias cercanas a cero en el caso de la pesca de CHI y cercanos a la unidad en el caso de la pesca de CHD.

Existen casos de retraso en emisión satelital, por ejemplo cuando un barco emite una señal satelital y luego de 9 minutos no emite su siguiente reporte pero si el tercer reporte es ahí donde genera un intervalo de 18 min que incrementa la distancia entre emisiones, es por ello que en el gráfico de cajas observamos que dicha distancia con retraso puede llegar a 3.6 millas en el caso de los datos VMS provenientes de la pesca de CHI y a 2 millas en caso de los datos VMS de la flota de CHD.

Es importante considerar que los datos VMS son de alta frecuencia ya que se emite cada 9 minutos y los casos de retraso son eventuales. Según la regulación pesquera vigente una embarcación tiene que emitir señal de manera constante y no presentar retrasos es por ellos que las empresas pesqueras se aseguran que los equipos satelitales tengan un correcto funcionamiento, esto aplica para la pesca de CHI y CHD.

Figura 39

Distancia entre dos reportes VMS durante la navegación (1.646 millas)



Fuente: Fish Web, 2021.

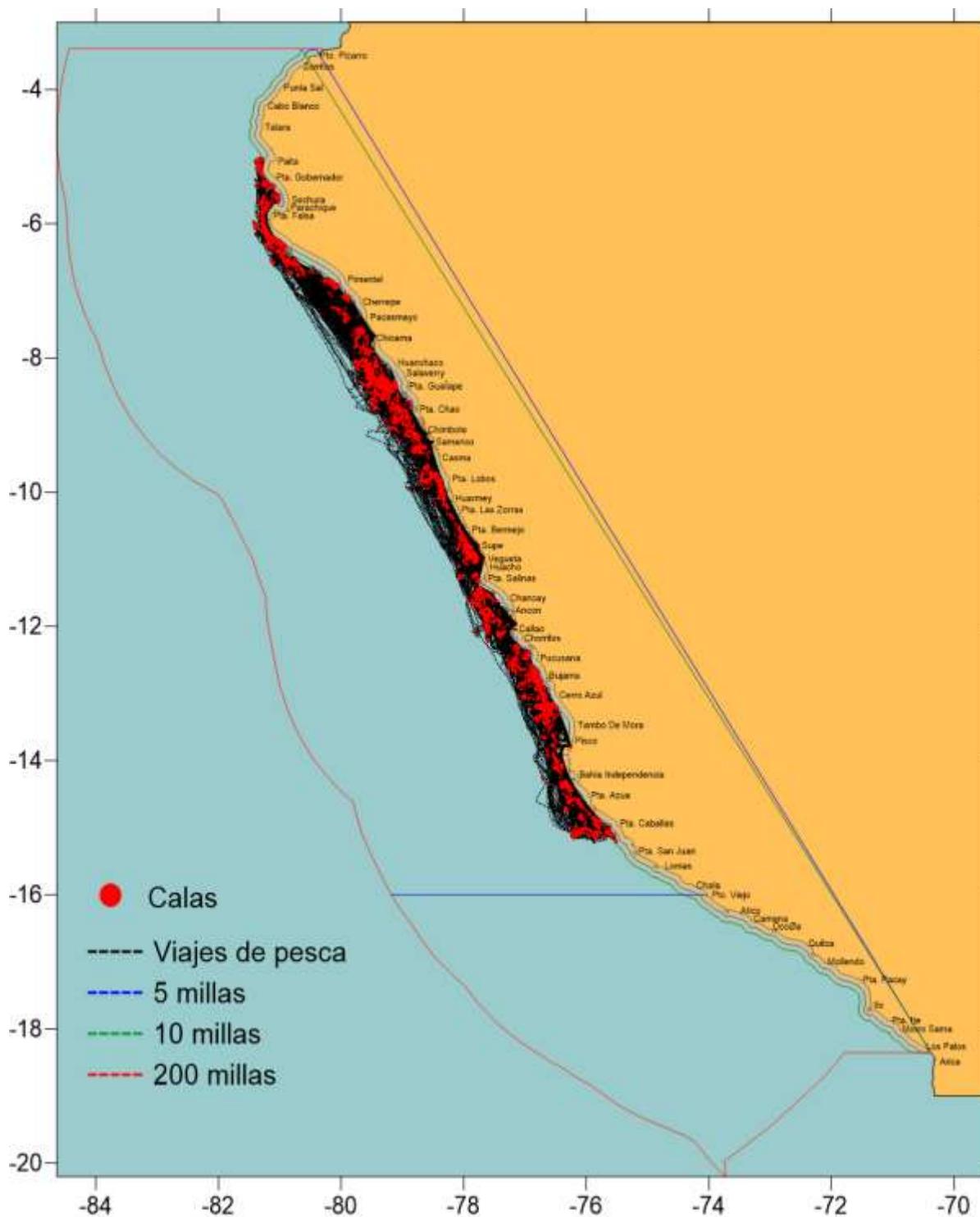
4.2 Análisis de los indicadores eficiencia de flota en la temporada CHI y CHD

En cuanto a la temporada CHI Centro Norte 2019 - I, se procesaron 294 430 datos VMS y 1 740 viajes de pesca realizada por 48 embarcaciones. Durante esta temporada se capturó 297 462 toneladas de anchoveta que corresponde al 100 % de la cuota de las 48 embarcaciones y el 14,16 % de la cuota nacional para esa temporada. Las embarcaciones recorrieron 347 292 millas náuticas y navegaron un total de 43 803 horas.

Por otro lado, en la temporada CHD 2020 - I, se procesaron 44 241 datos VMS y 82 viajes de pesca realizada por 12 embarcaciones. Durante esta temporada se llegó a capturar 27 517 toneladas entre jurel y caballa que corresponde al 18,95 % de la cuota nacional para esa temporada. Las embarcaciones recorrieron 61 962 millas náuticas y navegaron un total de 6 406 horas.

Figura 40

Viajes de pesca y calas en la temporada CHI Centro Norte 2019 – I



Elaboración propia.

4.2.1 Eficiencia de recorrido (ER)

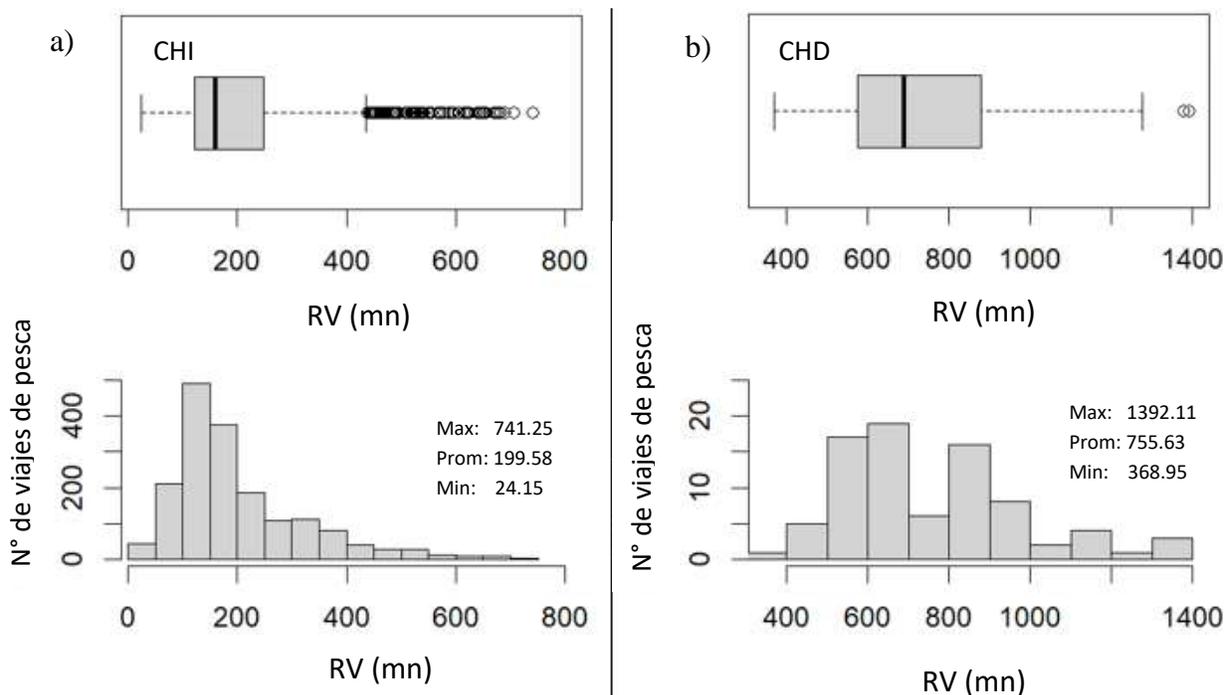
4.2.1.1 Recorrido por viaje de pesca (RV):

Según la figura 42 se puede observar que las embarcaciones que participaron en la temporada CHI recorrieron en promedio 199,58 mn por cada viaje de pesca llegando a alcanzar un recorrido máximo de 741,25 mn. El diagrama de caja muestra que predominaron los viajes con un recorrido de 100 a 220 mn. El valor mínimo alcanzado fue de 24,15 mn recorridas.

Se observa claramente que la flota de CHD realizó un mayor recorrido, la figura 42 muestra que hay dos viajes de pesca donde se recorrieron 1390,33 mn y 1392,11 mn como máximo. En promedio las embarcaciones navegaron 755,63 mn por cada viaje debido a que las zonas de pesca están lejanas al puerto de descarga.

Figura 42

Recorrido por viaje de pesca para la flota CHI y CHD



Elaboración propia.

Nota: Dispersión y distribución de los recorridos por viaje de pesca (RV), a) Temporada CHI: Recorrido máximo de 741.25 mn, el promedio recorrido por viaje es 199.58 mn y el recorrido mínimo de 24.5 mn. El Q_1 tiene el 25% de los datos y es igual a 121.52 mn y el Q_3 tiene el 75% de los datos y es igual a 247.27 mn; b) Temporada CHD: Recorrido máximo de 1392.11 mn, el promedio recorrido por viaje es 755.63 mn y el recorrido mínimo de 368.95 mn. El Q_1 tiene el 25% de los datos y es igual a 576.38 mn y el Q_3 tiene el 75% de los datos y es igual a 878.37 mn.

4.2.1.2 Distancia en línea recta (DR)

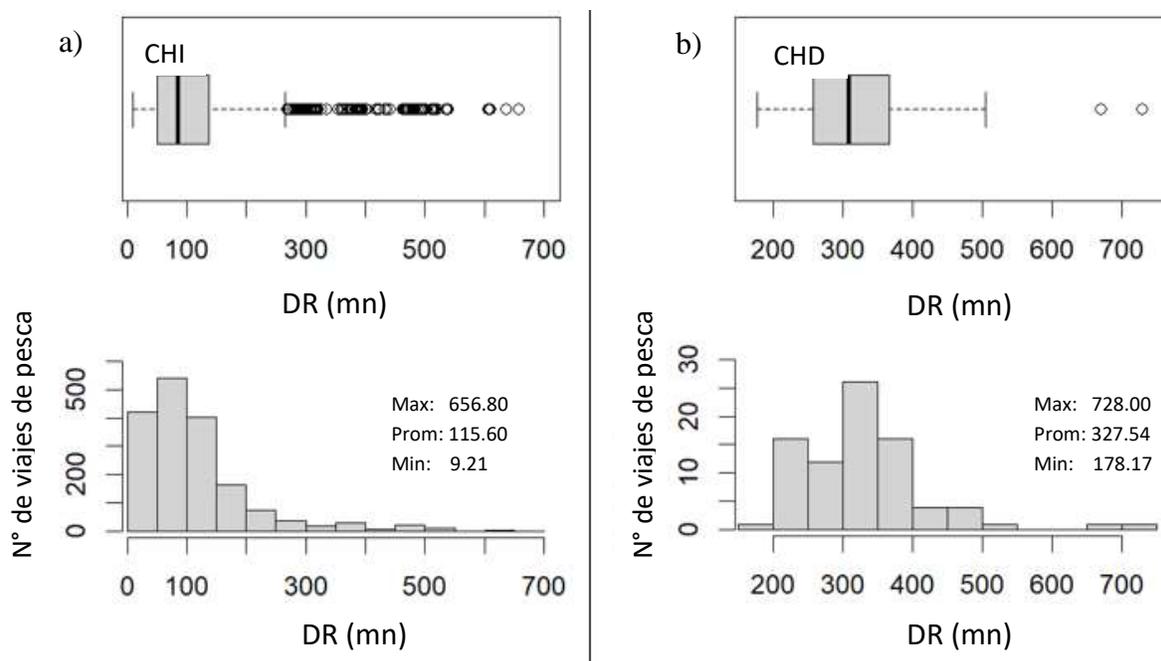
La distancia en línea recta (DR) es la distancia máxima que alcanza una embarcación con respecto a su puerto de zarpe y arribo. Esta variable está relacionada al recorrido por viaje (RV), cuando el valor de DR es elevado nos indica que probablemente en un viaje de pesca se navegó una distancia considerable y viceversa.

En la figura 43 se puede observar que la flota de CHI alcanzó una DR máxima de 656,80 mn. Sin embargo la mayoría de los viajes de pesca alcanzaron distancias que van de 9,21 mn a 150 mn y tuvieron un valor promedio de 115,60 mn.

Como se mencionó anteriormente la flota de CHD recorrió una distancia considerable en sus faenas de pesca es por ello que el valor de la DR alcanzó un valor máximo de 728 mn. Según el histograma de DR para la flota CHD la mayoría de los viajes alcanzaron una distancia en línea recta comprendida entre las 250 mn y 380 mn. El valor promedio alcanzado por los barcos que operaron en esta temporada fue de 327,54 mn.

Figura 43

Distancia en línea recta alcanzada por la flota CHI y CHD



Elaboración propia.

Nota: *Dispersión y distribución de distancia en línea recta (DR) para cada viaje de pesca, a) Temporada CHI: DR máximo de 656.80 mn, el promedio DR por viaje es 115.60 mn y el DR mínimo de 9.21 mn. El Q_1 tiene el 25% de los datos y es igual a 50.75 mn y el Q_3 tiene el 75% de los datos y es igual a 138.17 mn; b) Temporada CHD: DR máximo de 728.00 mn, el promedio DR por viaje es 327.54 mn y el DR mínimo de 178.17 mn. El Q_1 tiene el 25% de los datos y es igual a 261.91 mn y el Q_3 tiene el 75% de los datos y es igual a 366.46 mn.*

4.2.1.3 Tipos de trayectoria según su eficiencia de recorrido

La división entre la distancia en línea recta (DR) y el recorrido por viaje (RV) de una faena de pesca nos da como resultado la eficiencia del recorrido (ER), este valor nos permite identificar que viajes de pesca fueron más efectivos en cuanto a la distancia navegada y al poder de búsqueda de la especie objetivo. Para clasificar los viajes de pesca de acuerdo a su trayectoria se toma en cuenta el siguiente rango:

Tabla 3

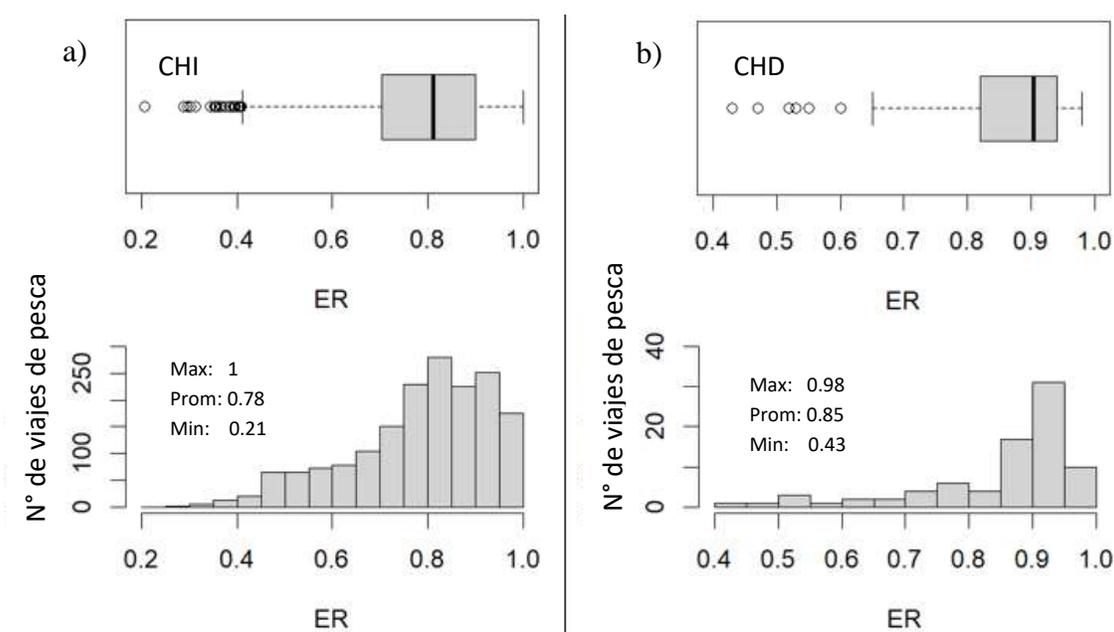
Clasificación de los tipos de trayectoria según su ER

Tipo de trayectoria	ER
Browniana	[0 - 0,3]
Lévy	< 0,3 - 0,7 >
Balística	[0,7 - 1]

Elaboración propia

Figura 44

Eficiencia de recorrido (ER) para la flota CHI y CHD



Elaboración propia.

Nota: *Dispersión y distribución de la eficiencia de recorrido (ER) para cada viaje de pesca,*

a) Temporada CHI: ER máximo de 1, el promedio ER por viaje es de 0.78 y la ER mínimo de 0.21. El Q_1 tiene el 25% de los datos y es igual a 0.70 y el Q_3 tiene el 75% de los datos y es igual a 0.90;

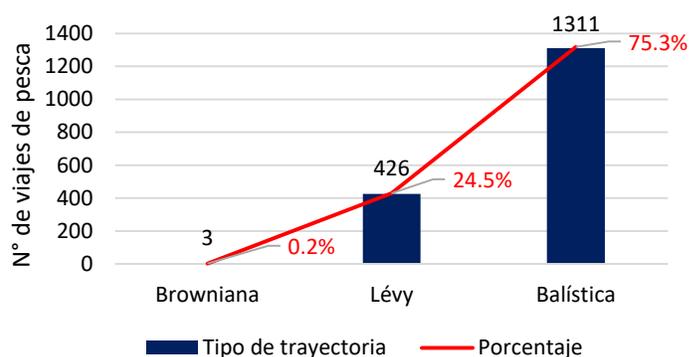
b) Temporada CHD: ER máximo de 0.98, el promedio ER por viaje es 0.85 y la ER mínimo de 0.43. El Q_1 tiene el 25% de los datos y es igual a 0.82 y el Q_3 tiene el 75% de los datos y es igual a 0.94

En la figura 45 se puede observar que en la flota de CHI se presentaron los 3 tipos de trayectoria ya que el valor de ER tuvo un rango de 0,21 hasta 1. En la temporada de CHI se llegó a identificar 3 trayectorias tipo Browniana, 426 trayectorias tipo Lévy y 1 311 trayectorias tipo Balística que corresponden al 75,3% de los viajes realizados en la temporada CHI.

Por otro lado, en la temporada CHD se presentaron sólo 2 tipos de trayectoria ya que el valor de ER para sus viajes estuvo en el intervalo de 0,43 hasta 0,98. No se identificaron trayectorias brownianas pero sí 10 trayectorias tipo Lévy y 72 trayectorias tipo Balística que corresponden al 87,8% de los viajes de pesca realizados en la temporada CHD.

Figura 45

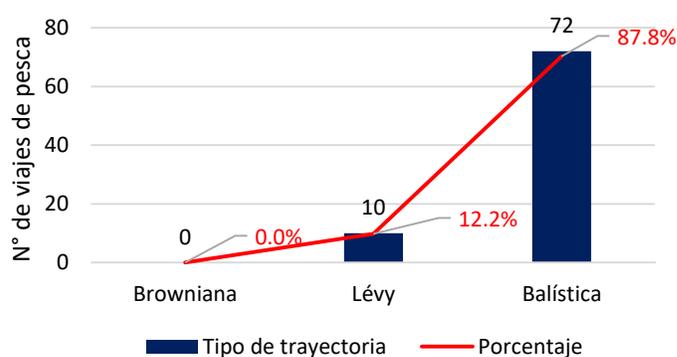
Tipos de trayectorias realizadas por la flota CHI según su ER



Elaboración propia.

Figura 46

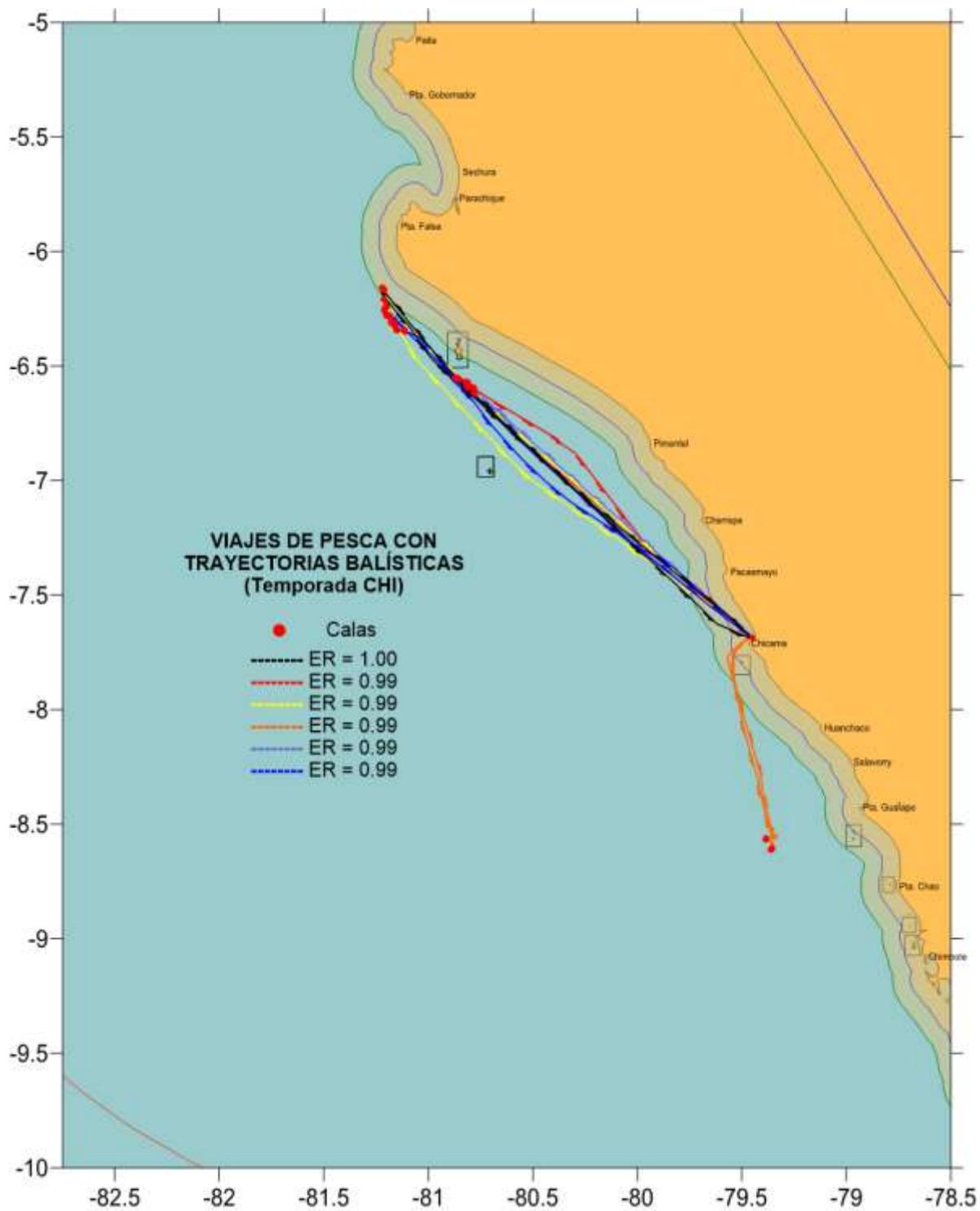
Tipos de trayectorias realizadas por la flota CHD según su ER



Elaboración propia.

Figura 47

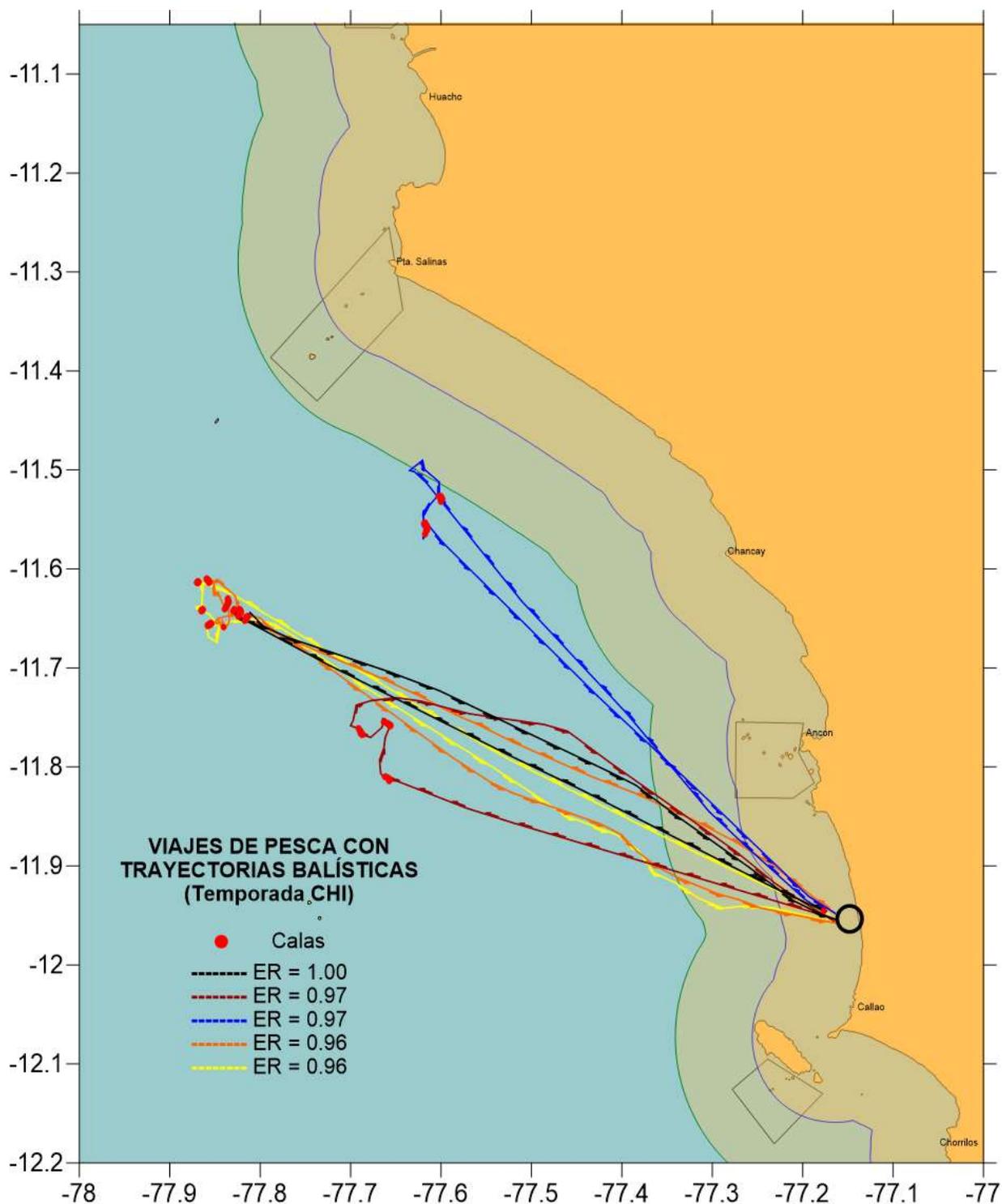
Viajes de pesca con trayectorias Balística – Temporada CHI



Elaboración propia.

Figura 48

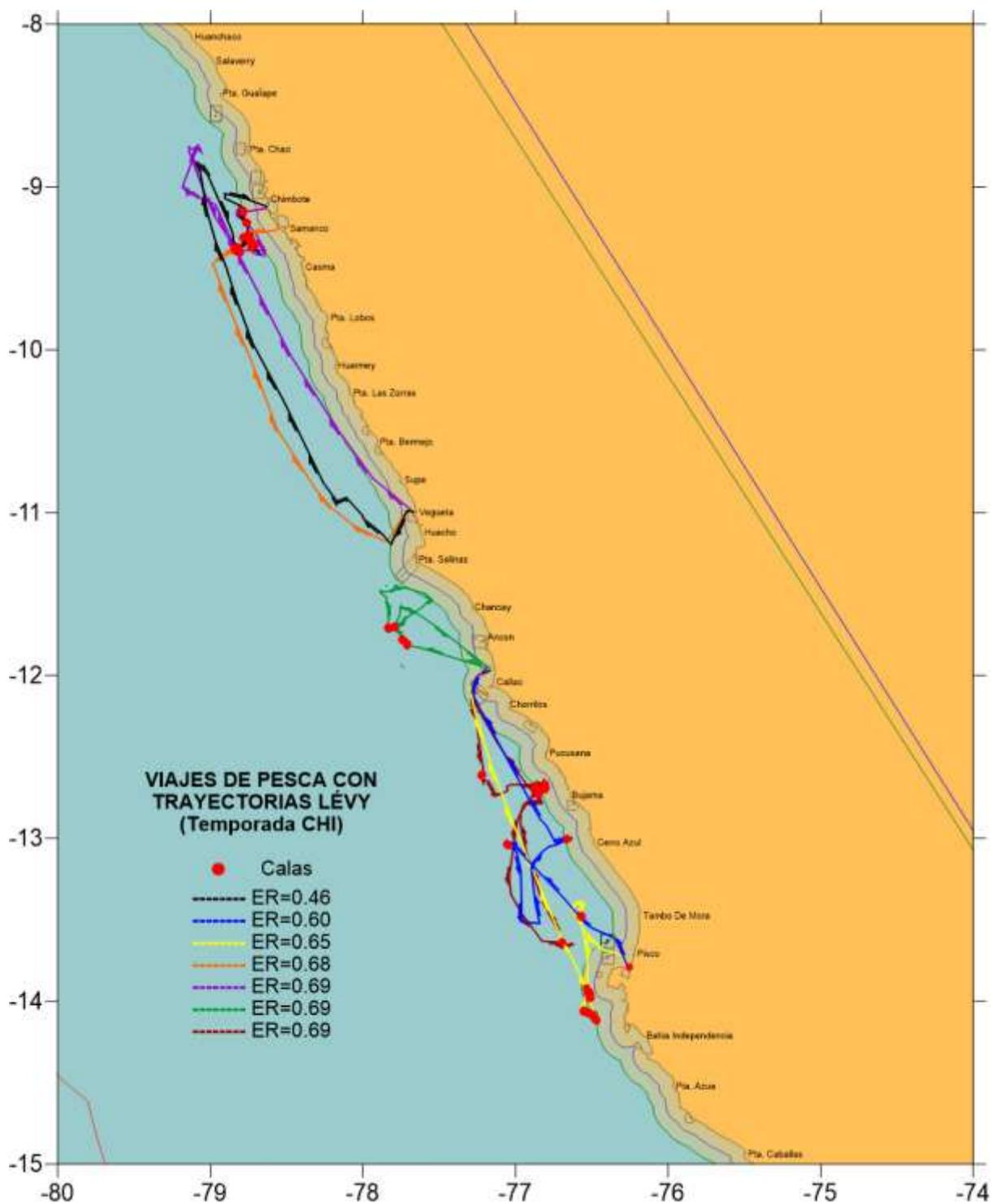
Viajes de pesca con trayectorias Balística – Temporada CHI



Elaboración propia.

Figura 49

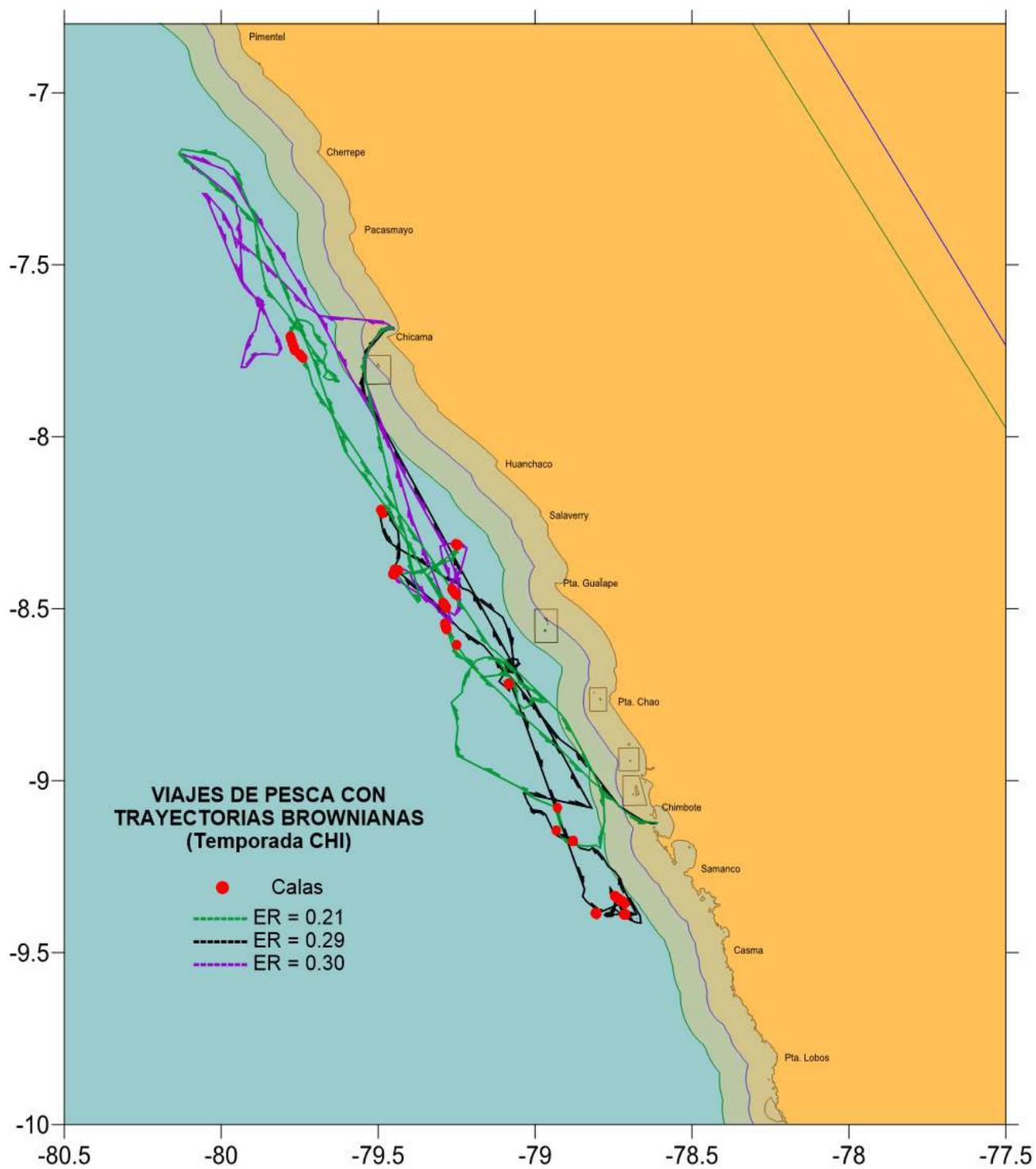
Viajes de pesca con trayectorias Lévy – Temporada CHI



Elaboración propia.

Figura 50

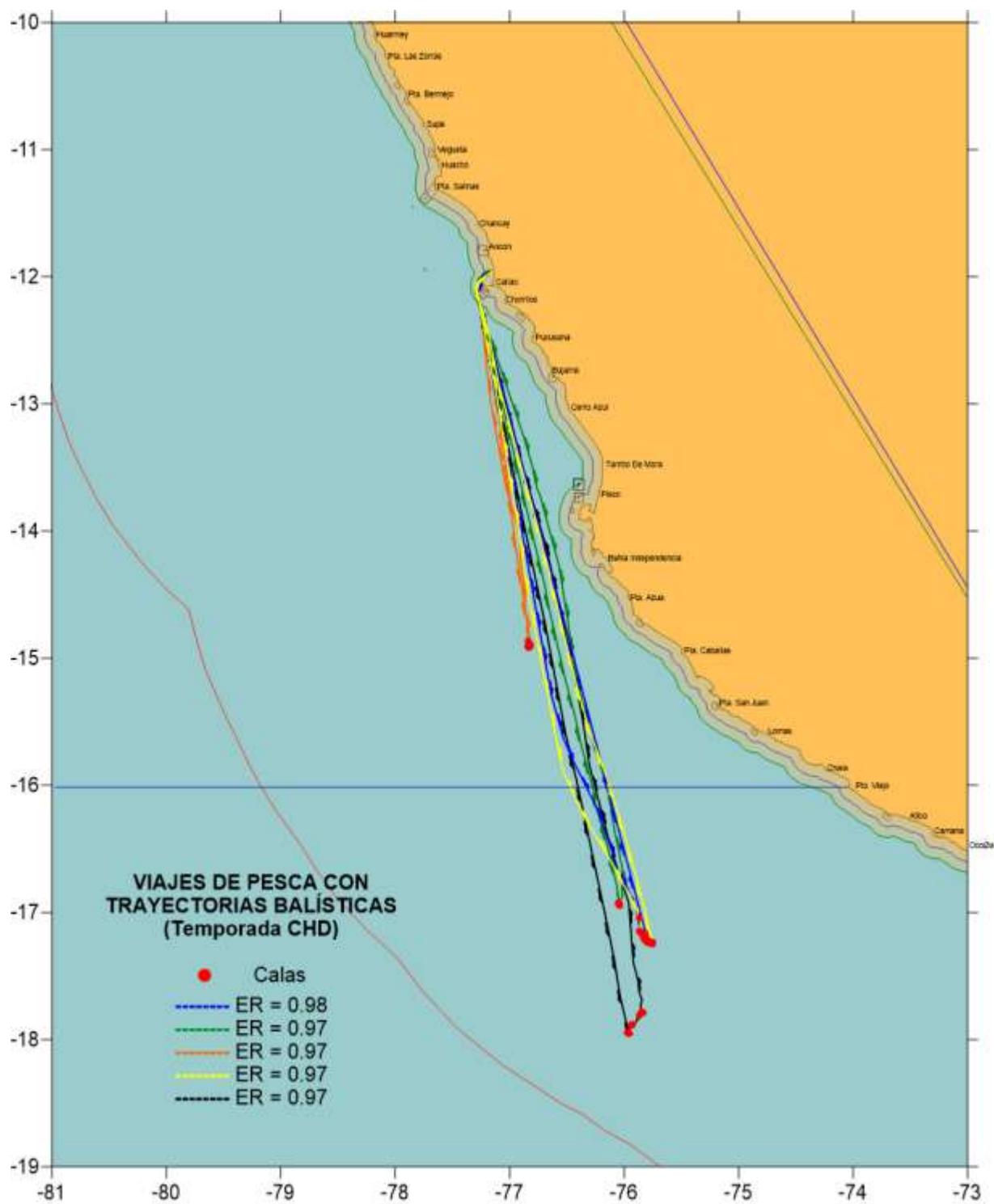
Viajes de pesca con trayectorias Brownianas – Temporada CHI



Elaboración propia.

Figura 51

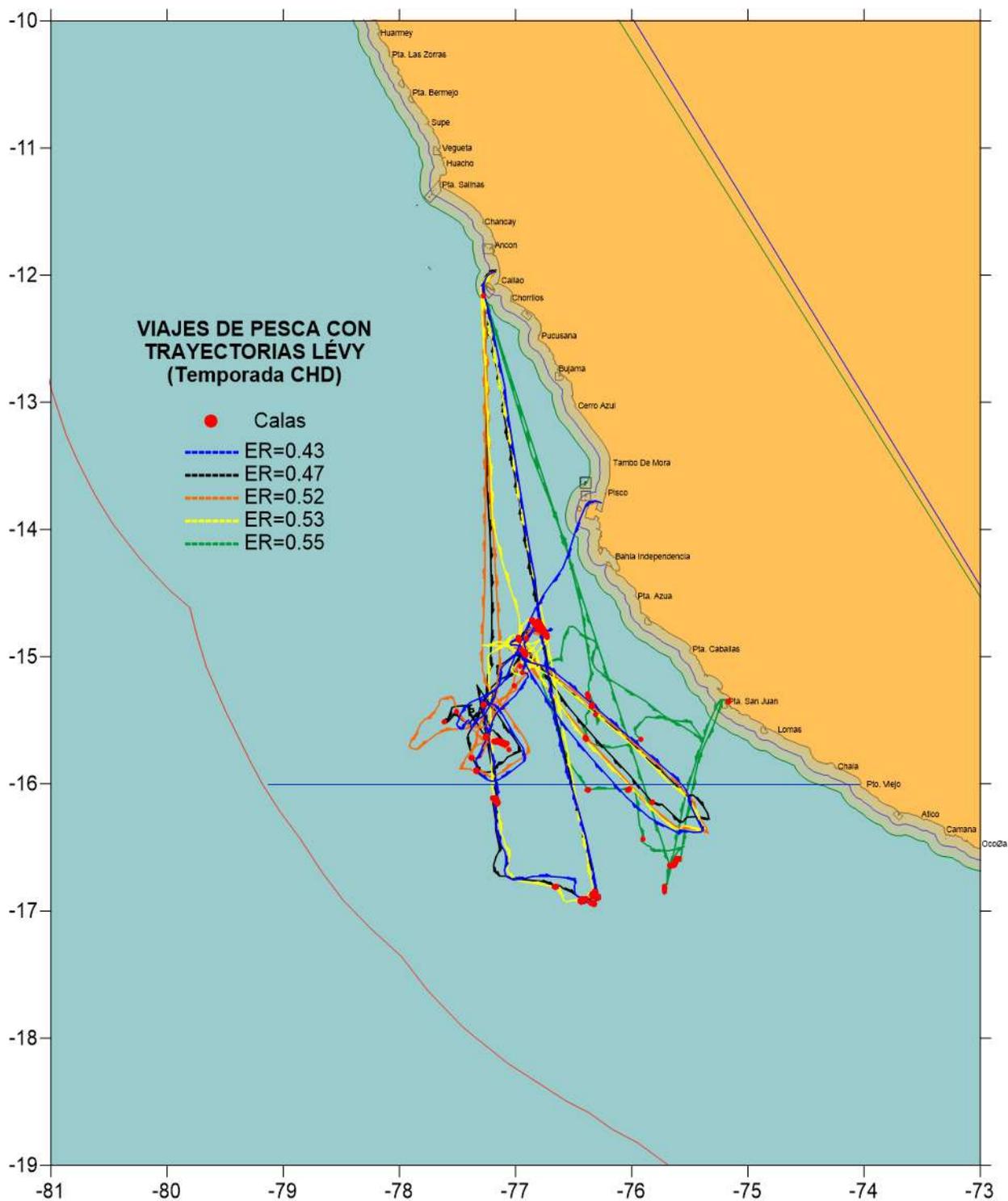
Viajes de pesca con trayectorias Balísticas – Temporada CHD



Elaboración propia.

Figura 52

Viajes de pesca con trayectorias Lévy – Temporada CHD



Elaboración propia.

4.2.2 Índice temporal:

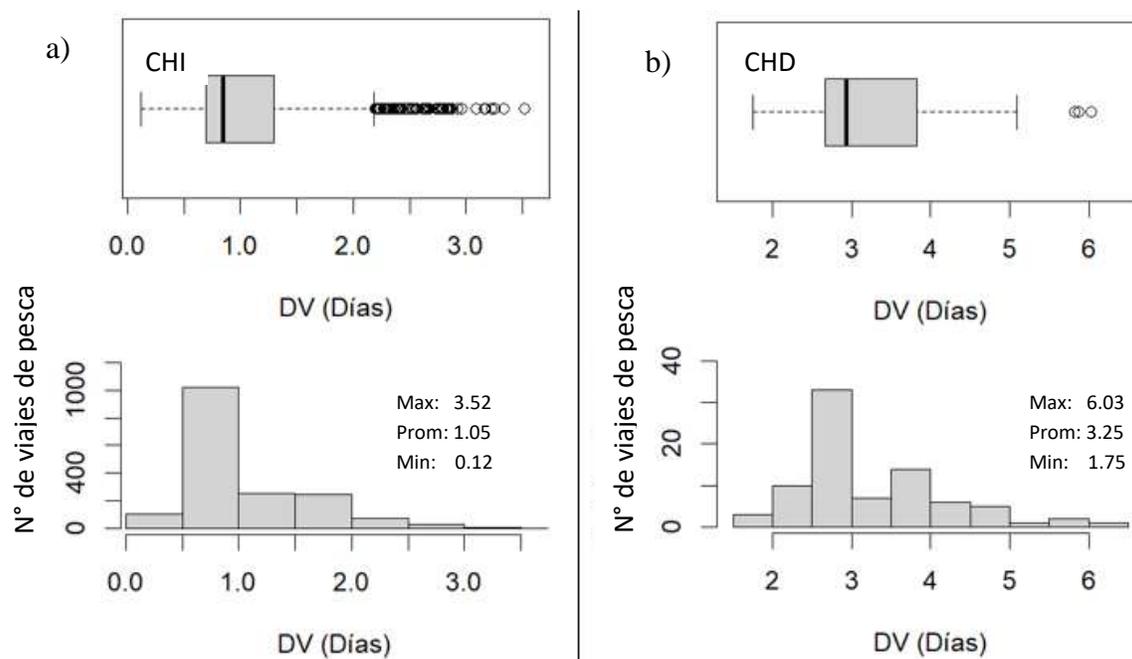
4.2.2.1 Duración del viaje de pesca (DV)

En la figura 53 se observa que los viajes de pesca realizados por la flota de CHI duraron en promedio 1,05 días. Sin embargo cabe indicar que aproximadamente 1 115 viajes de los 1 740 viajes que se realizaron en esta temporada tienen una duración de menos de un día. El viaje de pesca que duró menos fue de 0,12 días que equivale a 3 horas, que fue de una embarcación que zarpó del Callao y capturo anchoveta a 10 millas de costa e ingreso al mismo puerto a descargar. También se presentaron viajes de pesca que duraron entre 2 y 3,52 días como máximo.

Con respecto a los viajes realizados por la flota de CHD se observa claramente que tuvieron muchos más días de navegación. La duración mínima de un viaje de pesca fue de 1,75 días, el promedio de la duración de los viajes de pesca fue de 3,25 días ya que las zonas de pesca estuvieron entre 300 y 500 millas del puerto de zarpe que fue Callao. Tres viajes de pesca duraron aproximadamente 6 días alcanzando un máximo de 6,03 días.

Figura 53

Duración del viaje de pesca para la flota CHI y CHD



Elaboración propia.

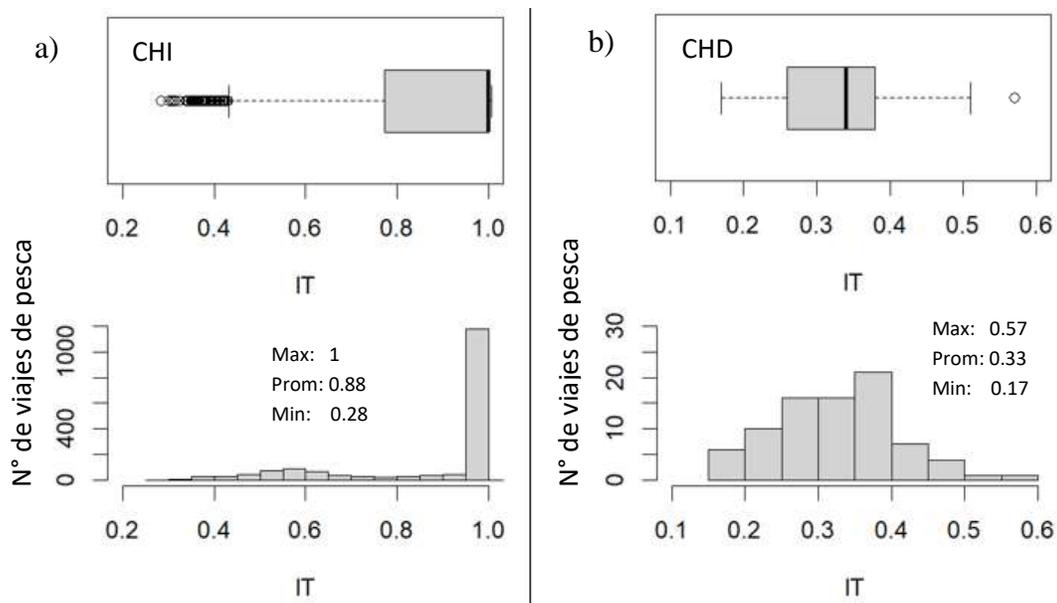
*Nota: Dispersión y distribución de la duración de los viajes de pesca (DV), a) **Temporada CHI:** DV máximo de 3.52 días, el promedio de la DV es 1.05 días y la DV mínimo fue de 0.12 días. El Q_1 tiene el 25% de los datos y es igual a 0.69 días y el Q_3 tiene el 75% de los datos y es igual a 1.29 días; b) **Temporada CHD:** DV máximo de 6.03 días, el promedio de la DV es 3.25 días y la DV mínimo fue de 1.75 días. El Q_1 tiene el 25% de los datos y es igual a 2.66 días y el Q_3 tiene el 75% de los datos y es igual a 3.88 días.*

Con respecto al índice temporal (IT) se puede observar en la figura 54 que la flota de CHI alcanzó como máximo el valor de 1, esto se debe a que como se mencionó anteriormente según las regulaciones pesqueras vigentes está prohibido desembarcar anchoveta 2 veces en un mismo día, es por ello que los viajes de pesca que tienen una duración menor a un día tienen un índice temporal de 1, un total de 1 115 viajes tienen una duración de menos de un día. El promedio de este indicador para la flota de CHI fue de 0,88. Sin embargo hay valores entre 0,28 y 0,4 que indican que algunos viajes de pesca duraron aproximadamente más de 3 días.

Por otro lado, en la figura 54 se puede observar que el índice temporal (IT) para la flota de CHD alcanzó un valor máximo de 0,57 y un promedio de 0,33; esto se debe a que el IT tiene una relación directa con la distancia recorrida, mientras más millas navegue el barco el IT irá disminuyendo por el tiempo que le toma navegar dichas distancias. El hecho de que los barcos naveguen distancias grandes no necesariamente indica una falta de efectividad por parte del pescador o que el recurso no está disponible sino que las zonas de pesca están a una distancia considerable como se demostró anteriormente. El valor mínimo del índice temporal fue de 0,17 que equivalen a 6,03 días de navegación y un recorrido de 1 390,33 millas.

Figura 54

Índice temporal (IT) para la flota CHI y CHD



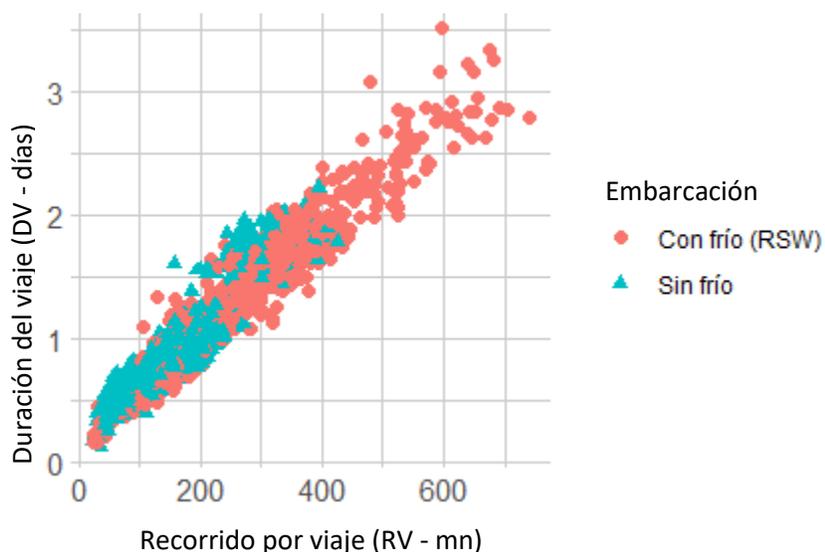
Elaboración propia.

Nota: *Dispersión y distribución de los índices temporales (IT) para cada viaje de pesca, a) Temporada CHI: IT máximo de 1, el promedio del IT es 0.88 y el IT mínimo fue de 0.28. El Q_1 tiene el 25% de los datos y es igual a 0.78 y el Q_3 tiene el 75% de los datos y es igual a 0.99; b) Temporada CHD: IT máximo de 0.57, el promedio del IT es 0.33 y el IT mínimo fue de 0.17. El Q_1 tiene el 25% de los datos y es igual a 0.26 y el Q_3 tiene el 75% de los datos y es igual a 0.38*

En la figura 55 y 56 se puede observar claramente que existe una correlación positiva entre el recorrido por viaje (RV) y la duración por viaje de pesca (DV), también se observa que en la temporada CHI los barcos de frío con sistema RSW recorrieron más distancia y por lo tanto navegaron más días en comparación a los barcos sin frío, en la temporada CHD todos los barcos están obligados a contar con un sistema de preservación a bordo, es esta caso tienen el RSW.

Figura 55

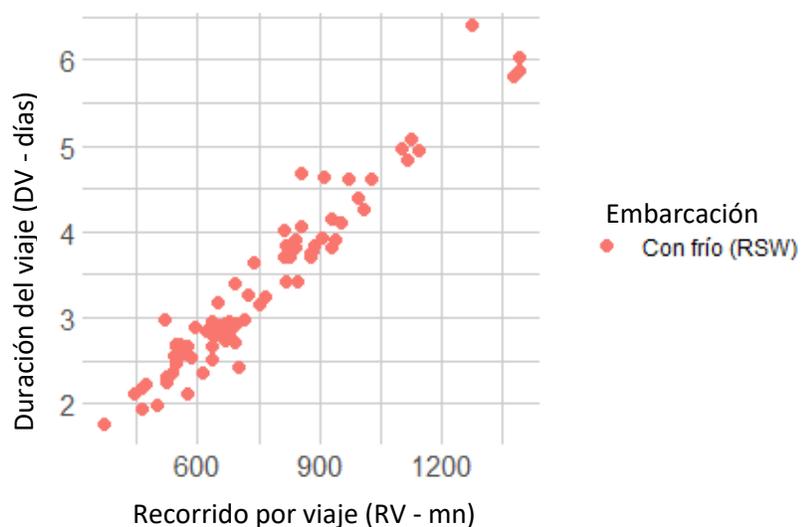
Correlación entre RV y DV en la temporada CHI



Elaboración propia.

Figura 56

Correlación entre RV y DV en la temporada CHD



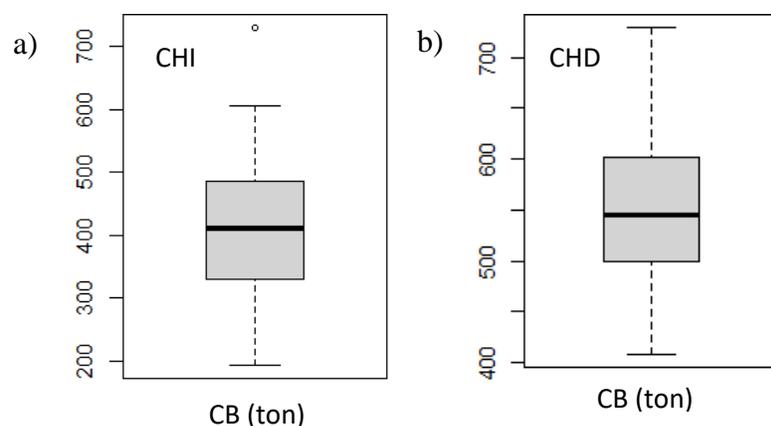
Elaboración propia.

4.2.3.1 Capacidad de bodega (CB): Los barcos que operaron en la temporada CHI tienen una capacidad de bodega que va desde las 192 toneladas hasta las 730 toneladas, este último es el barco de mayor capacidad que trabajó en dicha temporada de pesca. Por otra parte los barcos que participan en la temporada CHD tienen como requisito contar con un sistema de frío (RSW –

Refrigerated Sea Water) y generalmente las embarcaciones que cuentan con este sistema tienen gran capacidad de bodega, es por ello que la capacidad para esta flota CHD va desde las 404 toneladas hasta las 730 toneladas.

Figura 57

Capacidad de bodega (CB) de la flota CHI y CHD



Elaboración propia.

Nota: Distribución de la capacidad de bodega (CB), **a) En la temporada CHI** los barcos tenían una capacidad que va desde las 192 toneladas hasta las 730 toneladas. El Q_1 tiene el 25% de los datos y es igual a 330 toneladas y el Q_3 tiene el 75% de los datos y es igual a 485 toneladas; **b) para la flota CHD** la capacidad de bodega estuvo comprendida entre las 404 toneladas hasta las 730 toneladas. El Q_1 tiene el 25% de los datos y es igual a 500 toneladas y el Q_3 tiene el 75% de los datos y es igual a 601 toneladas.

4.2.3.2 Captura obtenida (CO): En la figura 58 se puede observar que la captura máxima en la temporada CHI fue de 650 tn y tuvieron una captura promedio de 170 tn, esto se debe a que hay barcos que tienen más éxito en su faena de pesca que otros. En lo que concierne a la flota CHD se puede observar que tienen capturas más regulares ya que la captura máxima para esta temporada fue de 554 tn y el promedio de sus capturas fue de 336 tn.

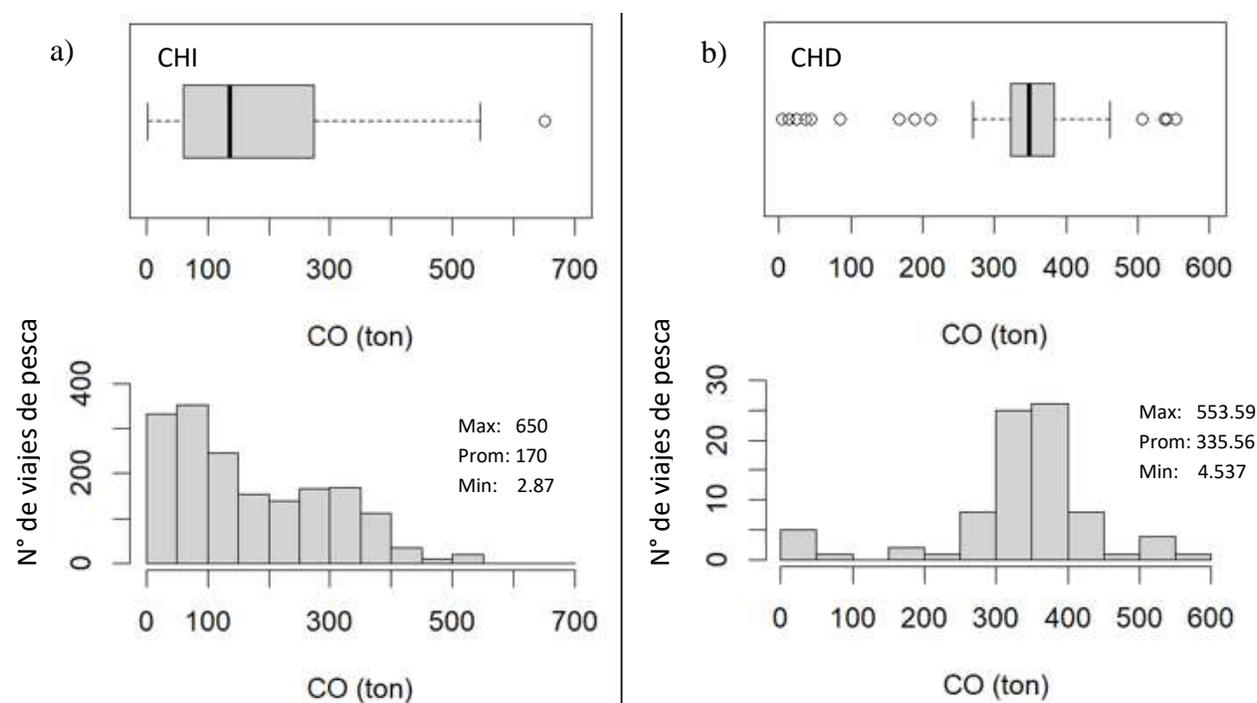
En la figura 58 también se puede observar que las capturas mínimas fueron de 2,87 tn para la flota CHI mientras que para la flota CHD fue de 4,53 toneladas, para que una embarcación ingrese con esa cantidad de pesca debió pasar un tipo de inconveniente en la operación de pesca

como por ejemplo: problemas de mantenimiento (rotura de red, desperfecto de un equipo que imposibilite el trabajo a bordo), ingreso a puerto por un tripulante accidentado, entre otros.

Revisando los registros operacionales se comprobó que la embarcación que ingresó con 2,87 toneladas (CHI) fue debido a problemas con el motor principal, en cuanto al barco que ingresó con 4,53 toneladas (CHD) se debió a que un tripulante se accidentó y tuvieron que ingresar a puerto para darle la atención necesaria.

Figura 58

Captura obtenida (CO) de la flota CHI y CHD



Elaboración propia.

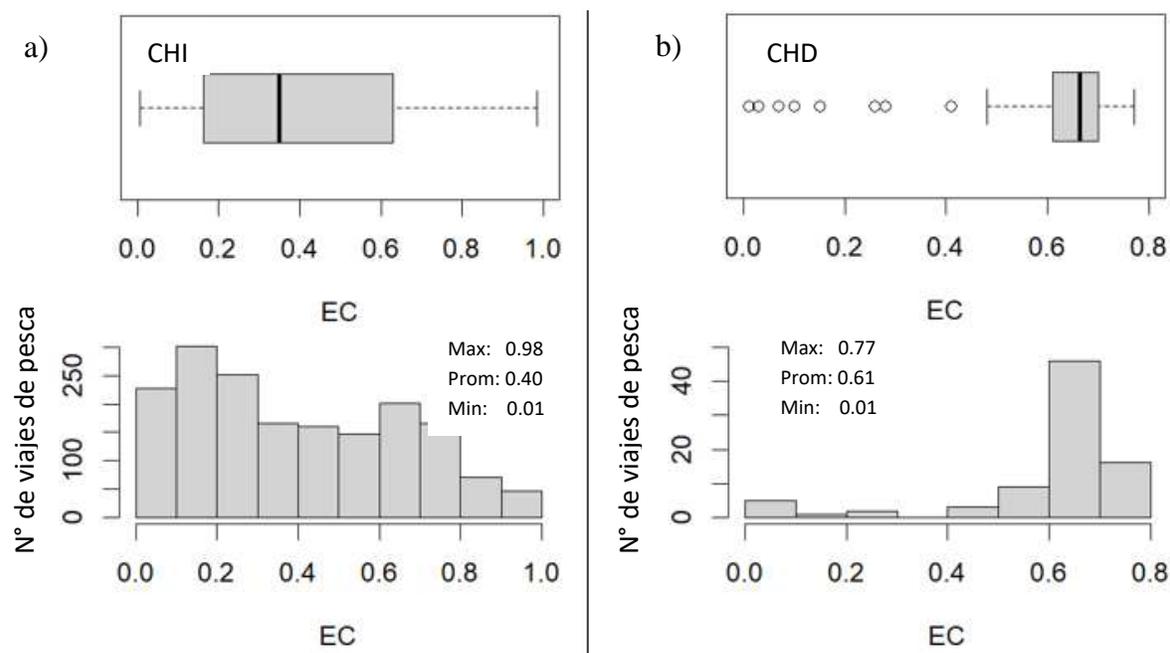
Nota: *Dispersión y distribución de la captura obtenida (CO) para cada viaje de pesca, a) Temporada CHI: CO máxima de 650 ton, el promedio de la CO es de 170 ton y la CO mínima fue de 2.87 ton. El Q_1 tiene el 25% de los datos y es igual a 61.05 toneladas y el Q_3 tiene el 75% de los datos y es igual a 273.90 toneladas; b) Temporada CHD: CO máxima de 553.59 ton, el promedio de la CO es de 335.56 ton y la CO mínima fue de 4.537 ton. El Q_1 tiene el 25% de los datos y es igual a 323.09 toneladas y el Q_3 tiene el 75% de los datos y es igual a 383.82 toneladas.*

La división entre la captura obtenida (CO) y la capacidad de bodega (CB) da como resultado la eficiencia de captura (EC), en la figura 59 se puede observar que la eficiencia de captura para la flota CHI en promedio fue de 0,40 que equivale a 170 toneladas por viaje, esto se debe a que en la mayoría de los viajes de pesca los barcos entraron a puerto con media carga. Cabe indicar que ese aparente déficit de captura se compensa con la calidad de harina que se produce en planta ya que el pescado sufre menos daño y llega en mejor calidad. Sin embargo, hubo viajes de pesca donde la flota ingresó a puerto con las bodegas llenas alcanzando una eficiencia de captura de 0,98.

Por otro lado, se observa que la flota CHD presentó una mejor eficiencia de captura (EC) ya que tuvo un promedio de 0,61 que equivalen a 336 toneladas por viaje de pesca, los barcos recorren grandes distancias y lo ideal es que ingresen con una buena cantidad de pesca. Cabe indicar que los barcos que participan en la temporada CHD no siempre llenan sus bodegas al 100% esto se debe a que el sistema de frío RSW les quita un 10% de su capacidad total ya que se instalan en la bodegas equipos que recirculan el agua refrigerada para preservar mejor el recurso, el valor de 0,77 que es la eficiencia de captura máxima alcanzada en la temporada CHD.

Figura 59

Eficiencia de captura (EC) de la flota CHI y CHD



Elaboración propia.

Nota: Dispersión y distribución de la eficiencia de captura (EC) para cada viaje de pesca,
a) Temporada CHI: EC máxima de 0.98, el promedio de la EC es de 0.40 y la EC mínima fue de 0.01. El Q_1 tiene el 25% de los datos y es igual a 0.16 y el Q_3 tiene el 75% de los datos y es igual a 0.63; **b) Temporada CHD:** EC máxima de 0.77, el promedio de la EC es de 0.61 y la EC mínima fue de 0.01. El Q_1 tiene el 25% de los datos y es igual a 0.61 y el Q_3 tiene el 75% de los datos y es igual a 0.70

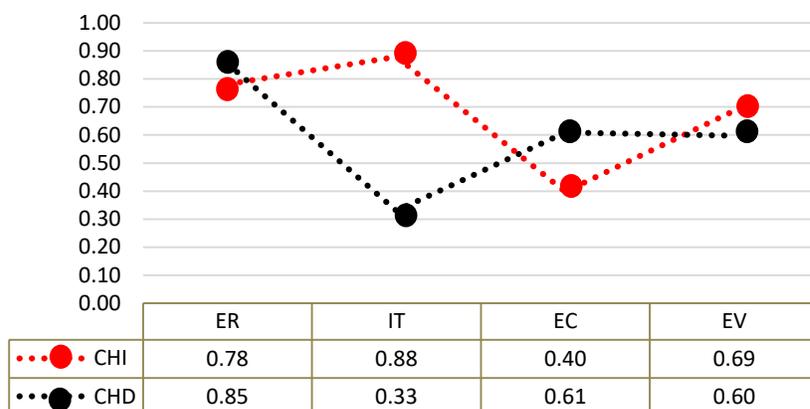
4.2.4 Eficiencia del viaje de pesca (EV)

El indicador que engloba la eficiencia de recorrido (ER), el índice temporal (IT) y la eficiencia de captura (EC) es la eficiencia de viaje (EV) que es el promedio de los 3 indicadores anteriores. En la figura 59 se puede observar que la flota CHI tuvo una eficiencia de viaje de 0,69 mientras que la flota CHD presentó una eficiencia de 0,60.

También se logra observar claramente que la diferencia entre el índice temporal (IT) en las dos temporadas es considerable y afectan de manera directa al indicador final que es la eficiencia de viaje (EV). La explicación de esta diferencia es bastante simple: la figura 61 muestra que las calas de la flota CHI se distribuyeron entre las 5 y 30 millas mientras que las calas de para la flota CHD estuvo distribuida desde las 10 millas hasta las 190 millas de costa, es decir las embarcaciones en una temporada CHD recorren mucho más distancias para dirigirse a las zonas de pesca en busca de jurel y la caballa que son especies cuya distribución es muchos más amplia con respecto a la anchoveta.

Figura 60

Indicadores de eficiencia de flota para la flota de CHI y CHD

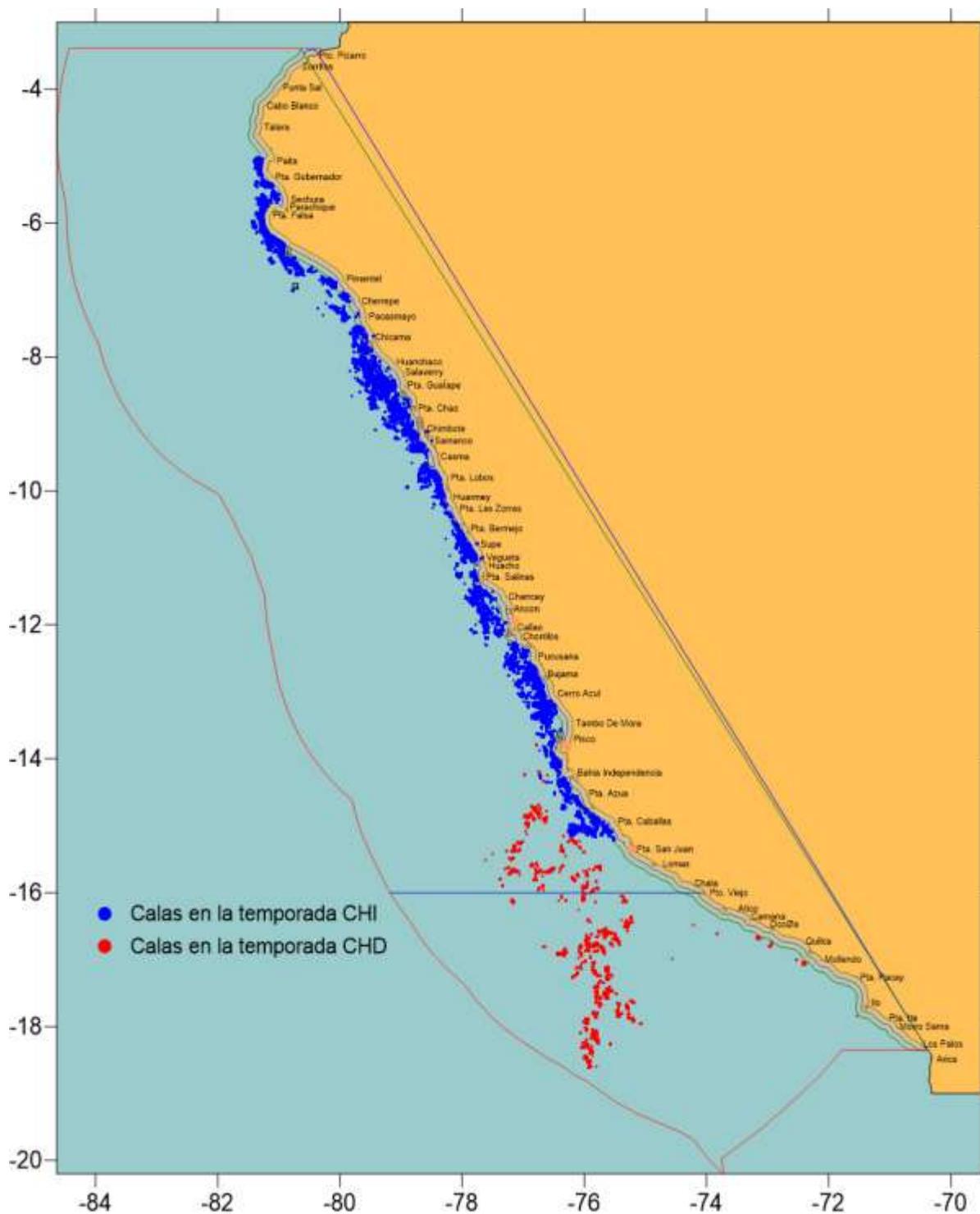


Elaboración propia.

Sin embargo esta diferencia del índice temporal (IT) se ve compensada en la eficiencia de captura (EC), ya que la flota CHD tuvo más éxito en sus faenas de pesca, por lo mismo que recorre más distancia se ven obligadas a ingresar con las bodegas cargadas y por ello permanecen en zona de pesca el tiempo que sea necesario.

Figura 61

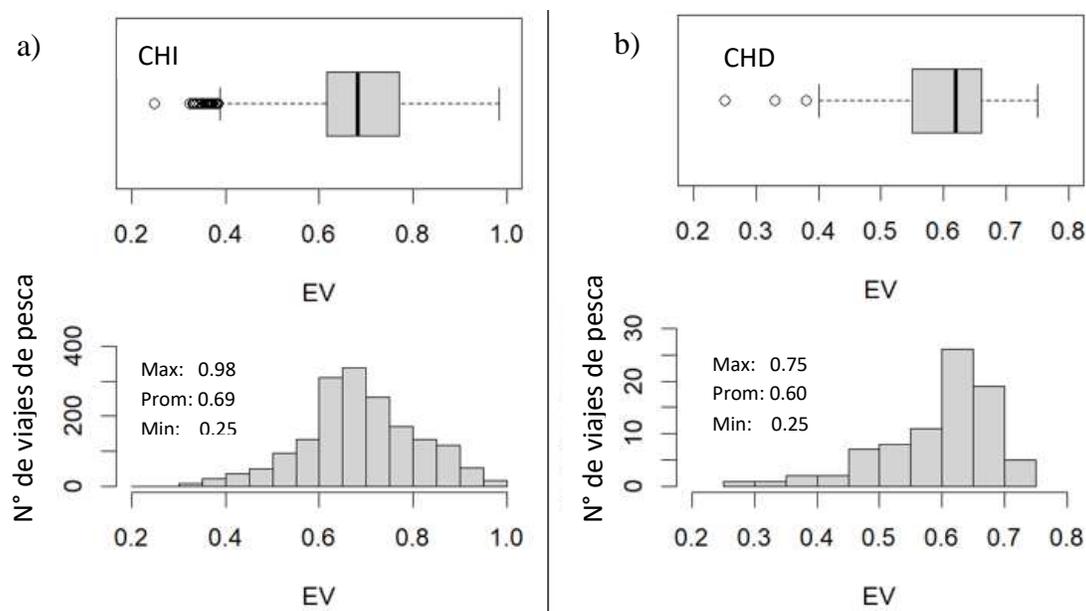
Calas en la temporada de CHI y CHD



Elaboración propia.

Figura 62

Eficiencia de los viajes de pesca (EV) para la flota CHI y CHD



Elaboración propia.

Nota: *Dispersión y distribución de la eficiencia de viaje (EV) para cada faena, a) Temporada CHI: EV máxima de 0.98, el promedio de la EV es de 0.69 y la EV mínima fue de 0.25. El Q_1 tiene el 25% de los datos y es igual a 0.62 y el Q_3 tiene el 75% de los datos y es igual a 0.77; b) Temporada CHD: EV máxima de 0.75, el promedio de la EV es de 0.60 y la EV mínima fue de 0.25. El Q_1 tiene el 25% de los datos y es igual a 0.55 y el Q_3 tiene el 75% de los datos y es igual a 0.66*

Tabla 4

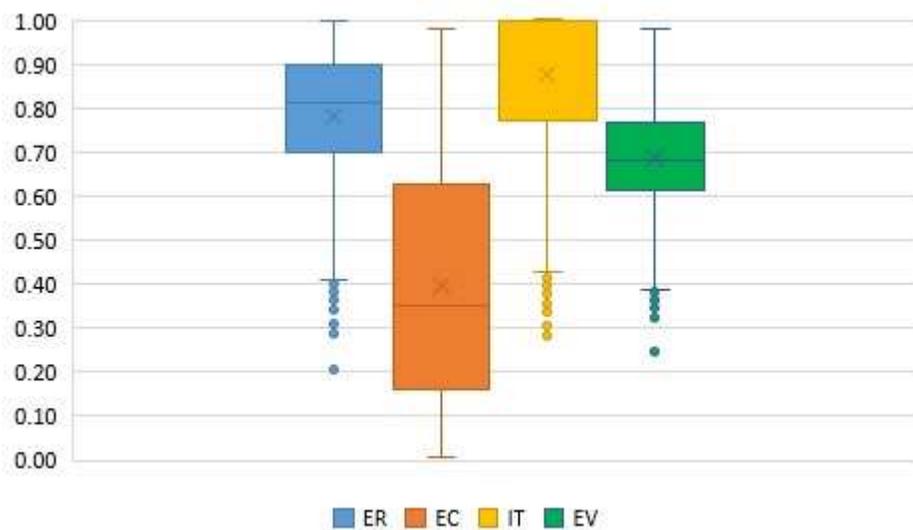
Resumen de los indicadores de eficiencia de flota

	Consumo Humano Indirecto			Consumo Humano Directo		
	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo
ER	0,21	0,78	1,00	0,43	0,85	0,98
IT	0,28	0,88	1,00	0,17	0,33	0,57
EC	0,01	0,40	0,98	0,01	0,61	0,77
EV	0,25	0,69	0,98	0,25	0,60	0,75

Elaboración propia

Figura 63

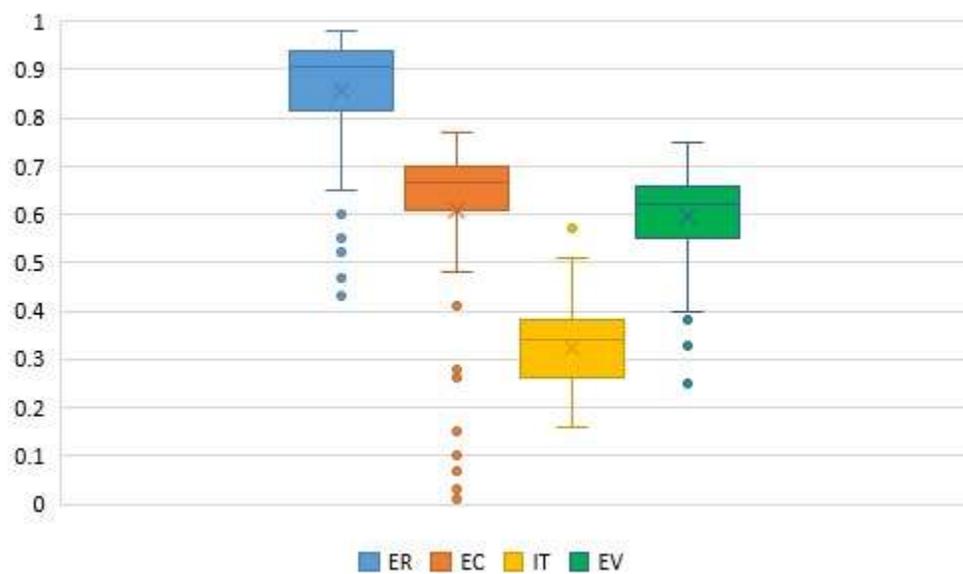
Indicadores de eficiencia de flota en la temporada CHI CN 2019 – I



Elaboración propia.

Figura 64

Indicadores de eficiencia de flota en la temporada CHD 2020 – I



Elaboración propia.

4.3 Análisis del consumo de combustible

En cuanto a la temporada CHI Centro Norte 2019 - I se procesaron 172 852 reportes satelitales provenientes de los motores principales, las embarcaciones consumieron un total de 1 755 648 galones de combustible, que corresponde a un recorrido total de 347 292 millas náuticas y un total de 43 803 horas de navegación.

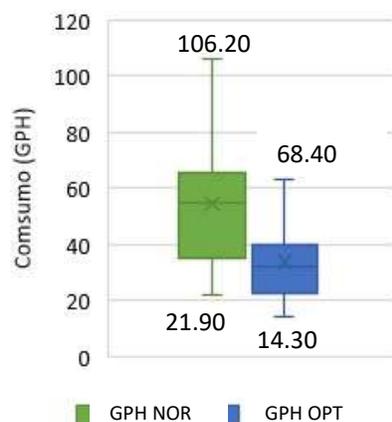
Por otro lado, en la temporada CHD 2020 – I se procesaron 25 882 datos satelitales y se consumió un total de 380 774 galones de combustible, las embarcaciones que participaron en esta temporada de pesca recorrieron 61 962 millas náuticas y navegaron un total de 6 406 horas.

4.3.1 Consumo de combustible en la navegación a RPM o porcentaje de paso óptimo

En la figura 65 se observa la distribución del consumo de combustible en GPH (galones por hora) de todas las embarcaciones que participaron en la temporada CHI y CHD, existe un consumo de combustible normal y un óptimo, este último es cuando los barcos navegan a RPM o porcentaje de paso óptimo. Se observa que hay barco que tiene un consumo de 21,90 GPH cuando navega a velocidad normal y al navegar a una velocidad óptima su consumo disminuye a 14,30 GPH, de igual manera hay una embarcación que tiene un consumo máximo de 106,20 GPH y un consumo óptimo de 68,40 GPH, es decir llegar a ahorrar 37,8 galones por hora.

Figura 65

Consumo de combustible normal y óptimo (en GPH) durante la navegación



Nota: Distribución del consumo de combustible. Consumo normal mínimo de 12.90 GPH y máximo de 106.20 GPH. Consumo óptimo mínimo de 14.30 GPH y máximo de 68.40 GPH.

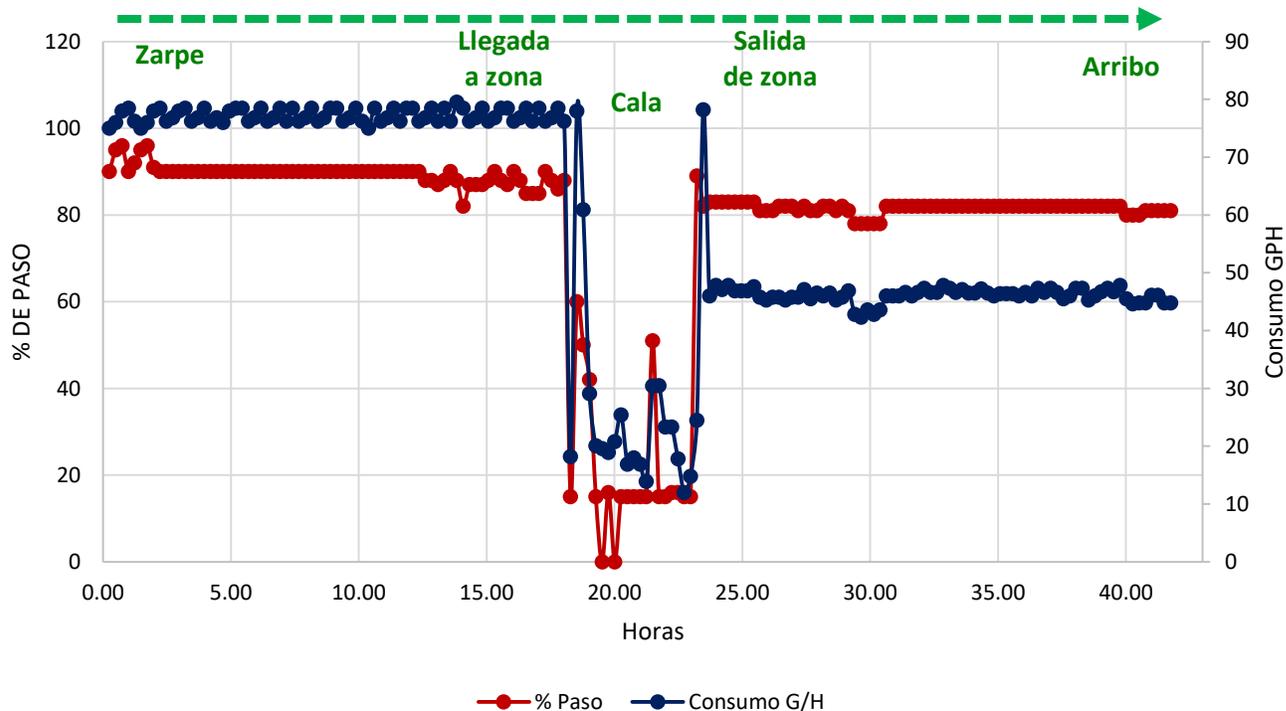
Elaboración propia.

4.3.1.1 Ahorro de combustible en una embarcación de paso variable

En una embarcación de paso variable el ahorro de combustible se centra básicamente en el control del porcentaje de paso. En la figura 66 se puede observar la curva del consumo de combustible con respecto al porcentaje de paso en un viaje de pesca que tuvo una duración aproximada de 42 horas y 369 millas recorridas. Para esta faena el barco zarpó a un porcentaje de paso promedio de 90% y consumiendo en promedio 77,22 GPH, al terminar su proceso de pesca la embarcación retorna a puerto con la recomendación de navegar a un porcentaje de paso óptimo y para que esto se cumpla dicha nave tiene que navegar a un porcentaje de paso del 80% y es ahí donde se observa que su consumo bajo a 46,13 GPH generando un ahorro en su consumo de combustible. En este viaje de pesca la embarcación tenía previsto gastar 3 492 galones combustible pero después de navegar a un porcentaje de paso óptimo solo consumió 1 965 galones, generando un ahorro de 1 527 galones.

Figura 66

Curva del consumo de combustible y el porcentaje de paso en los eventos del proceso de pesca

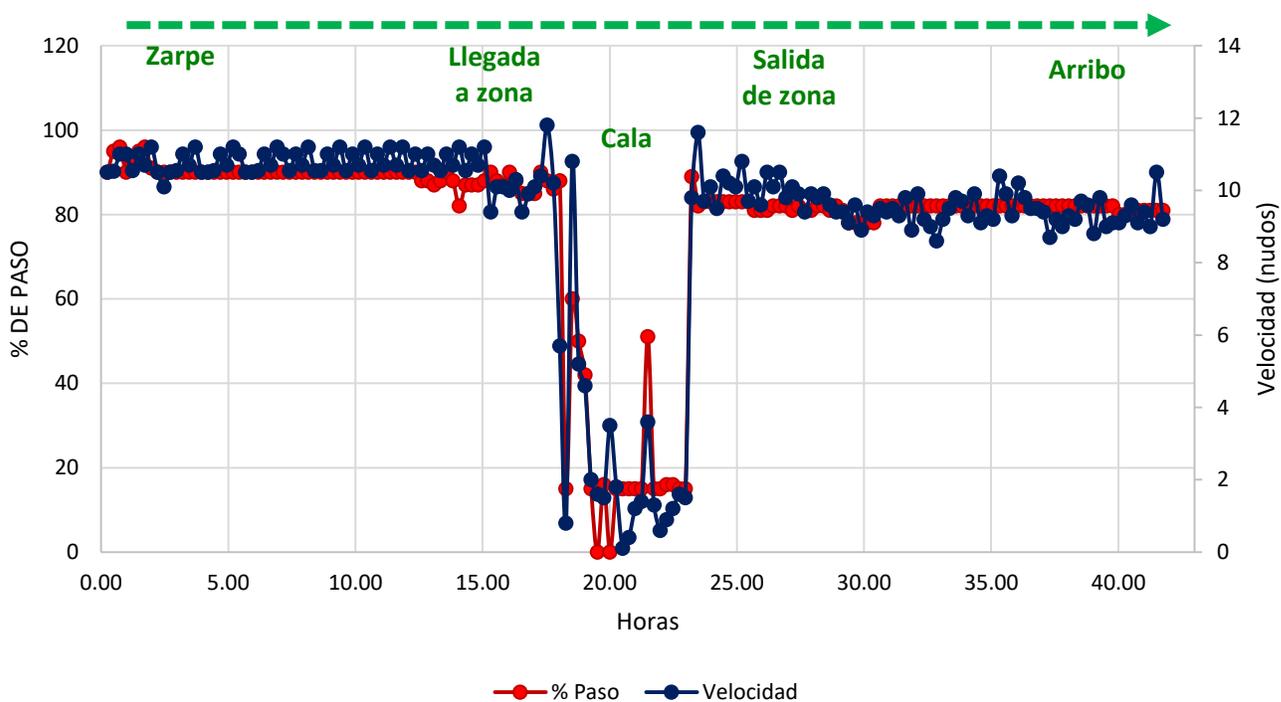


Elaboración propia.

Para el mismo viaje de pesca se observa en la figura 67 la curva de la velocidad con respecto al porcentaje de paso, la embarcación zarpó a zona de pesca a una velocidad promedio de 11 nudos y cuando termino de pescar retorno a puerto a una velocidad promedio de 10 nudos, de este modo se demuestra que cuando se desea ahorrar combustible no necesariamente implica un disminución drástica de la velocidad de navegación si no se debe controlar que la embarcación retorne a puerto con un porcentaje de paso óptimo.

Figura 67

Curva de la velocidad y el porcentaje de paso en los eventos del proceso de pesca



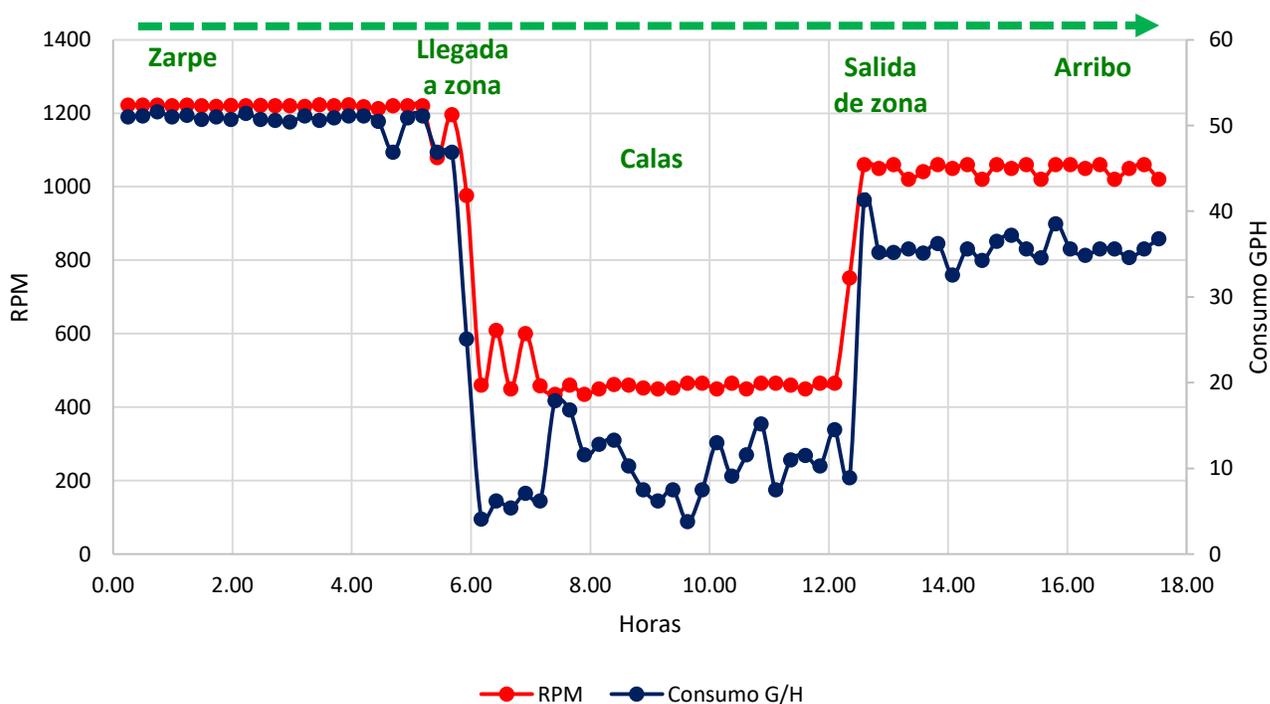
Elaboración propia.

4.3.1.2 Ahorro de combustible en una embarcación de paso fijo

En una embarcación de paso fijo el ahorro de combustible se centra principalmente en el control de las RPM. En la figura 68 se puede observar la curva de consumo de combustible y la de las RPM en un viaje de pesca que tuvo una duración de 17,5 horas y un recorrido de 138 millas náuticas. En este viaje la embarcación zarpó a zona de pesca navegando a 1 220 RPM y con un consumo de 50,93 GPH, al terminar su cala y retornar a puerto se le recomendó navegar a RPM óptimas que en esta caso es de 1 000 RPM y su consumo disminuyó a 35,85 GPH logrando una disminución en el consumo de combustible. Para este viaje de pesca la embarcación tenía previsto gastar 969 galones de combustible pero después de navegar a RPM óptimas solo consumió 619 galones, generando un ahorro de 350 galones.

Figura 68

Curva del consumo de combustible y las RPM en los eventos del proceso de pesca

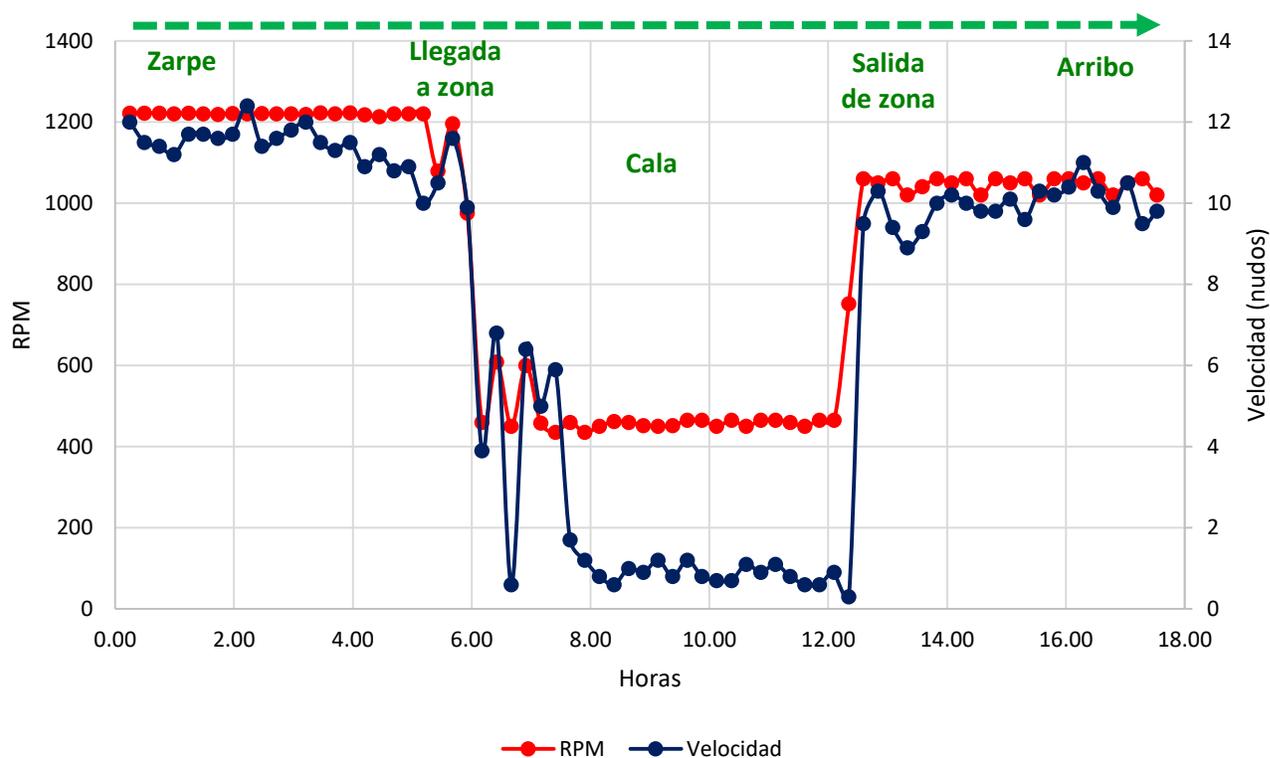


Elaboración propia.

Para el mismo viaje de pesca en la figura 69 se observa que la embarcación zarpó a zona de pesca a una velocidad promedio de 11,40 nudos y retorno a puerto a una velocidad promedio de 10,02 nudos, en este caso, que es una embarcación de paso fijo, también se demuestra que cuando se quiere ahorrar combustible no necesariamente se tiene que disminuir la velocidad de navegación sino más bien monitorear para que la embarcación retorne a puerto respetando las RPM óptimas.

Figura 69

Curva de la velocidad y las RPM en los eventos del proceso de pesca



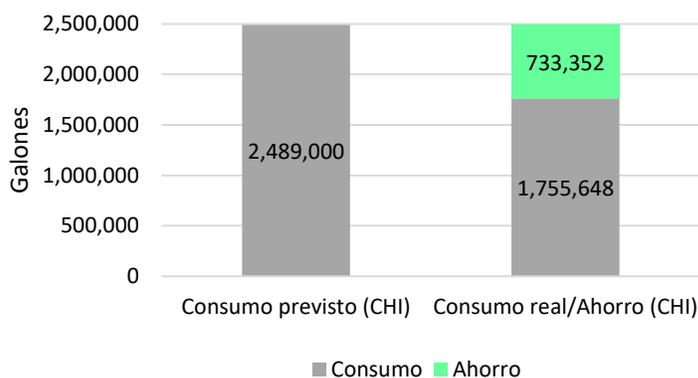
Elaboración propia.

4.3.2 Cuantificación del ahorro de combustible en la temporada de CHI y CHD

En la temporada CHI Centro Norte 2019 - I se tenía previsto gastar 2 489 000 galones de combustible pero luego de monitorear a las embarcaciones para que naveguen a una velocidad óptima se logró ahorrar 733 352 galones que corresponde al 29,46 % del consumo previsto.

Figura 70

Ahorro del combustible en la temporada CHI

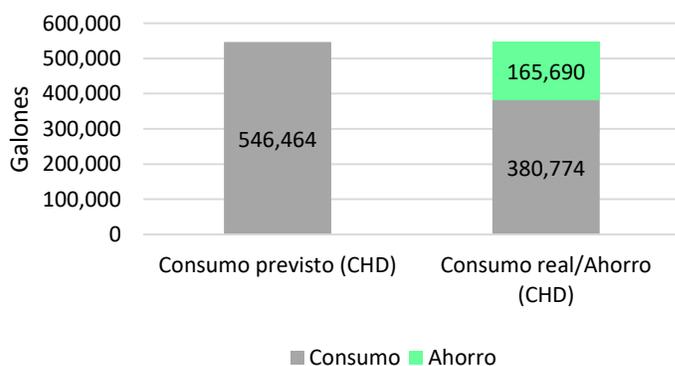


Elaboración propia.

Por otro parte en la temporada CHD 2020 - I se tenía previsto gastar 546 464 galones de combustible pero después de implementar la navegación a velocidad óptima se logró ahorrar 165 690 galones que corresponde al 30,32 % del consumo previsto.

Figura 71

Ahorro del combustible en la temporada CHD



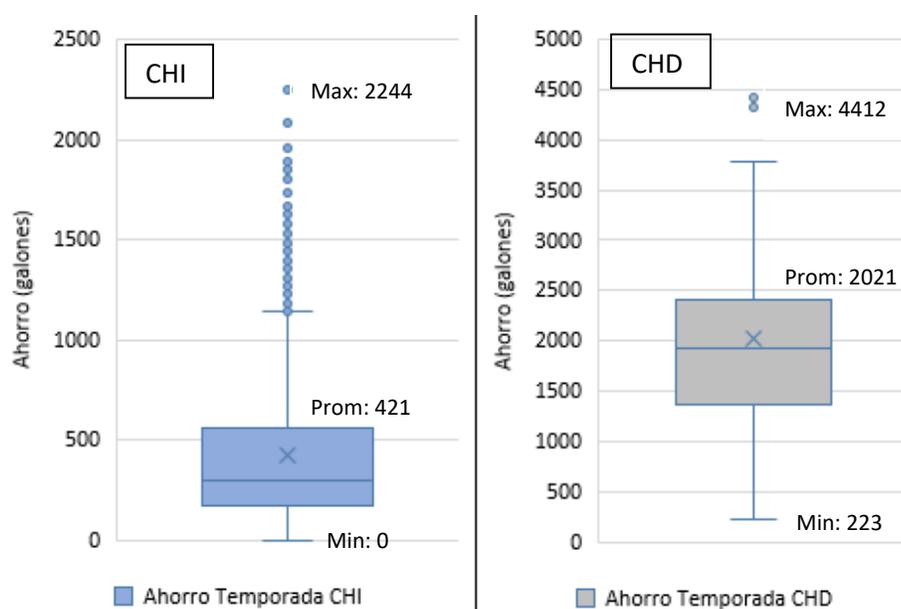
Elaboración propia.

En la figura 72 se puede observar que en la temporada CHI Centro Norte 2019 – I se logró ahorrar en promedio 421 galones por cada viaje de pesca y como máximo hubo un viaje donde se llegó a ahorrar 2 244 galones. Nótese que hay viajes de pesca donde no se ahorro combustible, esto se debe a que algunas embarcaciones no cumplieron con las indicaciones o simplemente no se programaron a RPM o porcentaje de paso óptimo debido a diversas causas: cuando hay un tripulante accidentado, las primeras embarcaciones en arribar al puerto tienen que entrar a una velocidad máxima siempre en cuando la planta esté lista para avanzar con la producción, cuando una embarcación presente problemas de mantenimiento y tiene que ingresar a puerto debe navegar a máxima velocidad para que a su arribo se solucione el problema y zarpe nuevamente a pescar.

En la temporada de CHD 2020 – I se ahorraron en promedio 2021 galones por cada viajes de pesca, esto se debe a que en esta temporada de pesca los barcos recorrieron una mayor distancia y ello implica un consumo mayor de combustible por faena de pesca y por lo tanto también la posibilidad de ahorrar más combustible siempre en cuando la embarcación cumpla con la navegación a velocidad óptima y se respeten los parámetros establecidos. Como máximo se logró ahorrar 4 412 galones en un viaje de pesca y como mínimo 223 galones.

Figura 72

Distribución del ahorro de combustible por cada viaje de pesca en temporadas de CHI y CHD



Elaboración propia.

En la tabla 5 se puede observar que en términos monetarios, debido al ahorro de combustible, se evitó un gasto de tres millones doscientos setenta y cuatro mil trescientos once dólares (\$ 3 274 311) en ambas temporadas de pesca. Tomar en consideración que según el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN) el precio de combustible entre los años 2019 y 2020 estuvo alrededor de los \$ 3,642 por galón.

Tabla 5

Cuantificación del ahorro de combustible en dólares (\$)

Temporada	Consumo previsto (gal)	Consumo real (gal)	Ahorro (gal)	Ahorro (\$)	Ahorro (S/)
CHI CN 2019 -	2 489 000	1 755 648	733 352	\$2 670 867	S/ 10 015 753
I CHD 2020 - I	546 464	380 774	165 690	\$603 443	S/ 2 262 913
TOTAL	3 035 464	2 136 422	899 042	\$3 274 311	S/ 12 278 666

Elaboración propia.

V. DISCUSIONES

5.1 Con respecto a la distancia recorrida y el índice temporal se observó lo demostrado por Dioses (1995); Espinoza (2018) e IMARPE (2019) los cuales mencionan que uno de los factores que afectan directamente los indicadores de eficiencia es la distribución del jurel y la caballa que son más amplias con respecto a la anchoveta, esto se demostró en la temporada de CHD donde los barcos que recorrieron gran distancia y por lo tanto navegaron más días obtuvieron una índice temporal (IT) de 0,33. Esto también se observa en los resultados de Bertrand et al. (2005) donde establece que el despliegue y comportamiento de la flota está determinado en gran medida por la distribución de la especie objetivo.

5.2 Si bien se llegó a cuantificar el ahorro de combustible durante la navegación, Winther et al. (2009) sugiere que se tiene que monitorear toda la trazabilidad del combustible, es decir desde la navegación, captura de la especie, elaboración del producto final y su transporte al consumidor. Por ejemplo, en el caso del pescado congelado, este autor demostró que en el transporte de una tonelada de salmón congelado desde Noruega a Japón se gasta una energía equivalente a 3 600 litros de combustible mientras transportarlo por medio marino solo equivale a 390 litros de combustible por tonelada de pescado. Con respecto a la elaboración de harina de pescado todavía hay equipos en planta que consumen combustible para su funcionamiento como es el caso de los cocinadores, evaporadores, secadores, etc. Sería bueno realizar estudios posteriores que engloben todos estos factores.

5.3 Según Lemoine et al. (2005), Díaz (2010), Joo et al. (2010) y Bertrand et al. (2015) los datos satelitales permiten observar y determinar ciertos indicadores de eficiencia de flota. Sin embargo, también establecen que los pescadores tienen que desarrollar una estrategia espacial que les permita lidiar con la distribución y desplazamiento de una especie objetivo. A partir de los resultados obtenidos en este estudio es necesario realizar ajustes a la definición anterior: son tantos los barcos que participan en una temporada de pesca, entre 700 y 750 barcos (PRODUCE, 2020), que su despliegue cubre gran parte del litoral y la probabilidad de que un barco encuentre una zona de pesca durante su búsqueda es alta, es más cuando un barco retorna a puerto para descargar, en el camino puede detectar una zona probable de pesca y cuando termina su descarga zarpa a la zona antes detectada. Al encontrar una zona de pesca contundente hará que las otras embarcaciones cercanas inmediatamente se dirijan a dicha zona, esto se observó en la identificación de trayectorias

según su eficiencia de recorrido (ER) ya que el 76% de los viajes fueron del tipo Balística, es decir los barcos navegaron con rumbo y velocidad constante hasta llegar a una zona de pesca ya conocida y determinada. Además, solo se llegaron a observar 3 viajes de pesca con trayectorias Brownianas.

VI. CONCLUSIONES

6.1 Se concluye que la información satelital recolectada en cualquier temporada de pesca permite determinar indicadores de eficiencia de la flota industrial y su consumo óptimo de combustible.

6.2 La flota CHI tuvo una eficiencia de viaje (EV) de 0,69; alcanzando un índice temporal (IT) de 0,88 ya que la mayoría de sus viajes de pesca duraron menos de un día, en general recorren distancias cortas debido a la distribución espacial de la anchoveta. Además, la mayoría de las embarcaciones que participan en esta temporada no cuentan con sistema de preservación a bordo y no pueden estar mucho tiempo en zona de pesca, la embarcación al ya no encontrar una zona de pesca contundente opta por ingresar a puerto para avanzar con su descarga y la calidad de su captura no se vea afectada por el paso del tiempo, después vuelve a zarpar con la probabilidad de que las condiciones de pesca en dicha zona mejoren o simplemente buscan otra zona de pesca.

6.3 La flota CHD tuvo una eficiencia de viaje (EV) de 0,60; al ser este un valor promedio fue afectado directamente por el índice temporal (IT) que fue de 0,33; esto se debe a que sus viajes de pesca duran varios días y la distribución espacial del jurel y la caballa es más amplia, esta flota CHD está obligada a contar con sistemas de preservación a bordo, en la mayoría sistemas RSW y por ese motivo pueden recorrer grandes distancias, permanecen más tiempo en la zona de pesca sin que la calidad de su captura se vea afectada y aumentando así la probabilidad de llenar sus bodegas, esto último se refleja en la eficiencia de captura (EC) obtenida por esta flota que fue de 0,61.

6.4 Al identificar la trayectoria de los viajes de pesca de acuerdo a su eficiencia de recorrido (ER) se determinó que 1 386 viajes eran tipo Balísticas, 436 viajes tipo Lévy y solo 3 viajes con características Brownianas (que se presentaron en la temporada CHD). La poca cantidad de viajes brownianos se explica por la cantidad de barcos que participan en ambas pesquerías, son tantos barcos desplegados en todo el litoral que basta con que una embarcación encuentre una zona de pesca contundente para que la flota cercana se dirija a dicha zona. Con esto se explica que la mayoría de los barcos no navegan distancias largas buscando la especie objetivo sino que se dirigen a una zona de pesca ya conocida (cercana o lejana) y con la probabilidad de encontrar una nueva zona de pesca en el camino.

6.5 Se demostró que la mejor manera de ahorrar combustible es controlar la velocidad de navegación en RPM óptimo si la embarcación tiene una hélice de paso fijo y a porcentaje de paso óptimo si la hélice del barco es de paso variable. Aplicando esta metodología se llegaron a ahorrar 733 352 galones de combustible en la temporada de CHI y 165 690 galones en la temporada CHD.

VII. RECOMENDACIONES

7.1 Si bien se llegaron a determinar indicadores de eficiencia y cuantificar el ahorro de combustible para la flota industrial en ambas temporadas de pesca utilizando información satelital sería bueno añadir a estos indicadores factores como la calidad de pesca con la que ingresan los barcos al puerto, el porcentaje de juveniles, la presencia de fauna acompañante, el TDC (tiempo después de la primera cala), TVN (Nitrógeno Volátil Total) del pescado y tiempo de descarga en puerto, ya que estos factores también influyen de manera directa o indirecta en los procesos de pesca.

7.2 Existen pesquerías como la de merluza, atún, tiburón, pota, anguila, entre otras cuya flota también cuenta con sistemas satelitales ya sea VMS o AIS. Sería bueno aplicar la metodología descrita en este trabajo para determinar sus respectivos indicadores y poder entender mejor el comportamiento de sus respectivas flotas y especies asociadas. En cuanto al ahorro de combustible, las embarcaciones que participan en estas pesquerías tendrían que navegar a velocidad óptima de acuerdo al tipo de hélice en cada embarcación y de esta manera observar los impactos de ahorro en su consumo de combustible.

7.3 La temporada de CHI se llevó a cabo durante los meses de abril, mayo, junio y julio del 2019 mientras que la temporada de CHD abarcó los meses de enero, febrero y marzo del 2020. Según el Estudio Nacional del Fenómeno “El Niño” (ENFEN) en este periodo no se observaron cambios fuertes en las condiciones oceanográficas. Sería bueno observar la fluctuación de estos indicadores de flota en eventos adversos (como El Niño), en estas condiciones es de esperarse que la distribución y disponibilidad de las especies objetivo cambie e incluso los cardúmenes, como el de la anchoveta, permanezcan en zonas inaccesibles para la pesca industrial (dentro de las 5 millas).

7.4 La flota industrial peruana de CHI debe impulsar el uso de sistemas de preservación como el RSW a las embarcaciones que todavía no cuentan este sistema, ya que como se demostró en este trabajo esto ayudaría mucho a incrementar sus indicadores de eficiencia y le daría una mayor autonomía en sus procesos de pesca.

7.5 Se tiene que fomentar la cultura de ahorro de combustible a los tripulantes de los barcos, en especial a los motoristas, pilotos y patrones de pesca, ya que son ellos quienes están a bordo y realizan las maniobras en el puente de mando para que la embarcación navegue a velocidad óptima.

7.6 La aparición inminente de gran cantidad de información georeferenciada para el sector pesca crea un desafío en términos de análisis de datos y para ello se tiene que contar con las herramientas y personal capacitado en el procesamiento de dicha información.

VIII. REFERENCIAS

- Abernethy, K., Trebilcock, P., Kebede, B., Allison, E. & Dulvy, N. (2010). *Fueling the decline in UK fishing communities?*, ICES Journal of Marine Science, 67: 1076–1085. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsp289>
- Bai, X., Tsiatis, A. & O'Brien, S. (2013). *Doubly-robust estimators of treatment-specific survival distributions in observational studies with stratified sampling*. Biometrics, 69(4):830-9.
- Basurko, C., Gabiña, G. & Uriondo, Z. (2021). *Energy performance of fishing vessels and potential savings*. J. Clean. Prod. 54, 30 – 40. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.05.024>
- Baudron, R., Brunel, T., Blanchet, M., Hidalgo, M., Chust, G., Brown, J., Kleisner, M., Millar, C., MacKenzie, R., Nikolioudakis, N. & Fernandes, A. (2020). *Changing fish distributions challenge the effective management of European fisheries*. Ecography 43, 494 - 505. <https://doi.org/10.1111/ecog.04864>
- Bautista, J. (2018). *Comparación de los datos de posicionamiento de la flota de arrastre recogidos a través del sistema AIS (Automatic Identification System) y VMS (Vessel Monitoring System) en el Golfo de Alicante*. España.
- Belenky, V., Bassler, C. & Spyrov, K. (2011). *Development of Second Generation Intact Stability*. Naval Surface Warfare Center Carderock Division, West Bethesda.
- Bertrand, S., Burgos, J., Gerlotto, F. & Atiquipa, J. (2005). *Le´vy trajectories of Peruvian purse-seiners as an indicator of the spatial distribution of anchovy (Engraulis ringens)*. ICES Journal of Marine Science, 62: 477-482. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2004.12.002>
- Bertrand, S., Bertrand, A., Guevara, R. & Gerlotto, F. (2007). *Scale-invariant movements of fishermen: the same foraging strategy as natural predators*. Ecological Applications. <http://dx.doi.org/10.1890/06-0303>
- Bertrand, S., Diaz, E. & Lengaigne, M. (2008). *Patterns in the spatial distribution of Peruvian anchovy (Engraulis ringens) revealed by spatially explicit fishing data*. Progress in Oceanography, 79: 379–389. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.009>
- Bertrand, S., Joo, R. & Fablet, R. (2015). *Generalized Pareto for pattern-oriented random walk modelling of organisms' movements*. Plos One. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132231>
- Bole, G., Dineley, O. & Wall, A. (2005). *Radar and ARPA (Automatic Radar Plotting Aid) Manual*. Second Edition, Amsterdam.

- Chirichigno, N. y Vélez, J. (1998). *Clave para Identificar los Peces Marinos del Perú* (2da ed.). Publicación especial del Instituto del Mar del Perú, 500 pp. <https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/3327>
- Collecte Localisation Satellites. (2020). *VMS visualization tool, Fish Web helps fishermen and shipowners to optimize their business*. Lima, Perú. <https://www.clsperu.pe/>
- Díaz, E. (2005). *Eficiencia de la flota de cerco en función a la distribución espacial de la anchoveta peruana (Engraulis ringens) entre 1998 y el 2001*. Tesis de Biólogo. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- Dioses, T. (1995). *Análisis de la distribución y abundancia de los recursos jurel y caballa frente a la costa peruana*. Instituto de Mar del Perú. Inf. Progresivo 3. pp. 55.
- Estudio Nacional del Fenómeno El Niño. (2020). *Diagnóstico Climático y Previsión de El Niño-Oscilación del Sur en el Perú, febrero 2020*. Informe Técnico N° 02. Lima, Perú.
- Espinoza, E. (2018). *Cambios en la distribución espacial de las captura de jurel (Trachurus murphyi) en el mar peruano entre 1996 y 2007*. Tesis de Biólogo. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/10047>
- Falcón, J. y Rodríguez, P. (2014). *Procedimiento para la estimación del consumo de combustible de embarcaciones comerciales en función del desplazamiento y la velocidad de navegación*. Universidad Tecnológica de La Habana.
- Fish Web. (2021). *Monitoring and control of the fishing fleet*. <https://fishweb.cls.fr/umv/>
- Gerlotto, F, M. Gutierrez, & A .Bertrand, 2012. *Insight on population structure of the Chilean jack mackerel (Trachurus murphyi)*. *Aquat. Living Resour.* 25, 341–355. <https://doi.org/10.1051/alr/2012036>
- Global Fishing Watch. (2017). *A walkthrough of the Global Fishing Watch map*. Founded by Oceana, SkyTruth and Google. <https://globalfishingwatch.org/our-map/>
- Gulbrandsen, O. (2015). *Manual de ahorro de combustible en pequeñas embarcaciones pesqueras*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Italia, Roma.
- Gulin, D. (2005). *Fishing Vessels Monitoring Systems*. 47th International Symposium ELMAR. Zadar, Croatia. <https://doi.org/10.1109/ELMAR.2005.193720>
- Gutierrez, M. (2016). *Indicadores de eficiencia de flota utilizando la información del SISESAT*. Seminario de tecnología satelital y gestión pesquera. Lima, Perú.

- Hernández, S., Fernández, C. & Baptista, P. (2006). *Metodología de la Investigación*. 4 ed. Ciudad de México, McGraw-Hill. <https://shg.files.wordpress.com/2012/10/sampieri>
- Instituto del Mar del Perú. (2010). *Análisis de la distribución y abundancia de los recursos jurel y caballa frente a la costa peruana*. Informe Progresivo N° 03. Callao, Perú.
- Instituto del Mar del Perú. (2019). *Desarrollo de la pesquería de jurel (Trachurus murphyi) y caballa (Scomber japonicus) durante el 2019, situación actual y perspectivas de explotación para el 2020*. Informe ejecutivo, Callao, Perú.
- Instituto del Mar del Perú. (2019). *Desarrollo de la pesquería de anchoveta en la región Centro – Norte (enero – 24 de julio del 2019)*. Informe ejecutivo, Callao, Perú.
- Instituto de Investigación Pesquera. (2002). *Situación de la merluza común 2002 y captura permisible 2003*. Informe técnico INPESCA, Talcahuano, Chile.
- Joo, R. (2008). *Identificación de puntos de pesca en los viajes pesqueros de anchoveta monitoreados por satélite mediante redes neuronales artificiales*. Tesis de Ingeniero Estadístico. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- Joo, R., Bertrand, S., Chaigneau, A. & Niquen, M. (2010). *Optimization of an artificial neural network for identifying fishing set positions from VMS data: An example from the Peruvian anchovy purse seine fishery*. France, Paris. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.08.039>
- Joo, R., Bertrand, S., Tam, J. & Fablet, R. (2013). *Hidden Markov Models: The Best Models for Forager Movements?* France, Paris. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071246>
- Larkin, P. (1996). *Concepts and issues in marine ecosystem management*. Reviews in Fish Biology and Fisheries 6:139-164. <https://doi.org/10.1007/BF00182341>
- Lemoine, G., Greidanus, H., Shepherd, I. & Kourti, N. (2005). *Developments in satellite fisheries monitoring and control*. European Commission Joint Research Centre. Italy. <https://declims.jrc.ec.europa.eu/documents/16087/16261>
- Lotze, K., Tittensor, P., Bryndum, A., Eddy, D. & Cheung, L. (2019). *Global ensemble projections reveal trophic amplification of ocean biomass declines with climate change*. Proceedings of the National Academy of Sciences 116, 12907 – 12912. <https://doi.org/10.1073/pnas.1900194116>
- Marin, P. (2021). *Análisis de datos de sistemas Satelitales de Monitoreo de Embarcaciones (VMS)*. Cousteau Consultant Group. Lima, Perú.

- Marine Traffic. (2015). *Ports, Terminals & Suppliers*. <https://www.marinetraffic.com/en/ais>
- Ministerio de Energía y Minas. (2010). *Guía de orientación del uso eficiente de la energía y diagnóstico energético*. Dirección General de Eficiencia Energética. Lima, Perú.
- Ministerio de Producción. (2020). *Establecimiento de los límites de captura de los recursos jurel y caballa para el año 2020*. Resolución Ministerial N° 025. Diario Oficial El Peruano. Lima, Perú.
- Ministerio de Producción. (2019). *Inicio de la Primera Temporada de Pesca 2019 en la Zona Centro Norte*. Resolución Ministerial N° 162. Diario Oficial El Peruano. Lima, Perú.
- Ministerio de Producción. (2016). *Competencia y funciones de la dirección general de supervisión, fiscalización y sanción*. Seminario de tecnología satelital y gestión pesquera. Lima, Perú.
- Ministerio de Producción. (2007). *Aprueban Reglamento de Ordenamiento Pesquero de Jurel y Caballa*. Decreto Supremo N° 011. Diario Oficial El Peruano. Lima, Perú.
- Mori, J., Buitrón, B., Perea, A., Peña, C. y Espinoza, C. (2011). *Variabilidad interanual en la estrategia reproductiva de la anchoveta peruana en la región norte-centro del litoral del Perú*. Ciencias marinas, 37(4b), 513-525.
- Ñiquen, M. y Díaz, E. (2001). *Advances in research on the spatial distribution of anchovy and sardine off the Peruvian coast*. Workshop on spatial approaches to the dynamics of coastal pelagic resources and their environment in upwelling areas. Cape Town, Sudáfrica.
- Oceana y Colegio de Ingenieros del Perú. (2016). *Seminario de tecnología satelital y gestión pesquera: La situación actual en el Perú*. Lima, Perú.
- Ordoñez, M. (2019). *Control satelital de seguimiento de eficiencia de combustibles*. Tecnológica de Alimentos. Lima, Perú.
- Otzen, T. y Manterola, C. (2017). *Técnicas de muestreo sobre una población a estudio*. International Journal of Morphology, 35(1), 227-232. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Parker, R. y Tyedmers, P. (2014). *Fuel consumption of global fishing fleets: current understanding and knowledge gaps*. Fish and Fisheries. <https://doi.org/10.1111/faf.12087>
- Perucontrol. (2021). *Gestión de combustible, motores electrónicos y mecánicos*. Telemetría y Control Satelital. <https://www.perucontrols.com/>

- Queirós, M., Fernandes, J., Genevier, L. & Lynam, P. (2018). *Climate change alters fish community size-structure, requiring adaptive policy targets*. *Fish and Fisheries* 19, 613 – 621. <https://doi.org/10.1111/faf.12278>
- Reitz, D. (2013). *Directions in internal combustion engine research*. *Combust. Flame* 160, 1-8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.combustflame.2012.11.002>
- Rojon, I. y Smith, T. (2014). *On the attitudes and opportunities of fuel consumption monitoring and measurement within the shipping industry and the identification and validation of energy efficiency and performance interventions*. UCL Energy Institute.
- Russel, R., Hunt, G., O'Coyle, K. & Cooney, R. (1992). *Foraging in a fractal environment: spatial patterns in a marine predator-prey system*, *Landscape Ecology*, vol. 7 (pg. 195-209). <https://escholarship.org/uc/item/1xz1z0ss>
- Smith, P., Jalkanen, P., Anderson, A., Corbett, J. & Faber, J. (2014). *Third IMO Greenhouse Gas Study*. International Maritime Organization (IMO), UK.
- Sobenes, C., Burgos, G. y Díaz, C. (2005). *Análisis operacional de dos flotas industriales en la pesquería de merluza común (Merluccius gayi gayi), región centro-sur de Chile*. Universidad Católica de la Santísima Concepción. Concepción, Chile. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-71782005000200004>
- Spaccapietra, S., Parent, C., Damiani, M., Macedo, J., Porto, F. & Vangenot, C. (2008). *A conceptual view on trajectories*. *Data & Knowledge Engineering*, Volume 65, Issue 1. Pages 126-146. https://doi.org/10.1007/978-3-642-15300-6_1
- Suhendar, M. (2012). *Comparison of Vessel Monitoring System (VMS) between Iceland and Indonesia*. United Nation University. Fisheries Training Programme.
- Suuronen, P., Chopin, F., Glass, C., Matsushita, Y., Queirolo, D. & Rihan, D. (2012). *Low impact and fuel efficient fishing - looking beyond the horizon*. *Fish. Res.* 119 – 120, 135 – 146. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2011.12.009>
- Tyedemers, P. (2004). *Fisheries and energy use*. *Encyclopedia of Energy* 2. The Netherlands, Elsevier.
- Vilela, R., Conesa, D., Del Rio, J. & Bellido, J. (2018). *Integrating fishing spatial patterns and strategies to improve high seas fisheries management*. *Marine Policy*. Volume 94, Pages 132-142. <http://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.04.016>

- Walpole, R. y Myers, R. (1996). *Probabilidad y Estadística*. 4. ed. Ciudad de México, McGraw-Hill. <https://virtualaserena.files.wordpress.com/2017/05/>
- Watson, J. y Haynie, A. (2016). *Using Vessel Monitoring System (VMS) data to identify and characterize trips made by fishing vessels in the United States North Pacific*. NOAA Fisheries Science and Technology. United States. <https://doi.org/10.1371/journal.0165173>
- Winther, U., Ziegler, F., Skontorp, E., Emanuelsson, A., Sund, V. & Ellingsen, H. (2009). *Carbon footprint and energy use of Norwegian seafood products*. Fisheries and Aquaculture. Norway. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00485.x>
- Wilson, J. (2005). *Medidas de ahorro de combustible y de costos para armadores de pequeñas embarcaciones pesqueras*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Italia, Roma.
- World Bank. (2009). *The Sunken Billions: The Economic Justification for Fisheries Reform*. Washington, USA.