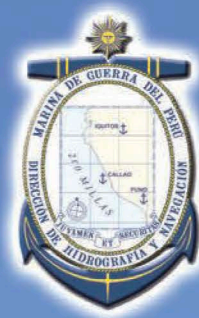




DIRECCIÓN DE HIDROGRAFÍA Y NAVEGACIÓN
MARINA DE GUERRA DEL PERÚ



ATLAS

OCEANOGRÁFICO Y
METEOROLÓGICO
DEL MAR PERUANO

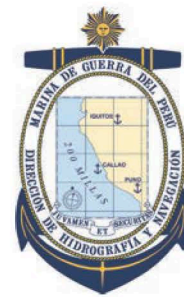








REPÚBLICA DEL PERÚ
MINISTERIO DE DEFENSA
MARINA DE GUERRA DEL PERÚ
DIRECCIÓN DE HIDROGRAFÍA Y NAVEGACIÓN



ATLAS

OCEANOGRÁFICO Y METEOROLÓGICO
DEL MAR PERUANO

HIDRONAV - 5031



MARINA DE GUERRA DEL PERÚ



Editado por

Marina de Guerra del Perú
Dirección de Hidrografía y Navegación
Calle Roca 118 Chucuito – Callao
Teléfono: +51 1 2078160
Correo Electrónico: dihidronav@dhn.mil.pe
Página Web: www.dhn.mil.pe

Editores

Héctor Sold Soldi
Milagros Aguilar Rojas
Teresa Campos vásquez

Diseño y Diagramación

Maritza Rojas Quispe
Leonardo Yupanqui Abanto
Sara Huallanca García

Atlas Oceanográfico y Meteorológico del Mar Peruano

Primera Edición
Abril 2019
Tiraje: 100 ejemplares

Director

Jorge Paz Acosta
Calle Roca 118, Chucuito – Callao

HECHO EL DEPOSITO LEGAL EN LA BIBLIOTECA NACIONAL DEL PERÚ N° 2019-04113

ISBN: 978-9972-764-19-6
Impreso en mayo de 2019

IMPRENTA KINKOS'S IMPRESORES S.A.C.

Av. Venezuela 2344 – Lima1

DERECHOS RESERVADOS

Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada o transmitida en manera alguna, ni por ningún medio ya sea electrónico, químico, mecánico, óptico, de grabación o de fotocopia, sin el permiso previo por escrito del editor, al amparo del artículo 18° del Decreto Legislativo N°822 “Ley Sobre el Derecho de Autor”

DIRECTORIO

Director

Contralmirante Jorge Paz Acosta

Sub-Director

Capitán de Navío Yerko Jara Schenone

Capitán de Navío José Tejeda Pereira

Jefe Técnico

Capitán de Navío Rafael Benavente Donayre

Capitán de Navío Atilo Aste Evans

Jefe del Departamento de Oceanografía

Capitán de Fragata Diego Gago Rojas

Capitán de Corbeta Luis Amayo Chuquillanqui

Jefe del Departamento de Navegación

Capitán de Corbeta Rosa Acosta Urbina

Teniente Primero Javier Gaviola Vargas

Jefe de la División de Meteorología Marina y Modelamiento Numérico

Teniente Primero Giacomo Morote Somontes

Jefe de la División de Oceanografía Física

Teniente Segundo Lisbeth Tataje Luna

Técnico de Cargo de la División de Meteorología Marina

Técnico Supervisor Segundo Ángel Medina Sánchez

Colaboradores Técnicos

Fernando Allasi Quispe

Joel Alania Sumaran

Jhonathan Bruno Ramírez

Roberto Chauca Hoyos

Carol Estrada Ludeña

Rina Gabriel Valverde

Fernando Guzmán Contreras

Emanuel Guzmán Zorrilla

José Obregón Yataco

Gonzalo Olofsson Quevedo

Moises Molina Vicharra

Carmela Ramos Orlandino

Jesus Sarazu Cotrina

Myrian Tamayo Infantes

Guiseppe Vásquez Villano

Agradecimiento

Eduardo Choque Arias

Yessica Debo Montero

Nick Moreno Moreno

Gerardo Ramírez Rosario



COMANDANCIA GENERAL DE LA MARINA



QUITOS



CALLAO



PUNO



ET

SECURIT



PRESENTACIÓN

La Marina de Guerra del Perú a través de la Dirección de Hidrografía y Navegación (DIHIDRONAV) es consciente de la necesidad de conocer la variabilidad de nuestro dominio marítimo, por lo que a través del tiempo ha desarrollado una intensa actividad científica para el conocimiento del campo de la oceanografía y meteorología marina, actividad que se inicia en el año 1942 con la obtención de los diferentes datos procedentes de estaciones oceanográficas y meteorológicas, boyas, cruceros oceanográficos y meteorológicos realizados, así como del proyecto nacional NAYLAMP.

Es un orgullo que la DIHIDRONAV, institución técnica científica de la Marina de Guerra del Perú esté a la vanguardia de la innovación tecnológica, impulsando permanentemente importantes estudios de investigaciones en actividades marítimas, fluviales, lacustres y antárticas, ejerciendo en el aspecto geográfico un rol fundamental por su influencia en nuestro extenso mar, de expectantes riquezas y estratégica posición geopolítica.

Esperamos que la edición del libro “Atlas Oceanográfico y Meteorológico del Mar Peruano” que hoy ponemos en sus manos, permita un mejor conocimiento de las características de nuestro dominio marítimo. La recopilación y el procesamiento de los datos e información que contiene en sus páginas ha requerido de una ardua labor, por lo que estamos seguros que este esfuerzo académico servirá a la comunidad científica y a los peruanos en general para promover el conocimiento de nuestra realidad marítima.

Este documento es una muestra del esfuerzo colectivo del personal militar y civil de la Dirección de Hidrografía y Navegación, así como de las tripulaciones de las Unidades Navales e Hidrográficas de la Armada que colaboraron con gran responsabilidad en la obtención de datos y preparación de los trabajos de investigación en el Mar de Grau.

De esta manera, me enorgullece presentar a toda la comunidad interesada en conocer mejor nuestro Mar de Grau el “Atlas Oceanográfico y Meteorología del Mar Peruano”, valioso documento científico elaborado por la Dirección de Hidrografía y Navegación.



Almirante

Fernando Raúl Cerdán Ruiz

Comandante General de la Marina de Guerra del Perú



MARINA DE GUERRA DEL PERU



IQUITOS



CALLAO

2000

HIDROGRAFIA



PRESENTACIÓN

La Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, desde la fecha de su fundación hace 115 años, asumió el relevante reto que su misión establecía, sustentado en la necesidad de conocer, mediante acuciosos estudios la variabilidad ambiental de nuestro dominio marítimo.

Ante tal desafío, el presente Atlas constituye una contribución importante para un país de proverbial tradición y grandes intereses marítimos. Esta publicación sintetiza los esfuerzos de muchos años de recolección de datos provenientes de estaciones océano meteorológicas, boyas, cruceros oceanográficos y meteorológicos, así como de los buques de la Institución, cuya utilidad es relevante por la diligente y laboriosa rigurosidad científica, de la labor de colecta de la información, porque incentiva el interés y la conciencia marítima nacional.

La obra integra una visión sinóptica de las características oceanográficas y meteorológicas del mar peruano, constituyendo un valioso documento de referencia en torno a la necesidad divulgar de manera didáctica, con un lenguaje ágil y ameno, el conocimiento científico de las condiciones naturales del mar peruano, de interés para navegantes, estudiantes y el público en general.

Esta obra que tomó tiempo de ardua labor en su recopilación y procesamiento, como producto de este tenaz esfuerzo, la presentamos hoy, con especial orgullo e interés a la comunidad científica, a fin que sea percibida, como una contribución para poner en valor nuestra realidad marítima en esta región del océano Pacífico, uno de los mares más productivas del mundo.



Vicealmirante

Ricardo Alfonso Menéndez Calle

Director General de Capitanías y Guardacostas



PRÓLOGO

Un atlas tiene como objetivo presentar una colección sistemática de mapas de cierto tipo de información de particular interés, sobre un determinado territorio. El presente atlas muestra una colección de gráficos que describen las características oceanográficas y meteorológicas del Mar Peruano, elaborados en base a información recopilada durante muchos años y que hoy se presenta en forma de estos mapas que nos ayudan a entender el comportamiento de nuestro mar.

El mar cubre el 70 % de la superficie de la tierra y juega un rol fundamental en la regulación del clima, la producción de oxígeno que respiramos y es, además, fuente de alimentos y recursos para el bienestar del futuro de la humanidad. Sin embargo, este ambiente vital para la supervivencia del planeta está siendo amenazado por las actividades del hombre. La contaminación marina producto de fuentes terrestres como los plásticos, la sobrepesca y el calentamiento global producto de los gases invernadero están provocando efectos negativos que ponen en grave riesgo nuestros mares y zonas marino costeras adyacentes. Por este motivo, es importante contar con datos e información que permitan mejorar la gestión del ambiente marino, y promover el manejo sostenible de sus recursos

Es nuestro deseo que esta primera versión del Atlas, constituya una herramienta para los investigadores y los tomadores de decisiones vinculados con las actividades marítimas. La navegación, los impactos de los fenómenos oceanográficos extremos y la evolución del litoral son temas que competen a las actividades propias de esta Dirección, y para comprender mejor estos temas se requiere de la recopilación de datos de forma sistemática y en largo plazo. Es por ello que la Dirección de Hidrografía y Navegación asume con responsabilidad, el encargo que le fue otorgada mediante el Decreto Supremo No 003-77-MA del 11 de marzo de 1977, de recolectar datos oceanográficos y meteorológicos bajo el Sistema de Información Oceanográfica (SIO) del Perú, y la custodia del Centro Nacional de Datos Oceanográficos del Perú (CENDO), que han sido la base para la elaboración del presente atlas.

Para tal fin, se han empleado todos los datos registrados en las diversas estaciones de monitoreo, cruceros oceanográficos y meteorológicos marinos, boyas, etc. En este documento se exponen las principales características de nuestro mar, en la forma de sus parámetros mas importantes: las olas, la temperatura superficial, la salinidad y nivel del mar, el viento, la temperatura superficial del aire y la presión atmosférica, y mediante mapas de climatología anual y estacional; asimismo, se muestra la variabilidad de estos parámetros durante eventos



extremos, como durante la ocurrencia de los fenómenos El Niño y La Niña

En mi condición de Director de la Dirección de Hidrografía y Navegación tengo la satisfacción de presentar este Atlas Oceanográfico y Meteorológico del Mar Peruano, resultado de muchos años de esfuerzo en la recolección de datos; detallando los procedimientos realizados, incluyendo los análisis estadísticos y resultados obtenidos, que fueron elaborados por el grupo de profesionales y especialistas de esta Dirección, a quienes deseo reconocer por la dedicación que pusieron en la preparación de la presente publicación, cuyo propósito es contribuir a difundir el conocimiento de la climatología del Mar Peruano que baña nuestras costas, y que constituye nuestra frontera frente al océano más grande del planeta.

Contralmirante

Jorge Manuel PAZ Acosta

Director de Hidrografía y Navegación



MARINA DE GUERRA DEL PERÚ

DIRECCIÓN DE HIDROGRAFÍA Y NAVEGACIÓN

2000 MILLAS

IQUITOS

CALLAO

PUNO

JUVEMENTO Y SEGURITAS



DIRECTORIO	3
PRESENTACIÓN DEL COMANMDANTE GENERAL DE LA MARINA DE GUERRA DEL PERÚ..	5
PRESENTACIÓN DEL DIRECTOR GENERAL DE CAPITANÍAS Y GUARDACOSTAS	7
PRÓLOGO	9
ÍNDICE	11
LISTA DE TABLAS	14
LISTA DE FIGURAS	14
INTRODUCCIÓN.....	15
1. GENERALIDADES	18
1.1 Área de estudio	18
1.2 Principales características del área de estudio	18
1.3 ¿Cómo interpretar la información del Atlas?	21
2. METODOLOGÍA	24
2.1 Oceanografía	24
OLAS	24
Datos empleados	24
1) Modelos numéricos.....	24
2) Mediciones <i>in situ</i>	24
Esquema de trabajo	26
1) Extracción de datos	26
2) Procesamiento de datos	26
3) Calibración de la altura de ola	26
4) Elaboración del gráfico	26
Resultado	27
TEMPERATURA Y SALINIDAD DEL MAR	33
Recopilación y almacenamiento	33
Análisis de datos.....	33
Procesamiento de datos	33



Almacenamiento de datos.....	33
Elaboración de mapas	33
NIVEL MEDIO DEL MAR.....	33
Recopilación de datos.....	33
Resolución temporal y espacial	35
Control de calidad de la información.....	35
2.2 Meteorología.....	36
VIENTO, TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL AIRE Y PRESIÓN ATMOSFÉRICA.....	36
Recopilación de la información de los datos meteorológicos	36
Procesamiento de los datos meteorológicos.....	36
1) Control de calidad de los datos meteorológicos	36
2) Elaboración de las grillas 1° x 1°	37
3) El diseño de los mariogramas.....	37
Interpolación de los datos meteorológicos.....	38
3. MAPAS DE OCEANOGRAFÍA	41
OLAS.....	43
- Climatología anual.....	43
- Climatología estacional Altura significativa (Hs) y Dirección media (Dm).....	46
- Climatología estacional Altura percentil 25 (H25) y Dirección media (Dm).....	47
- Climatología estacional Altura percentil 50 (H50) y Dirección media (Dm).....	48
- Climatología estacional Altura percentil 75 (H75) y Dirección media (Dm).....	49
- Climatología estacional Periodo máximo (T75)	50
- Climatología estacional Periodo percentil 25 (T25).....	51
- Climatología estacional Periodo percentil 50 (T50).....	52
- Climatología estacional Periodo percentil 75 (T75).....	53
- Climatología mensual Altura significativa (Hs) y Dirección media (Dm)	54
- Climatología mensual Altura percentil 25 (H25) y Dirección media (Dm).....	57
- Climatología mensual Altura percentil 50 (H50) y Dirección media (Dm).....	60
- Climatología mensual Altura percentil 75 (H75) y Dirección media (Dm).....	63
- Climatología mensual Periodo medio (T75)	66
- Climatología mensual Periodo percentil 25 (T25)	69
- Climatología mensual Periodo percentil 50 (T50)	72
- Climatología mensual Periodo percentil 75 (T75)	75
TEMPERATURA DEL MAR	78
- Climatología estacional Temperatura superficial.....	78
- Climatología estacional Temperatura Subsuperficial a 10 metros.....	79
- Climatología estacional Temperatura Subsuperficial a 20 metros.....	80



- Climatología estacional Temperatura Subsuperficial a 30 metros.....	81
- Climatología estacional Temperatura Subsuperficial a 50 metros.....	82
- Climatología estacional Temperatura Subsuperficial a 75 metros.....	83
- Climatología estacional Temperatura Subsuperficial a 100 metros.....	84
- Climatología estacional Temperatura Subsuperficial a 200 metros.....	85
SALINIDAD DEL MAR	86
- Climatología estacional Salinidad superficial	86
- Climatología estacional Salinidad Subsuperficial a 10 metros.....	87
- Climatología estacional Salinidad Subsuperficial a 20 metros.....	88
- Climatología estacional Salinidad Subsuperficial a 30 metros.....	89
- Climatología estacional Salinidad Subsuperficial a 50 metros.....	90
- Climatología estacional Salinidad Subsuperficial a 75 metros.....	91
- Climatología estacional Salinidad Subsuperficial a 100 metros.....	92
- Climatología estacional Salinidad Subsuperficial a 200 metros.....	93
NIVEL MEDIO DEL MAR	94
- Progreso del arribo de la onda mareal (pleamar y bajamar) a lo largo de la costa peruana	94
- Líneas cotidales para las principales componentes armónicas (M2, S2, N2, K1,y O1), frente a la costa peruana.....	96
- Líneas cofase para las principales componentes armónicas (M2, S2, N2, K1,y O1), frente a la costa peruana.....	98
- Distribución de los factores de forma o coeficiente de Courtier para la caracterización del régimen de mareas frente a la costa peruana.....	100
- Variabilidad del nivel del mar ante la presencia del Fenómeno El Niño (diciembre 1997), condiciones normales (diciembre 2001) y Fenómeno La Niña (noviembre2007)	101
4. MAPAS DE METEOROLOGÍA	103
Climatología anual del viento Temperatura Superficial del aire y Presión Atmosférica.....	105
VIENTO	106
- Climatología Estacional.....	106
- Climatología Mensual.....	107
TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL AIRE	110
- Climatología Estacional.....	110
- Climatología Mensual.....	111
PRESIÓN ATMOSFÉRICA EN SUPERFICIE	114
- Climatología Estacional.....	114
- Climatología Mensual.....	115
5. ANEXOS	119
5.1 Glosario	121
5.2 Bibliografía.....	122



LISTA DE TABLAS

Tabla 1:	Mediciones con boyas oceanográficas DIHIDRONAV y NDBC-NOAA.....	25
Tabla 2:	Estadística básica de los datos de las boyas y del modelo, en la ubicación de las boyas	27
Tabla 3:	Correlación y BIAS entre lo modelado y lo medido (boyas) sin calibrar y calibrado	27
Tabla 4:	Relación de matrices resultantes para la temperatura del mar.....	33
Tabla 5:	Relación de matrices resultantes para la salinidad del mar.....	33
Tabla 6:	Red Mareográfica Nacional	34

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1:	Área de Estudio	18
Gráfico 2:	Corrientes del Mar Peruano	19
Gráfico 3:	Puntos de grilla del modelo Wave Watch III - Perú.....	24
Gráfico 4:	Ubicación de las boyas oceanográficas DIHIDRONAV y boya de NDBC-NOAA 32012.....	24
Gráfico 5:	Serie de tiempo de altura de olas de las boyas DIHIDRONAV	25
Gráfico 6:	Serie de tiempo de altura de ola, en un punto del modelo WWATCH III	26
Gráfico 7:	Diagrama de flujo de los procesos realizados para la sección olas	26
Gráfico 8:	Boxplot de datos medidos con boyas.....	27
Gráfico 9:	Boxplot de los resultados del modelo WWATCH III en los puntos de boyas.....	27
Gráfico 10:	(a) Sin calibrar, (b) Calibrado. Correlación de los resultados del modelo WWATCH III y la boya San Pablo para el punto 85°00.0'W y 09°00.0'S.....	28
Gráfico 11:	(a) Sin calibrar, (b) Calibrado. Correlación de los resultados del modelo WWATCH III y la boya San Pedro para el punto 80°05.7'W y 08°59.7'S	29
Gráfico 12:	(a) Sin calibrar, (b) Calibrado. Correlación de los resultados del modelo WWATCH III y la boya Virgen del Carmen para el punto 85°00.2'W y 05°00.4'S...	30
Gráfico 13:	(a) Sin calibrar, (b) Calibrado. Correlación de los resultados del modelo WWATCH III y la boya Virgen de las Mercedes para el punto 81°45.4'W y 04°59.5'S.....	31
Gráfico 14:	(a) Sin Calibrar, (b) Calibrado Correlación de los resultados del modelo WWATCH III y la boya NDBC-NOAA 32012 para el punto 85°4.68'W y 19°25.5'S	32
Gráfico 15:	Red Mareográfica Nacional	35
Gráfico 16:	Ejemplo de correlación entre las observaciones de la Estación de Islas Lobos de Afuera y el punto más próximo de reanálisis ERA-Interim	36
Gráfico 17:	Espesor radial y parámetros	37
Gráfico 18:	Variogramas experimentales de presión	37
Gráfico 19:	Variograma con modelo Gaussiano	37
Gráfico 20:	Variogramas experimentales de temperatura.....	37
Gráfico 21:	Variograma con modelo Gaussiano	37
Gráfico 22:	Diagrama de Flujo de Procesamiento de Datos Meteorológicos.....	38

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los patrones competitivos de este mundo globalizado, muestran la importancia de poseer una población instruida y capaz de asimilar las nuevas tecnologías e innovar. El conocimiento juega un papel importante, pues es a través de él, que se genera el desarrollo y la capacidad de aumentar riquezas, manteniendo o aumentando la prosperidad bienestar económica y social de sus habitantes.

Durante las últimas décadas se ha desarrollado un gran esfuerzo de investigación en las zonas marinas y costera, ello debido principalmente a la concentración de población y la actividad económica que tiene lugar en dicha zona. La mayor parte de estas investigaciones surgen como respuesta a problemas reales que requieren una solución concreta.

La importante riqueza hidrobiológica que se concentra en nuestra zona marino costera está representada por la diversa y enorme cantidad de peces, moluscos, crustáceos, cefalópodos, cetáceos y otras especies que permiten una importante actividad socio económica, que promueven el desarrollo industrial de esta región. Al amparo y para la explotación de esta riqueza, han surgido en el tiempo, puertos y caletas a lo largo de todo nuestro litoral desde Tumbes a Tacna donde se concentran las actividades pesqueras industriales y artesanales.

En nuestro dominio marítimo hay la presencia, también, de recursos minerales como la sal y recursos energéticos como el petróleo y el gas que explotamos en el litoral norte. En esta zona costera se desarrolla también una creciente actividad turística, en especial en las hermosas playas y balnearios de nuestro litoral, entre ellas Punta Sal (Tumbes), Paita (Piura), Eten, Pimentel (Lambayeque), Huanchaco, Salaverry (La Libertad), Vesique, Culebras (Áncash), Ancón, el circuito de playas de Lima Metropolitana (Lima), Paracas (Ica), Atico, Moliendo (Arequipa), Ilo (Moquegua).

El hecho que la mayor proporción de la población y actividad económica del país se concentre en la zona costera requiere un mejor conocimiento y cuantificación de los procesos y factores naturales que intervienen en la evolución costera y la influencia de la actividad humana en esta zona, y por otro lado, la aplicación de estos conocimientos para asegurar un manejo sostenible de esta zona compleja de interacción entre el mar y el continente.

En tal sentido, y frente al avance actual de la ciencia y tecnología, esta Dirección es consciente de la necesidad de divulgar estos conocimientos para la construcción de una sociedad informada. Por tanto, la difusión y divulgación de los conocimientos de la climatología del Mar Peruano contenidos en esta publicación, busca poner a disposición esta información para mejorar la toma de decisiones y por tanto la calidad de vida de nuestra población costera y del país en general.

La representación espacial y temporal de las principales variables oceanográficas y meteorológicas que pone a disposición esta Dirección, se materializa con este Atlas, que recoge las condiciones ambientales del mar peruano, de una manera que esperamos sea atractiva, fácil de entender y que, contribuya con los estudios sobre la dinámica marina y climatológica de nuestro mar.

En este Atlas se presentan 279 mapas, que ilustran las principales variables oceanográficas y meteorológicas del mar peruano y su entorno en el océano Pacífico. La información proviene de las estaciones de monitoreo (estaciones oceanográficas y meteorológicas), cruceros oceanográficos y aquella generada por modelos numéricos, información satelital y altimétrica.

La información contiene los parámetros relevante de las principales características del mar y la atmósfera: las olas, temperatura superficial del mar, salinidad, nivel del mar, vientos, temperatura superficial del aire y presión atmosférica, su climatología y las condiciones globales predominantes (análisis temporales y espaciales). El documento incluye la variabilidad de estos parámetros durante eventos extremos, como son la ocurrencia de los fenómenos El Niño y La Niña.

Se detallan los procedimientos realizados, incluyendo los análisis estadísticos y los resultados obtenidos que se presentan en textos y en forma de mapas y gráficos.





1

GENERALIDADES

1. GENERALIDADES

El mar es la vía natural del comercio que une los pueblos y en ese sentido el Perú es favorecido por ser un país con un extenso litoral frente al mayor de los océanos del mundo, el Pacífico. Además, esta franja litoral que constituye la mayor de nuestras fronteras esta en la zona de mayor productividad y riqueza biológica del planeta. Esta región de nuestro país, que constituye el Dominio Marítimo del Perú está situado en la parte central occidental de América del Sur y es parte del océano Pacífico. Este espacio marítimo, según Ley N° 23856, es denominado el “Mar de Grau”, en honor al máximo héroe nacional de la Guerra del Pacífico.

1.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio de este Atlas, está delimitada desde la línea costera hasta la longitud 85° Oeste, y por el norte y sur con los límites marítimos del país con los de Ecuador y Chile respectivamente.



Gráfico 1. Área de estudio.

1.2 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Las características del mar peruano se enuncian a continuación:

TEMPERATURA DEL MAR

Las aguas de nuestro mar, por encontrarse cerca de la línea ecuatorial, deberían ser cálidas y de naturaleza tropical, con una temperatura media de 23 ° a 24 °C. Sin embargo, estas condiciones son influenciadas por otros factores como la radiación solar y las corrientes costeras y oceánicas frías provenientes del sur, y el efecto del afloramiento costero, que la modifican.

Tan solo en la zona norte, entre Tumbes y Piura, se presentan aguas cálidas tropicales, en tanto que en la zona central y sur la temperatura es fría, fluctuando entre 17 ° y 19 °C, por influencia de la corriente de Humboldt y por el fenómeno del afloramiento de aguas frías profundas.

De manera general, las temperaturas del mar se elevan hacia el ecuador y disminuyen hacia los polos. Frente al Perú las temperaturas se elevan en general hacia el oeste y hacia el norte, dando lugar a gradientes zonales y latitudinales al sur y norte de los 6°S, respectivamente.

En verano y otoño, se presentan los gradientes más intensos, con las isotermas menores de 24 °C fundamentalmente paralelas a la costa, y se destaca una lengua cálida lejos de la costa. En invierno y primavera se pierde este paralelismo entre las isotermas y la línea costera, debido a las notables irregularidades de las isotermas. El área dominada por aguas frías está entre los 14°-16°S, mientras que otras áreas frías semipermanentes se presentan entre los 4°-6°S y 7°-9°S (Zuta y Guillen 1970).

SALINIDAD DEL MAR

Es la cantidad de sales que contienen las aguas marinas por cada litro de ellas. La situación geográfica de la costa del Perú hace que sus aguas costeras estén mayormente influenciadas por aguas de alta salinidad de la región subtropical y, en segundo lugar, por aguas de baja salinidad de la región ecuatorial.

Dentro de las primeras tenemos a las Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) y dentro de las segundas a las Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) y Aguas Tropicales Superficiales (ATS).

Las aguas provenientes del afloramiento son generalmente aguas con Salinidad < 34,9 ups al sur de los 14°S y con Salinidad < 35 ups más al norte de esta latitud.

COLOR Y TRANSPARENCIA DEL MAR

Las aguas del mar peruano varían de un color verdoso, cerca de la costa, debido a las algas y sustancias microscópicas que arrastra (plancton), a un color azul oscuro lejos del litoral. En el extremo norte de la costa también se presenta ocasionalmente, un color azulplomizo por la fuerte descarga de los ríos y por las precipitaciones que ocasionalmente se presentan en esta zona.

La transparencia del mar está en función del grado de absorción de la radiación solar incidente en el agua, los organismos, las partículas en suspensión, etc. En el mar se presentan aguas claras, de gran transparencia y aguas turbias.

Las aguas costeras son generalmente turbias debido principalmente a la presencia de plancton, de restos orgánicos y partículas en suspensión, contraste notable con el agua oceánica de mayor transparencia.

TRANQUILIDAD DE SUS AGUAS (EL ESTADO DEL MAR)

El estado del mar frente al litoral del Perú es de aguas relativamente tranquilas por estar en una zona alejada de los centros de baja presión atmosférica del Pacífico Sur, donde predominan los vientos alisios. No es un mar agitado, sus aguas permanecen tranquilas en la mayor parte del año con olas que presentan una altura entre 2 a 3 metros, solo en caso de alta marea y oleaje irregular, pueden llegar entre 4 a 5 metros de alto.

CIRCULACIÓN

En el Perú el sistema de circulación de las corrientes marinas es bastante complejo, es una combinación de corrientes superficiales y subsuperficiales y la presencia del afloramiento a lo largo de la costa. Estas corrientes y el propio afloramiento están sujetas a variaciones en el tiempo y espacio (Ver gráfico 2).

Entre estas corrientes se cuentan:

Corrientes Superficiales:

1. Corriente Peruana o de Humboldt

La Corriente Peruana es parte integrante del movimiento circulatorio de aguas del océano Pacífico Sur; es de temperatura fría y viene del sur, de la costa central chilena, se desplaza paralela a nuestro litoral hasta la altura de la península de Illescas donde vira hacia el oeste para tomar el nombre de Corriente Ecuatorial del Sur, que por efecto de la radiación de los trópicos se vuelve de temperatura cálida al alejarse de la costa. Con este nombre llega hasta las costas australianas, cambia su dirección hacia el sur-oeste con el nombre de Corriente Australiana, siempre de naturaleza cálida. Más adelante, con el nombre de Corriente Gran Austral, enrumba hacia el sur-este, se vuelve fría, por estar a una latitud de 40°S y por la acción de los vientos fríos que la impulsan y, así, llega a las costas chilenas donde toma la dirección al noroeste para continuar el circuito.

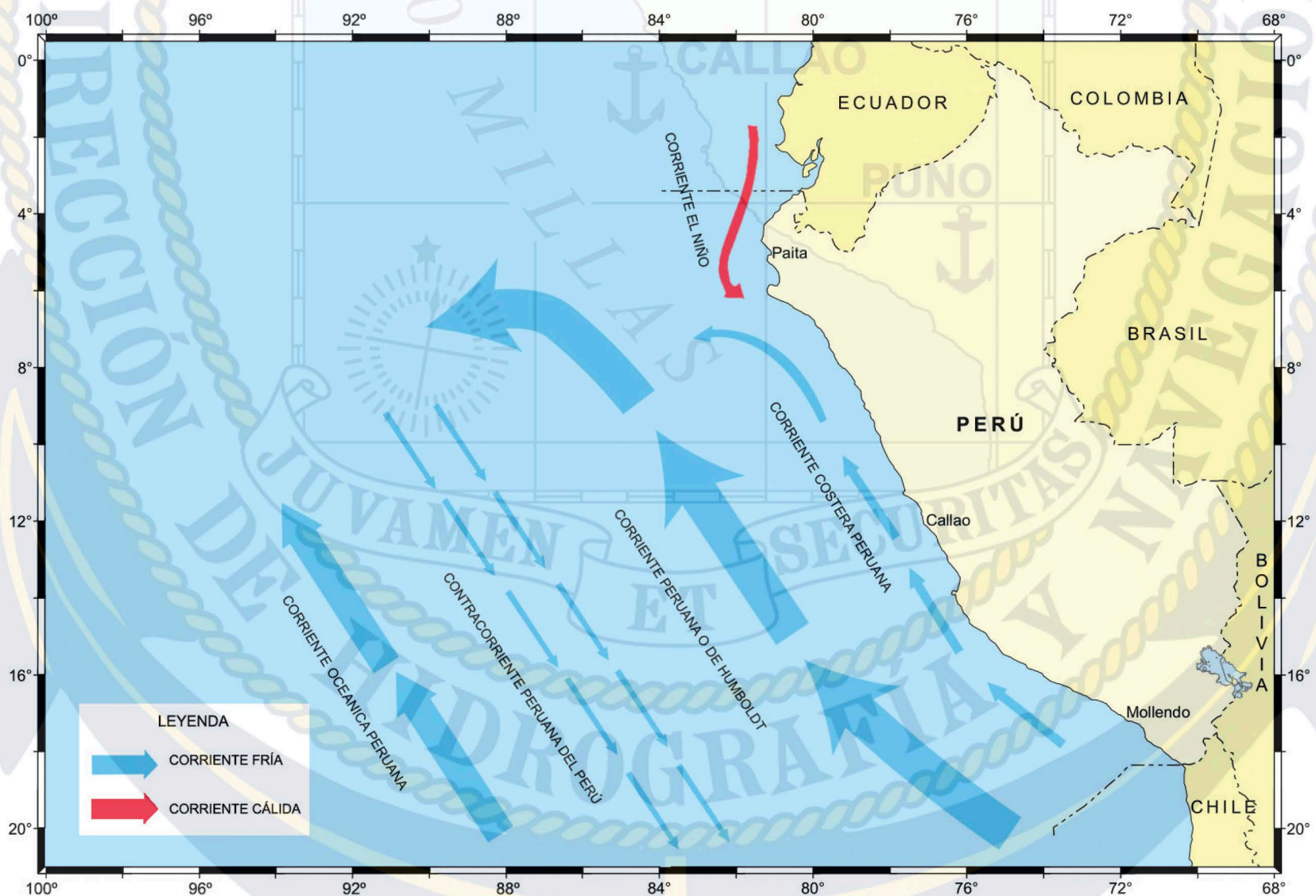


Gráfico 2. Corrientes del Mar Peruano.

Entre sus características principales se puede mencionar que fluye a lo largo de aproximadamente 2,400 millas náuticas (4,445 km); con un ancho también aproximado en verano de 100 millas y en invierno 200 millas. En cuanto a su profundidad, deja sentir sus efectos hasta 500 metros, se estima su velocidad de 15 millas al día (28 km/día), con una dirección del sur-este al noroeste. Su temperatura promedio es de 21°C en verano y 17°C en invierno, siendo que en el sur es más fría que en el norte.

El origen de esta corriente se debe al movimiento de rotación de la tierra que tiende a desviar a todos los fluidos hacia la derecha en el hemisferio norte y a la izquierda en el hemisferio sur (Coriolis), afectando las grandes masas oceánicas.

También se debe mencionar la acción del viento frío del Anticiclón del Pacífico Sur que impulsa las aguas superficiales del océano Pacífico, enfriando e impulsando entre otras la corriente peruana o de Humboldt en su movimiento hacia el norte frente a la costa del Perú. Estos vientos y la rotación de la tierra tienen un efecto de transporte neto de las masas de agua hacia el oeste, que son reemplazadas por las aguas frías y profundas del afloramiento costero.

La influencia de la Corriente Peruana se deja sentir en dos aspectos: en la riqueza hidrobiológica, ya que arrastra consigo al plancton en sus variedades de fito y zooplancton, que son microorganismos que constituyen alimento fundamental para los peces, especialmente para los cardúmenes de anchoveta. Ello favorece el desarrollo de la industria pesquera tanto artesanal como industrial.

También contribuye a modificar el clima de la costa, que debería ser de naturaleza tropical, pero que no lo es por la acción de la frialdad de las aguas marinas que no permiten la formación nubosa de desarrollo vertical, otorgando un carácter desértico a la región costera.

Además es causa directa para la formación de nieblas en el sector central y sur de nuestro litoral, así como de la "garúa" que cae durante los meses de invierno en la costa central y sur.

2. Corriente Costera Peruana y Corriente Oceánica Peruana

Corriente Costera Peruana (CCP) y Corriente Oceánica Peruana (COP), estas dos corrientes forman una sola entidad oceánica en el periodo de invierno, principalmente en los meses de agosto y setiembre. La COP es más intensa que la CCP, encontrándose que en la latitud 24°S el transporte de la CCP es de $6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{seg}$ y el de la COP es $8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{seg}$.

3. Corriente El Niño

Es un desplazamiento de aguas cálidas que penetran a nuestro territorio partiendo del Golfo de Guayaquil (Ecuador) y llegando hasta el sur de Paita, originando una dirección de rumbo sur. Es una corriente de compensación que equilibra el desnivel que se produce por el desplazamiento de la Corriente Peruana hacia el oeste y la Corriente Ecuatorial del Norte, aumentando su caudal por las aguas del río Guayas. Por lo general hace su aparición en los primeros días de diciembre, aumentando hacia el 24 de dicho mes, por lo que se le ha bautizado como "Corriente El Niño".

Su influencia se deja sentir, sobre todo, en el clima de nuestra costa norte (Piura y Tumbes), contribuyendo a la tropicalización de la zona con la presencia de lluvias y las altas temperaturas del aire y del agua.

Por lo general se confunde con la Contracorriente Ecuatorial que es propiamente, una corriente de compensación que se desplaza de oeste a este, entre la Corriente Peruana y la Corriente Ecuatorial del Norte, llegando hasta cerca de puerto Malabrigo.

En algunas ocasiones, las aguas cálidas tropicales aumentan su caudal por la intensificación de la corriente tropical del norte o el debilitamiento de la corriente de Humboldt del sur, dando origen a lo que se conoce como "Fenómeno El Niño" que se caracteriza por la elevación de la temperatura de las aguas en la costa norte, la precipitación de lluvias abundantes, las inundaciones y "avenidas de las aguas", el crecimiento en el caudal de los ríos, etc.. Ocasionalmente, cuando la circulación meteorológica se invierte en el Pacífico central, las aguas cálidas de esta región invaden el litoral norte del Perú, ocasionando un fenómeno El Niño de gran intensidad, tal como aconteció en 1925, 1972, 1983 y 1998, que afectó inclusive, a gran parte de la costa central y sur del país.

Corrientes Subsuperficiales:

1. Contracorriente del Perú o Contracorriente Ecuatorial (cálida)

Se ubica entre la COP y CCP, y cuya dirección es norte-sur.

2. Corriente Submarina o Subsuperficial del Perú

Se encuentra pegada a la costa con dirección norte-sur, estimándose una velocidad superior a 20 cm/seg frente a punta Falsa (lat: 5° 53'24.4" S y 81° 09'02.1" W).

MAREAS Y NIVEL MEDIO DEL MAR

Las mareas son los procesos más regulares que se presentan en los océanos, y están dados por los movimientos periódicos y alternativos del ascenso y descenso del nivel del mar. Estas ondas de largo periodo viajan a una velocidad aproximada de 500 km/h, y son producidos por la atracción gravitacional que ejercen sobre la Tierra, la Luna y el Sol principalmente.

En la costa peruana, las mareas que se producen están influenciadas por dos puntos anfidrómicos ubicados en la cuenca del Pacífico y hace que éstas se propaguen de norte a sur en sentido horario, de tal manera que la marea alta o pleamar se presenta primero en el norte del país, horas después en Lima y horas más tarde en el sur.

La Red de Medición del Nivel del Mar o Red Mareográfica Nacional, cuenta con registros de largo periodo y a partir de ella, se ha determinado que las mareas son del tipo mixto preponderantemente semidiurno y, de acuerdo a los valores de sus amplitudes, corresponden a una marea microtidal, es decir, presentan amplitudes menores de 2 metros.

Asimismo, se han determinado los principales niveles de referencia verticales que son empleados a nivel nacional, destacando el Nivel Medio del Mar utilizado en la red de nivelación en todo el país, considerado como el Nivel "0" de referencia topográfico y el Nivel Medio de Bajamares de Sicigias Ordinarias, empleado para referir las profundidades del mar y es considerado como el Nivel "0" de referencia hidrográfico.

En general, las oscilaciones del nivel del mar en la costa peruana presentan valores de +/-6 cm alrededor de su promedio patrón; sin embargo, durante los eventos "El Niño" el nivel del mar se incrementa sostenidamente presentando anomalías positivas; mientras que los valores mínimos con anomalías negativas, se asocian al Fenómeno La Niña.

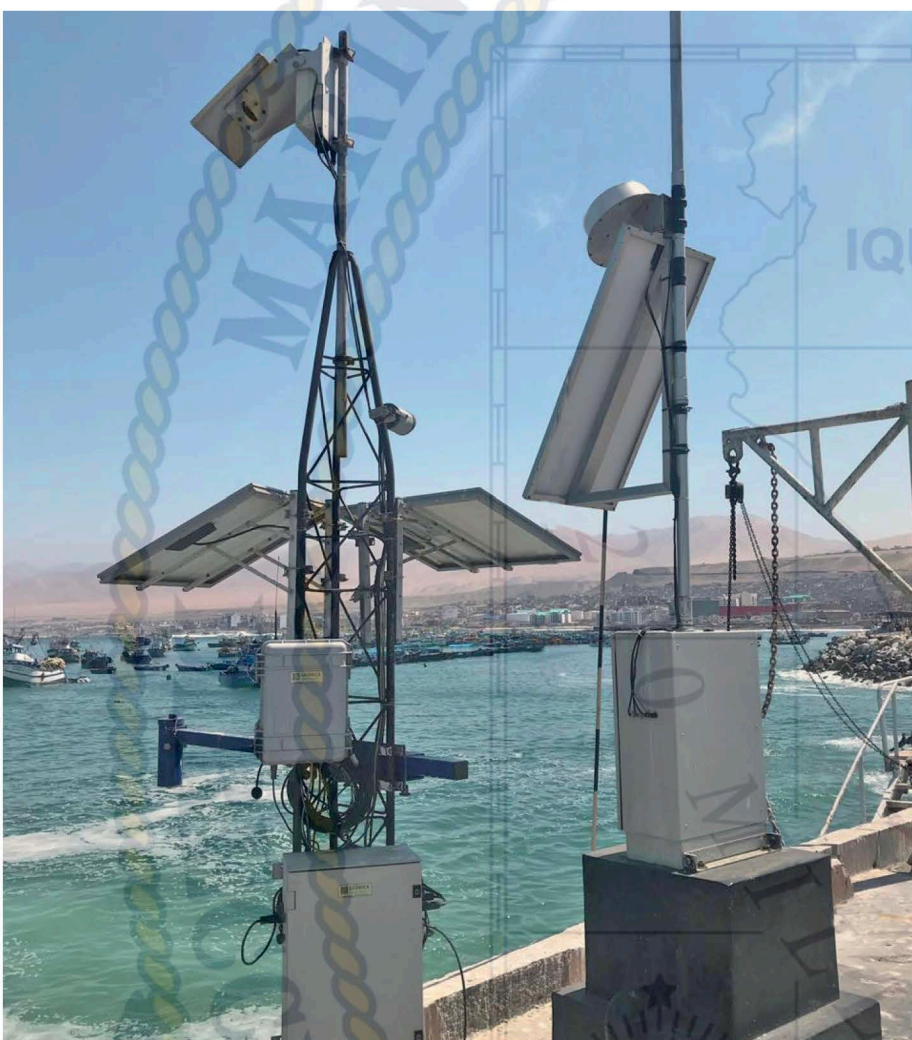


CLIMA Y VIENTO

Frente a la costa peruana, el clima es fundamentalmente de régimen subtropical; pero también ejercen influencia el clima tropical al norte de los 6°S y el clima templado al sur de los 15°S, proveniente de las zonas templadas de la región subantártica.

Los afloramientos costeros ligados al sistema de vientos y sumados a la Corriente Costera, dan una fisonomía especial a las condiciones de la costa peruana, que se manifiesta como una región marítima abundante en recursos marinos, frente a un área costera mayormente desértica.

Comúnmente los estudios del clima se realizan con base en las temperaturas del mar, del aire, la nubosidad, las precipitaciones, la evaporación y la humedad relativa, siendo estas tres últimas variables casos típicos de interacción entre la atmósfera y el océano.



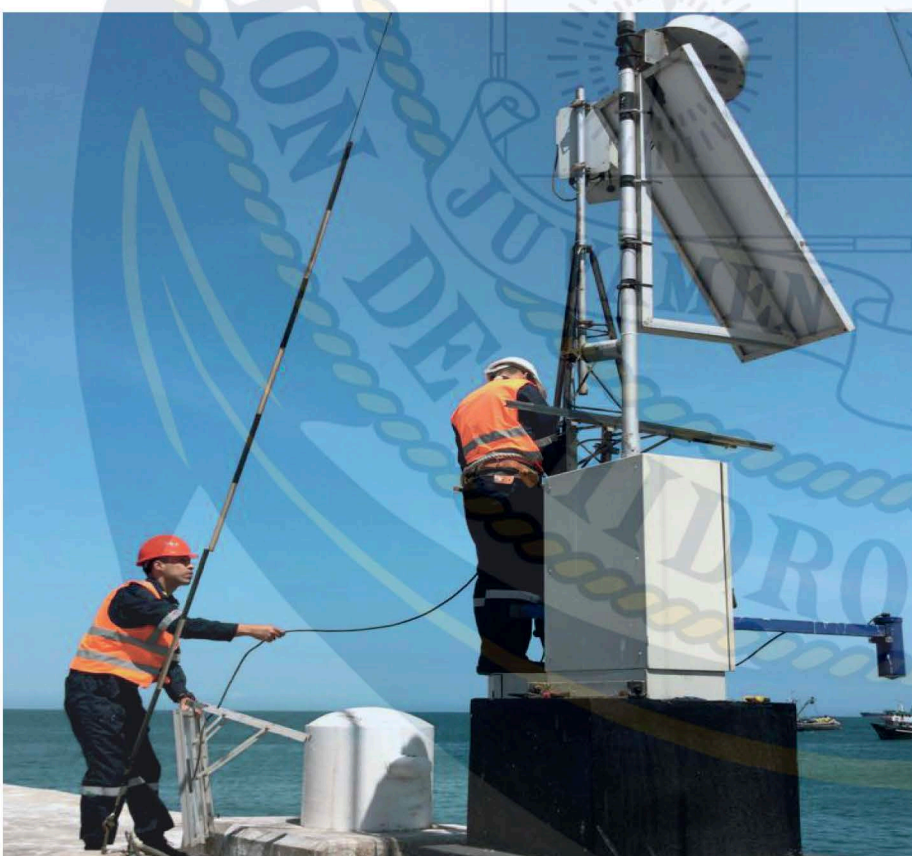
Las precipitaciones son muy bajas frente a la costa peruana, excepto al norte de los 6°S. El cielo es despejado en el verano y permanece casi totalmente cubierto en el invierno por nubes estratiformes, especialmente hacia el sur de los 6°S; en las partes próximas a la costa la neblina disminuye generalmente la visibilidad de la línea costera. Esporádicamente alrededor de mediados del invierno, el cielo despeja parcialmente por corto periodo de tiempo.

El viento predominante frente a la costa peruana proviene de los Alisios del sureste, siendo en general más fuerte en invierno y débil en verano, con velocidades medias entre 6 a 12 nudos. Al sur de los 14°S frente a San Juan, el viento es más intenso y persistente del sureste.

Al norte de los 6°S frente a Talara, el viento es más variable, con direcciones del sur y suroeste en las cuatro estaciones del año. Los vientos más débiles no se presentan en la misma época a lo largo de la costa, por ejemplo en Talara ocurre en noviembre; en Chimbote en agosto y octubre; en Callao en enero y octubre, y en San Juan en marzo y mayo.

1.3 ¿CÓMO INTERPRETAR LA INFORMACIÓN DEL ATLAS?

En este Atlas se ofrecen algunas recomendaciones que facilitan la adecuada comprensión e interpretación de los diferentes mapas temáticos.

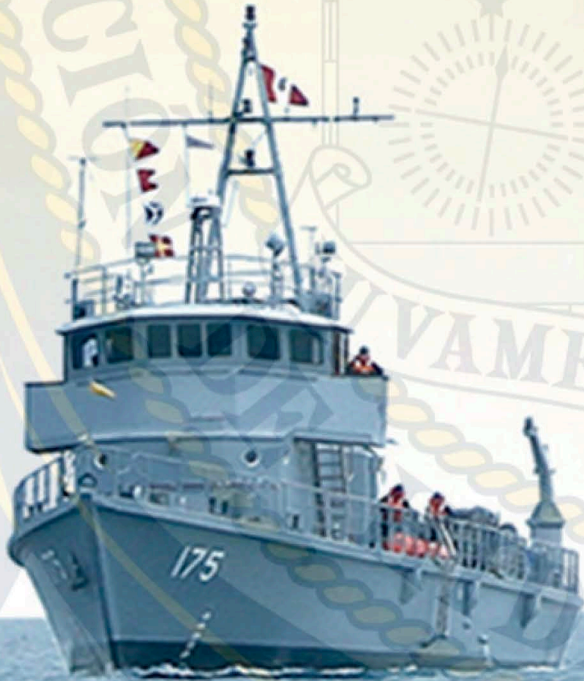


La información que se presenta está conformada por la climatología anual, estacional y mensual de: olas, temperatura del mar, salinidad, viento, temperatura superficial del aire y presión atmosférica en superficie; además del comportamiento de la temperatura del mar y salinidad a diferentes profundidades y en eventos extremos, y la climatología del percentil de 25 y 75 de las variables meteorológicas: viento, temperatura superficial del aire y presión atmosférica en superficie. Asimismo, la información del nivel del mar se presenta con el progreso del arribo de la onda mareal a lo largo de la costa peruana, las líneas de amplitud y fase constante de marea (líneas cotidales y de cofase) para las principales componentes armónicas y la distribución de los factores de forma, con el que se caracteriza el régimen de las mareas a lo largo y frente a la costa peruana; así como, su variabilidad en condiciones normales y ante la presencia de eventos extremos como con la ocurrencia del Fenómeno El Niño y La Niña.

Estas diferentes variables, basadas en mediciones *in situ* de una amplia variedad de fuentes, se representan de manera gráfica, ya sea en vectores o se distribuyen en diagramas de contornos con diferentes tonalidades cuyos valores y rangos, son mostrados con su unidad de medición, en escalas ubicadas a su costado.



MARINA DE GUERRA DEL PERÚ



DIRECCIÓN

AVIACIÓN

VIVAMEN

SECURITAS

ET

PROGRAFIA



2

METODOLOGÍA



2. METODOLOGÍA

2.1 OCEANOGRAFÍA

OLAS

DATOS EMPLEADOS

Se han considerado los datos del reanálisis del modelo de olas Wave Watch III (WWATCH III), implementado en DIHIDRONAV, así como información de cuatro boyas sembradas por esta Dirección frente a la costa norte del Perú. Por otro lado, como complemento a esta información se emplearon los datos de la boya 32012 de la Administración Nacional del Océano y la Atmósfera (NOAA) (NDBC, 2018).

Tanto los datos de las boyas de DIHIDRONAV como NOAA han permitido validar y calibrar los resultados del reanálisis del modelo de olas WWATCH III, con la finalidad de obtener información confiable.

1. Modelo numérico

Se ha empleado los resultados del reanálisis del modelo WWATCH III implementado y ejecutado en la DIHIDRONAV, con la finalidad de reconstruir las características del oleaje frente al mar peruano, por un periodo de 31 años (1979 a 2010).

La grilla empleada tiene una resolución espacial de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$, el cual corresponde a un espaciado aproximado de 55.56 km y una resolución temporal de 3 hr. (Ver gráfico 3).

2. Mediciones in situ

Se empleó información de las boyas sembradas por DIHIDRONAV en la zona norte del Perú, denominadas Virgen del Carmen, Virgen de las Mercedes, San Pablo y San Pedro, y cuya ubicación y tiempo de operación se muestra en la Tabla 1 y Gráfico 4.

La boya del NDBC-NOAA, identificada como 32012, se encuentra ubicada en las coordenadas $19^\circ 25.5'S$ y $85^\circ 4.68'W$, donde se dispone de información de olas desde el año 2007 al 2017 (Tabla 1), tales como: altura significativa, dirección y periodo pico, de forma continua y con un intervalo de 1 hr.

En el Gráfico 5, se muestra la serie de tiempo de la información de las boyas, en la que se observa que, en muchos casos, existe información intermitente, lo que nos representa que han existido re-sembrados de la boya. Por otro lado, en el Gráfico 6 se observa como ejemplo la serie de tiempo de un punto cualquiera en el área de interés correspondiente al modelo WWATCH III, en la que se aprecia una serie continua de datos desde 1979 a 2010.

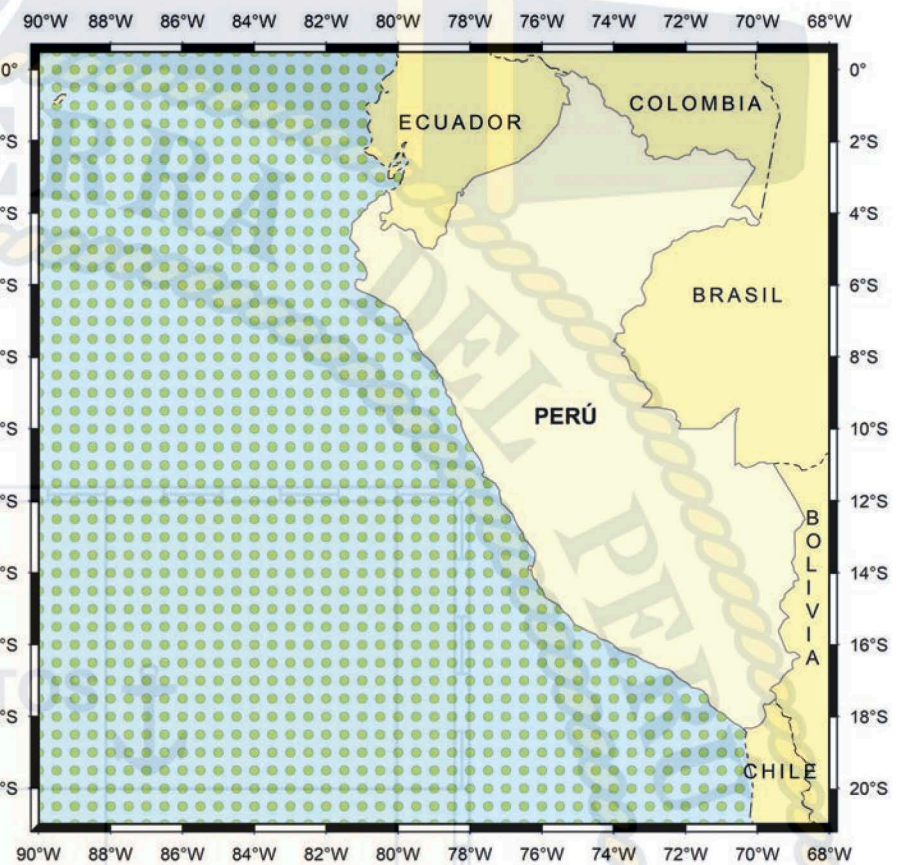


Gráfico 3. Puntos de grilla del modelo Wave Watch III - Perú.

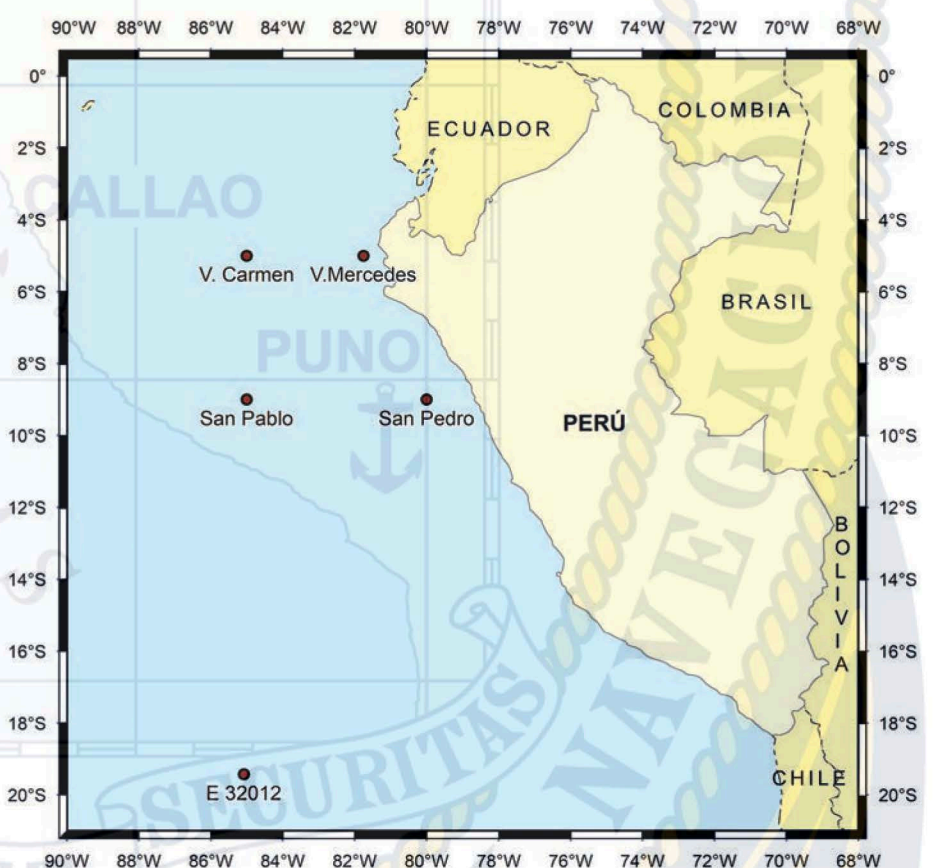


Gráfico 4. Ubicación de las boyas oceanográficas DIHIDRONAV y boya de NDBC-NOAA N° 32012.

Tabla 1. Mediciones con boyas oceanográficas DIHIDRONAV y NDBC-NOAA.

BOYA	Longitud (Oeste)	Latitud (Sur)	Fuente	Tiempo operación
Virgen del Carmen	85°00.2'	05°00.4'	DIHIDRONAV	29/10/2005 – 19-07/2007
Virgen de las Mercedes	81°45.4'	04°59.5'	DIHIDRONAV	28/09/2000 – 12/01/2001
San Pablo	85°00.0'	09°00.0'	DIHIDRONAV	25/09/2000 – 07/07/2001 17/12/2002 – 26/02/2003 09/06/2007 – 19/07/2007
San Pedro	80°05.7'	08°59.7'	DIHIDRONAV	23/09/2000 – 21/03/2001
Boya NOAA 32012	85° 4.68'	19° 25.5'	NDBC-NOAA	29/10/2007 – 31/12/2017

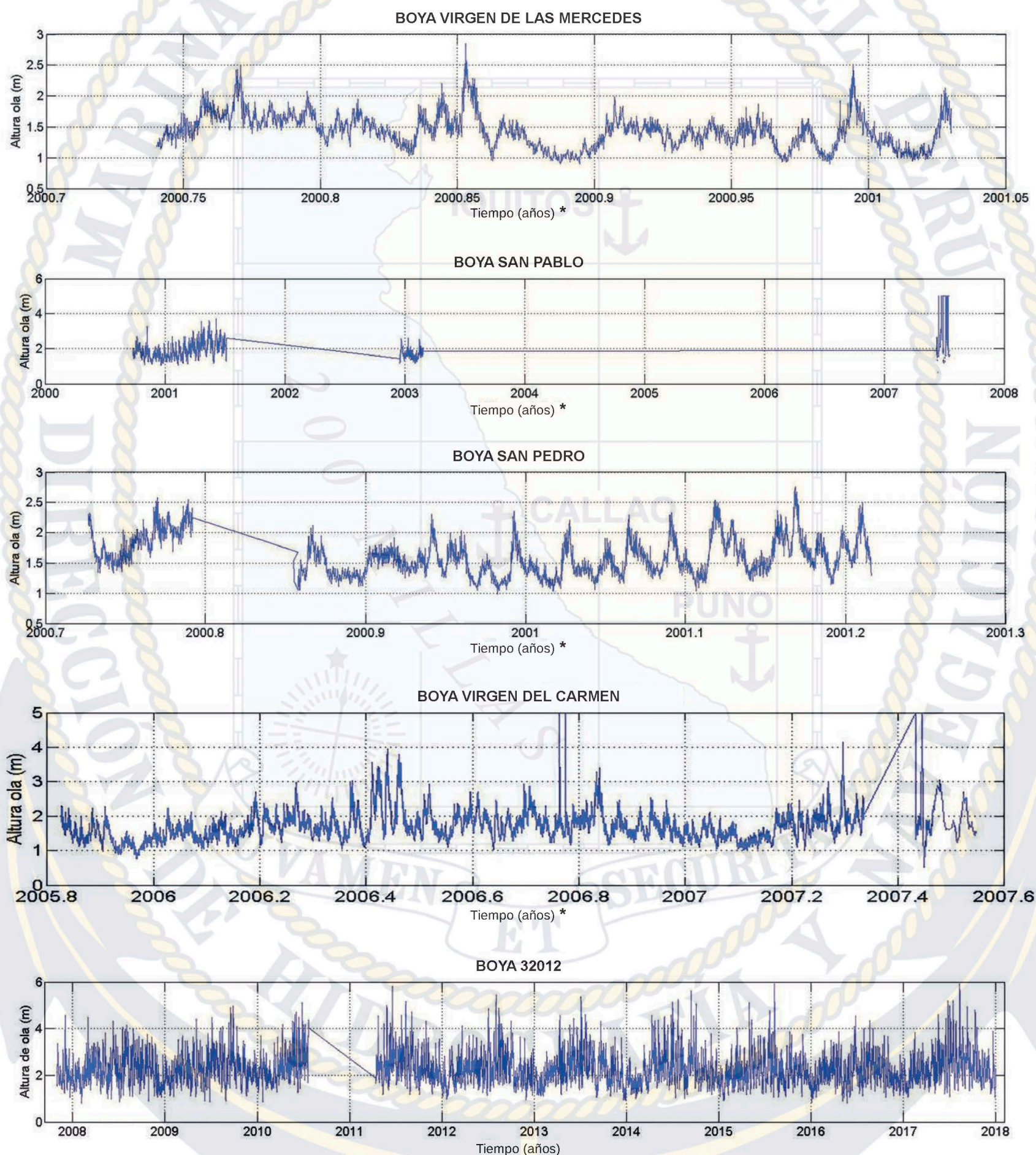


Gráfico 5. Serie de tiempo de altura de olas de las boyas DIHIDRONAV y de NDBC-NOAA.

* Escala temporal en décimas de años.

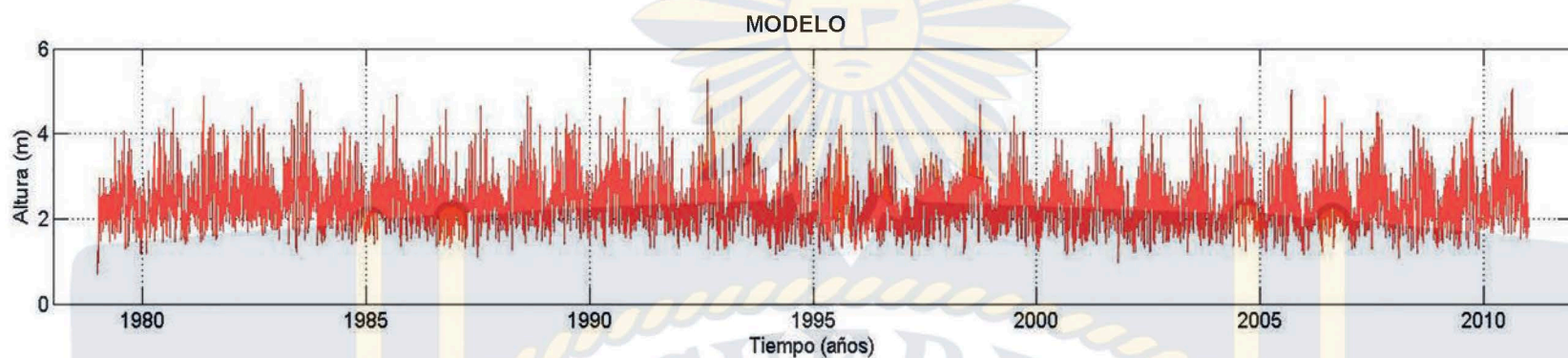


Gráfico 6. Serie de tiempo de altura de ola, en un punto del modelo WWATCH III.

ESQUEMA DE TRABAJO

El esquema de trabajo fue dividido en 4 etapas (Ver Gráfico 7):

1. Extracción de datos

Este proceso fue realizado tomando en cuenta la información del reanálisis del modelo WWATCH III, implementado en DIHIDRONAV para un periodo de 1979 al 2010, de la cual se extrajeron los datos de altura significativa, dirección y periodo pico de ola, con un intervalo de 3hr. Asimismo, se recolectaron los datos de la boya 32012 de la NOAA (NDBC, 2018) siendo estos la altura de ola significativa, periodo y dirección de la ola del periodo dominante, dicha información presenta una variación temporal de 1hr.

Para la extracción de los datos se utilizaron programas en formato GRADS, Csh, Fortran y AWK para sus lecturas lo que permitió extraer de forma operacional cada uno de los archivos disponibles, teniendo en consideración que por cada día se generó una carpeta con información. Una vez extraídos los datos, se enlazan y concatenan en el tiempo para que finalmente se pueda obtener una serie de tiempo.

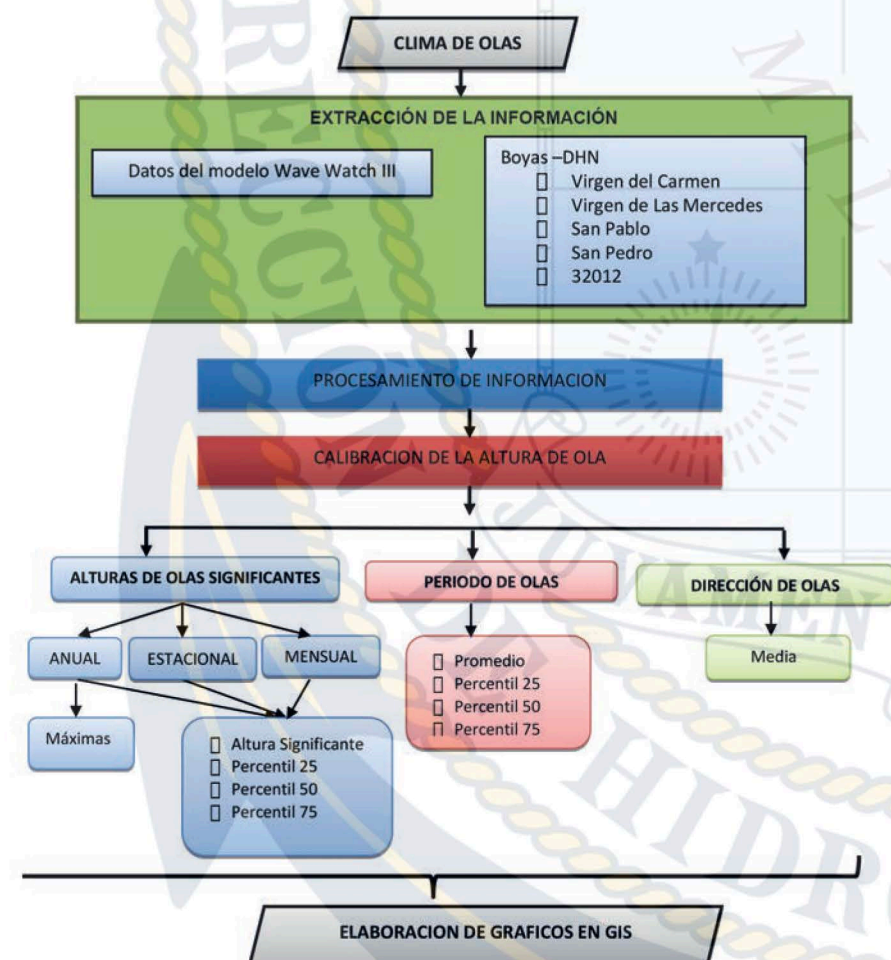


Gráfico 7. Diagrama de flujo de los procesos realizados para la sección olas.

Asimismo, mediante el uso del programa R se realizó un análisis exploratorio de datos, el cual consistió en caracterizar la información utilizando técnicas estadísticas, así como el análisis visual de los datos (gráficos de serie de tiempo, diagrama de cajas y diagramas de dispersión), con la finalidad de revelar la calidad de los mismos, lo que será vital para su empleo.

Con esta información explorada se realizaron gráficos de distribución y de relación entre variables, lo cual permite discriminar los datos inusuales de la serie.

2. Procesamiento de datos

Una vez efectuada la extracción de datos para todos los puntos del modelo y el enlace de la información de las boyas, se hicieron los programas en Fortran para realizar los cálculos estadísticos, obteniendo como información base, los valores máximos, mínimos, mediana, media, percentil 25 y 75 para cada una de las variables a analizar.

3. Calibración de la altura de ola

Para la calibración del modelo de olas se empleó el proceso de calibración sugerido por Minguez (Minguez *et. al*, 2011), y desarrollado por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IHCantabria, 2014) que permite ajustar los datos del modelo respecto a la instrumental mediante técnicas estadísticas.

Esta técnica de calibración fue realizada para los 5 puntos de mediciones de olas, obtenidas por las 4 boyas de DIHIDRONAV y la boya NDBC-NOAA 32012.

El proceso de calibración sugerido por Minguez, *et. al*, muestra la calibración de la altura de ola mediante la aplicación de un modelo exponencial, tal como se muestra:

$$H_S^C = a(\theta)(H_S^R)^{b(\theta)}$$

Donde:

H_S^C : Altura de ola de reanálisis numérico calibrada

H_S^R : Altura de ola de reanálisis numérico sin calibrar

$a(\theta)$ y $b(\theta)$: Coeficientes de calibración por cada dirección de aproximación del oleaje.

4. Elaboración de gráficos

Una vez calibrada la altura de ola, se extraen los datos calibrados por punto de grilla y se generan gráficos en el Sistema de información Geográfica ARCGIS.

RESULTADOS

El resumen estadístico de la información, muestran en las Tablas 2, Gráfico 8 y Gráfico 9 la información empleada con control de calidad, lo cual evidencia que lo modelado está en el orden de lo medido por las diferentes boyas. Se observa que los valores de alturas de olas medidas varían entre 0.16 y 5.00 m para la zona norte del Perú y entre 0.80 y 5.93 m en la zona sur del país. El modelo, por otro lado, indica valores entre 0.25 y 4.49 m en la zona norte del Perú y en la zona sur entre 0.71 y 5.26 m.

En la tabla 3 y entre el gráfico 10 al gráfico 14, se observa que existe una correlación lineal positiva, respecto a la comparación realizada entre los resultados del modelo WWATCH III con los resultados de las boyas, observando que la correlación sin calibrar se encuentra entre 0.791 y 0.916 con BIAS entre 0.054 y 0.916, mientras que, el modelo calibrado muestra una ligera mejora de la correlación, sin embargo el BIAS se ve notoriamente mejorado, lo que indica una buena calibración de la información.

Tabla 2. Estadística básica de los datos de las boyas y del modelo, en la ubicación de las boyas.

Tipo	Nombre	Mínimo	1er Cuartil	Mediana	Media	3er Cuartil	Máxima
Boya	32012	0.80	1.79	2.16	2.24	2.61	5.93
	Virgen de las Mercedes	0.90	1.24	1.43	1.43	1.59	2.85
	Virgen del Carmen	0.16	0.97	1.13	1.14	1.29	5.00
	San Pedro	0.99	1.37	1.56	1.61	1.79	2.76
	San Pablo	0.66	1.58	1.81	1.90	2.14	5.00
Modelo	32012	0.71	1.99	2.31	2.37	2.68	5.26
	Virgen de las Mercedes	0.25	1.43	1.66	1.70	1.91	3.79
	Virgen del Carmen	0.25	1.62	1.84	1.89	2.11	4.24
	San Pedro	0.39	1.65	1.89	1.94	2.18	4.23
	San Pablo	0.38	1.80	2.06	2.11	2.35	4.49

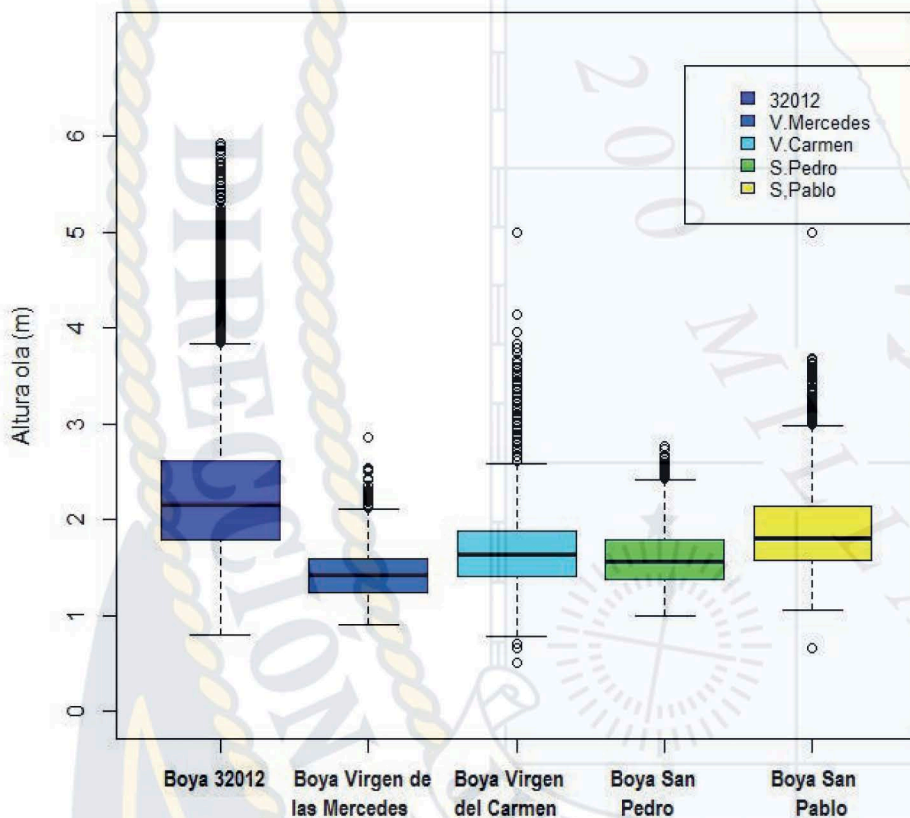


Gráfico 8. Boxplot de datos medidos con boyas.

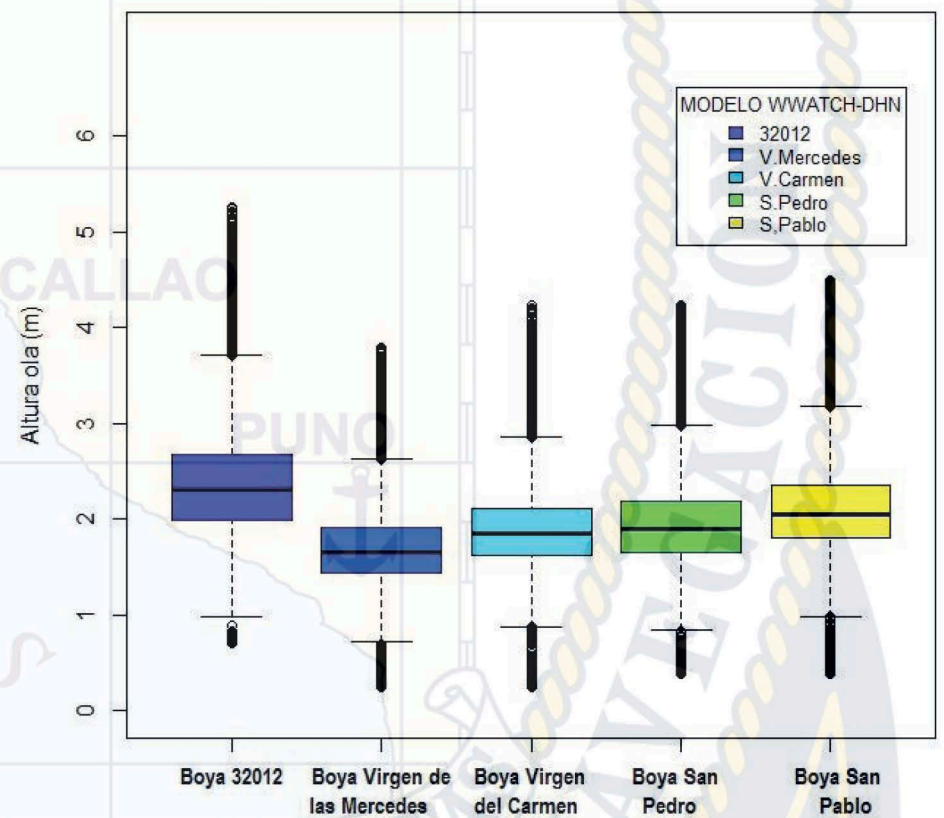


Gráfico 9. Boxplot de los resultados del modelo WWATCH III en los puntos de boyas.

Tabla 3. Correlación y BIAS entre lo modelado y lo medido (boyas) sin calibrar y calibrado.

Nombre	Comparación entre el modelado y las boyas DIHIRONAV y NDBC-NOAA			
	Sin Calibrar		Calibrado	
	Correlación (r)	BIAS	Correlación (r)	BIAS
32012	0.916	0.130	0.916	0.0450
Virgen de las Mercedes	0.791	0.159	0.795	0.0030
Virgen del Carmen	0.869	0.054	0.877	0.0040
San Pedro	0.800	0.128	0.806	0.0060
San Pablo	0.880	0.103	0.888	0.0014

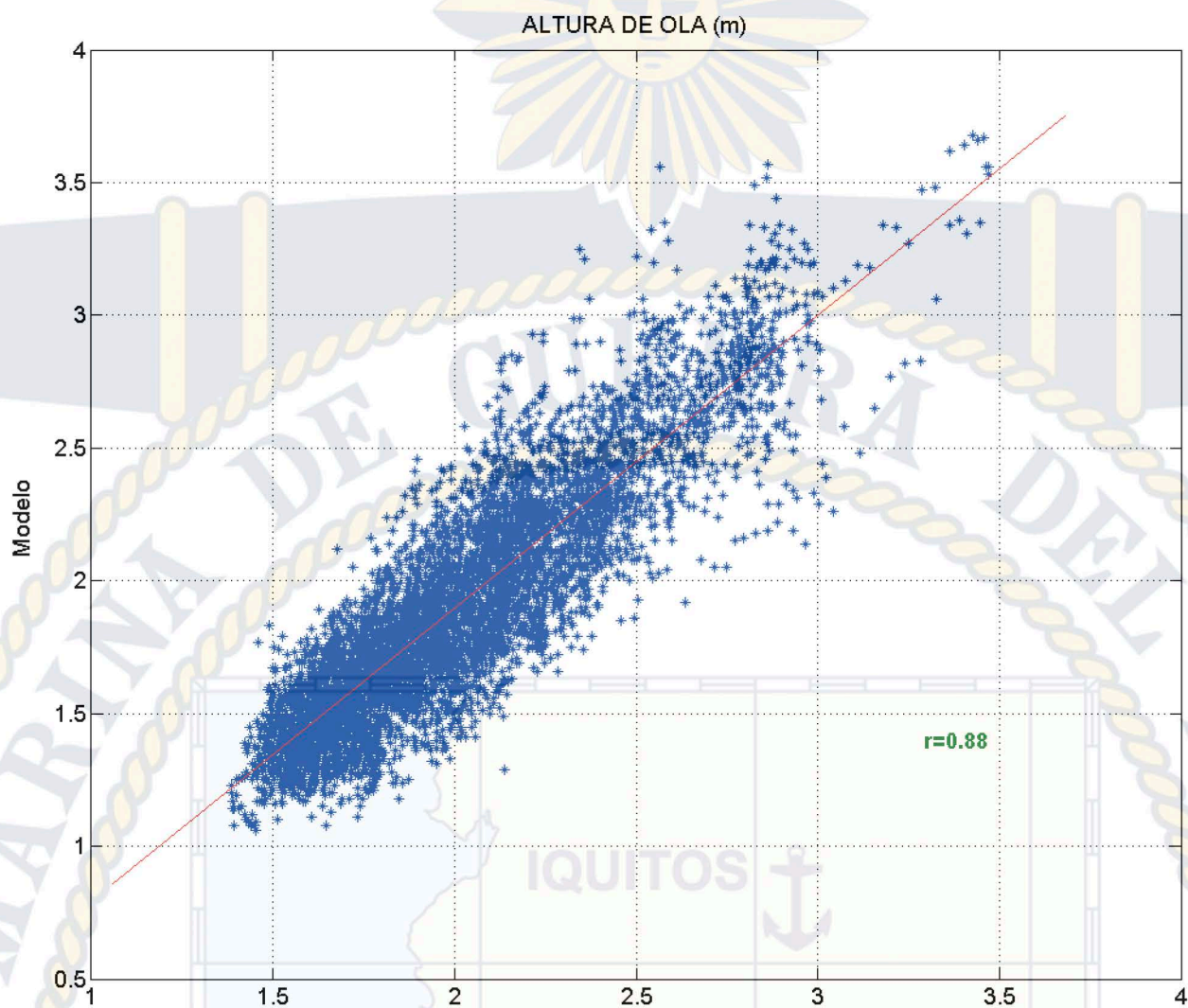


Gráfico 10. (a) sin calibrar. Correlación de los resultados del modelo WWATCH III y la boya San Pablo para el punto 85°00.0'W y 09°00.0'S.

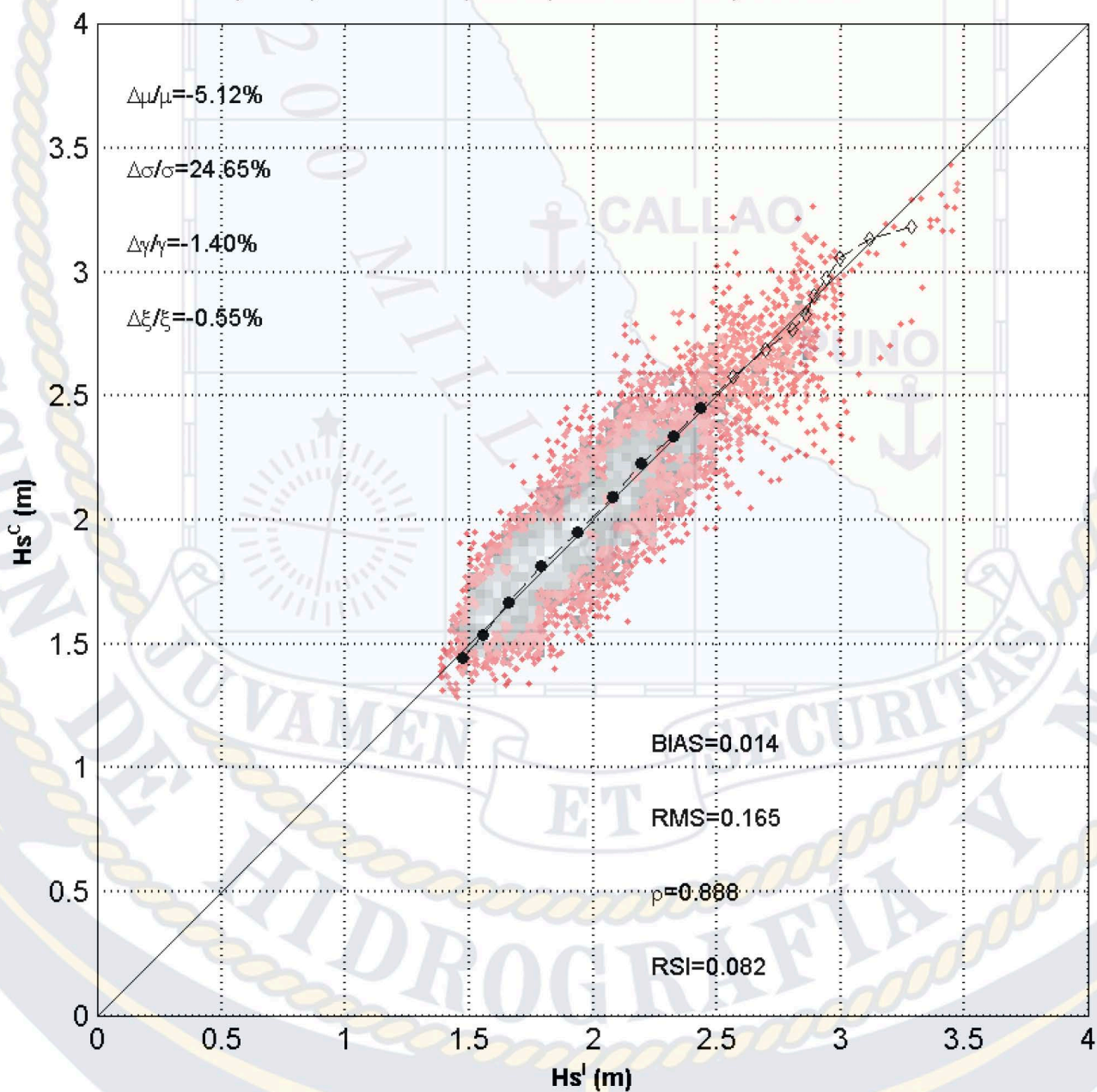


Gráfico 10. (b) calibrado. Correlación de los resultados del modelo WWATCH III y la boya San Pablo para el punto 85°00.0'W y 09°00.0'S.

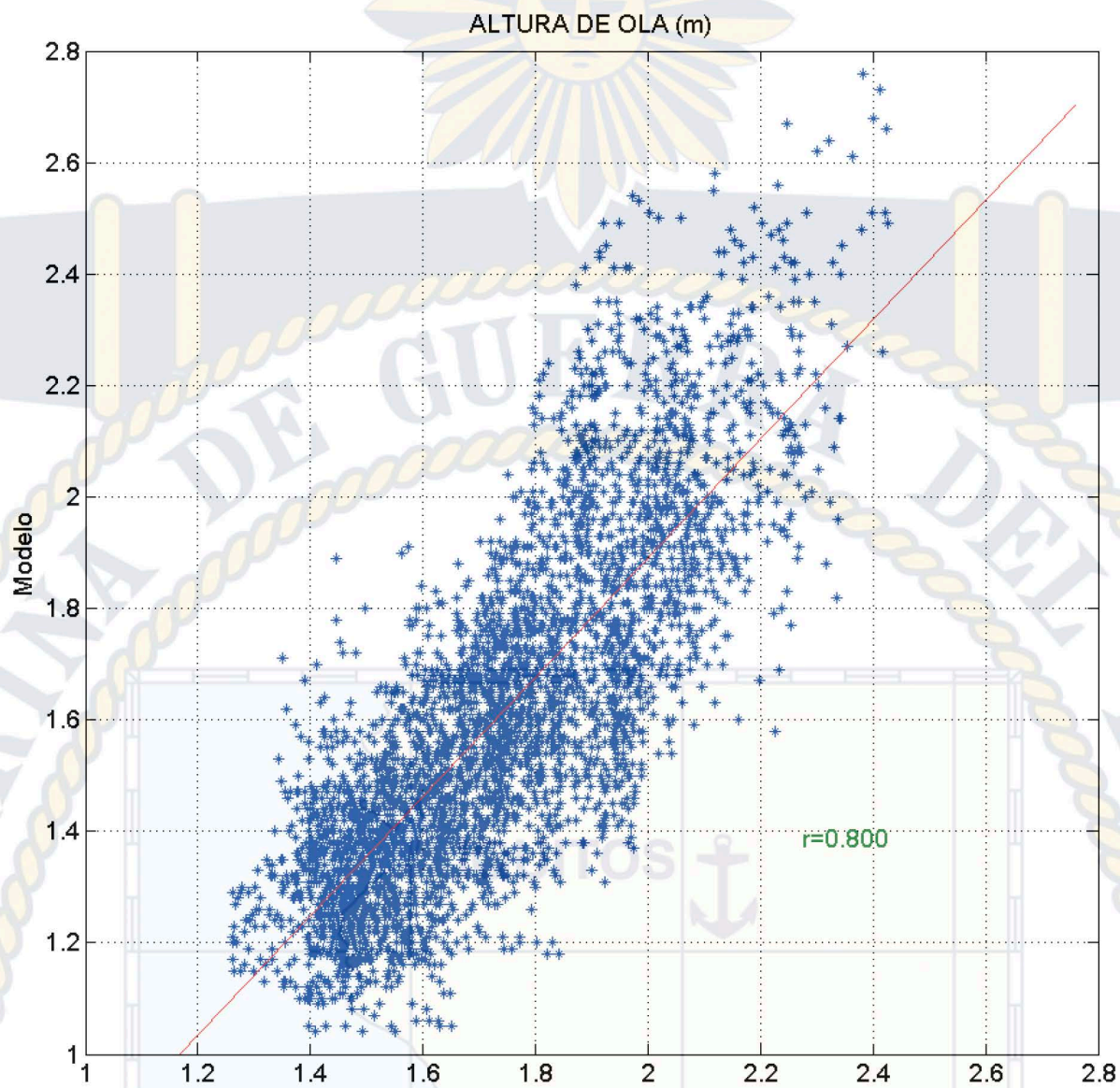


Gráfico 11. (a) sin calibrar. Correlación de los resultados del modelo WWATCH III y la boya San Pedro para el punto 80°05.7'W y 08°59.7'S.

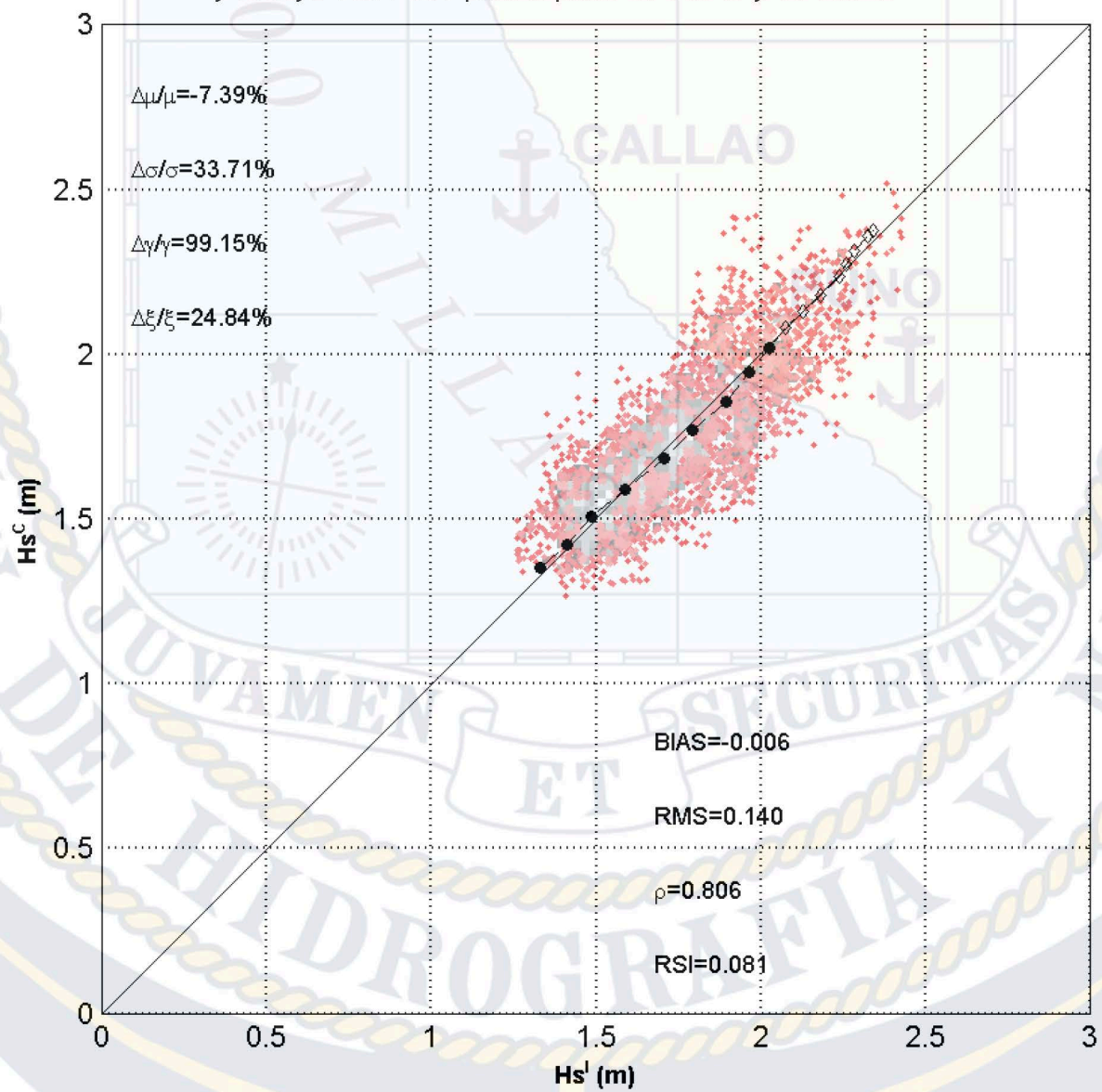


Gráfico 11. (b) calibrado. Correlación de los resultados del modelo WWATCH III y la boya San Pedro para el punto 80°05.7'W y 08°59.7'S.

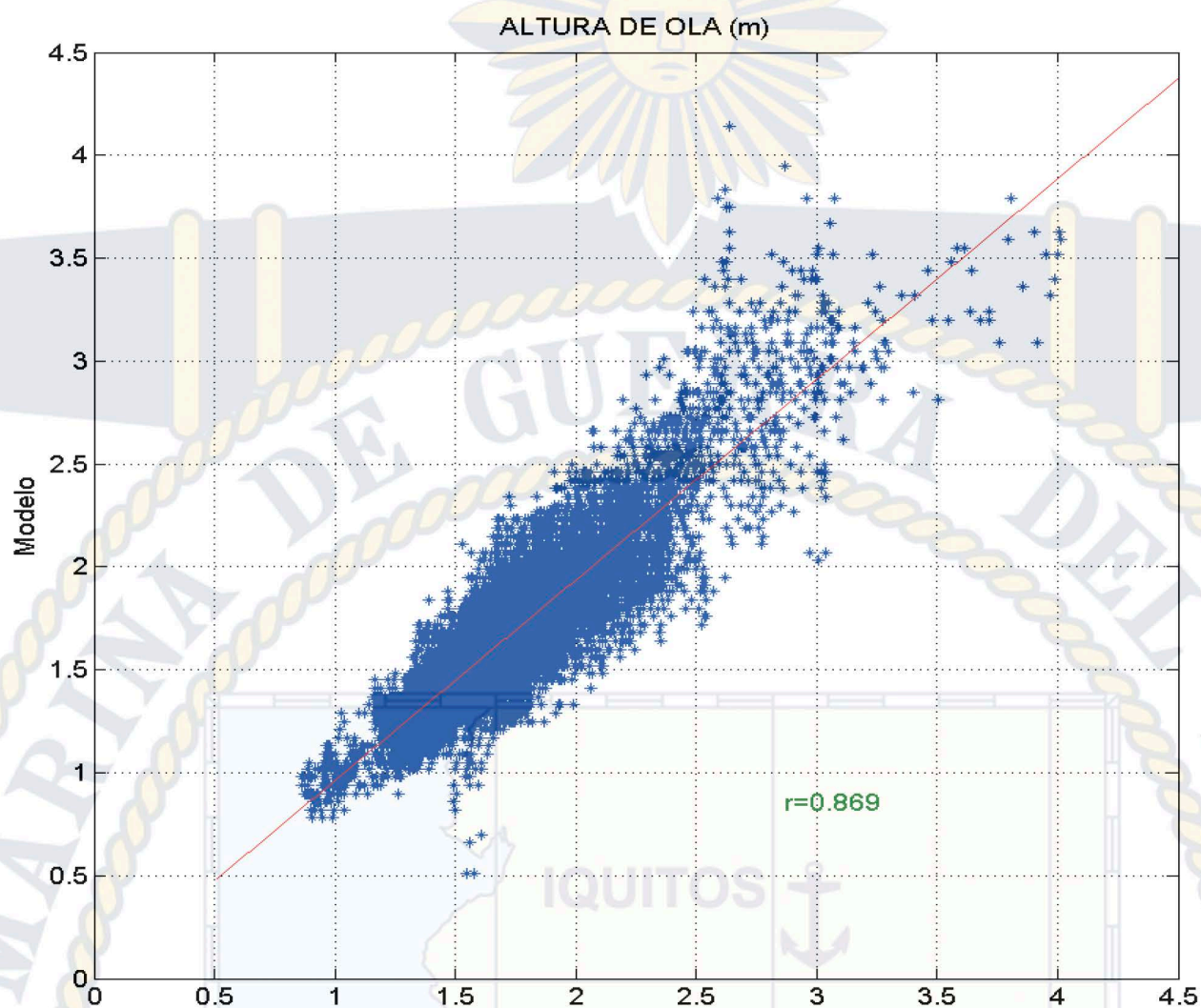


Gráfico 12. (a) sin calibrar. Correlación de los resultados del modelo WWATCH III y la boya Virgen del Carmen para el punto 85°00.2'W y 05°00.4'S.

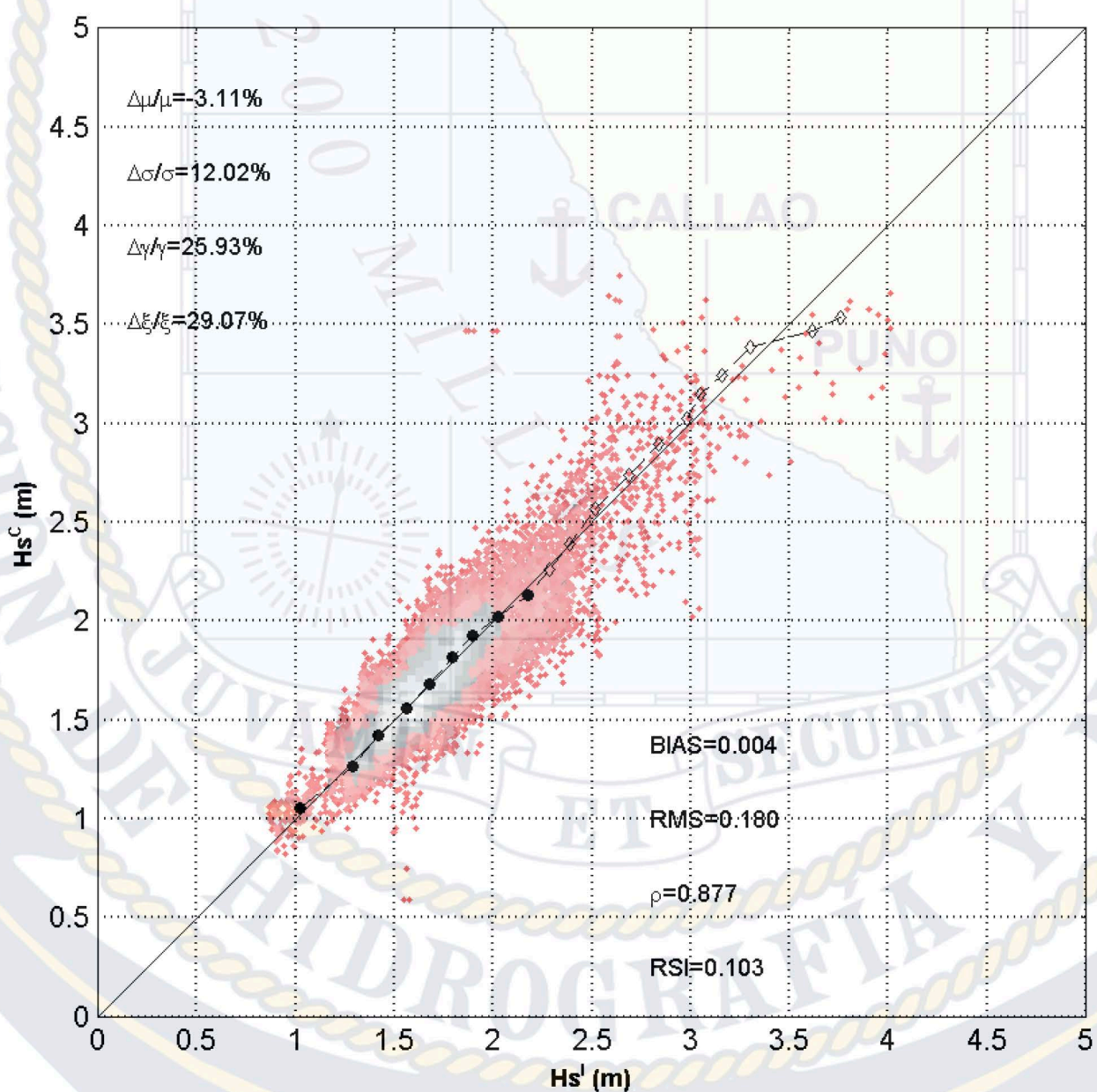


Gráfico 12. (b) calibrado. Correlación de los resultados del modelo WWATCH III y la boya Virgen del Carmen para el punto 85°00.2'W y 05°00.4'S.

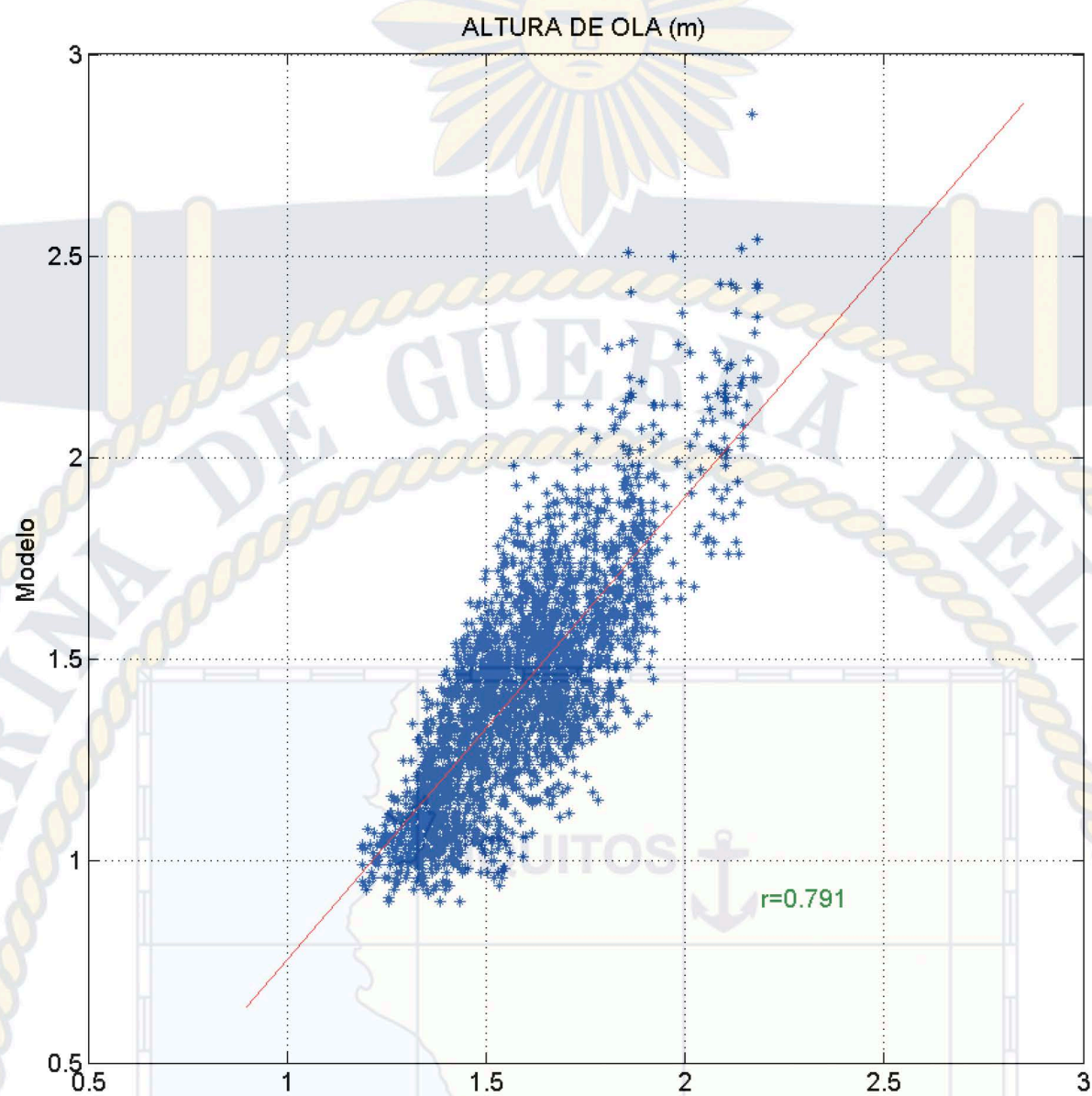


Gráfico 13. (a) sin calibrar. Correlación de los resultados del modelo WWATCH III y la boya Virgen de las Mercedes para el punto 81° 45.4'W y 04°59.5'S.

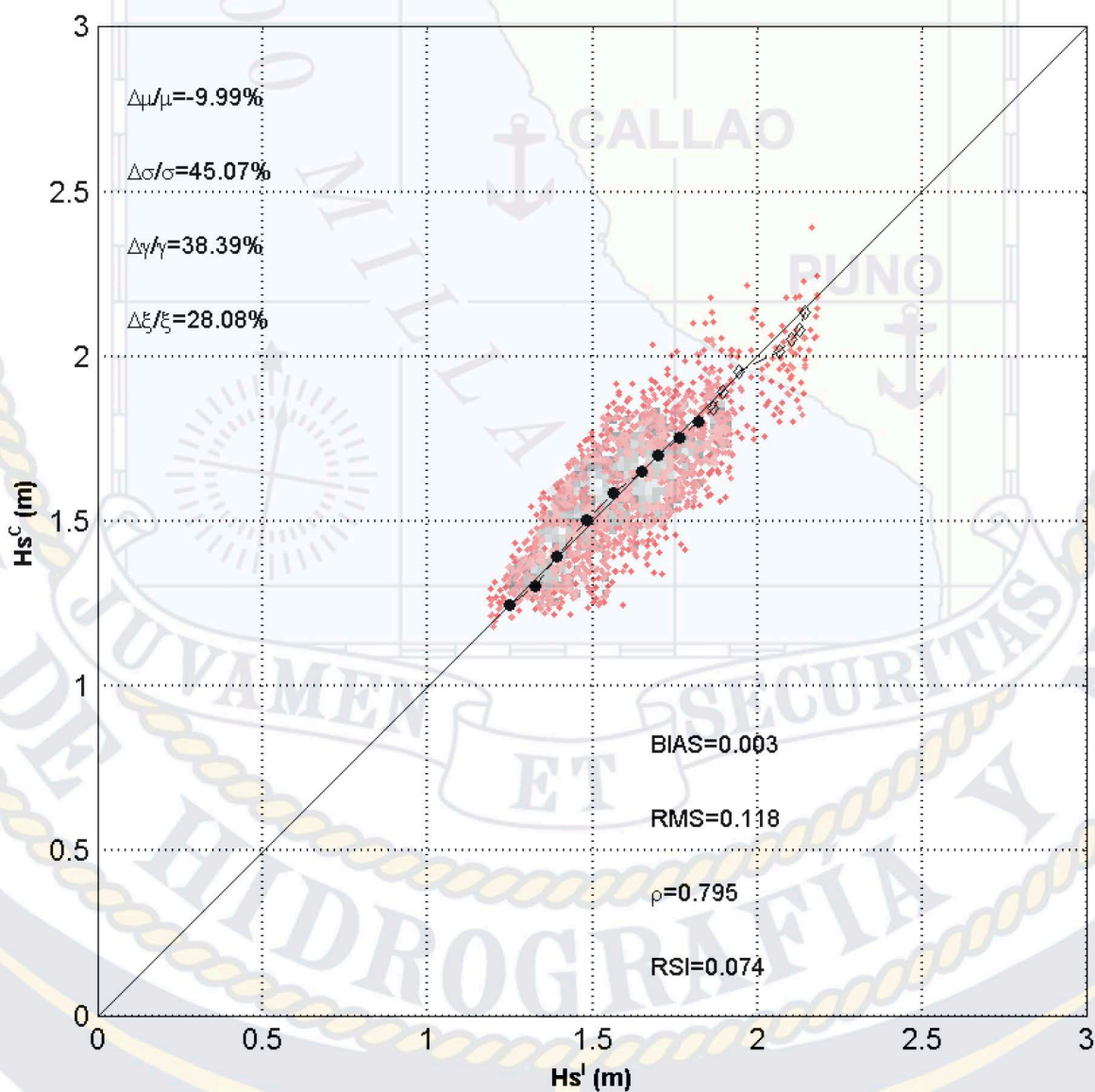


Gráfico 13. (b) calibrado. Correlación de los resultados del modelo WWATCH III y la boya Virgen de las Mercedes para el punto 81° 45.4'W y 04°59.5'S.

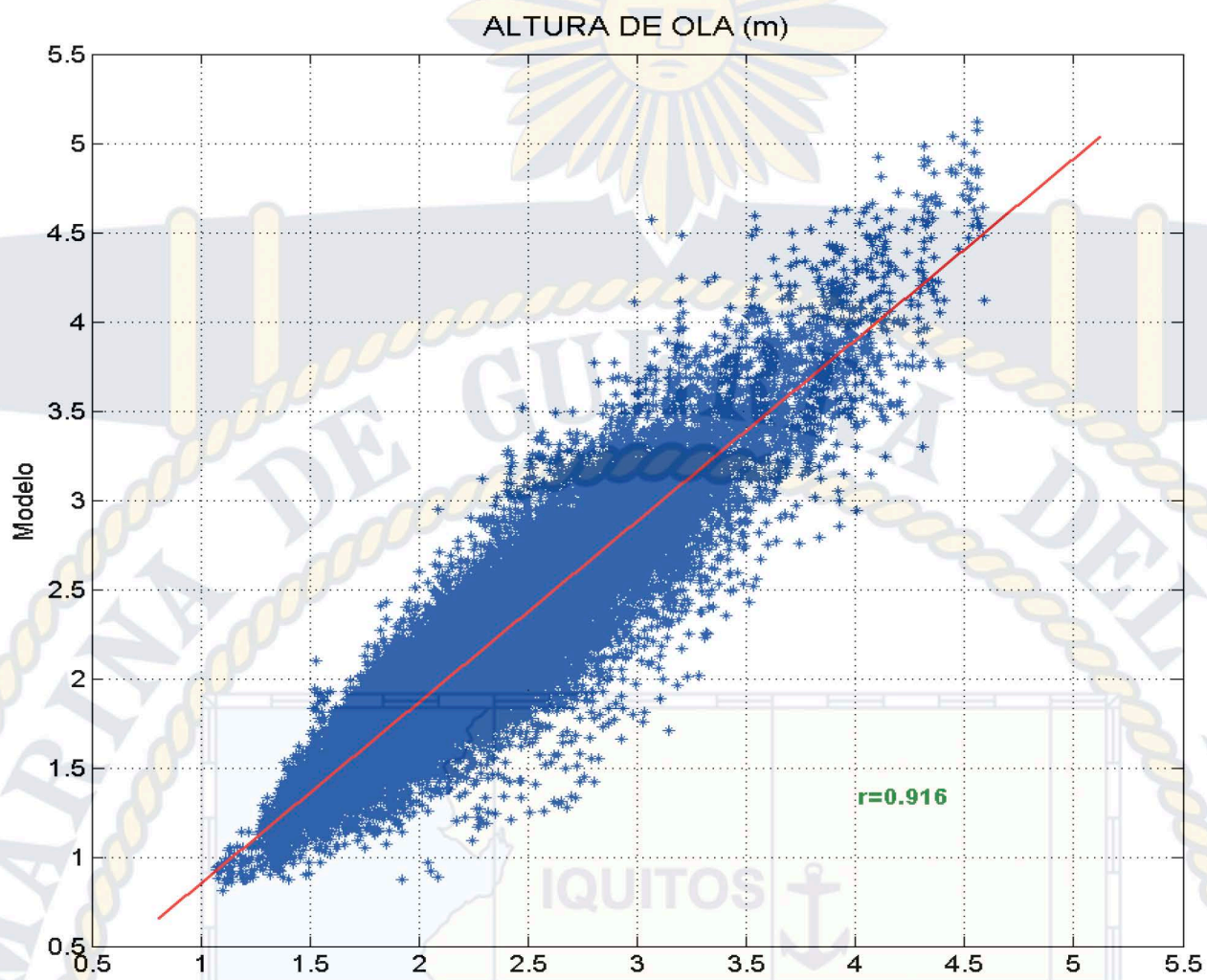


Gráfico 14. (a) sin calibrar. Correlación de los resultados del modelo WWATCH III y la boya NDBC-NOAA 32012 para el punto 85° 4.68'W y 19 25.5'S.

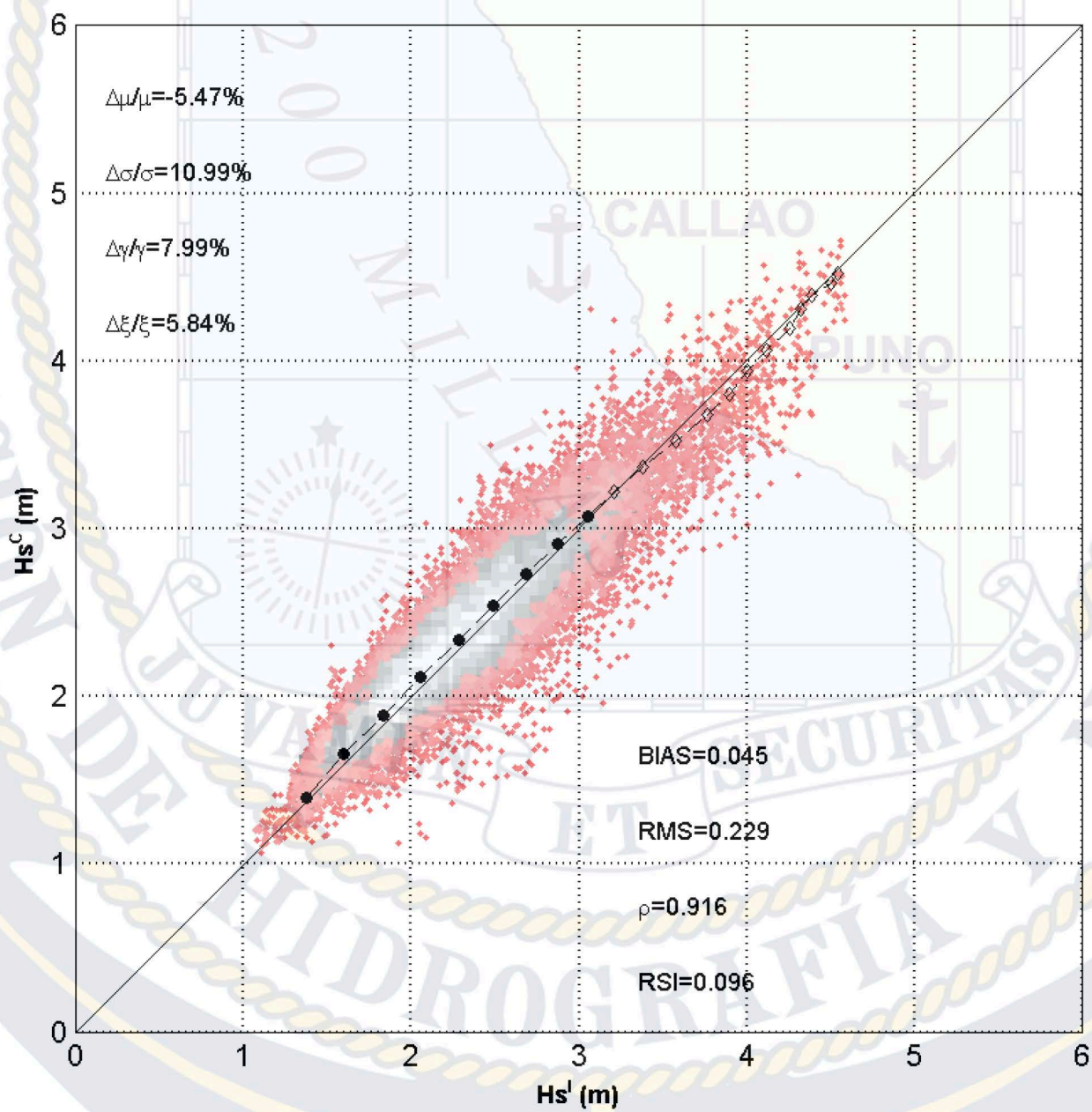


Gráfico 14. (b) calibrado. Correlación de los resultados del modelo WWATCH III y la boya NDBC-NOAA 32012 para el punto 85° 4.68'W y 19 25.5'S.

TEMPERATURA Y SALINIDAD DEL MAR

El proceso de elaboración de los mapas de las variables oceanográficas se realiza en seis etapas o actividades: recopilación y almacenamiento de datos, análisis de datos, procesamiento de datos, almacenamiento de matriz de datos y mapas.

Estación	TSM	T-10m	T-20m	T-30	T-50	T-75	T-100	T-200
Verano	X	x	x	x	x	x	x	x
Otoño	X	x	x	x	x	x	x	x
Invierno	X	x	x	x	x	x	x	x
Primavera	X	x	x	x	x	x	x	x

Tabla 4. Relación de matrices resultantes para la temperatura del mar.

RECOPIACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Los perfiles de Temperatura (T) y Salinidad (S) se obtuvieron de dos fuentes: los cruceros oceanográficos de DIHIDRONAV del periodo 1994-2014; y las boyas ARGO del periodo 2000-2014, haciendo un total de 2178 perfiles de temperatura y salinidad de los cruceros de DIHIDRONAV y 3231 perfiles de temperatura y salinidad de las boyas ARGO.

Estación	SSM	S-10m	S-20m	S-30	S-50	S-75	S-100	S-200
Verano	X	x	x	x	x	x	x	x
Otoño	X	x	x	x	x	x	x	x
Invierno	X	x	x	x	x	x	x	x
Primavera	X	x	x	x	x	x	x	x

Tabla 5. Relación de matrices resultantes para la salinidad del mar.

El dominio espacial de ambas fuentes abarca la región desde la longitud 070°W hasta 085°W y latitud 00s hasta 20°S.

Los perfiles que se obtuvieron de los cruceros oceanográficos se ubican frente al Puerto Pizarro, Paita, Punta Falsa, Malabrigo, Chimbote, Bermejo, Callao, Pisco, San Juan, Atico e Ilo. Esta información se levantó con el apoyo de unidades hidrográficas de DIHIDRONAV, haciendo uso de los CTD (Sonda de conductividad, temperatura y profundidad).

Para recopilar la información se elaboró un script de descarga automatizada, en el programa Rmatlab2016a, a fin de establecer un solo formato de datos matriciales, para su posterior análisis.

ANÁLISIS DE DATOS

El análisis incluye el control de calidad de los datos, a través de algoritmos que ayudan a eliminar datos erróneos que están fuera de los rangos de temperatura y salinidad. Se eliminaron datos duplicados dentro de un mismo perfil, en particular del formato CNV. Luego, se suavizaron los perfiles aplicando método "cubic spline". Finalmente, se filtraron valores NaN (no hay dato) para evitar errores en el posterior procesamiento.

PROCESAMIENTO DE DATOS

Se interpolaron los perfiles de temperatura y salinidad por metro de profundidad, para contar con el mismo formato de datos. Luego estos perfiles se organizaron por cuadro marsden (1° x 1°) y la estación del año.

ALMACENAMIENTO DE DATOS

Posteriormente, se determinó el promedio multianual, de los perfiles de temperatura y salinidad, por cuadro marsden y estación del año, para ello se utilizó un script de ordenamiento y filtrado de datos, del que se extrajeron las variables de temperatura y salinidad en matrices, cuyo orden en columnas está estipulado en función a la latitud y longitud a profundidades de 0, 10, 20, 30, 50, 75, 100 y 200 metros; resultando entre las dos variables la cantidad de sesenta y cuatro (64) matrices siendo esta la cantidad de archivos para la elaboración de mapas del atlas.

ELABORACIÓN DE MAPAS

Finalmente, las matrices resultantes pasaron a ser la información de entrada para la generación de los mapas de cada variable de estudio para lo cual se utilizó del programa ArcGis 10.5. (tabla 4 y 5).

NIVEL MEDIO DEL MAR

RECOPIACIÓN DE DATOS

Para el nivel del mar, a nivel costero, se ha utilizado la información de la Red Mareográfica Nacional, compuesta por diecinueve estaciones, dispuestas a lo largo del litoral peruano, ver tabla 6 y gráfico 15.

Del análisis armónico de las mareas, que permite definir las variaciones del nivel del mar en función de un número finito de contribuciones armónicas relativas a la posición del sistema sol-tierra-luna, se han empleado las principales componentes armónicas de las mareas, específicamente, las amplitudes y fases de M2, S2, N2, K1y O1, así como, los factores de forma o coeficiente de Courtier para la caracterización del régimen de mareas. Del análisis no armónico de las mareas, se obtienen los promedios mensuales del nivel del mar mediante técnicas estadísticas, a fin de evidenciar su variabilidad ante la presencia de eventos extremos como los fenómenos El Niño o La Niña, así como también registrar las condiciones normales.

Asimismo, se ha empleado la información disponible de los modelos globales de mareas oceánicas, tales como:

- Modelo Global de Mareas de Solución Inversa del TOPEX (OSU TOPEXJ Poseidon Global Inverse Solution TPXO), que combina las ecuaciones de mareas de Laplace y los datos observados directos de mareómetros y altimetría satelital, con ajustes de mínimos cuadrados. Dicho modelo ha sido desarrollado por Gary Egbert y Lana Erofeeva, con el cual se ha obtenido información de las constantes armónicas, empleándose el programa desarrollado bajo el entorno del Matlab, denominado Tidal Driver Model (TMD), obtenido con OTIS (OSU Tidal Inversion Software), paquete de inversión de datos de mareas regionales y locales.
- Servicio de Monitoreo del Ambiente Marino de Copernicus (Marine Environment Monitoring Service - Copernicus), administrado por la Agencia Espacial Europea (The European Space Agency - ESA) que consta de tres componentes: la componente espacial (formada por los satélites SENTINEL y por las misiones realizadas por agencias europeas e internacionales que contribuyen con datos), la componente in situ (formada por las redes de monitoreo, como boyas, estaciones meteorológicas, etc. que proveen al programa datos para calibrar los satélites), y la componente de servicios, dedicada a resguardar y publicar la información. Los datos utilizados de este servicio, fueron las anomalías del nivel del mar, recopiladas durante las misiones: Jason-3, Sentinel-3A, HY-2A, Sarai/AitiKa, Cryosat-2, Jason-2, Jason-1, T/P, ENVISAT, GFO, ERS1/2.

Tabla 6. Red Mareográfica Nacional.

ZONA	ESTACIÓN	UBICACIÓN	
		Latitud	Longitud
NORTE	La Cruz	Muelle de PACIFIC RUBIALES	
		03° 38' 00.7" S	080° 35' 14.6" W
	Talara	Muelle de PETROPERU	
		04° 34' 30.36" S	081° 16' 57.93" W
	Paita	Terminales Peruanos Euroandinos	
		05° 05' 01.28" S	081° 06' 27.87" W
Bayóvar	Muelle de PETROPERU		
	05° 47' 38.18" S	081° 03' 16.04" W	
Lobos de Afuera	Ensenada de Isla Lobos de Afuera		
	06° 56' 12.80" S	080° 43' 29.60" W	
CENTRO	Salaverry	Cerca al Muelle N° 2 de ENAPU	
		08° 13' 40.55" S	078° 58' 54.58" W
	Chimbote	Muelle N° 2 de ENAPU	
		09° 04' 34.61" S	078° 36' 45.85" W
	Huarmey	Muelle de ANTAMINA	
		10° 05' 57.57" S	078° 10' 54.11" W
	Huacho	Muelle de ENAPU	
		11° 07' 18.76" S	077° 36' 58.84" W
Callao	Espigón norte de la Escuela Naval		
	12° 04' 08.21" S	077° 10' 00.42" W	
Cerro Azul	Muelle MUNICIPAL		
	13° 01' 33.3" S	076° 29' 07.8" W	
Pisco	Muelle La Puntilla		
	13° 49' 10.55" S	076° 15' 07.08" W	
SUR	San Juan	Muelle del ex grifo de la Base Naval	
		15° 21' 19.56" S	075° 09' 37.66" W
	Chala	Desembarcadero Pesquero Artesanal	
		15° 51' 58.01" S	074° 14' 53.06" W
	Atico	Muelle de TASA	
		16° 13' 52.77" S	073° 41' 39.19" W
	La Planchada	Muelle CFG INVESTMENT	
		16° 24' 17.14" S	073° 13' 15.09" W
Matarani	Muelle de TISUR		
	17° 00' 03.52" S	072° 06' 31.65" W	
Ilo	Muelle de ENAPU		
	17° 38' 40.34" S	071° 20' 54.88" W	
Caleta Grau	Muelle de PRODUCE		
	17° 59' 36.63" S	070° 53' 03.43" W	

RESOLUCIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL

El modelo global de mareas de solución inversa TPXO, tiene una resolución espacial de $1/6^\circ \times 1/6^\circ$. Los datos del TOPEX/Poseidon corresponden al periodo comprendido entre el 22 de setiembre de 1992 al 31 de diciembre de 1997. Mientras que los datos del Servicio de Monitoreo del Ambiente Marino de Copernicus, están disponibles como promedios diarios sobre una malla de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ de resolución, y corresponden a los meses de diciembre de los años 1997 y 2001, y noviembre del 2007.

CONTROL DE CALIDAD DE LA INFORMACIÓN

Para el control de calidad de los registros de la Red Mareográfica Nacional, se empleó el programa de Procesamiento de Datos del Nivel del Mar "nmpr2" del JASL (Joint Archive for Sea Level) de la Universidad de Hawai y del Centro de Datos Oceanográficos de la NOAA, cuyo método se basa en la inspección de gráficos de residuos, definidos como los datos observados menos las predicciones de mareas, donde se identifican los posibles errores en la estabilidad del nivel de referencia, errores en tiempo de toma de los datos, ausencia de datos y picos erróneos.

Adicionalmente, se realizaron gráficos de dispersión analizándose las

predicciones de mareas versus las mareas registradas, obteniéndose coeficientes de correlación mayores a 0.7, valores aceptables, considerando que, en la variación del nivel del mar, están involucrados otros fenómenos además de la marea.

Respecto a los modelos globales, el TPXO realizó una validación cruzada, que consiste en retirar los datos de una de las estaciones utilizadas en el modelo y reemplazarla por su predicción, para luego comparar la predicción con los datos de la estación. Si la diferencia es aceptablemente pequeña, entonces se da por validado el modelo numérico. Esta operación, se repite con todas las estaciones que se utilizan y así evaluar el error de la solución. En algunos puntos el error es mayor que en otros, debido a las características del lugar, por ejemplo, la solución no es tan buena en los golfos, ya que la fricción modifica el movimiento de la marea. En la costa del Perú no se tiene ese problema, por lo que la solución del modelo TOPEX es adecuada para estimar la marea. La información del modelo y su metodología es descrita en detalle por Egbert et. al 2002.

Asimismo, la información obtenida por los satélites provista por Copernicus, es sometida a un proceso de control de calidad con el fin de remover datos que están fuera de los rangos permitidos. Posteriormente, se realizan los procesos de validación, filtrado e interpolación para obtener el valor del nivel del mar.



Gráfico 15. Red Mareográfica Nacional.

2.2 METEOROLOGÍA

VIENTO, TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL AIRE Y PRESIÓN ATMOSFÉRICA

RECOPIACIÓN DE LOS DATOS METEOROLÓGICOS

La recopilación consiste en la reunión de los datos meteorológicos de la zona de estudio, siendo estas: el viento, temperatura superficial del aire y presión atmosférica. Los datos meteorológicos provienen de las siguientes fuentes:

- La información meteorológica del modelo numérico ERA-Interim, los cuales fueron descargados de los servidores de The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), para la zona de estudio comprendido entre las latitudes 1°N a 21°S y las longitudes 68°W a 85°W, y para el periodo 1981-2010, con una frecuencia de cada seis horas, y resolución espacial de 1° x 1°.
- Los datos meteorológicos de los cruceros realizados por DIHIDRONAV desde el año 1981 hasta el 2010.
- Los datos meteorológicos mensuales de las estaciones meteorológicas costeras de DIHIDRONAV desde el año 1981 hasta el 2010.

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS METEOROLÓGICOS

Para la determinación de la distribución espacial de los datos meteorológicos de DIHIDRONAV provenientes del reanálisis, de los cruceros y estaciones costeras en la zona de estudio, se realizaron los siguientes procesos:

1. El control de calidad de los datos meteorológicos

a. Control de calidad de los cruceros, consideró los siguientes parámetros:

- El periodo de registro de la observación meteorológica en forma horaria, cada 3 horas o aleatoria, promediando según su registro.
- La observación meteorológica incompleta: la falta de algunos de los parámetros requeridos no se consideró para el promedio.
- Los errores en la digitación de la información meteorológica, se corrigieron con la verificación de las planillas respectivas.
- Las coordenadas geográficas de la observación meteorológica no correspondían a la ruta de navegación del crucero, estos datos fueron corregidos y otros eliminados.
- Sobre el valor de la variable en estudio no coincidía con las condiciones meteorológicas de la ruta de navegación, por lo que se eliminó dicho dato.

b. El control de calidad de las estaciones meteorológicas

Los datos meteorológicos se obtuvieron de la base de datos de DIHIDRONAV, siendo estos los promedios mensuales y anuales desde el año 1981 hasta el 2010.

c. El control de calidad de la información del reanálisis

La validez de los datos meteorológicos del reanálisis se efectuó mediante una correlación entre los datos del reanálisis y de las estaciones de DIHIDRONAV, para ello se eligió un punto de grilla marítimo más próximo a cada estación, realizando diagramas de dispersión con los datos mensuales desde enero

de 1981 hasta diciembre de 2010, resultando el coeficiente de determinación fue mayor a 0.5 en casi todos los casos.

El gráfico 16 muestra un ejemplo de correlación para la costa norte entre los datos registrados por la estación costera Islas Lobos de Afuera y los asignados por reanálisis. La dispersión de los valores en el caso de la temperatura del aire, es sesgado hacia valores más altos en el reanálisis. Esto indica que el reanálisis tiende a sobrestimar los valores, aunque la relación lineal es buena $R^2=0.9$ y por tanto puede ajustarse.

Para el caso de la presión atmosférica se observa un sesgo hacia valores más bajos en el reanálisis, lo cual indica subestimación de los valores por parte del reanálisis, sin embargo, el R^2 es mayor a 0.5, y por tanto también puede ajustarse. Utilizando el mismo método se ajustaron los cuadrantes de la costa central y sur.

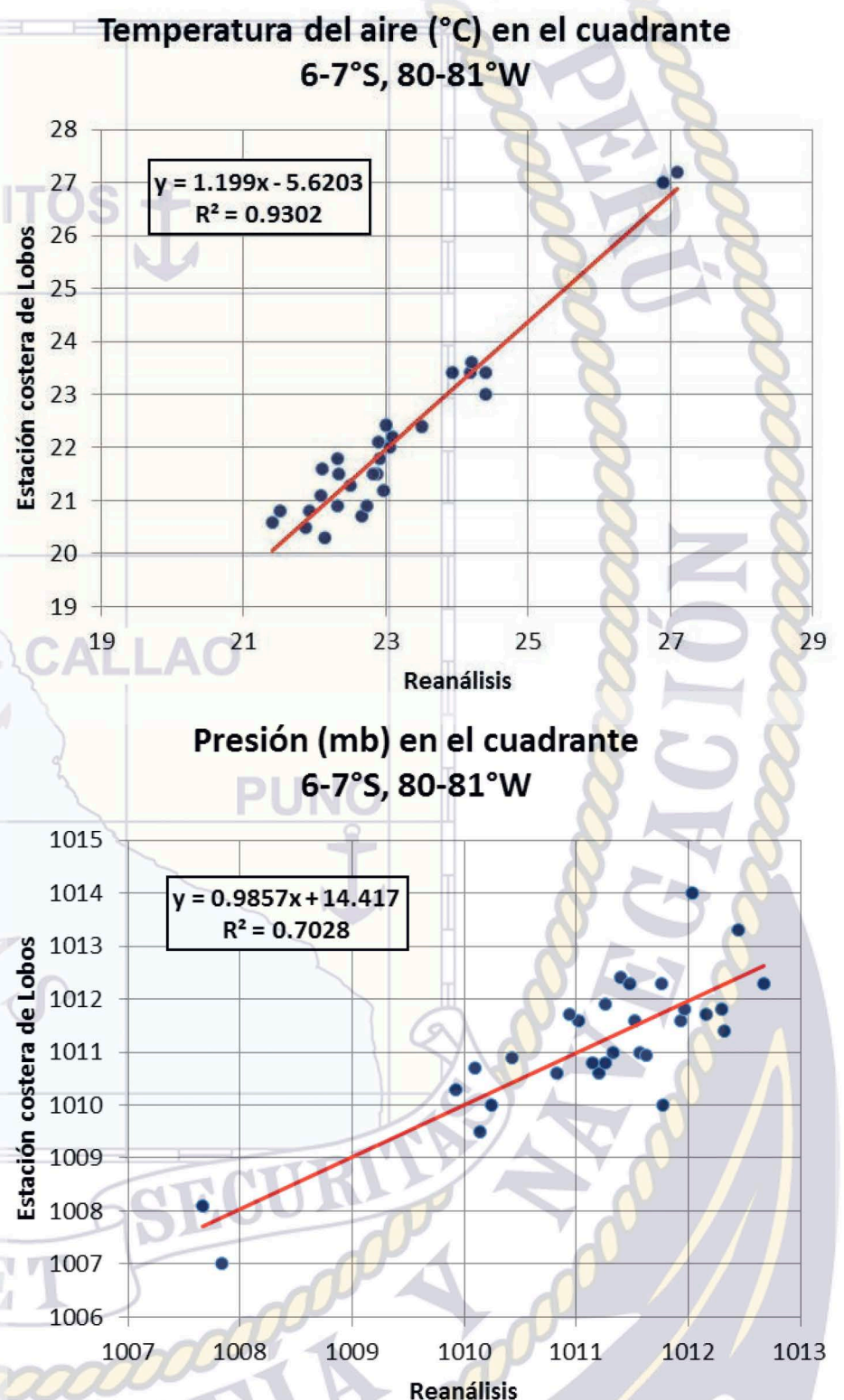


Gráfico 16. Ejemplo de correlación entre las observaciones de la Estación de Islas Lobos de Afuera y el punto más próximo de re-análisis ERA-Interim.

Por lo tanto, se concluye que mediante la correlación estadística realizada los datos obtenidos del reanálisis son válidos para el área de estudio.

2. La elaboración de las grillas de 1° x 1°

Los datos del viento, temperatura superficial del aire y presión atmosférica y, se ubicaron en grillas de 1° x 1°, para luego poder realizar las interpolaciones.

3. El diseño de los variogramas

El variograma se utiliza para obtener una correcta interpolación de la información meteorológica. Es una herramienta estadística que nos permitirá determinar la función de correlación a utilizar en las interpolaciones entre los datos.

Se elaboraron variogramas en varias direcciones y se ajustaron a una función teórica (función Gaussiana, función exponencial, función esférica) para esto se desarrolló una banda de influencia en cada dirección de análisis y se estableció un ángulo de apertura con una tolerancia definida y un ancho de esa banda.

Definimos un espesor radial el cual está determinando por un ángulo y por la respectiva distancia a las cuales se calcula el variograma llamado Lag Tolerance en los programas computacionales.

Para ello se utilizó el programa SGeMS para ajustar nuestros datos a un modelo de variograma teórico, en este programa cargamos los parámetros que determinarán la construcción del variograma. Ver gráfico 17.

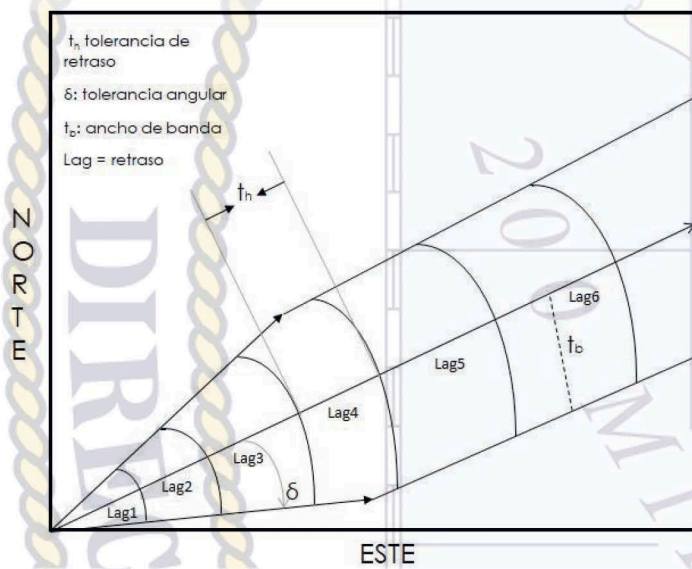


Gráfico 17. Espesor radial y parámetros.

Como ejemplo se presentan los variogramas de las variables presión y temperatura de aire para el mes de agosto. Los variogramas para la presión atmosférica se presentan en las direcciones 0°, 45°, 90° y 135°; apreciamos que en la dirección de 90° existe mayor correlación con un modelo teórico Gaussiano. Ver gráficos 18 y 19.

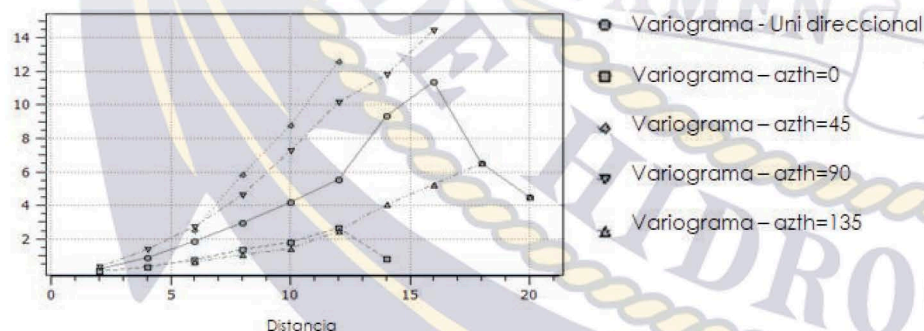


Gráfico 18. Variogramas experimentales de presión.

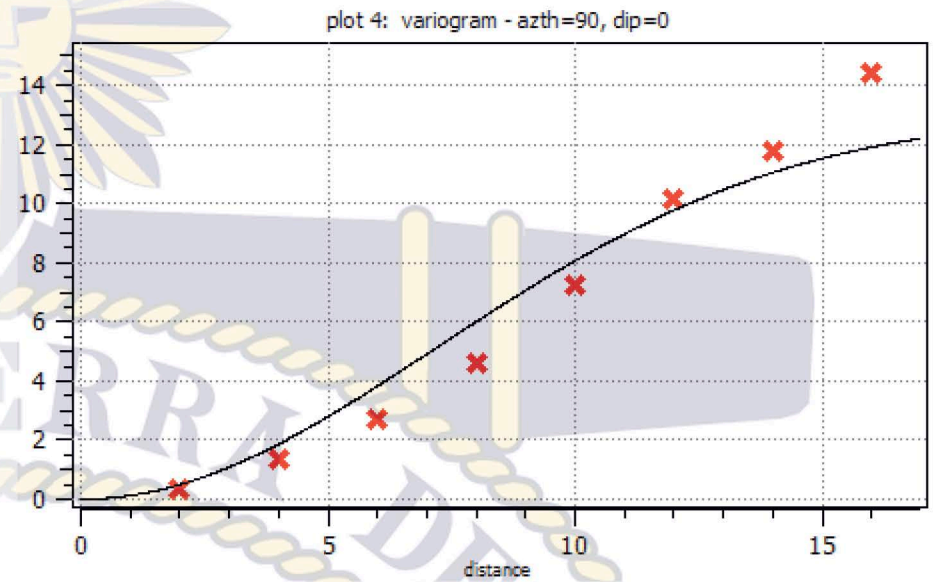


Gráfico 19. Variograma con modelo Gaussiano.

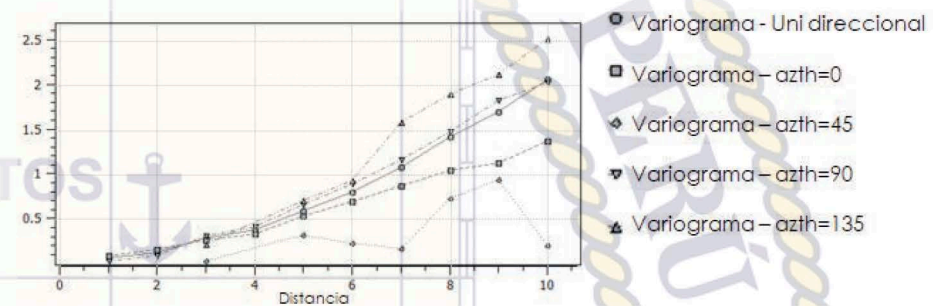


Gráfico 20. Variogramas experimentales de temperatura.

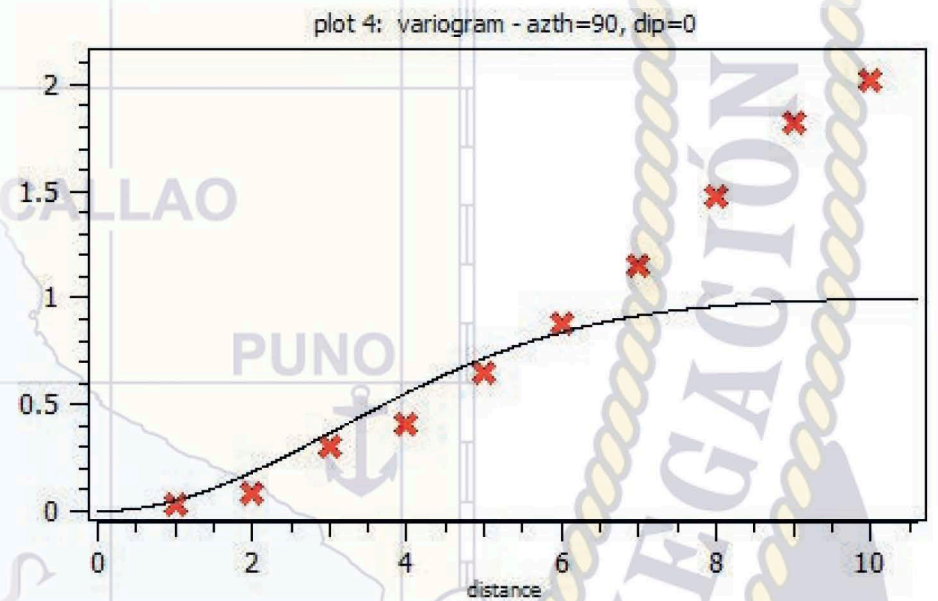


Gráfico 21. Variograma con modelo Gaussiano.

Los variogramas del gráfico 20 para la temperatura del aire se presentan en las direcciones 0°, 45°, 90° y 135°; apreciamos que existe mayor correlación en dirección de 90° ajustando con un modelo teórico Gaussiano. Ver gráficos 20 y 21.

INTERPOLACIÓN DE LOS DATOS METEOROLÓGICOS

La interpolación nos permite estimar espacialmente un dato de una determinada variable en un área donde no se tiene información, esta es estimada con datos cercanos a este punto.

La interpolación de los datos meteorológicos de la zona de estudio se realizó utilizando el programa ArcGIS, el cual incluye la herramienta Geostatistical Wizards y el método de interpolación Kriging. El método de interpolación Kriging es un procedimiento geo-estadístico que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersos con valores z.

A diferencia de otros métodos de interpolación, utilizar la herramienta Kriging de forma efectiva implica una investigación interactiva del comportamiento espacial del fenómeno representado por los valores z antes de seleccionar el mejor método de estimación para generar la superficie de salida. (ESRI, 2018).

La geo-estadística proporciona una medida de confianza sobre la probabilidad que esa predicción sea cierta. Antes de comenzar con el proceso de interpolación Kriging verificamos la información meteorológica y estos deben cumplir los siguientes supuestos.

Los datos deben tener una distribución normal: en la distribución normal, sus puntos caerán en la línea de 45° o presentará una forma acampanada en un histograma; deben ser estacionarios (una serie

estacionaria es aquella cuyo valor promedio no varía a través del tiempo); y estos no pueden tener tendencias (las tendencias son cambios sistemáticos en los datos de toda un área de estudio).

Luego de verificar los supuestos se realizará la interpolación mediante la herramienta Geostatistical Wizards de ArcGIS.

- Paso 1: se utilizó el tipo de interpolación Kriging Ordinary, debido a que la variable es estacionaria con covarianza conocida y media desconocida. Además, no se utilizó ningún tipo de transformación pues los datos presentaron una distribución normal; asimismo, se utilizó una tendencia de primer orden, debido a que los datos presentaron una ecuación lineal.
- Paso 2: se utilizó el modelo Gaussiano como función Kernel, debido a que esta se ajusta a los datos en estudio. Kernel es una función de ponderación utilizada en técnicas de estimación no paramétricas.
- Paso 3: finalmente se generó un variograma experimental que se ajustó a una función teórica, esto se realizó previamente en el programa SGeMS; obteniendo como resultado el tipo de modelo Gaussiano, la presencia de isotropía y la dirección del variograma.

Con las consideraciones y procedimientos obtenidos, se estableció que se debe considerar la interpolación Kriging Ordinary, además de la función Kernel con el modelo Gaussiano.

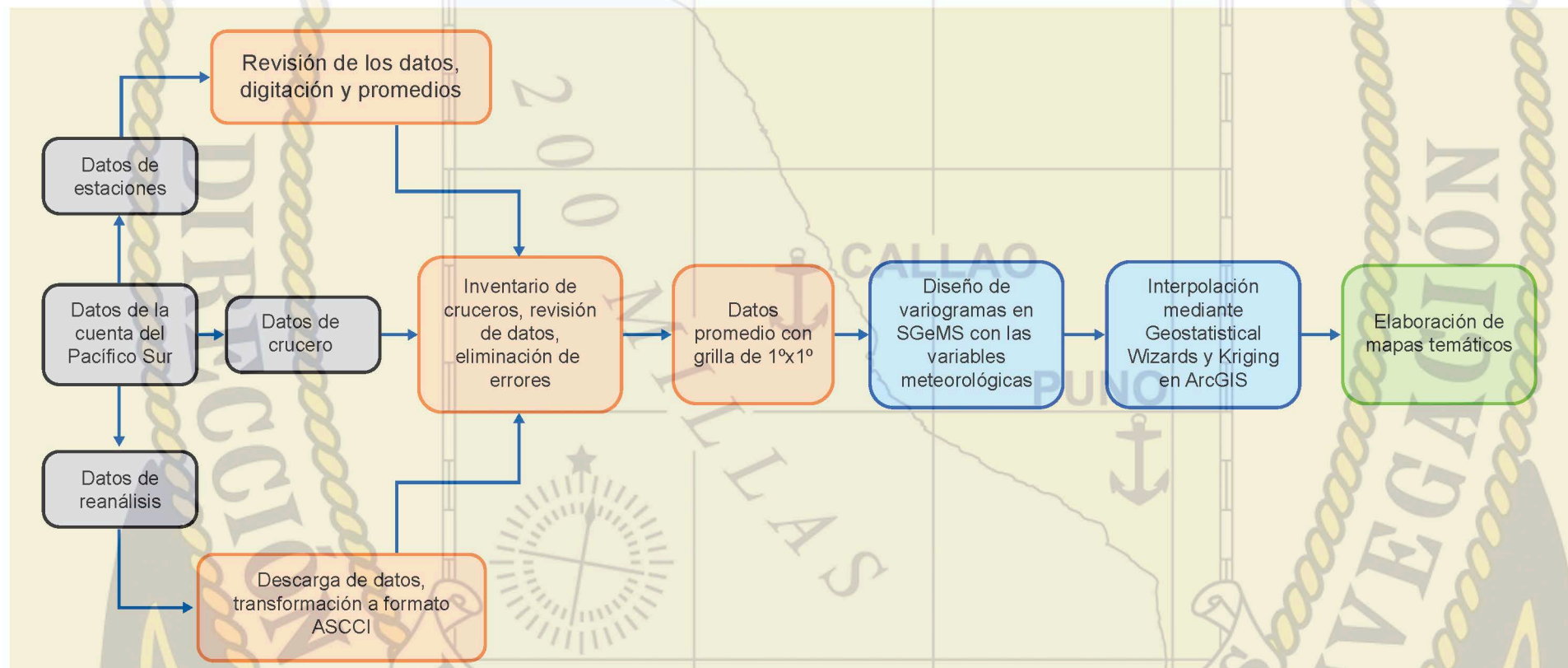
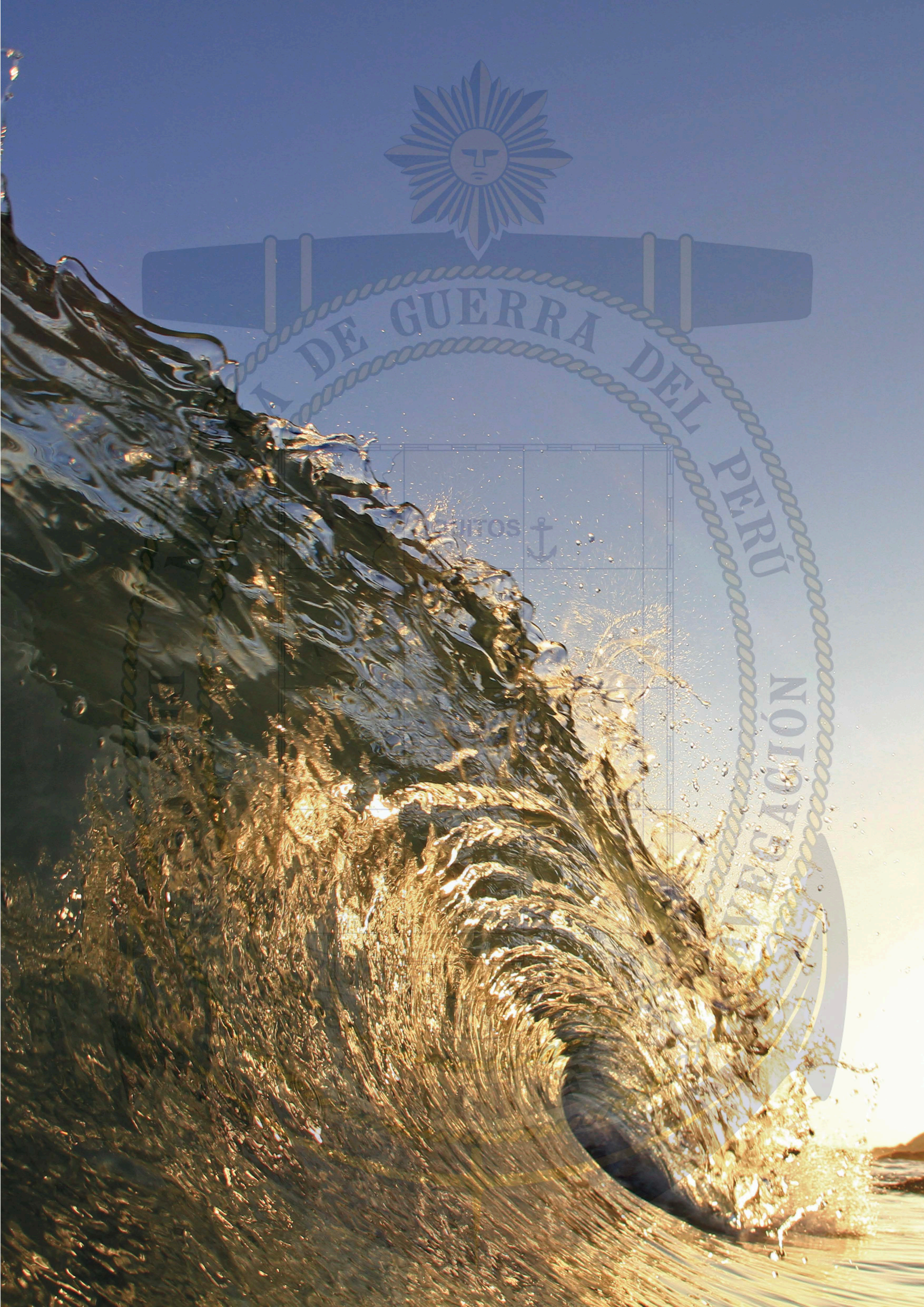


Gráfico 22. Diagrama de Flujo de Procesamiento de Datos Meteorológicos



ARMADA DE GUERRA DEL PERÚ

NÓMINA DE EMERGENCIAS



NÓMINA DE EMERGENCIAS



3

MAPAS DE OCEANOGRAFÍA



ARMEN
ET

IDROGRAFÍA Y NAVEGACIÓN

PERÚ

SECURITAS



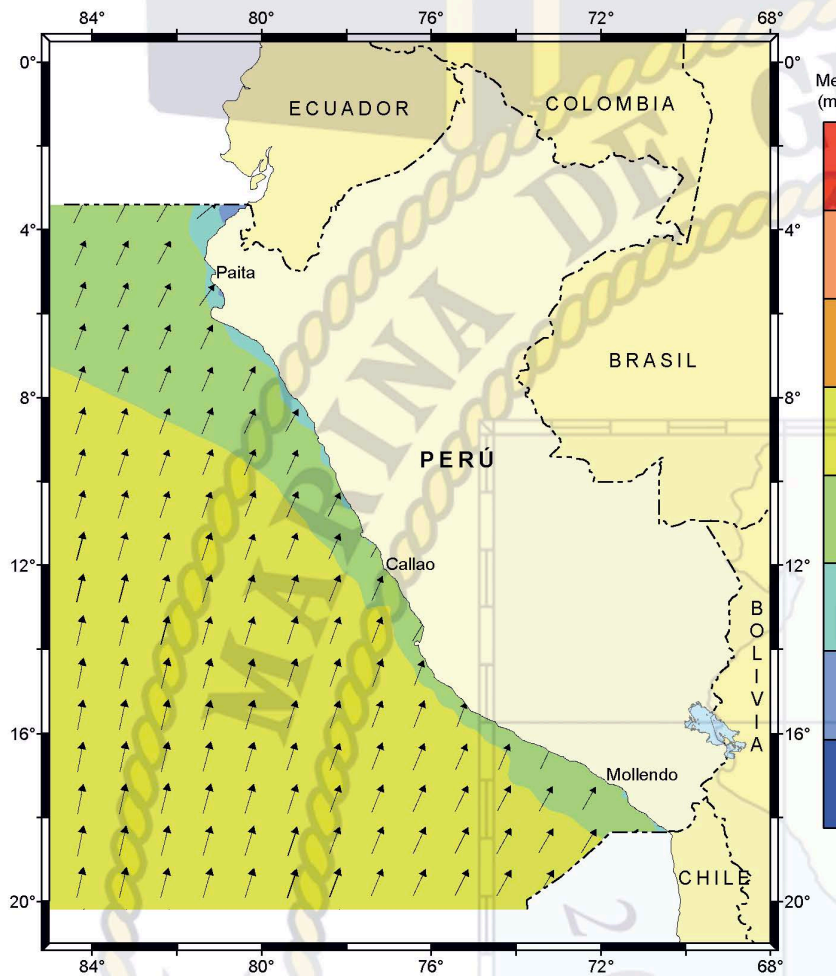
MARINA DE GUERRA DEL PERÚ



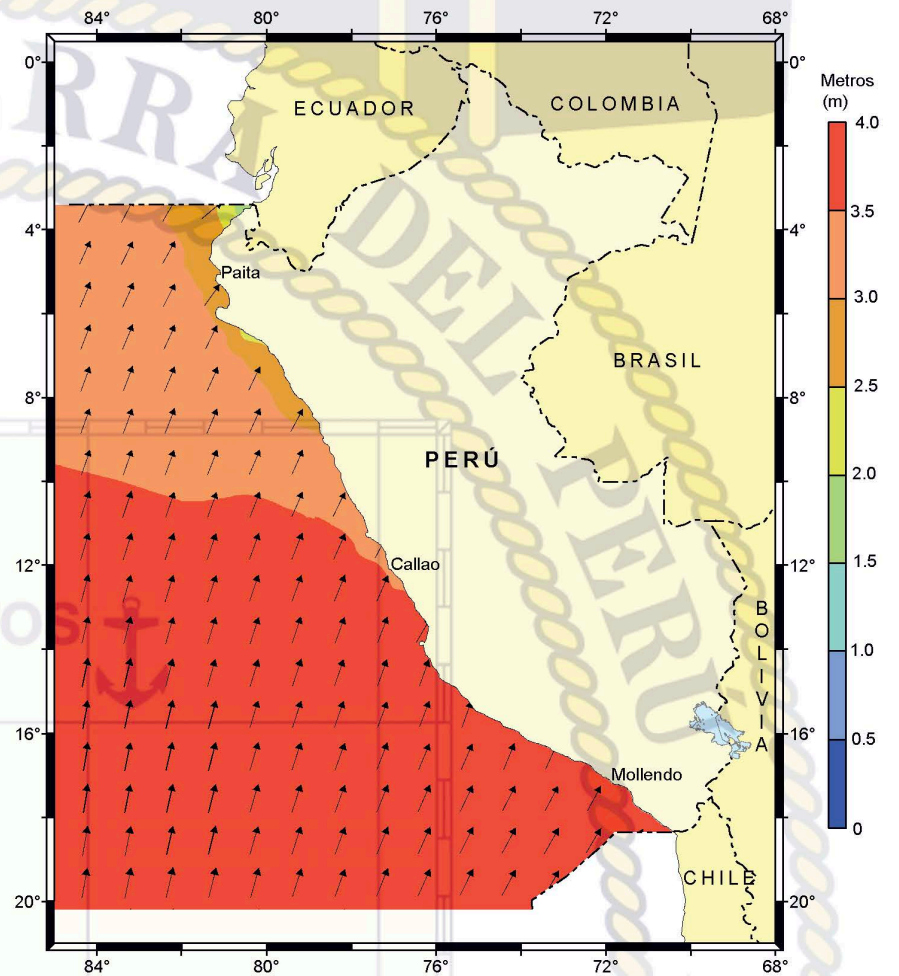
OLAS

CLIMATOLOGÍA ANUAL

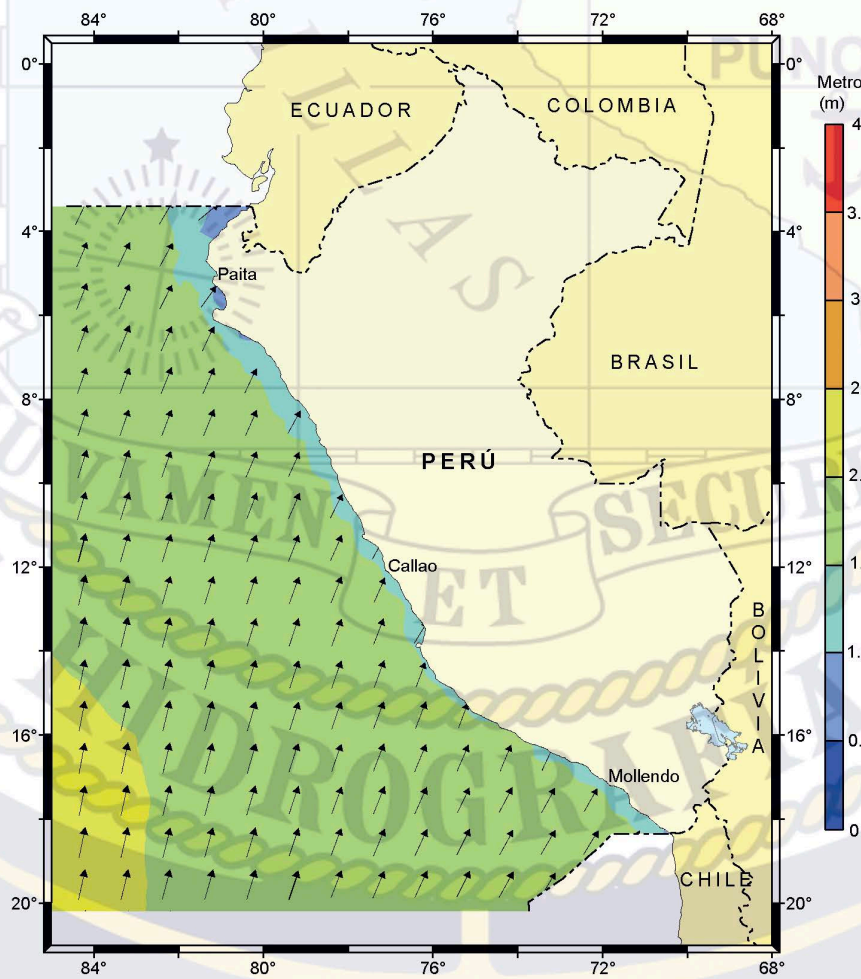
ALTURA SIGNIFICANTE Y DIRECCIÓN MEDIA



ALTURA MÁXIMA Y DIRECCIÓN MEDIA



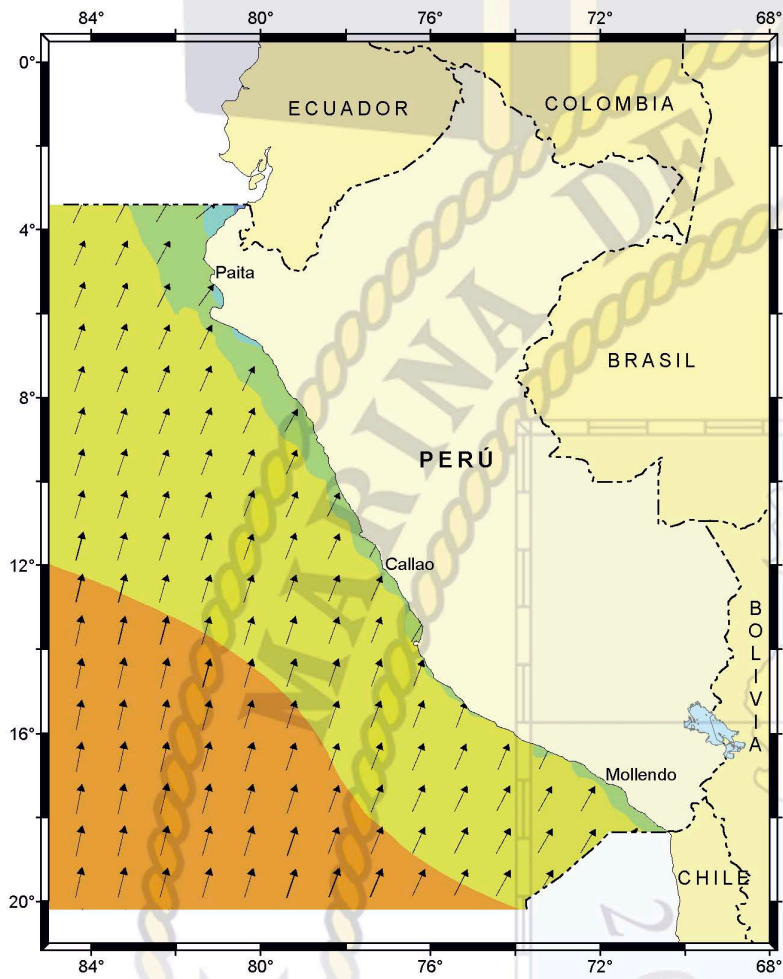
ALTURA PERCENTIL 25 Y DIRECCIÓN MEDIA



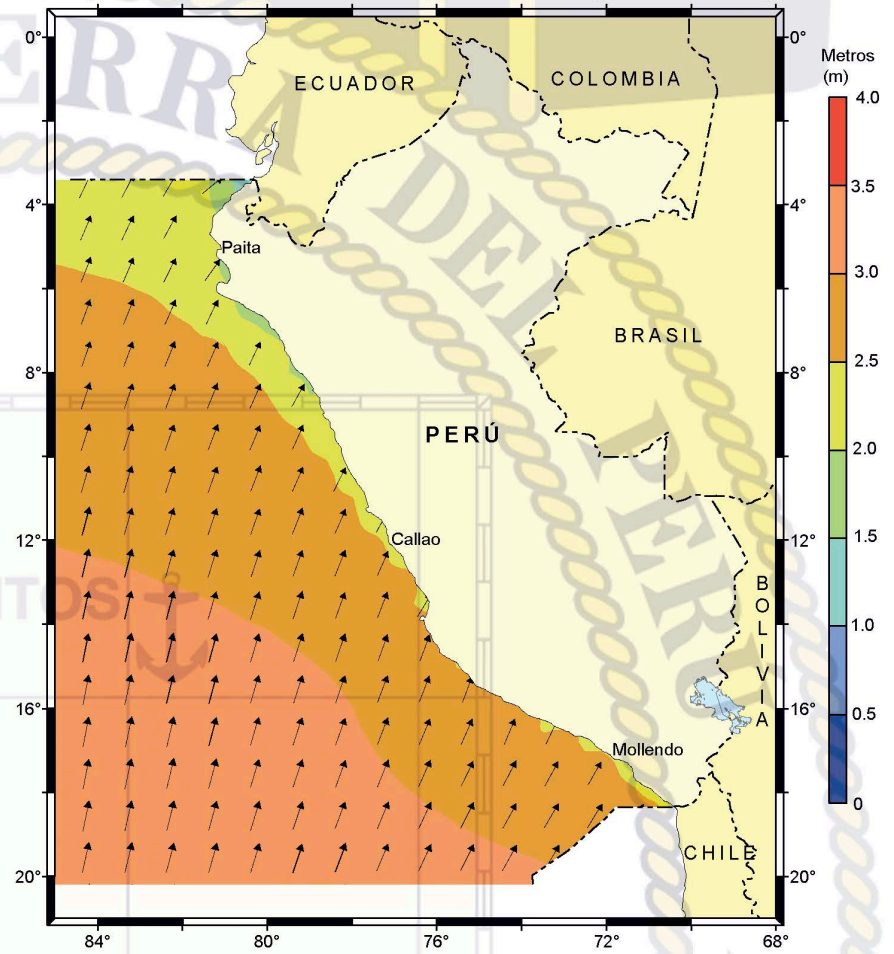


CLIMATOLOGÍA ANUAL

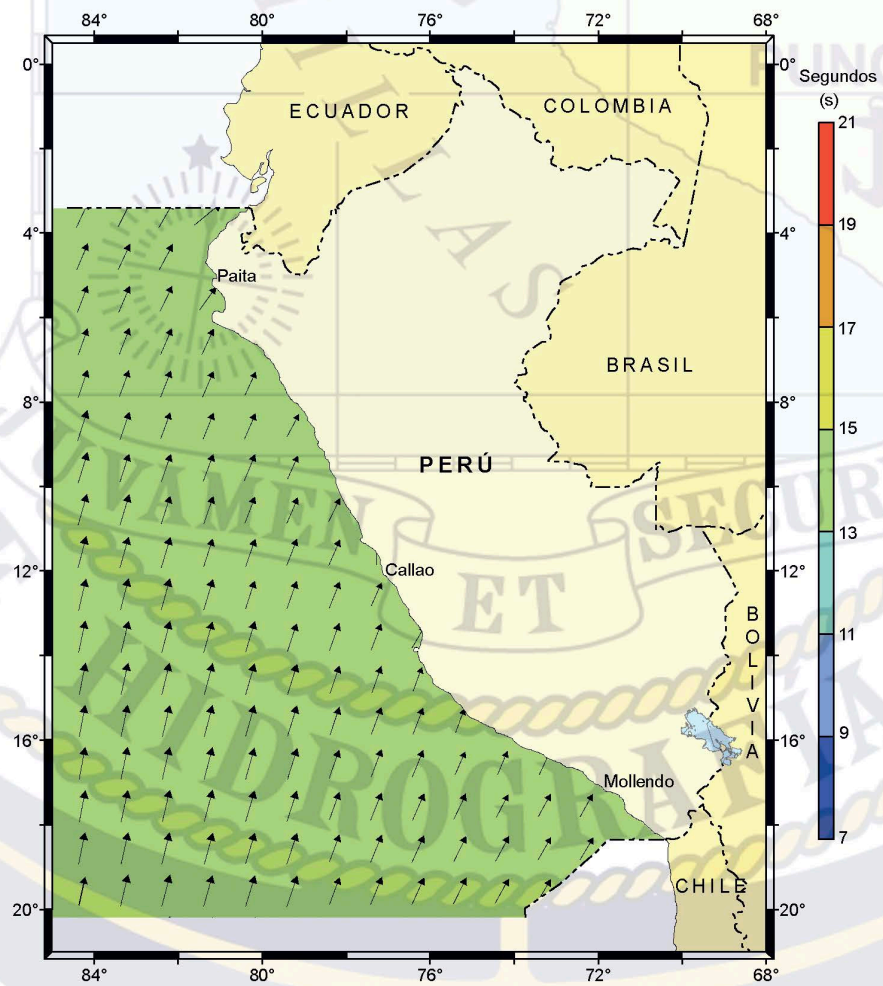
ALTURA PERCENTIL 50 Y DIRECCIÓN MEDIA



ALTURA PERCENTIL 75 Y DIRECCIÓN MEDIA



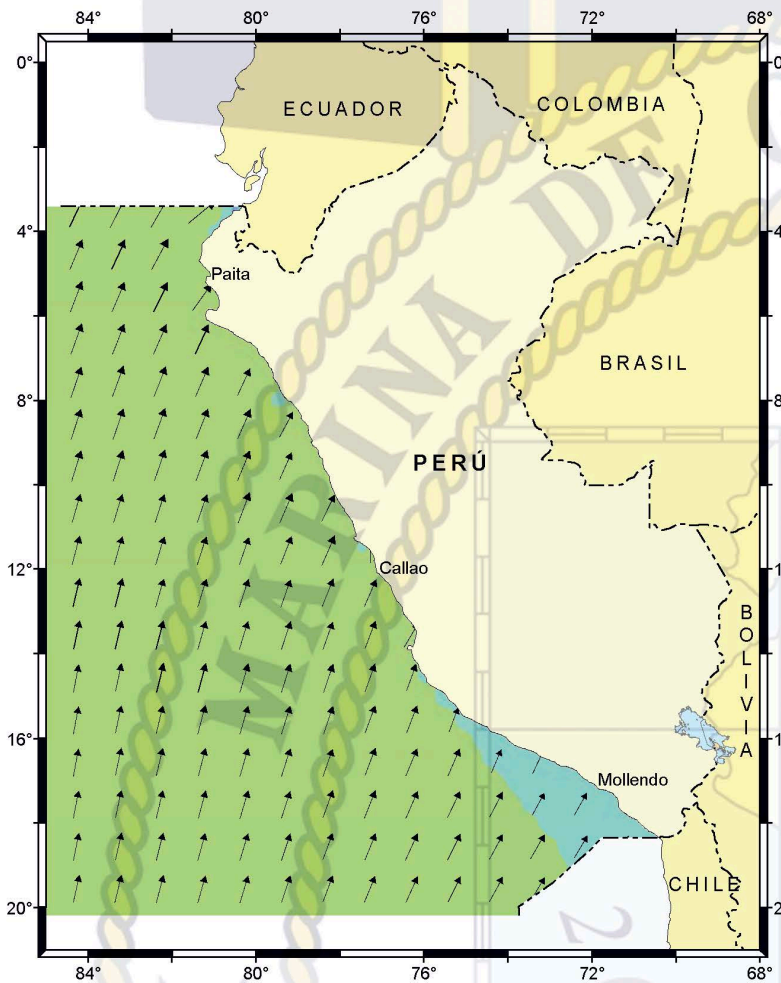
PERIODO MEDIO Y DIRECCIÓN MEDIA



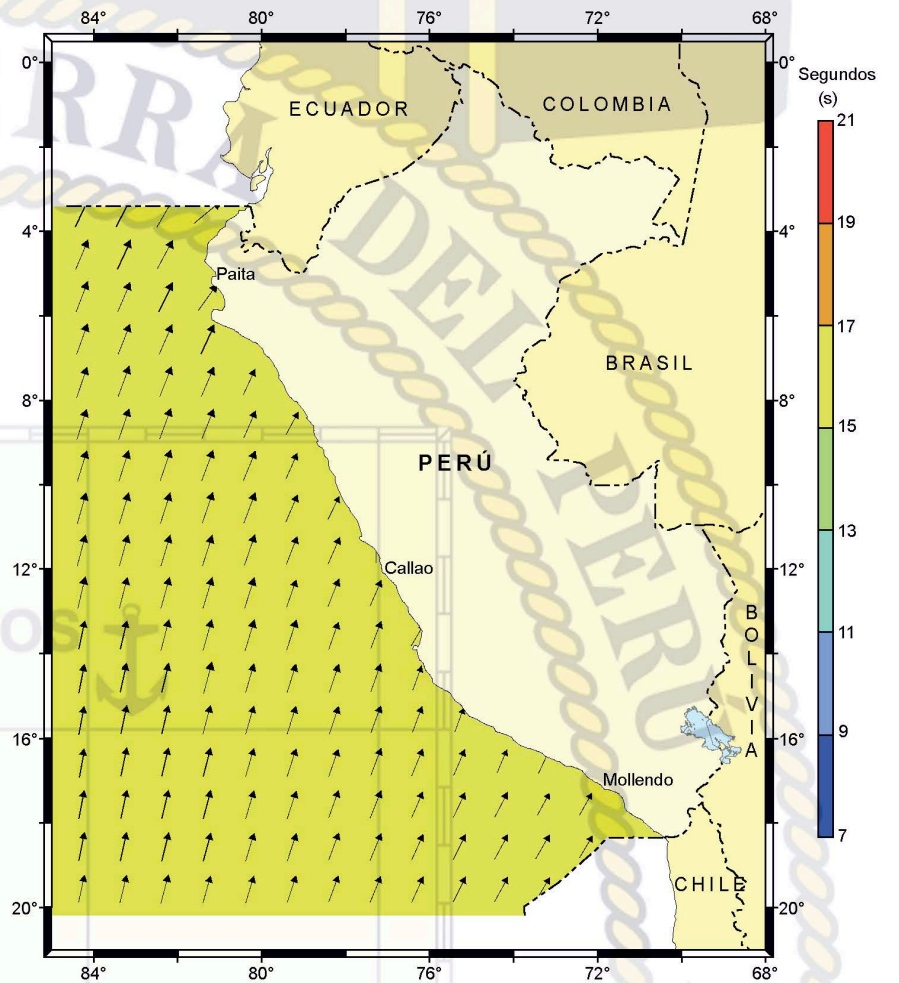
OLAS

CLIMATOLOGÍA ANUAL

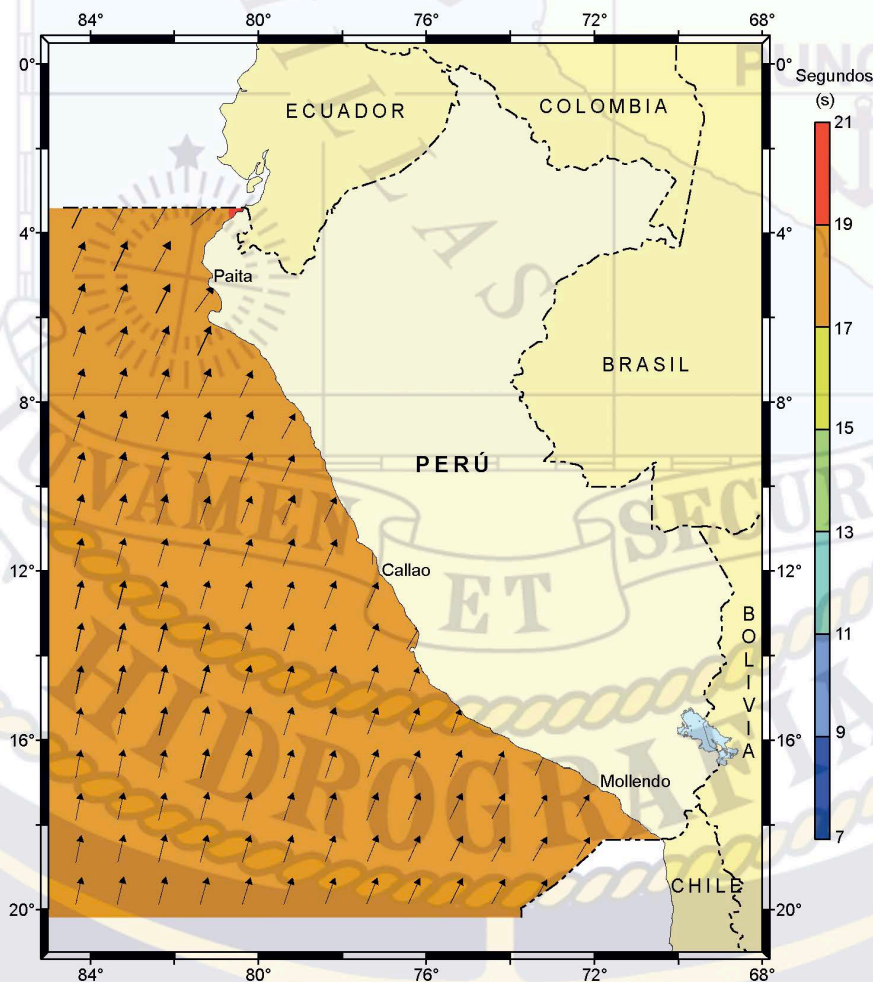
PERIODO PERCENTIL 25 Y DIRECCIÓN MEDIA



PERIODO PERCENTIL 50 Y DIRECCIÓN MEDIA

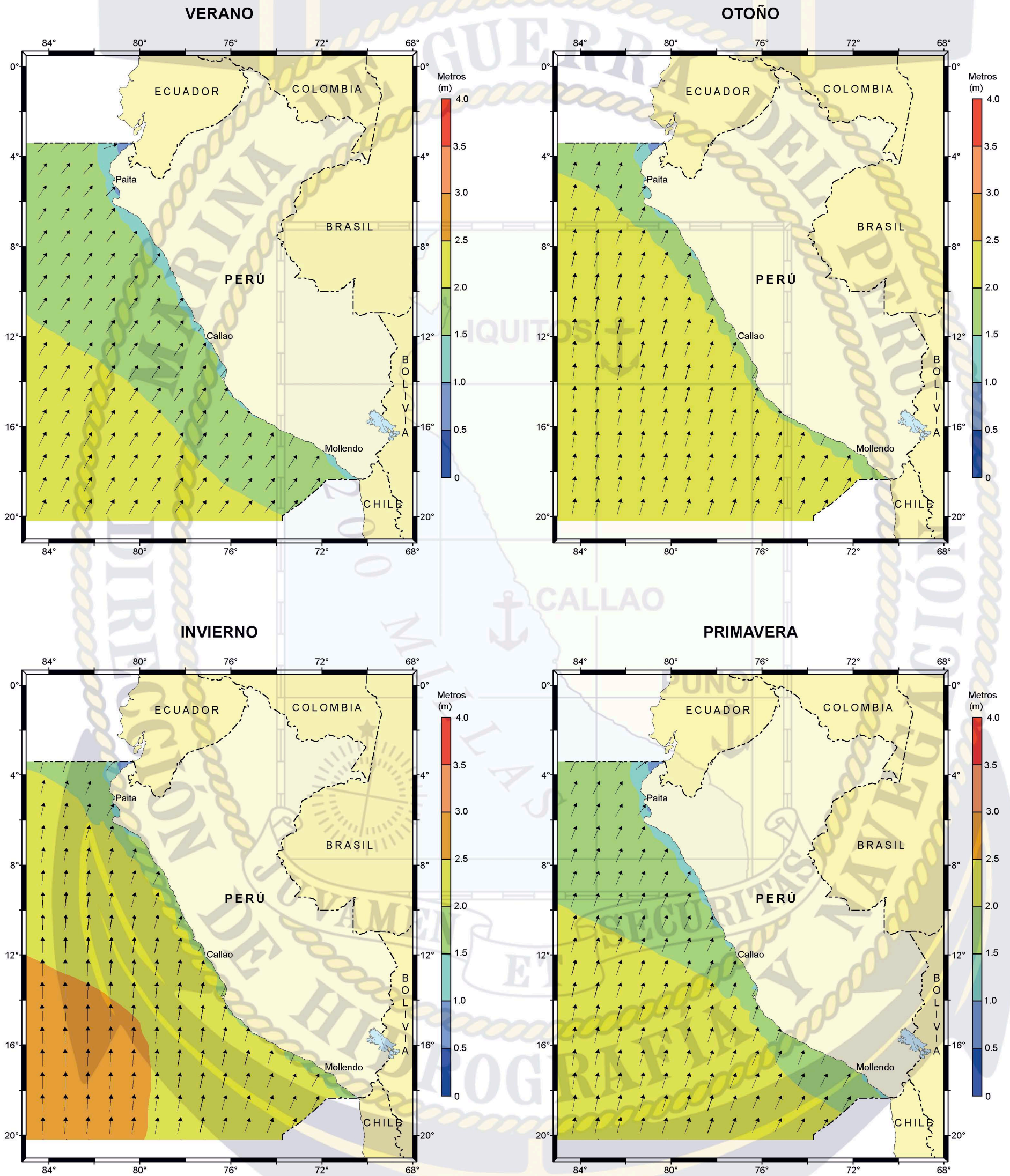


PERIODO PERCENTIL 75 Y DIRECCIÓN MEDIA



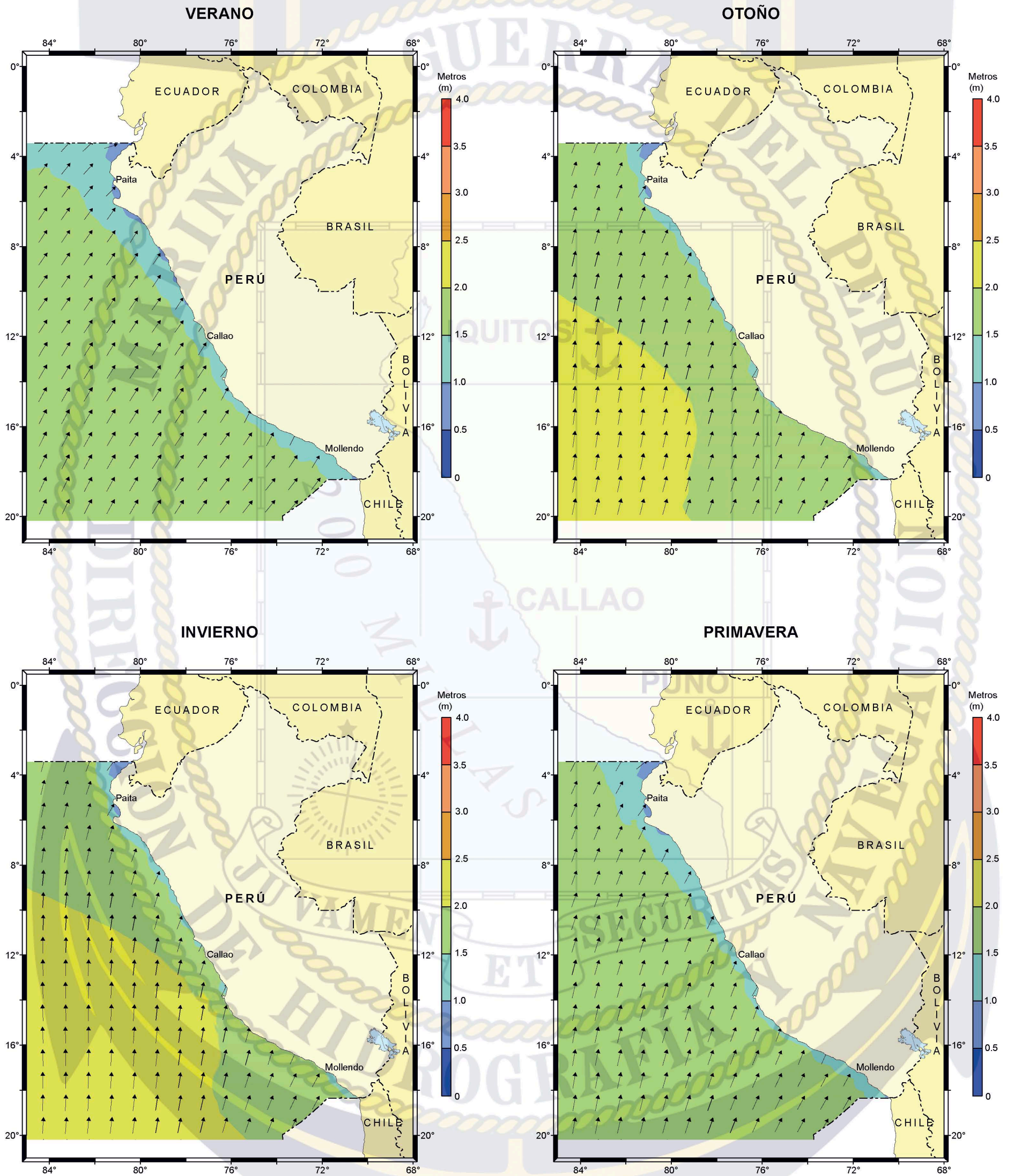


CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL
ALTURA SIGNIFICANTE (Hs) y DIRECCIÓN MEDIA (Dm)



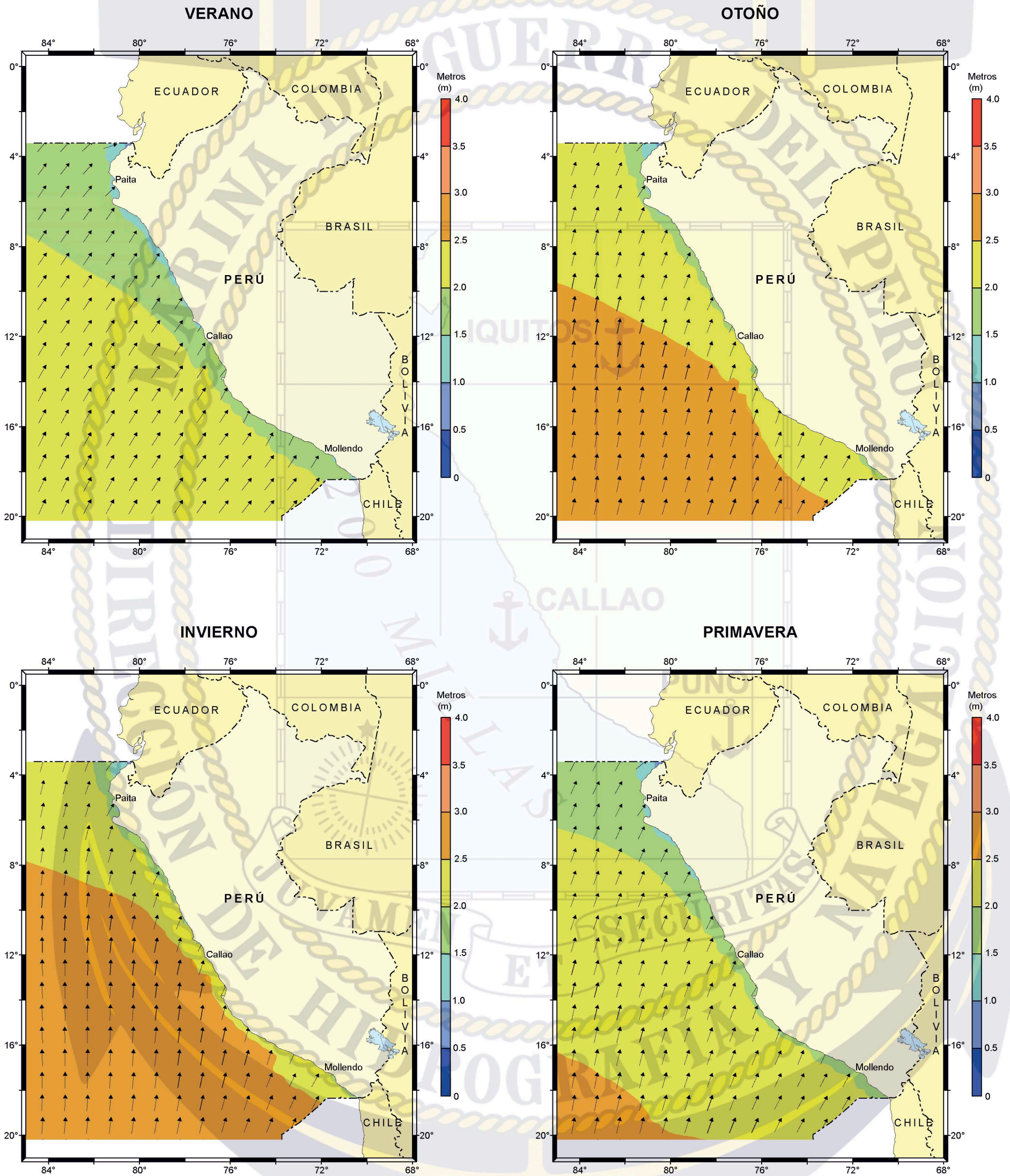
OLAS

CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL ALTURA PERCENTIL 25 (H25) y DIRECCIÓN MEDIA (Dm)



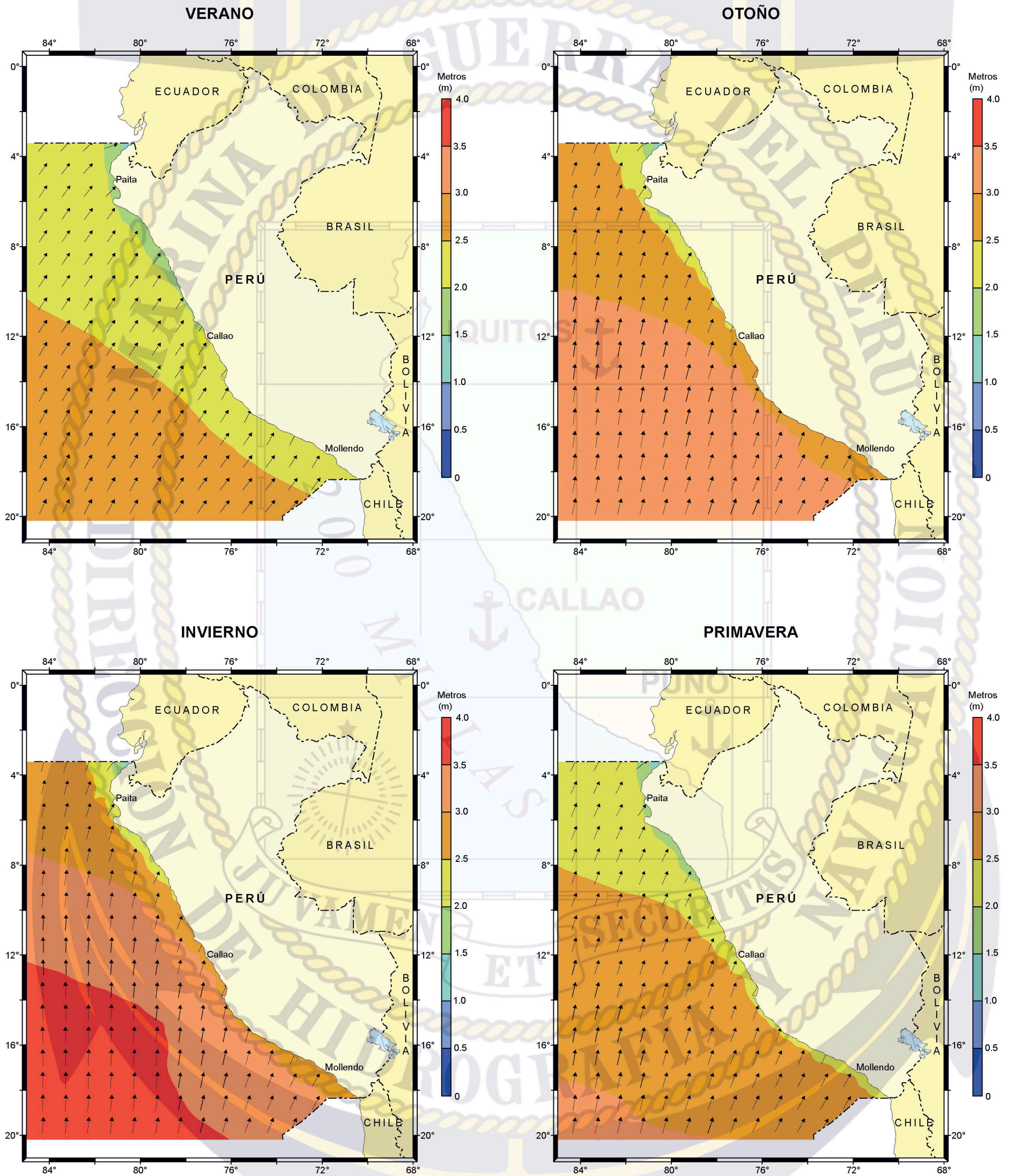
OLAS

CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL ALTURA PERCENTIL 50 (H50) y DIRECCIÓN MEDIA (Dm)



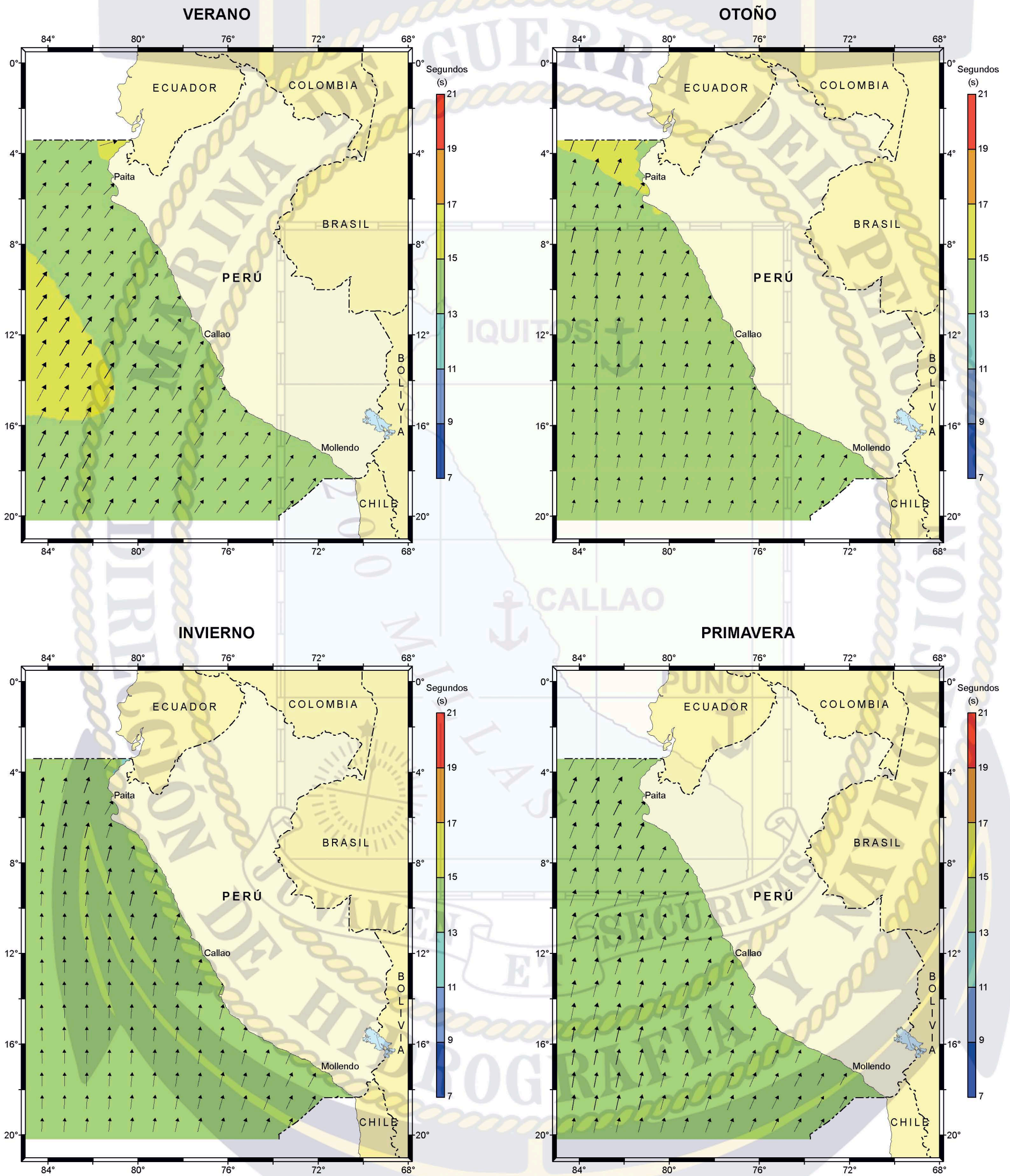
OLAS

CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL ALTURA PERCENTIL 75 (H75) y DIRECCIÓN MEDIA (Dm)



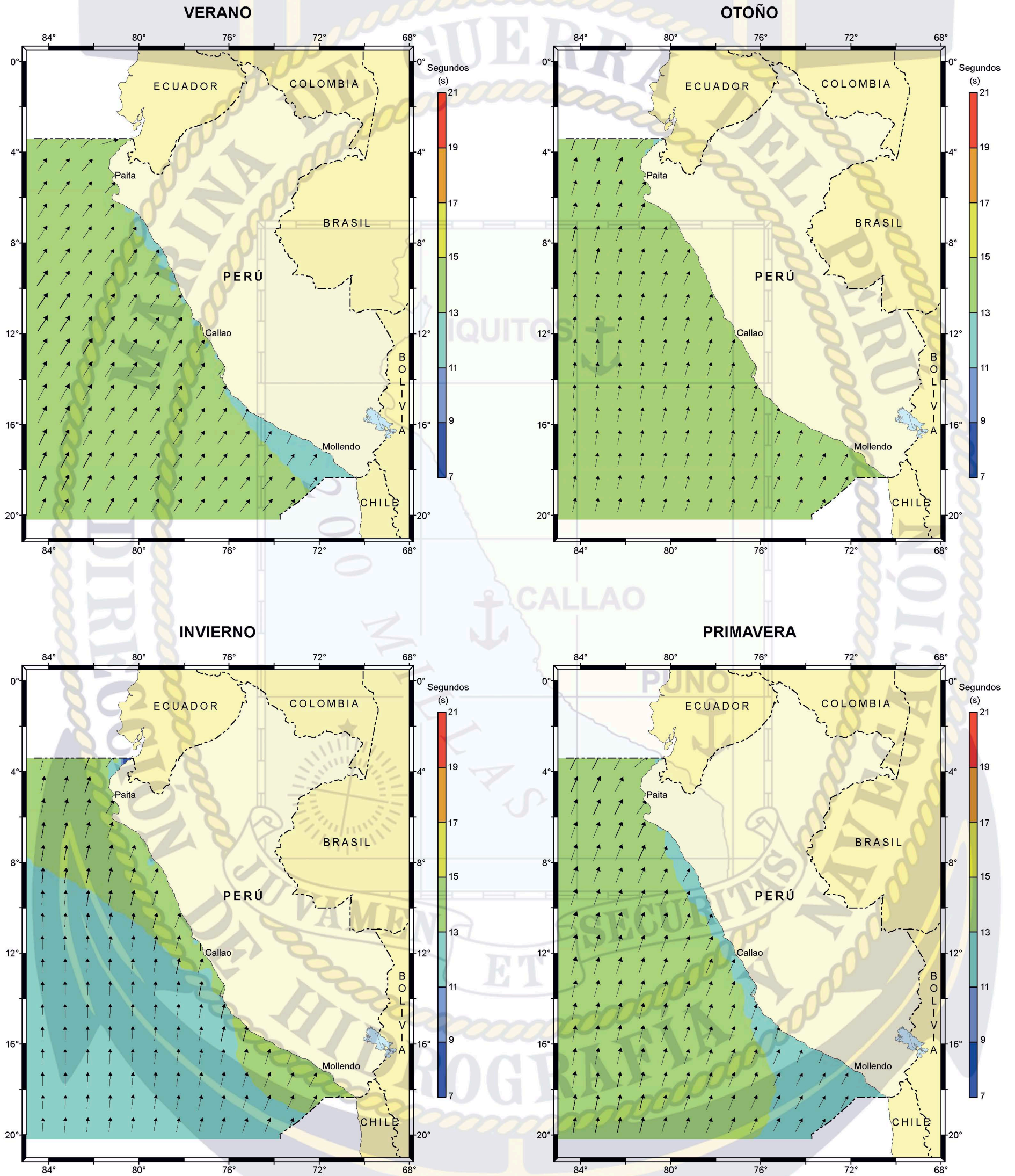


**CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL
PERIODO MÁXIMO (T75)**



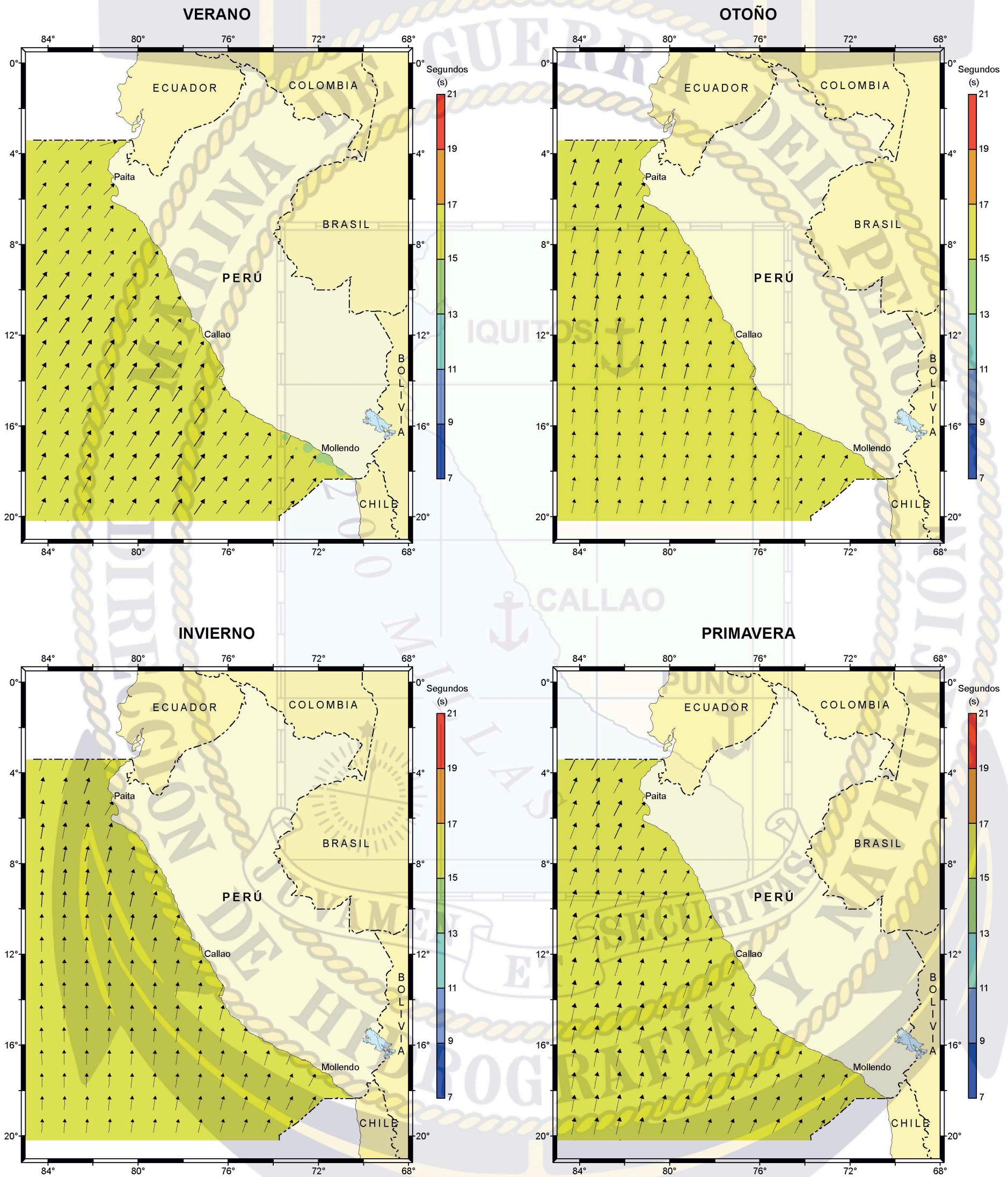
OLAS

CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL PERIODO PERCENTIL 25 (T25)



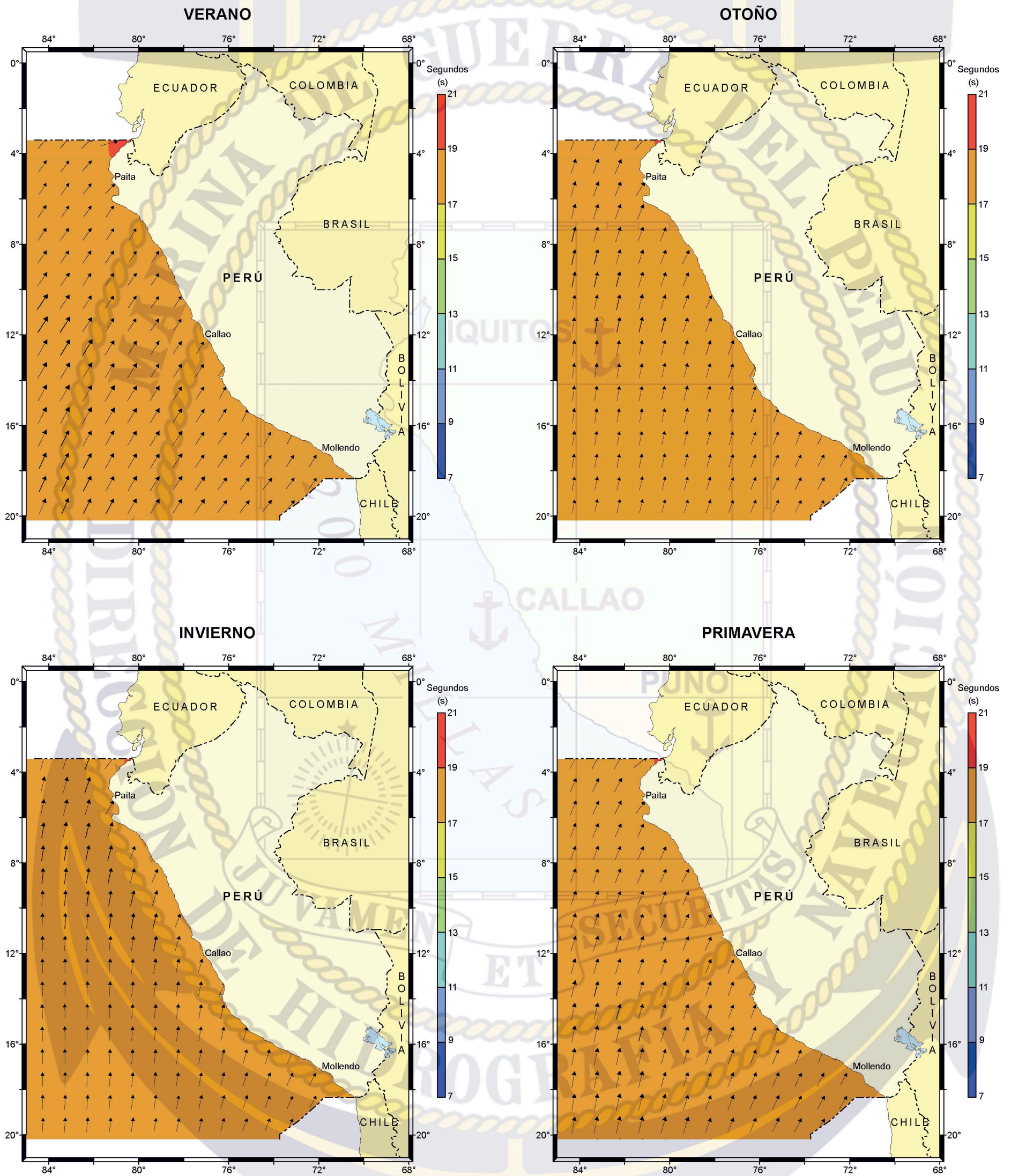


**CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL
PERIODO PERCENTIL 50 (T50)**



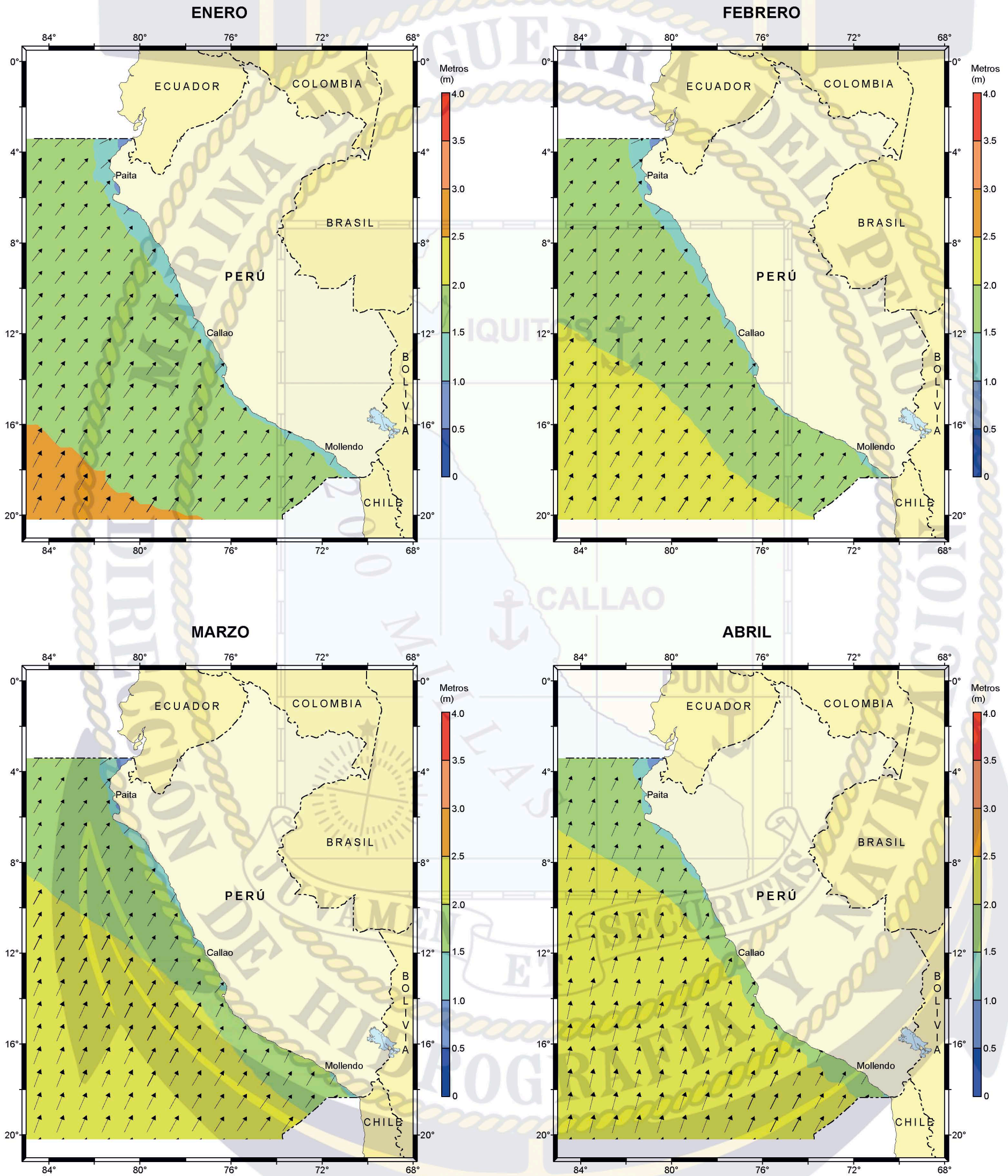
OLAS

CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL PERIODO PERCENTIL 75 (T75)



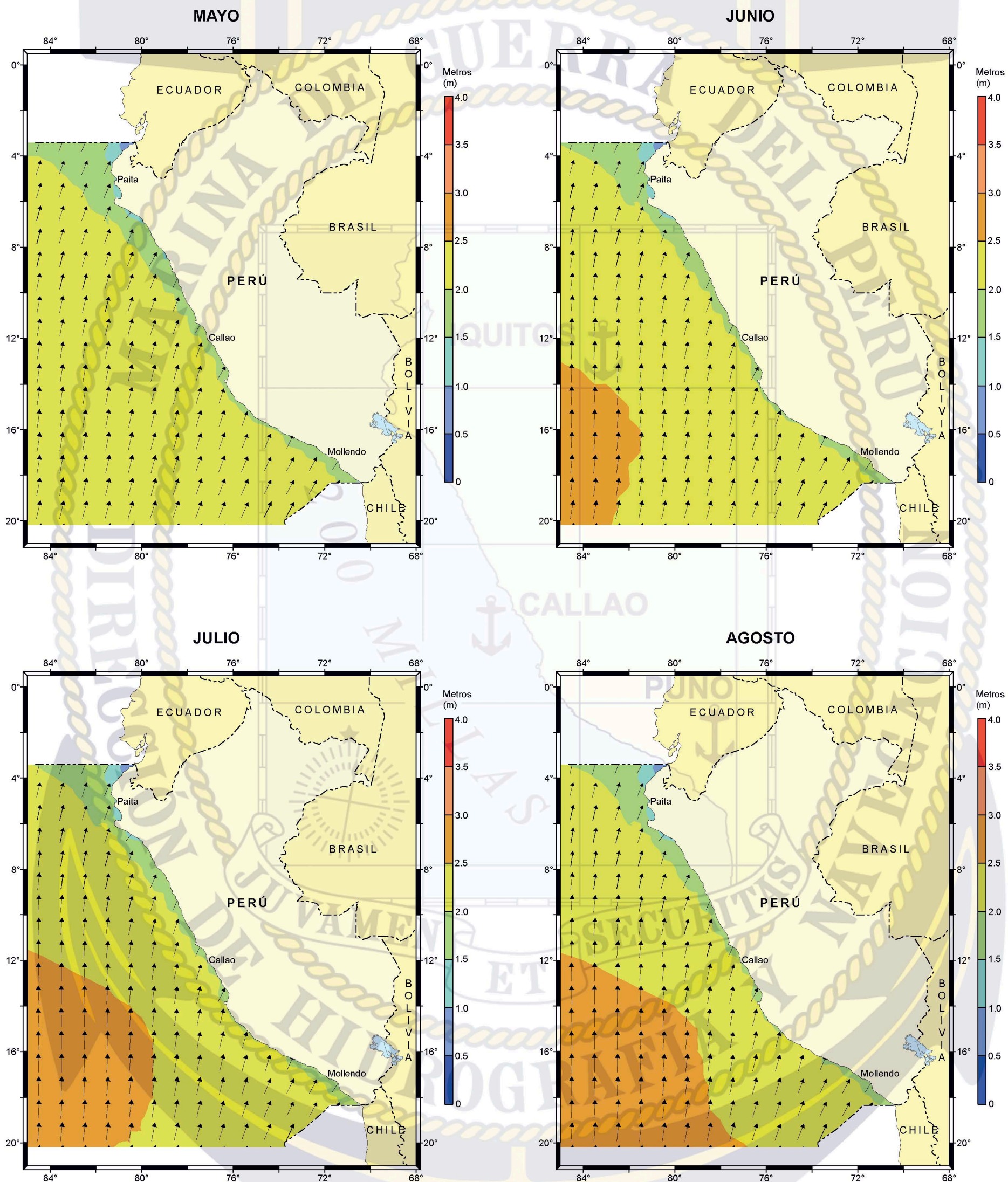


CLIMATOLOGÍA MENSUAL
ALTURA SIGNIFICANTE (Hs) y DIRECCIÓN MEDIA (Dm)



OLAS

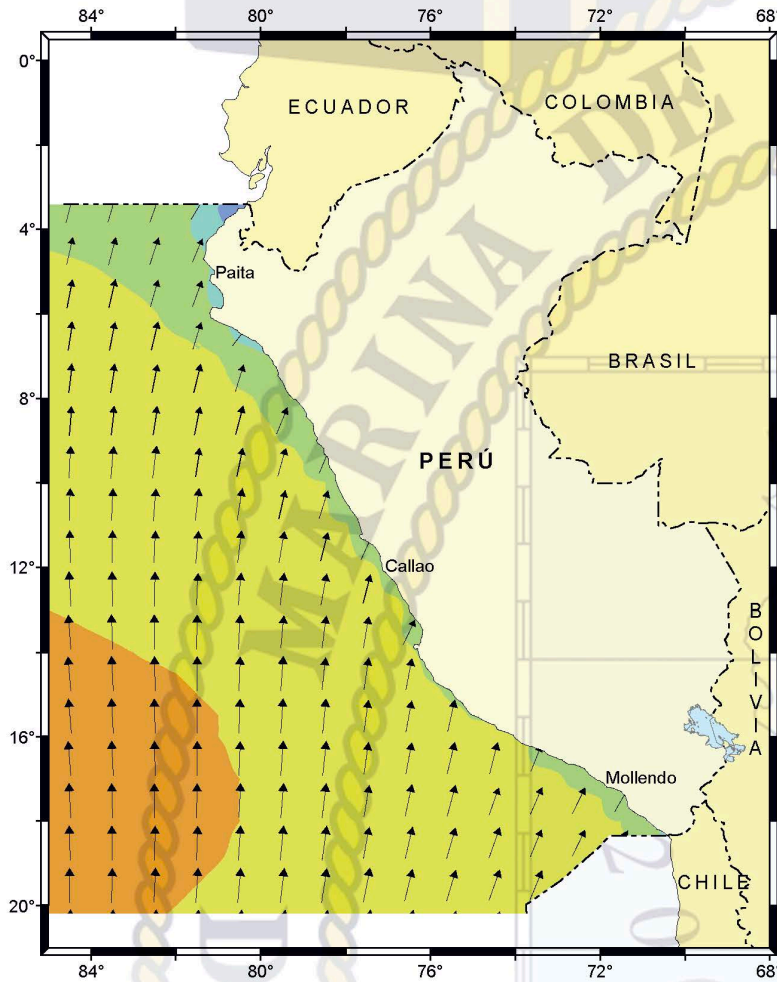
CLIMATOLOGÍA MENSUAL ALTURA SIGNIFICANTE (Hs) y DIRECCIÓN MEDIA (Dm)



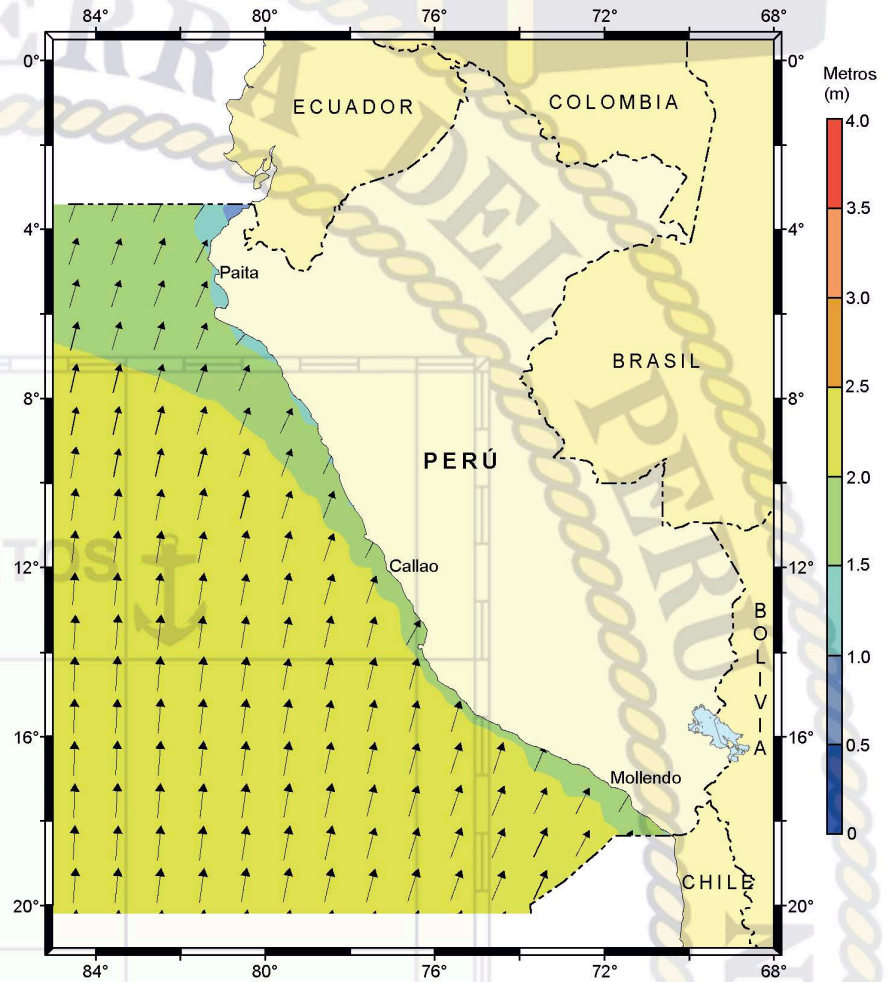


CLIMATOLOGÍA MENSUAL
ALTURA SIGNIFICANTE (Hs) y DIRECCIÓN MEDIA (Dm)

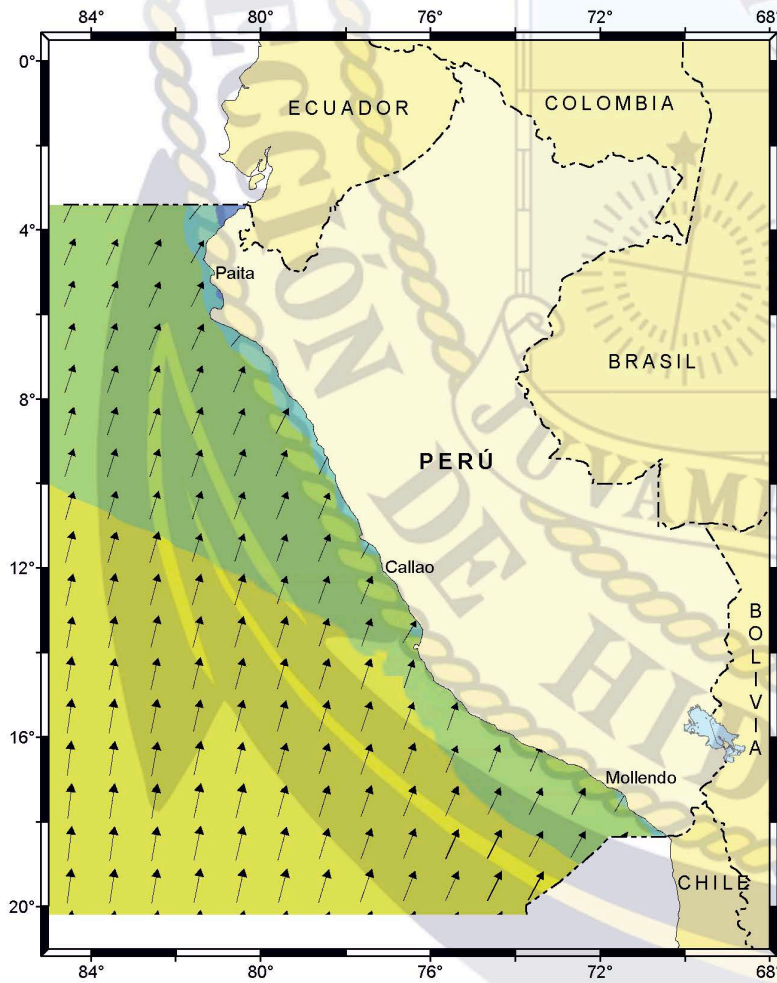
SETIEMBRE



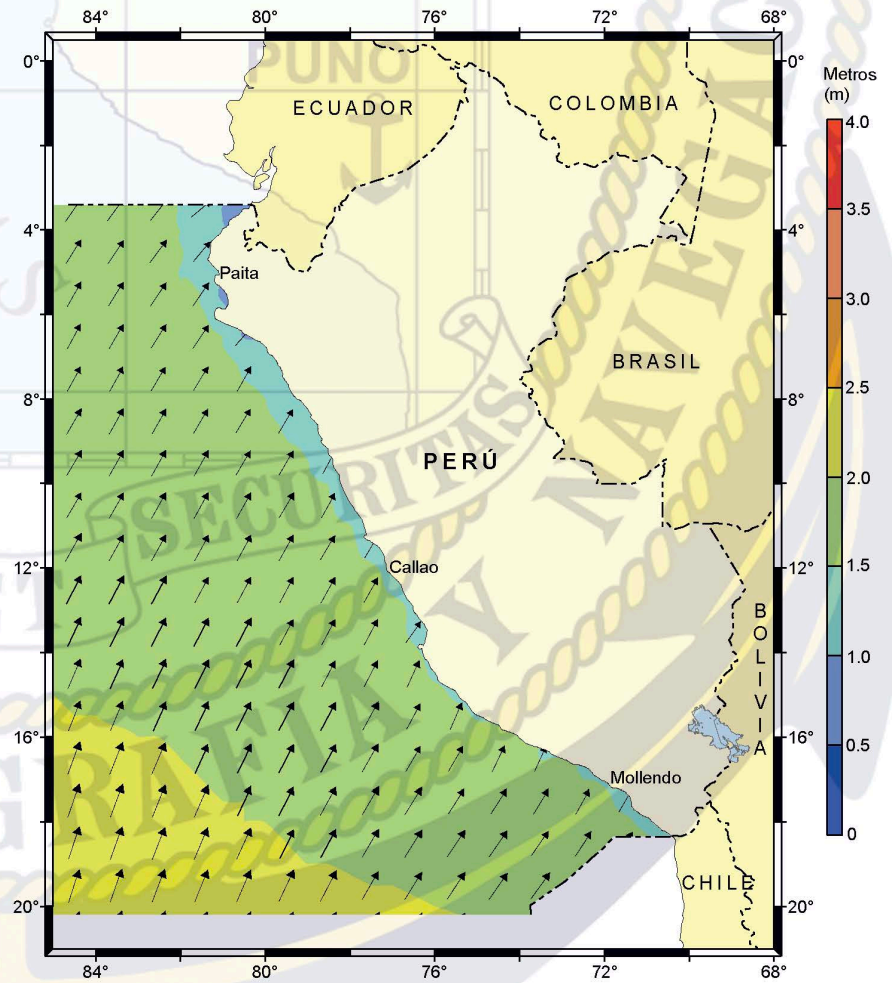
OCTUBRE



NOVIEMBRE

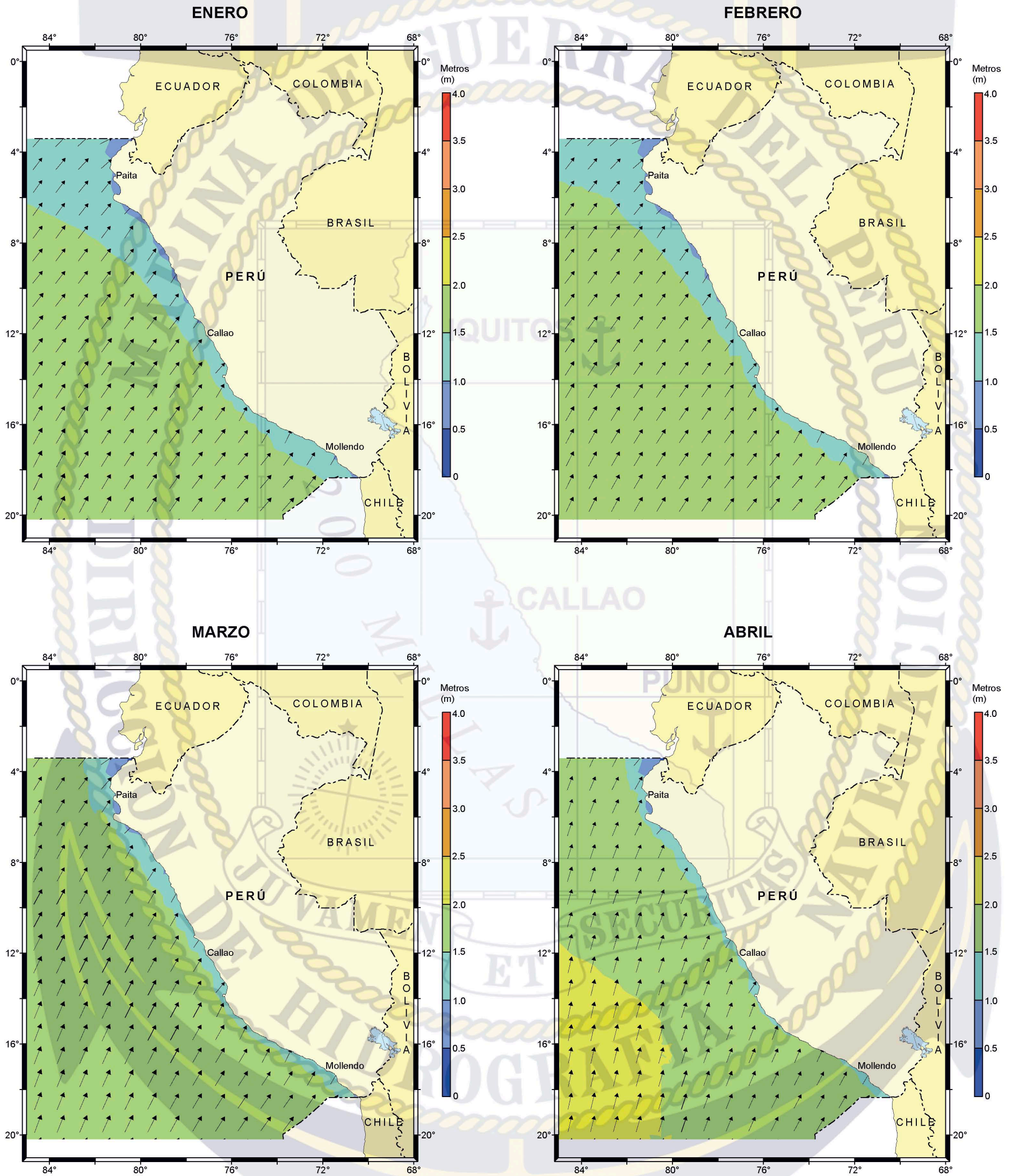


DICIEMBRE



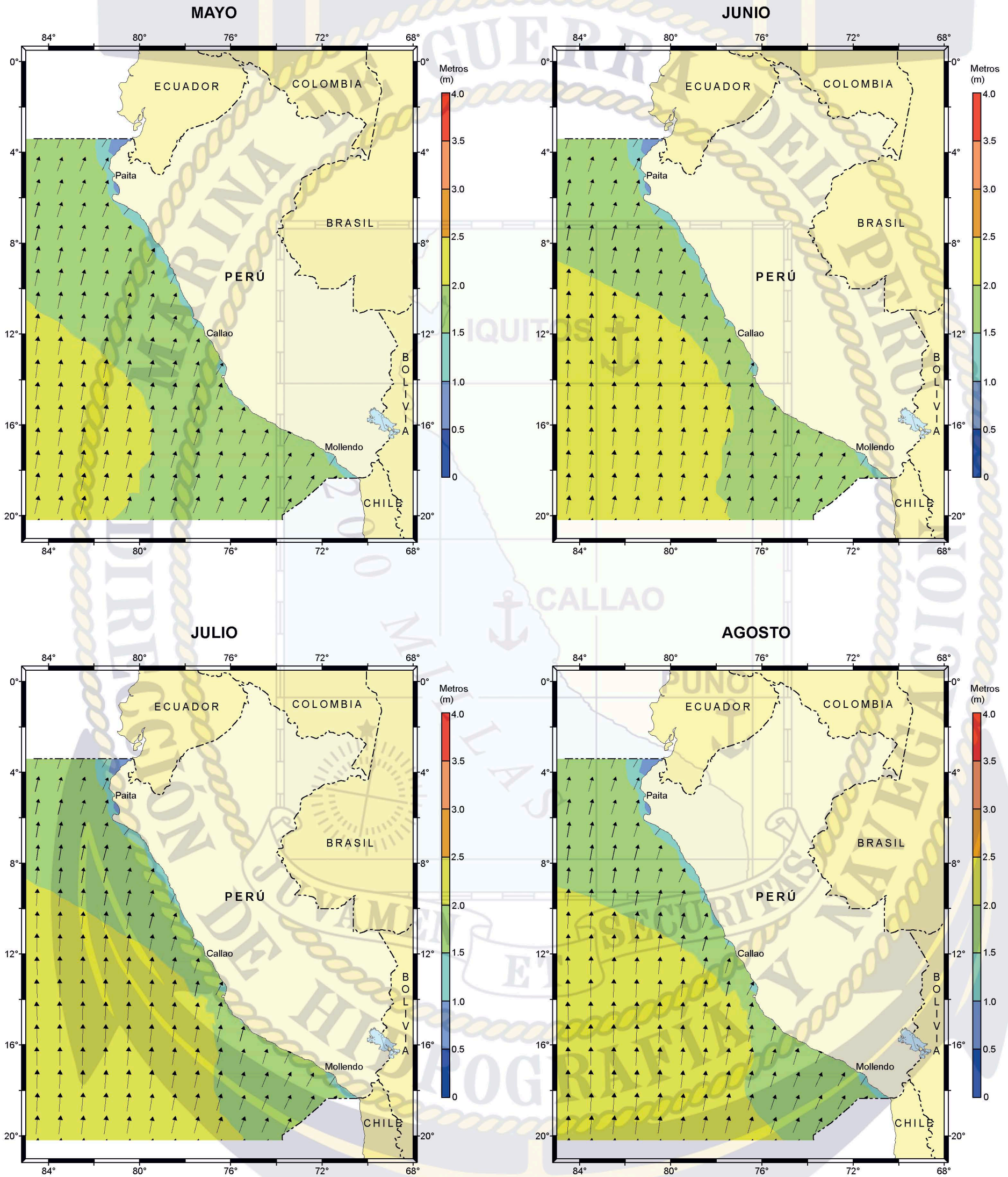
OLAS

CLIMATOLOGÍA MENSUAL ALTURA PERCENTIL 25 (H25) y DIRECCIÓN MEDIA (Dm)



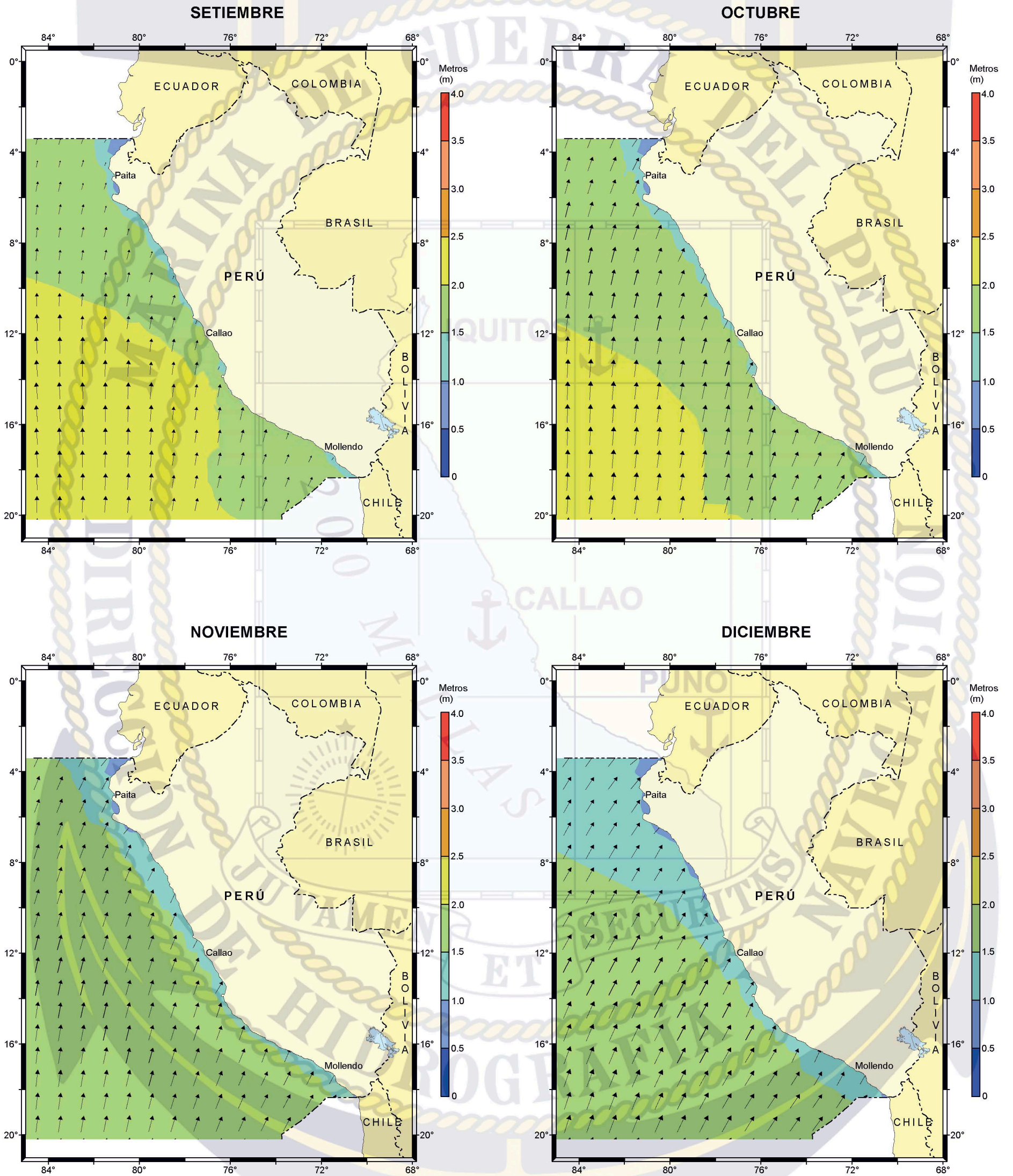
OLAS

CLIMATOLOGÍA MENSUAL ALTURA PERCENTIL 25 (H25) y DIRECCIÓN MEDIA (Dm)



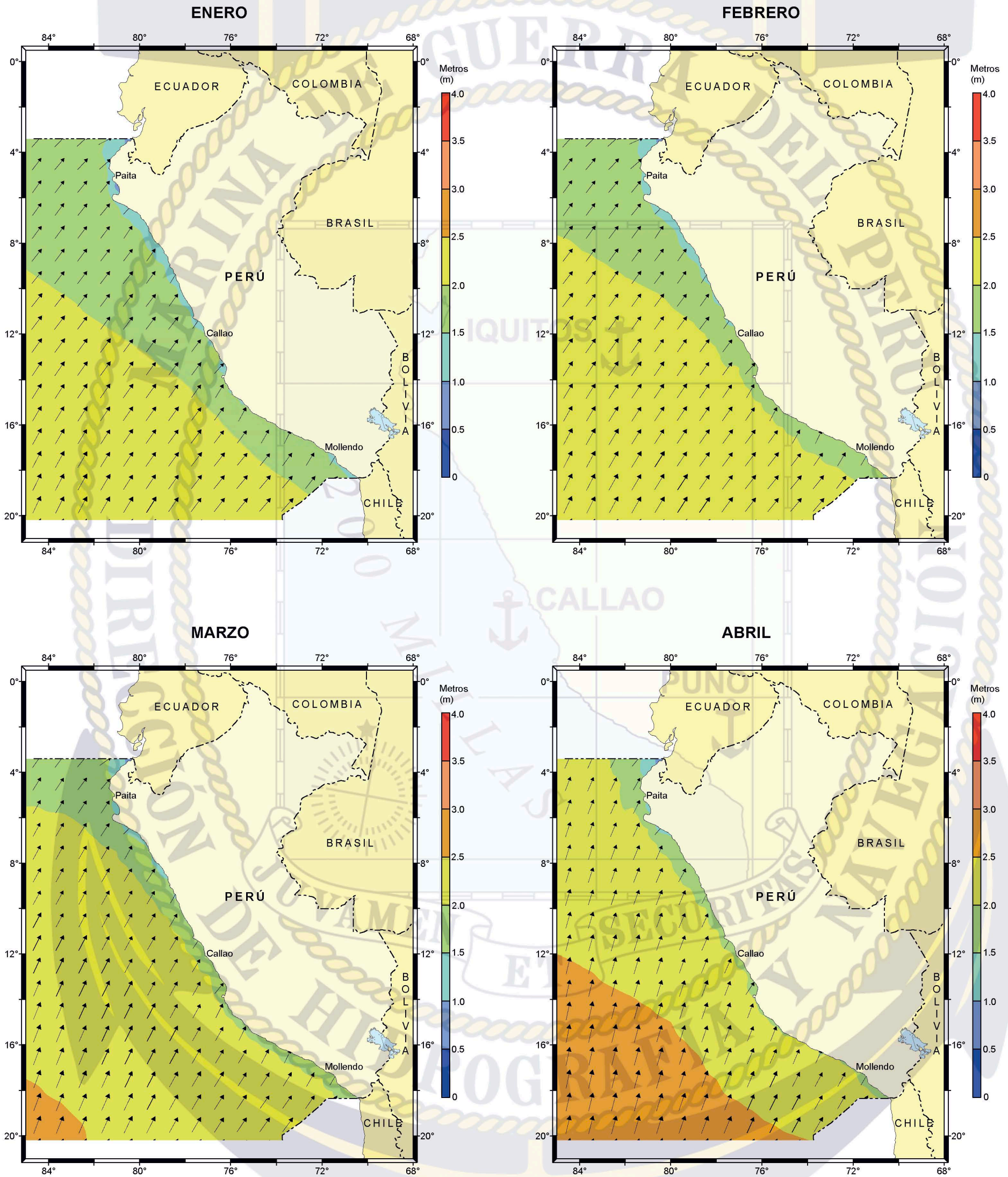
OLAS

CLIMATOLOGÍA MENSUAL ALTURA PERCENTIL 25 (H25) y DIRECCIÓN MEDIA (Dm)



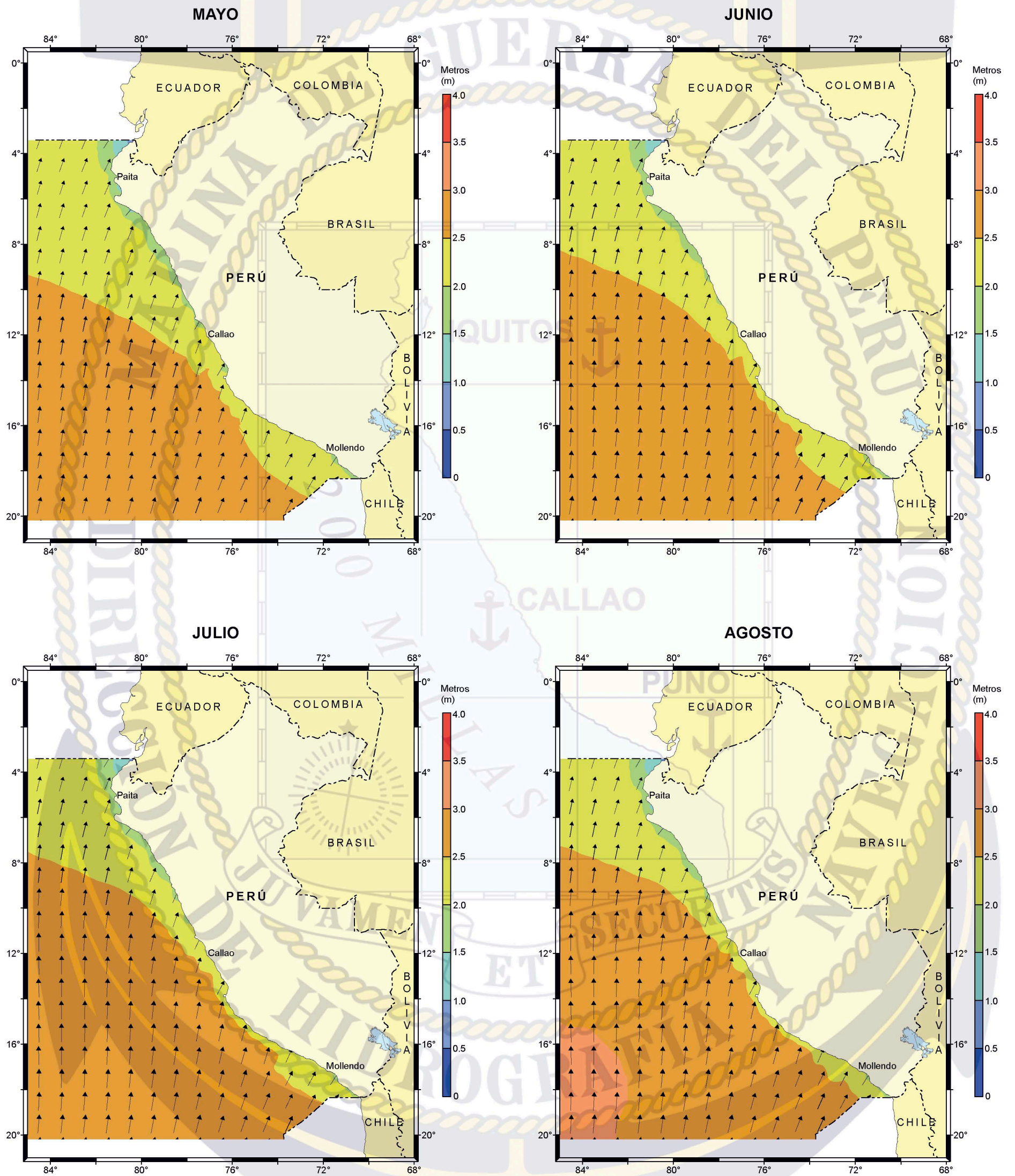


CLIMATOLOGÍA MENSUAL
ALTURA PERCENTIL 50 (H50) y DIRECCIÓN MEDIA (Dm)



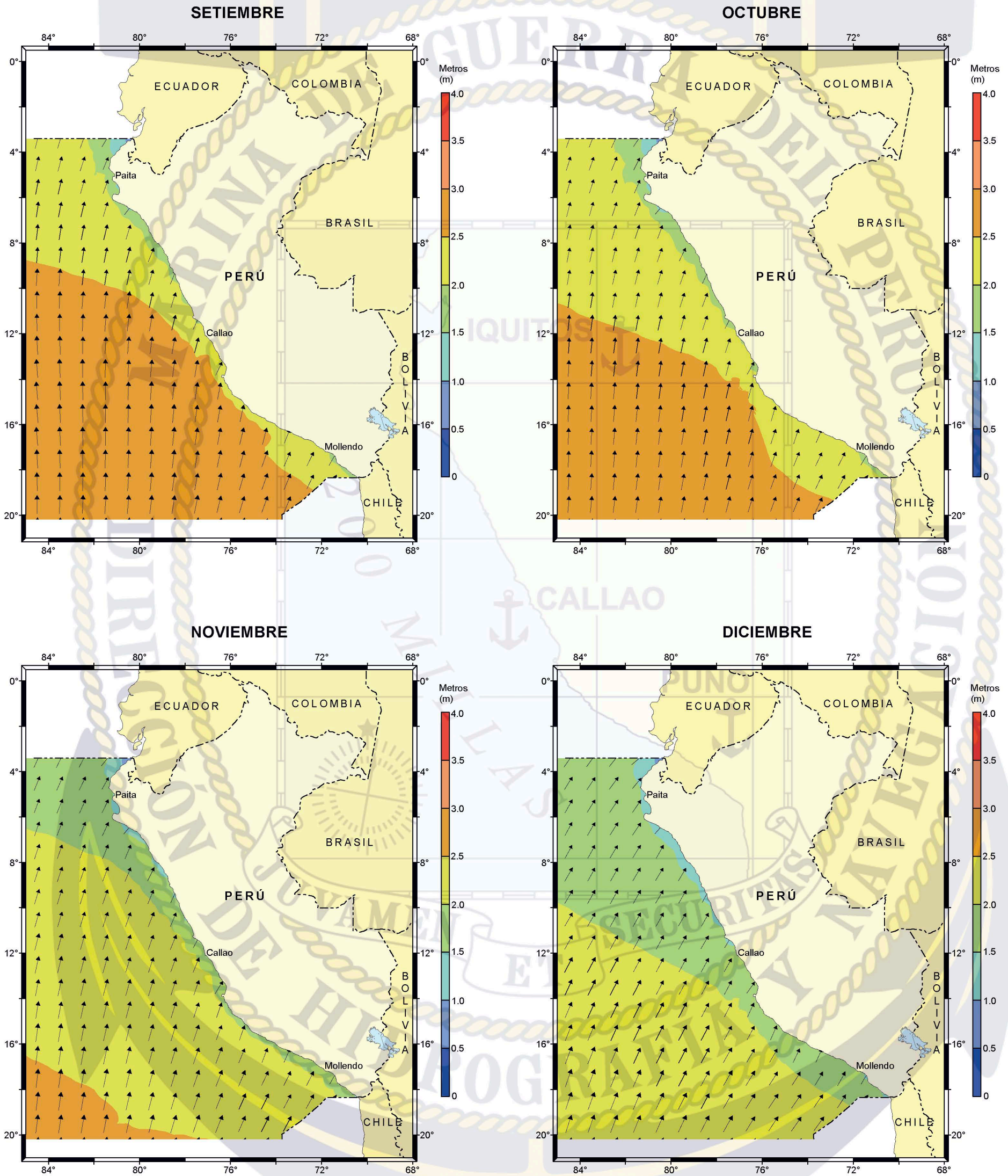
OLAS

CLIMATOLOGÍA MENSUAL ALTURA PERCENTIL 50 (H50) y DIRECCIÓN MEDIA (Dm)



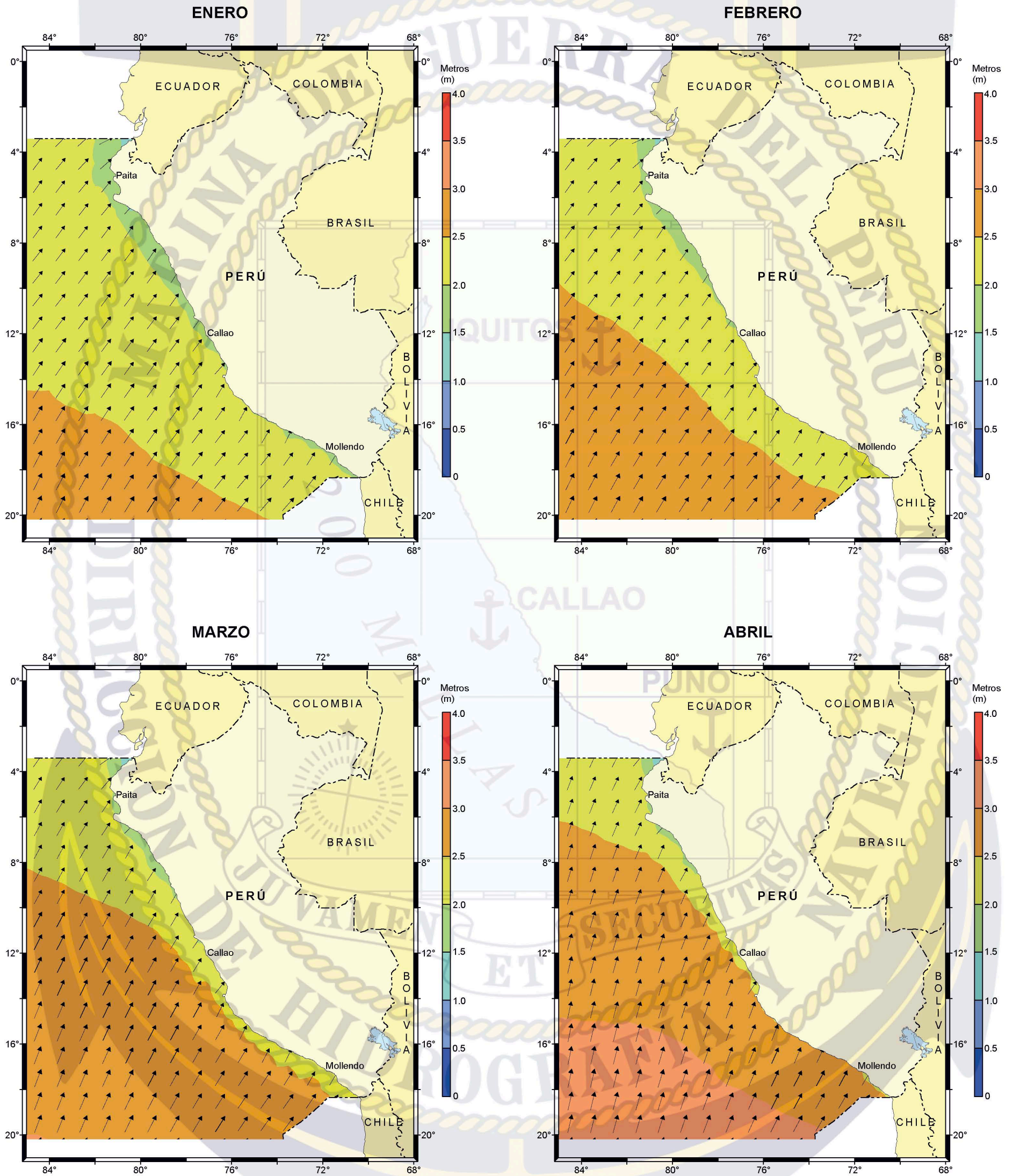
OLAS

CLIMATOLOGÍA MENSUAL ALTURA PERCENTIL 50 (H50) y DIRECCIÓN MEDIA (Dm)



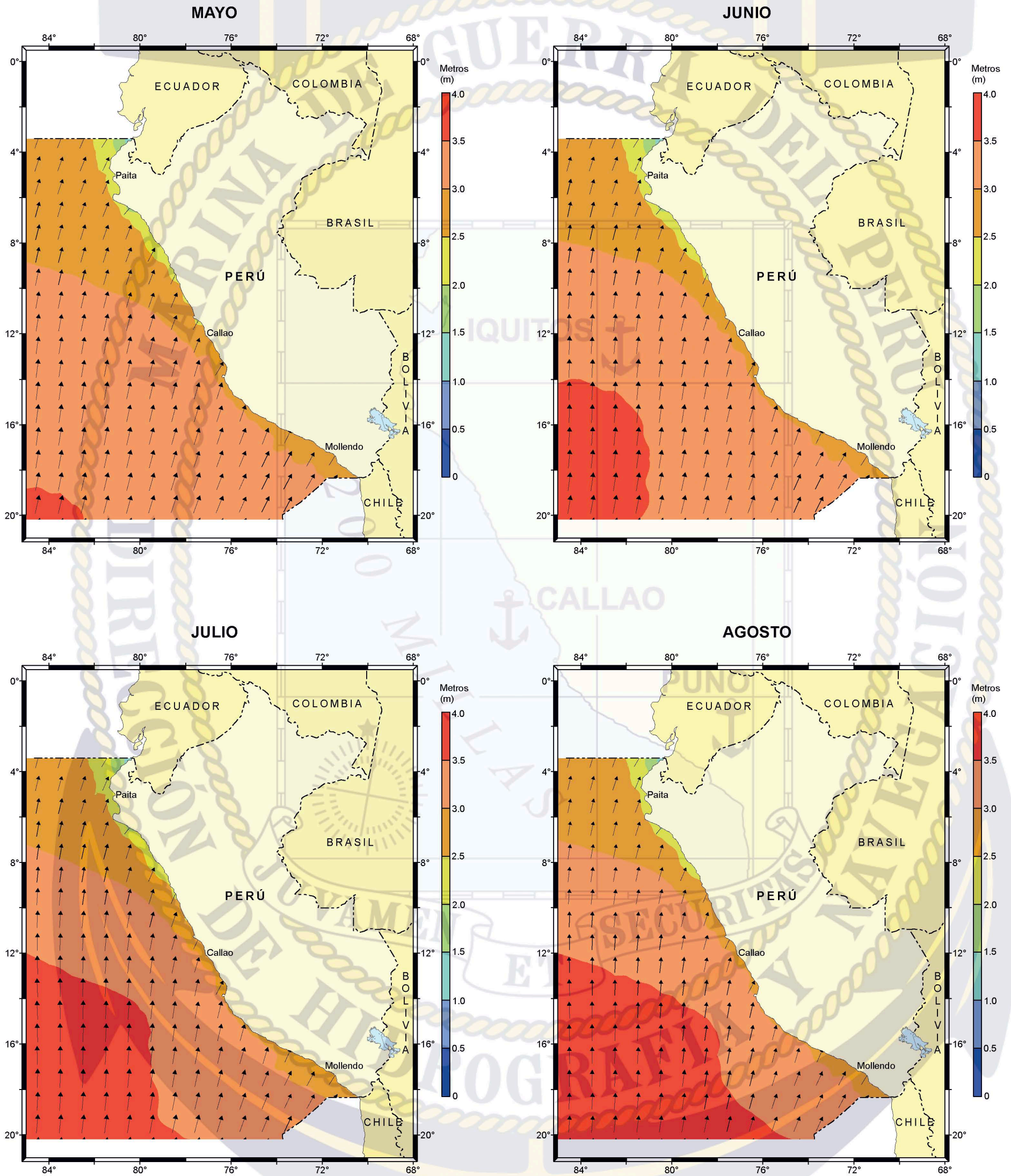
OLAS

CLIMATOLOGÍA MENSUAL ALTURA PERCENTIL 75 (H75) y DIRECCIÓN MEDIA (Dm)



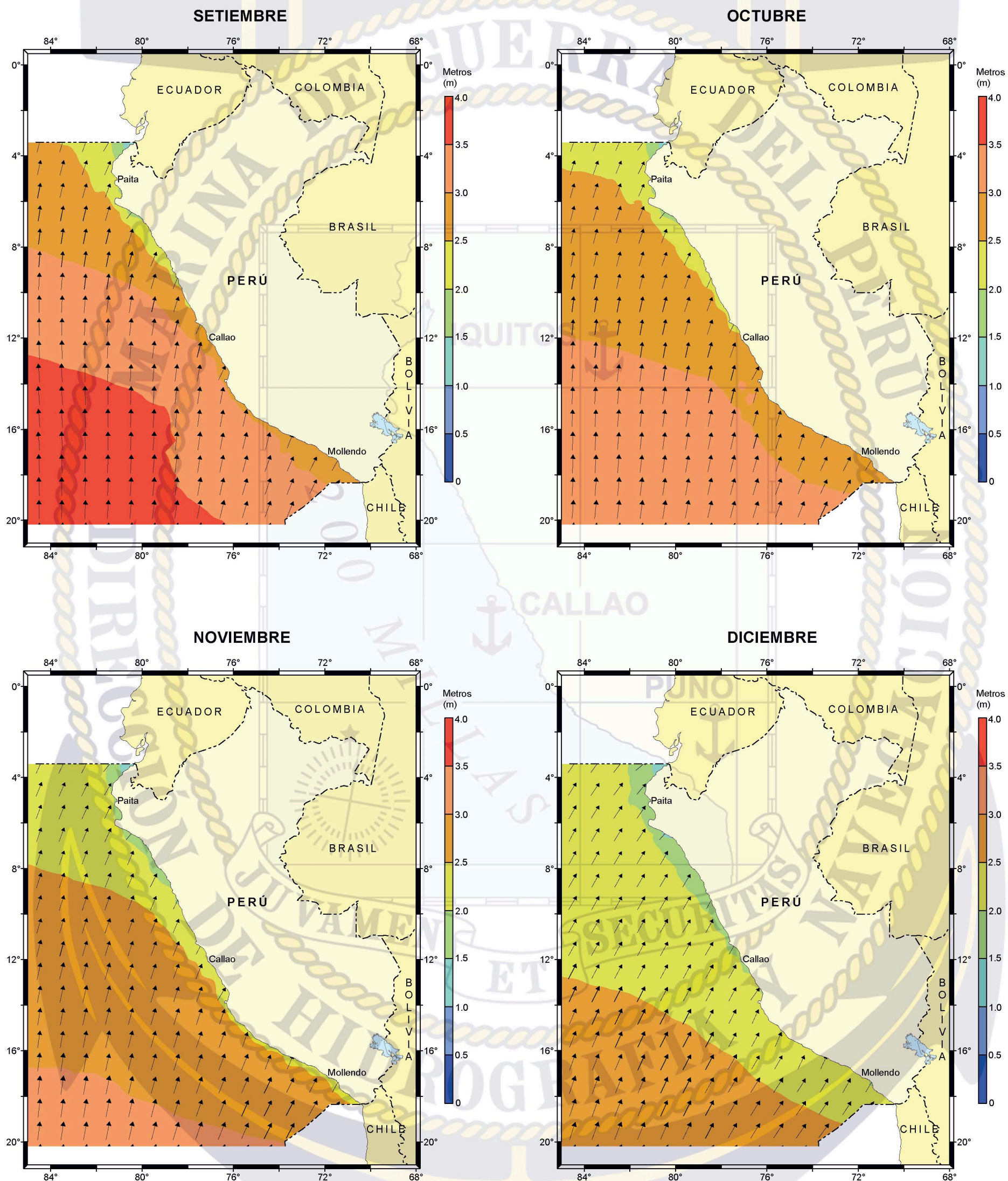


CLIMATOLOGÍA MENSUAL
ALTURA PERCENTIL 75 (H75) y DIRECCIÓN MEDIA (Dm)



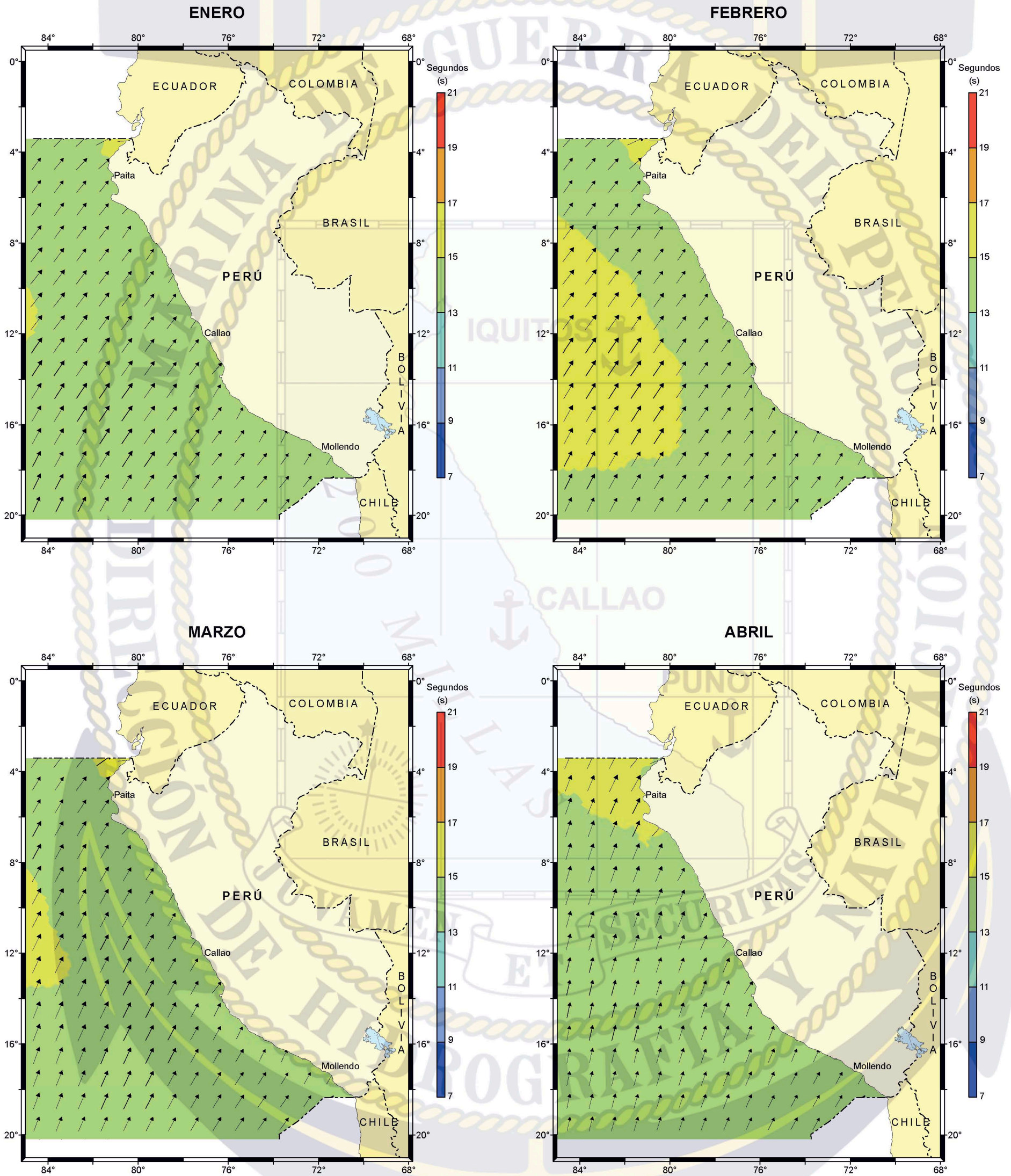
OLAS

CLIMATOLOGÍA MENSUAL ALTURA PERCENTIL 75 (H75) y DIRECCIÓN MEDIA (Dm)





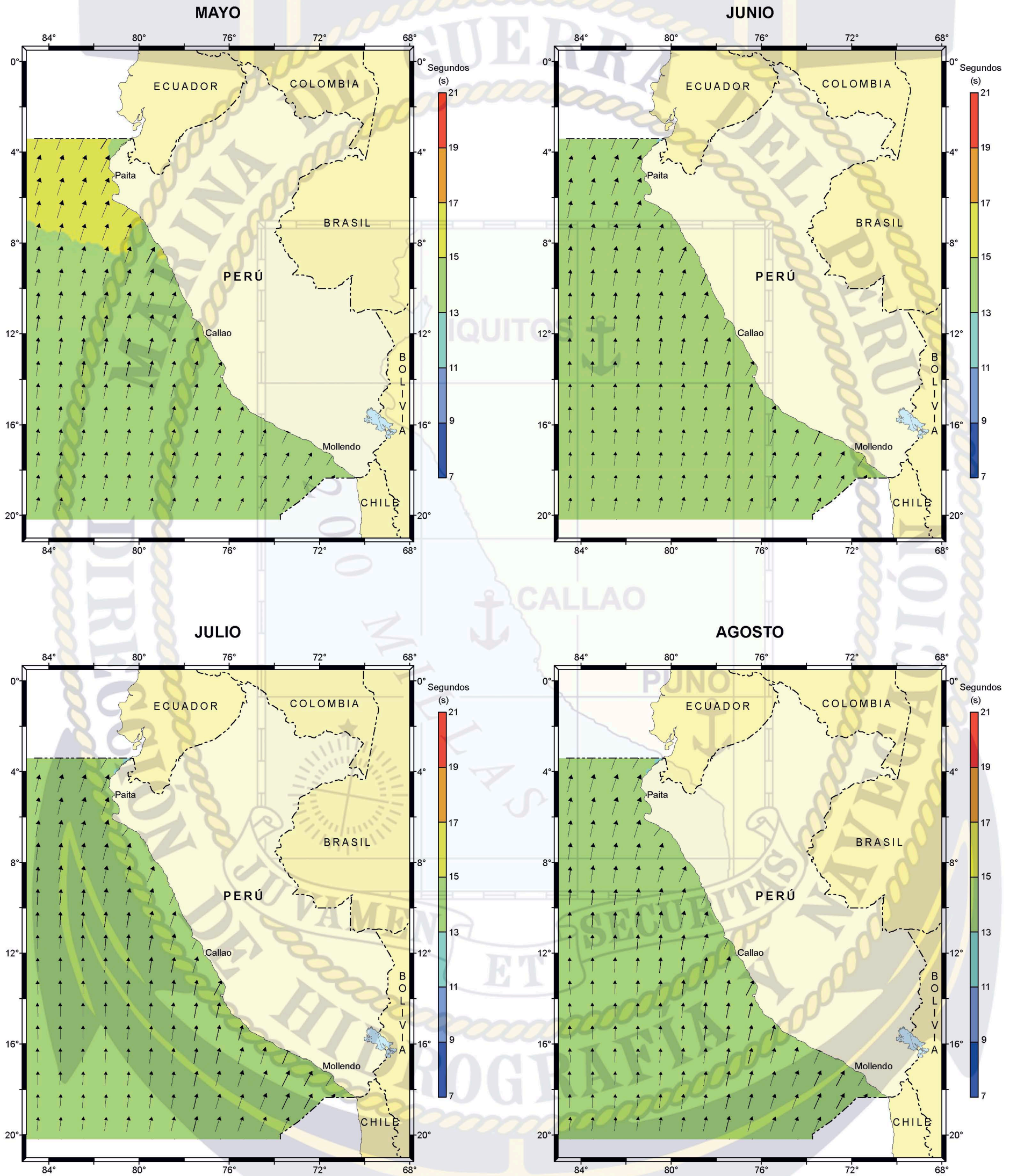
OLAS
CLIMATOLOGÍA MENSUAL
PERÍODO MEDIO (T75)





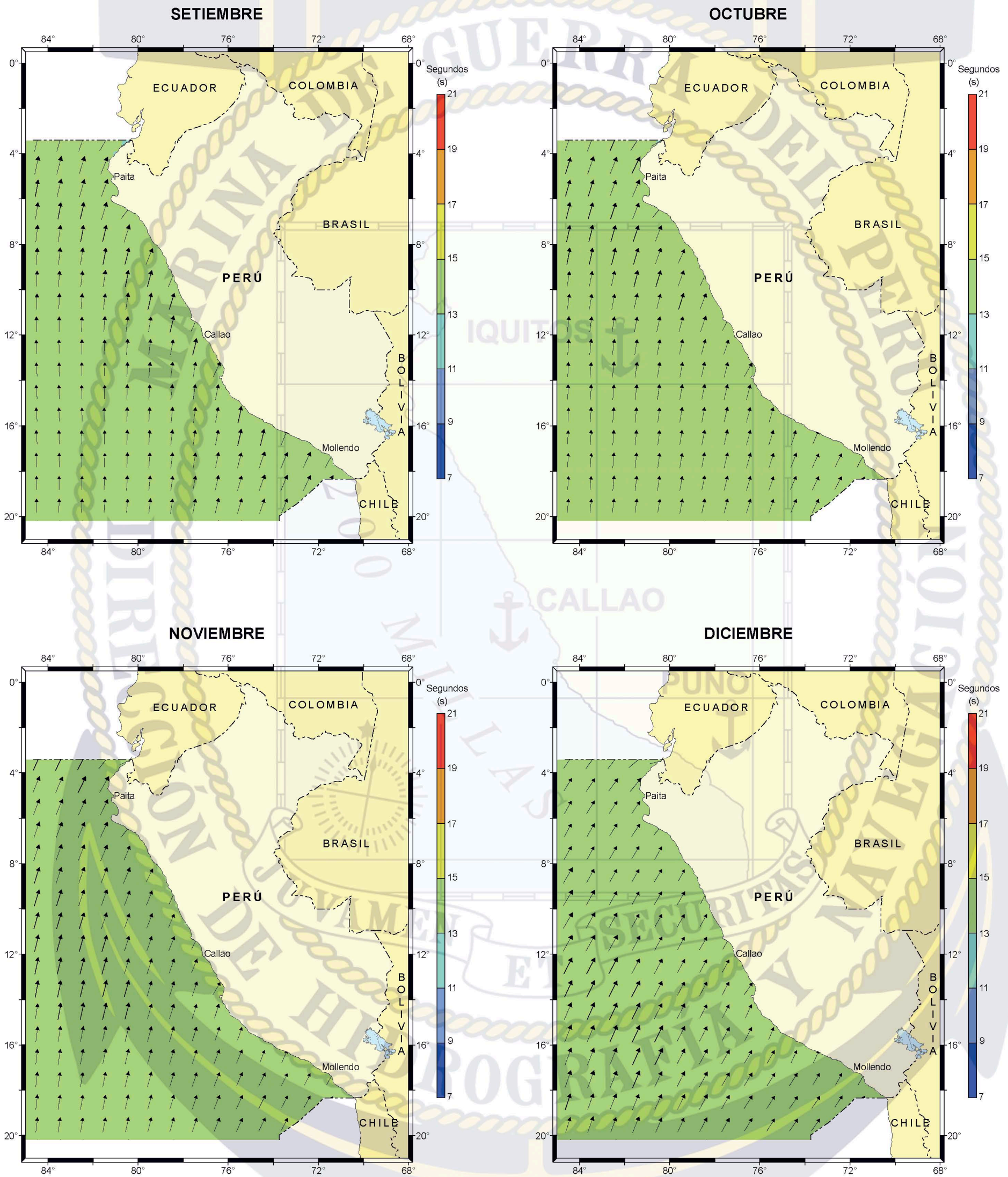
OLAS

CLIMATOLOGÍA MENSUAL PERÍODO MEDIO (T75)



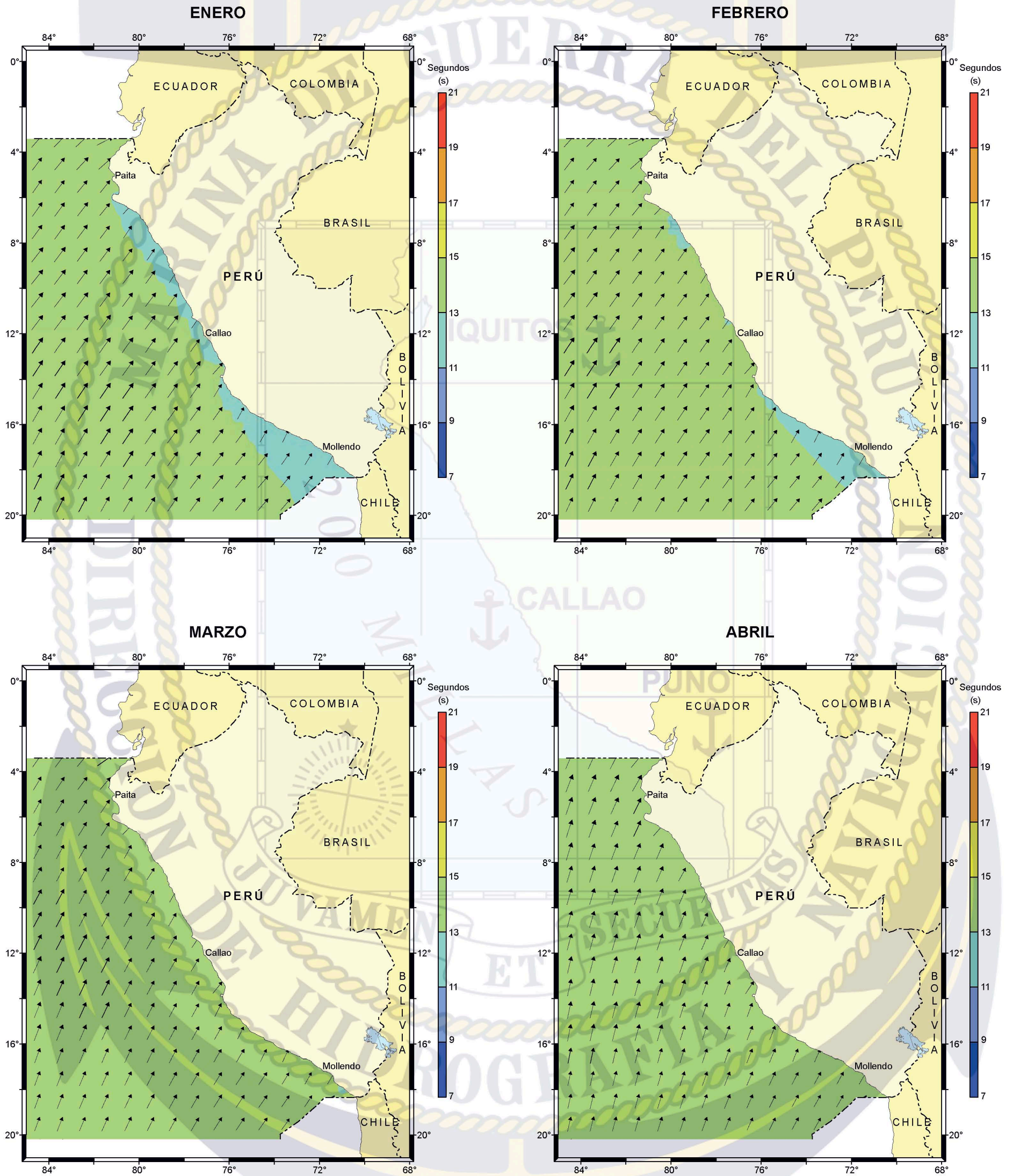


**CLIMATOLOGÍA MENSUAL
PERÍODO MEDIO (T75)**



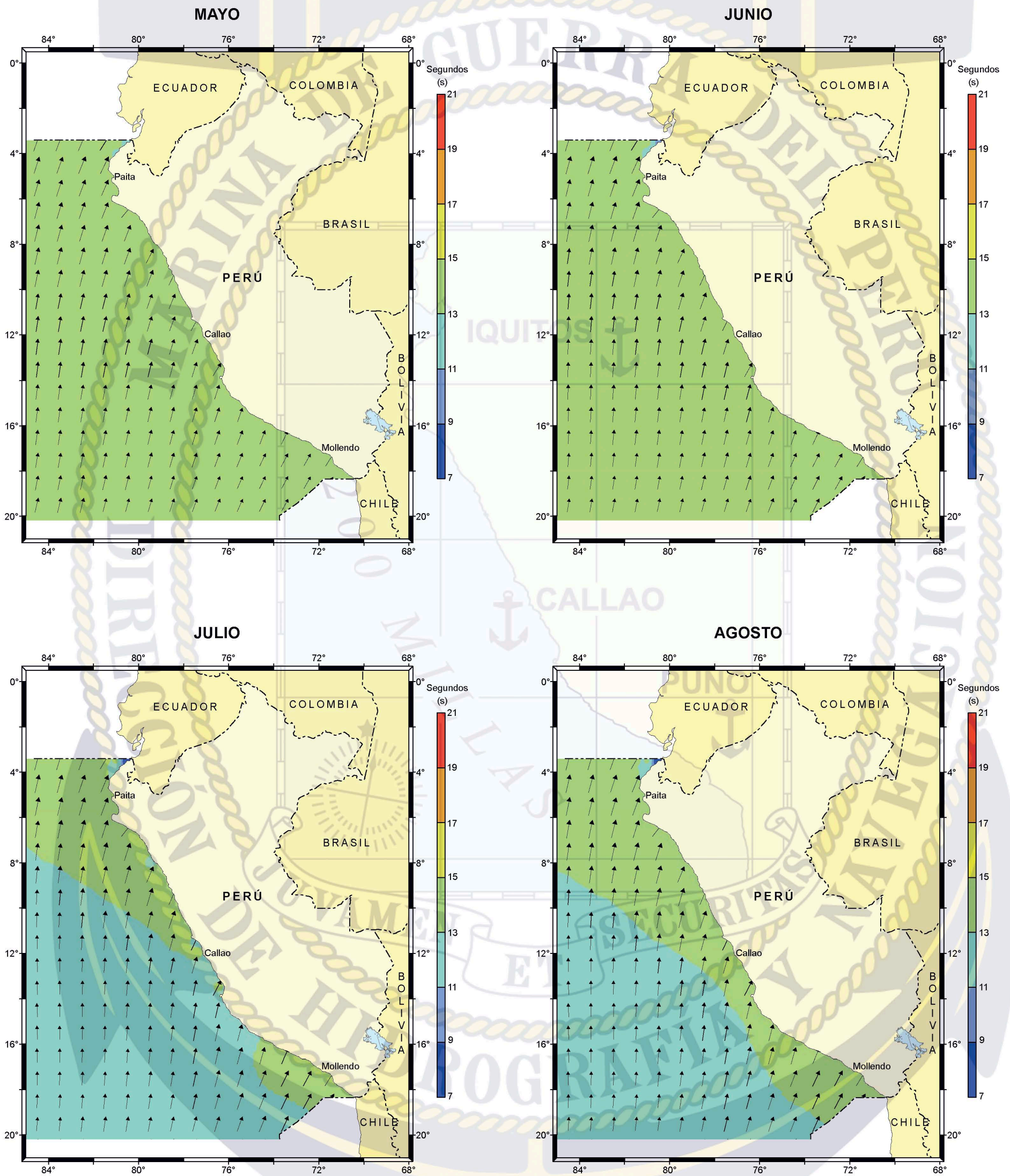
OLAS

CLIMATOLOGÍA MENSUAL PERÍODO PERCENTIL 25 (T25)



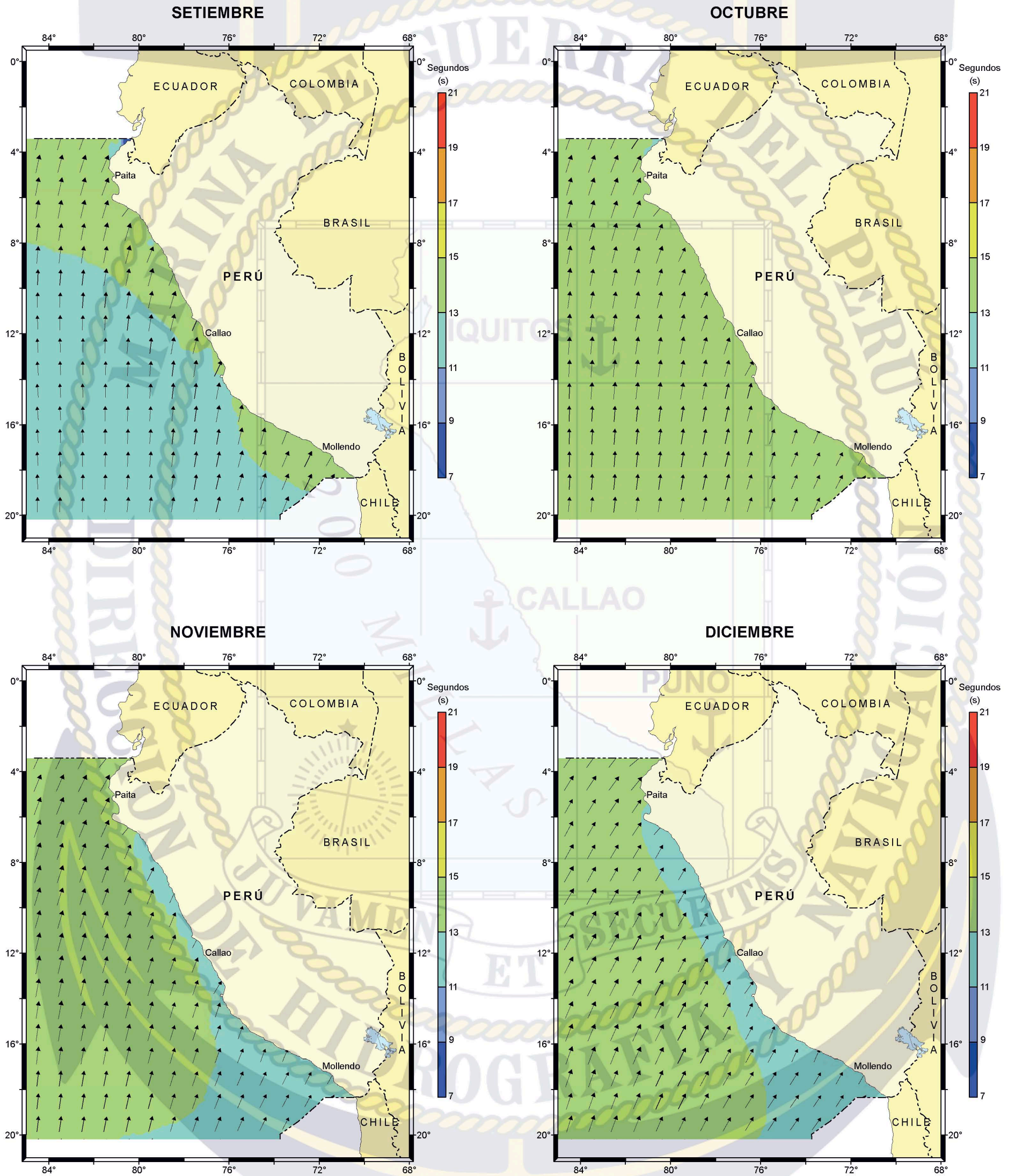
OLAS

CLIMATOLOGÍA MENSUAL PERÍODO PERCENTIL 25 (T25)



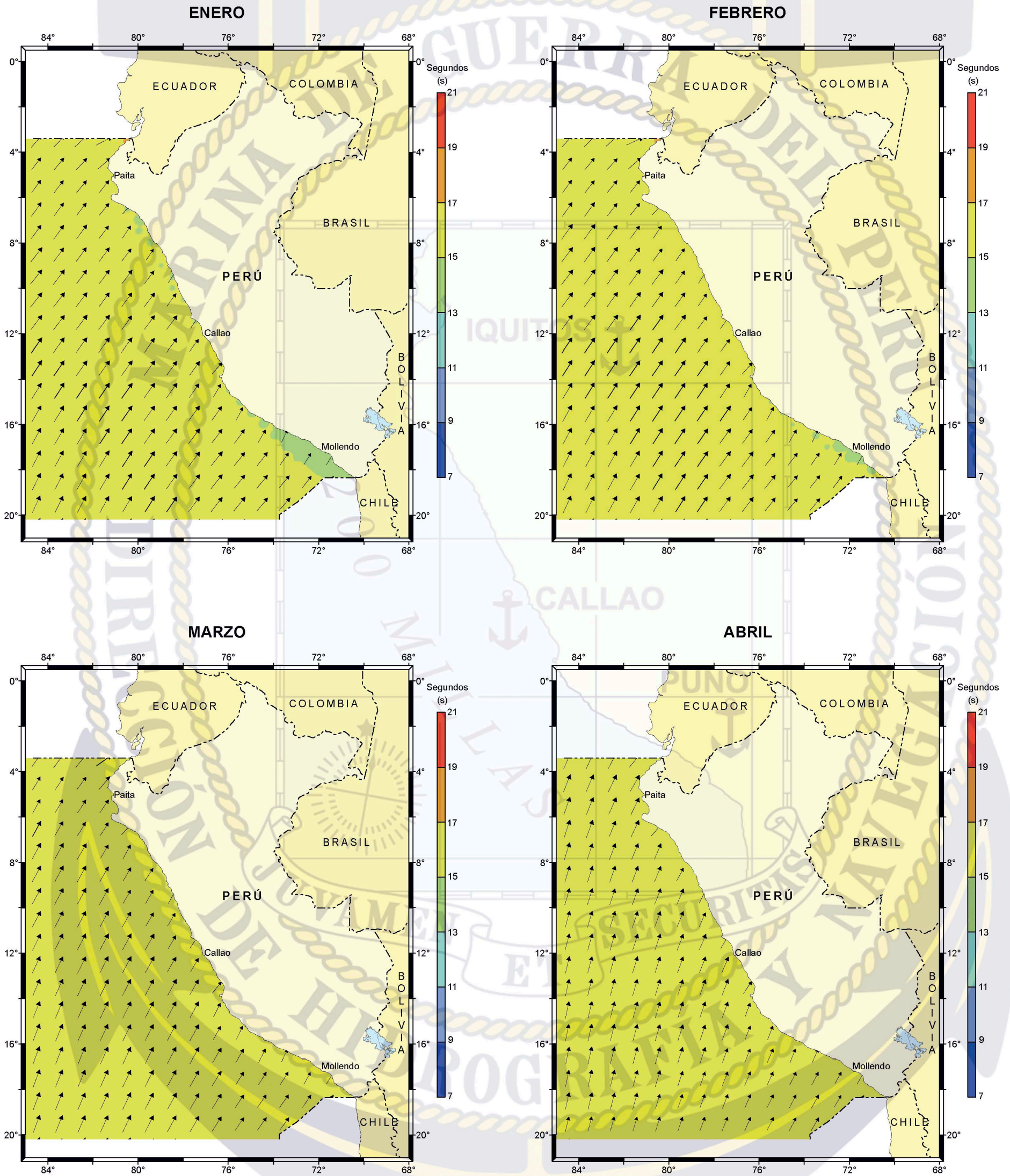
OLAS

CLIMATOLOGÍA MENSUAL PERÍODO PERCENTIL 25 (T25)



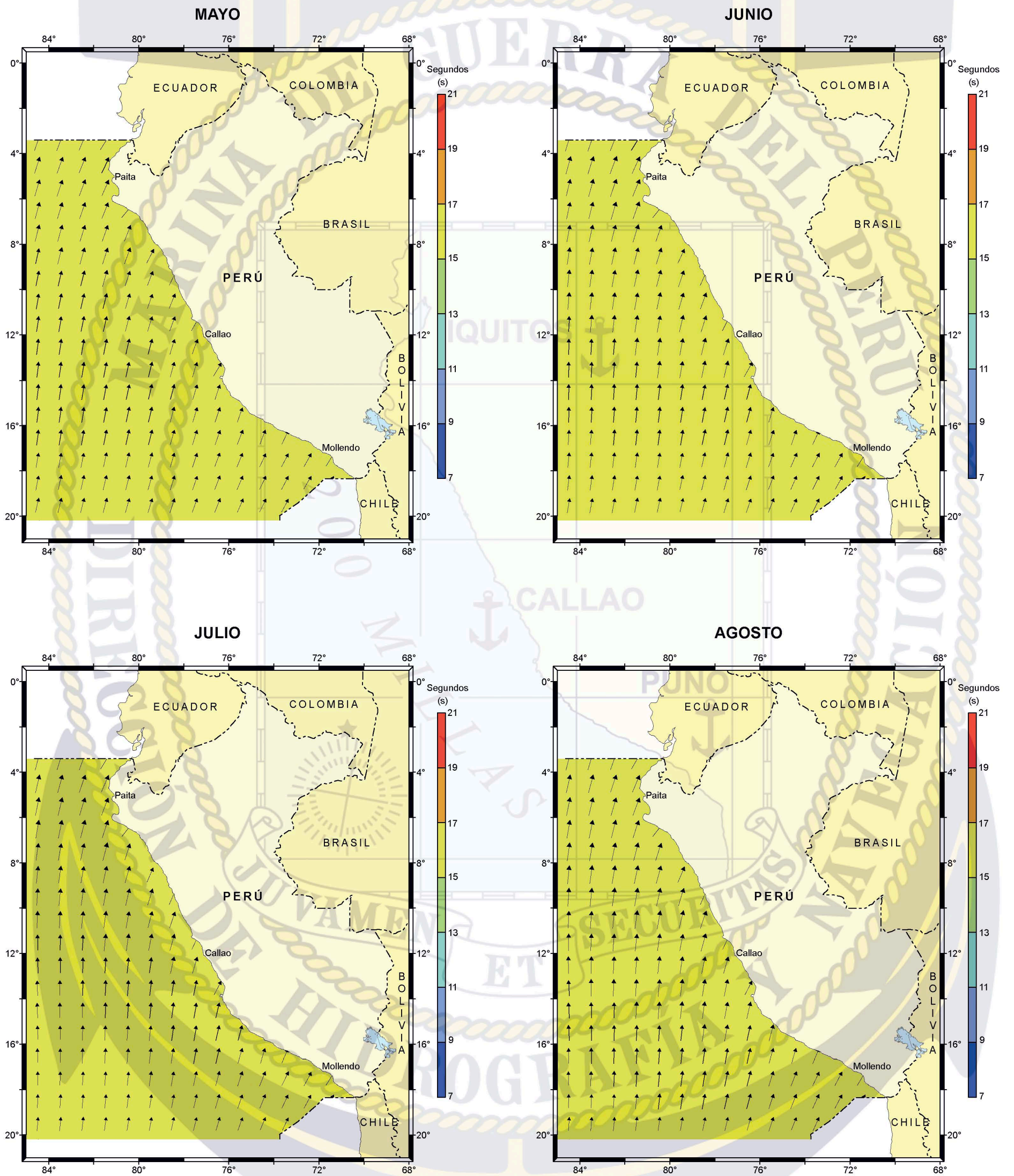
OLAS

CLIMATOLOGÍA MENSUAL PERÍODO PERCENTIL 50 (T50)



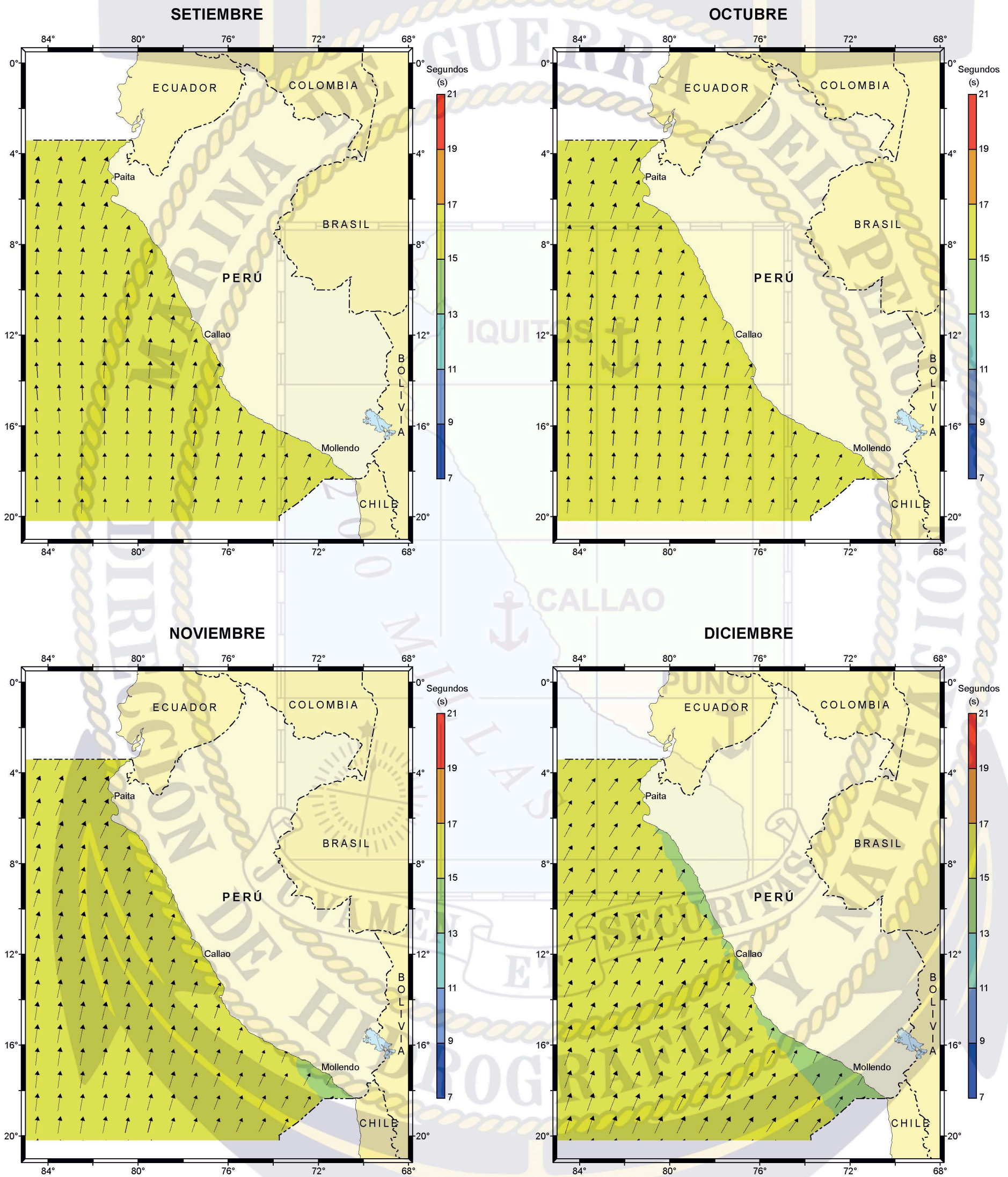
OLAS

CLIMATOLOGÍA MENSUAL PERÍODO PERCENTIL 50 (T50)



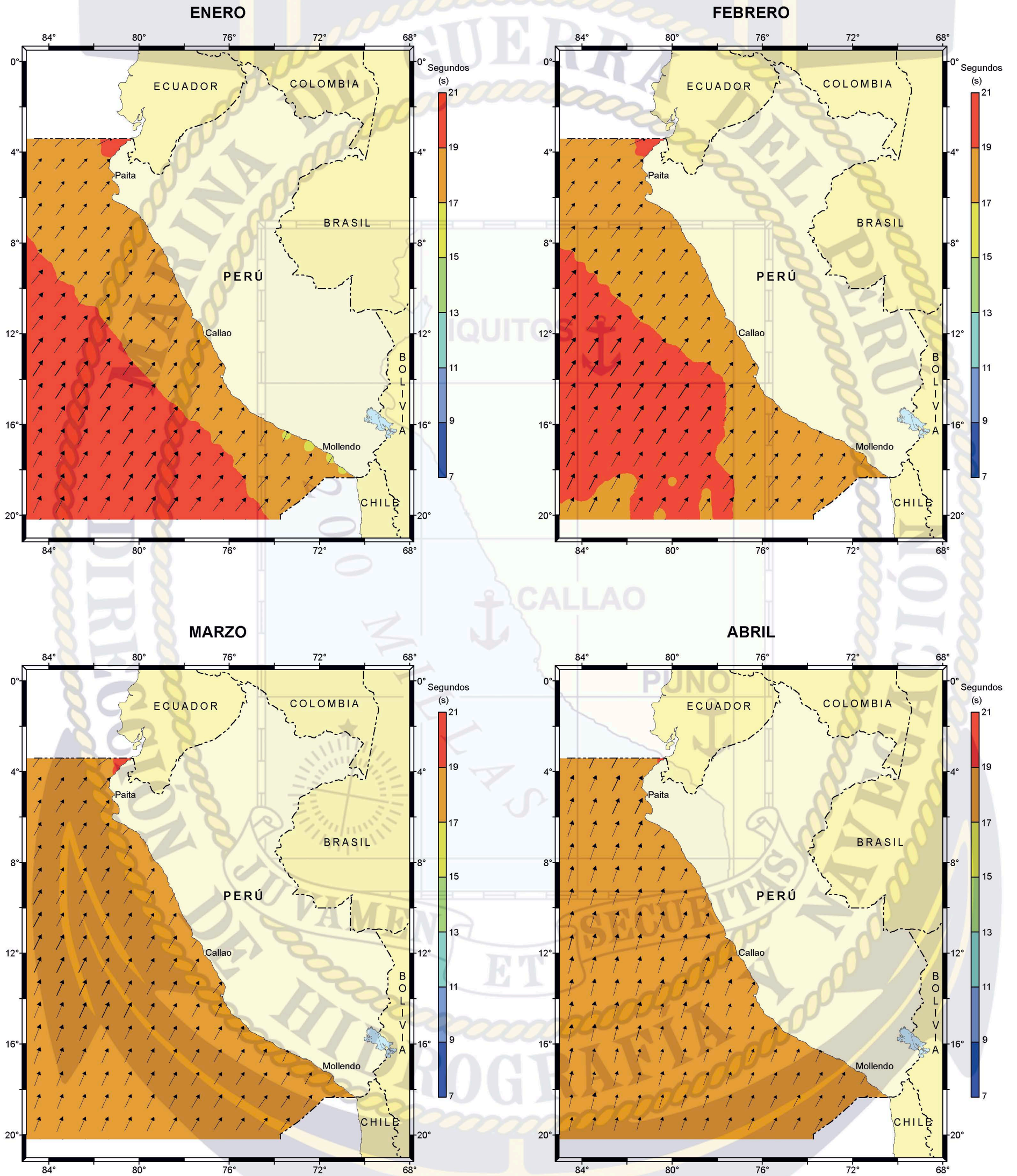
OLAS

CLIMATOLOGÍA MENSUAL PERÍODO PERCENTIL 50 (T50)



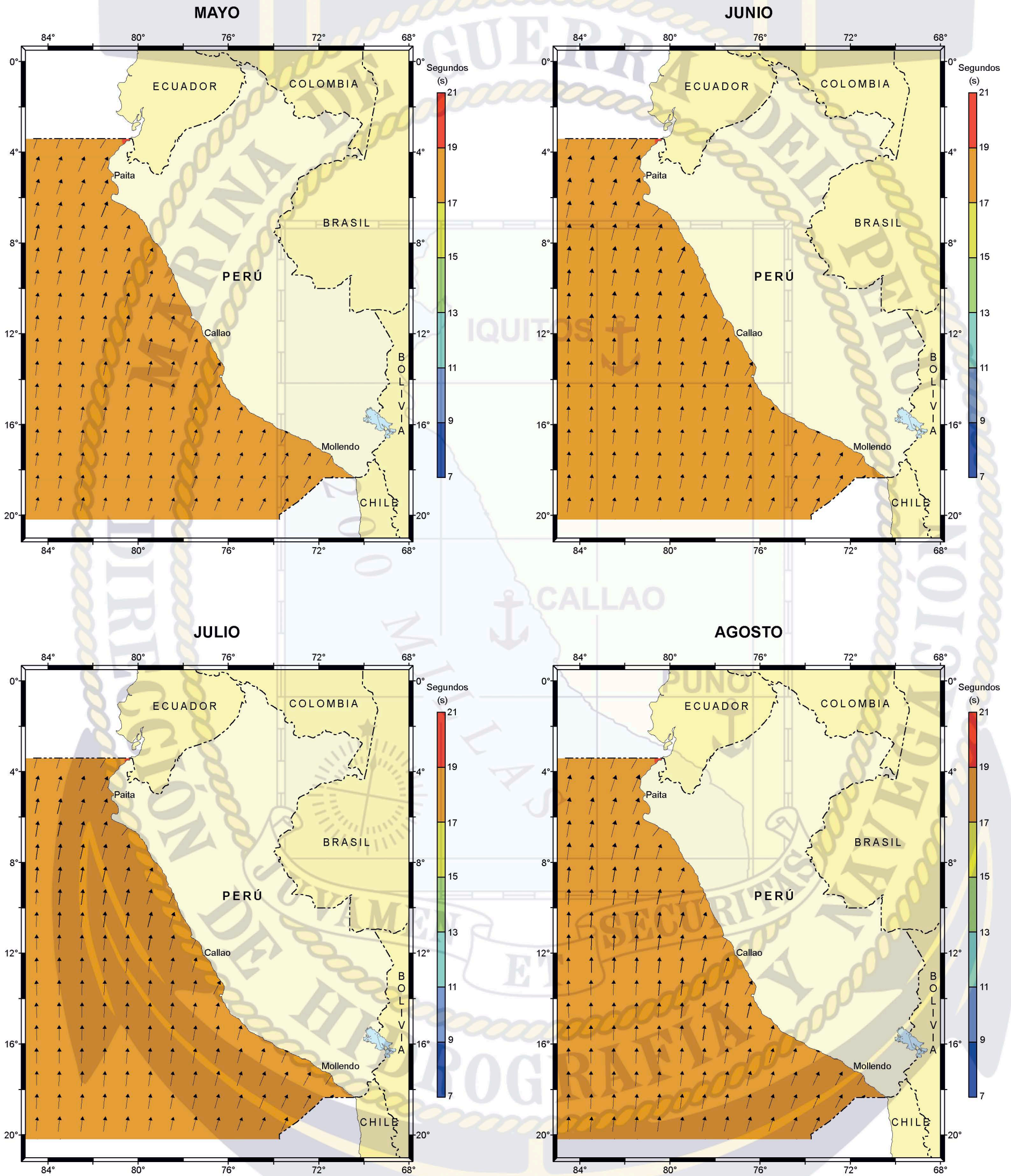
OLAS

CLIMATOLOGÍA MENSUAL PERÍODO PERCENTIL 75 (T75)





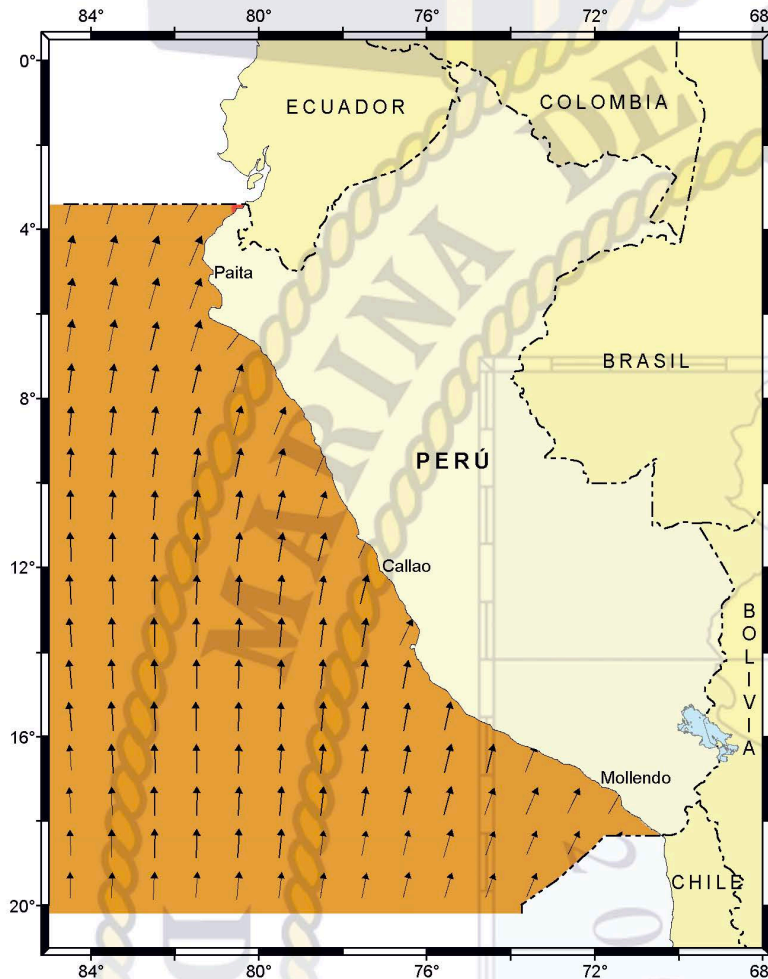
**CLIMATOLOGÍA MENSUAL
PERÍODO PERCENTIL 75 (T75)**



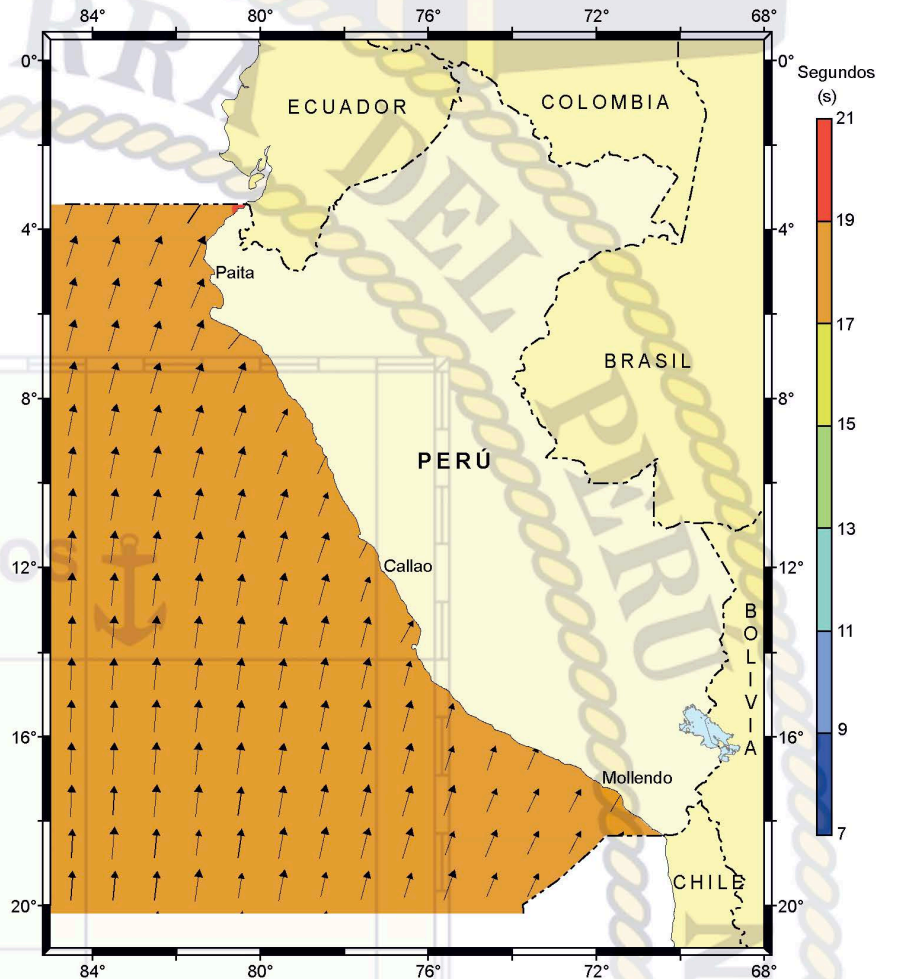
OLAS

CLIMATOLOGÍA MENSUAL PERÍODO PERCENTIL 75 (T75)

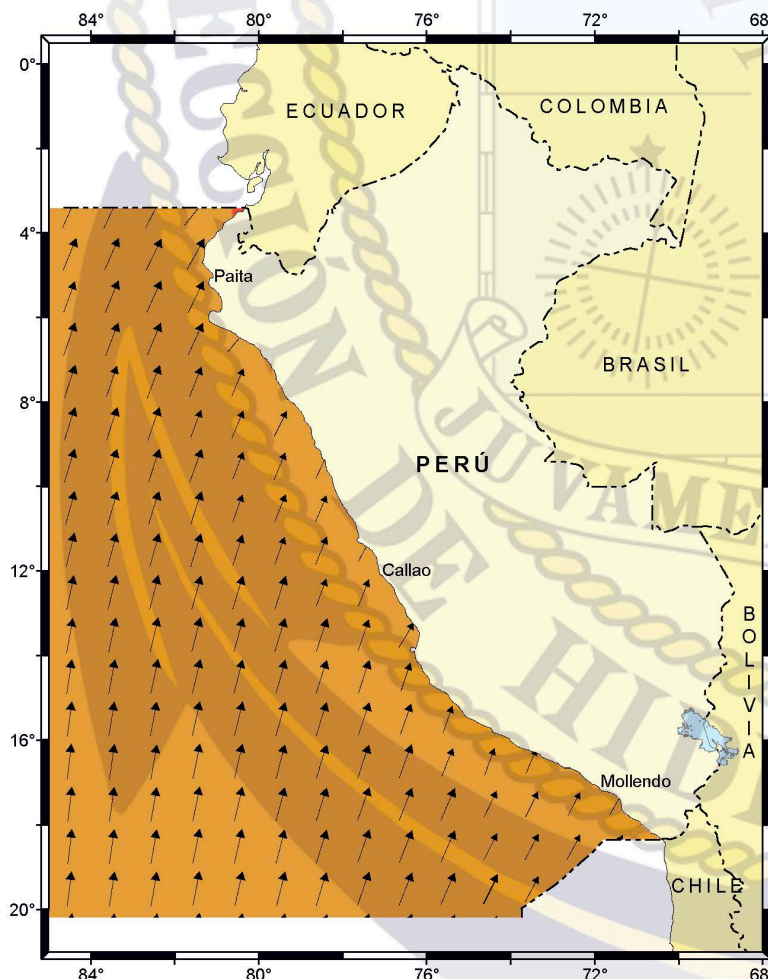
SETIEMBRE



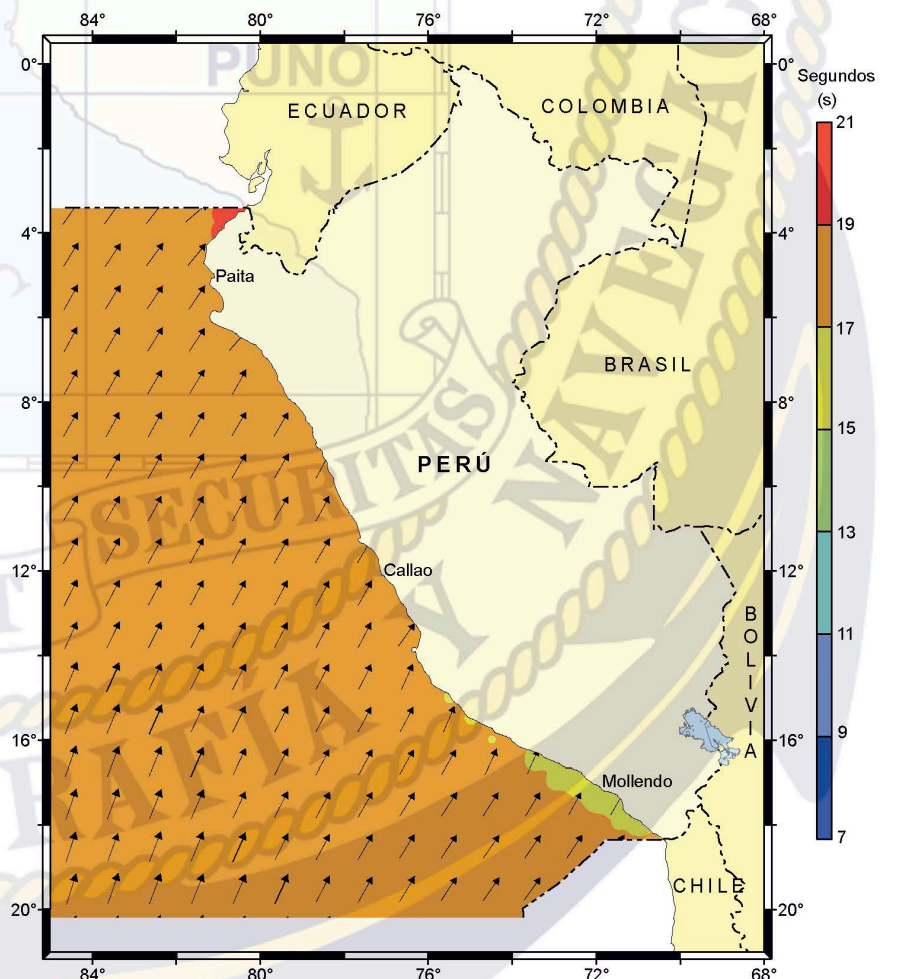
OCTUBRE



NOVIEMBRE

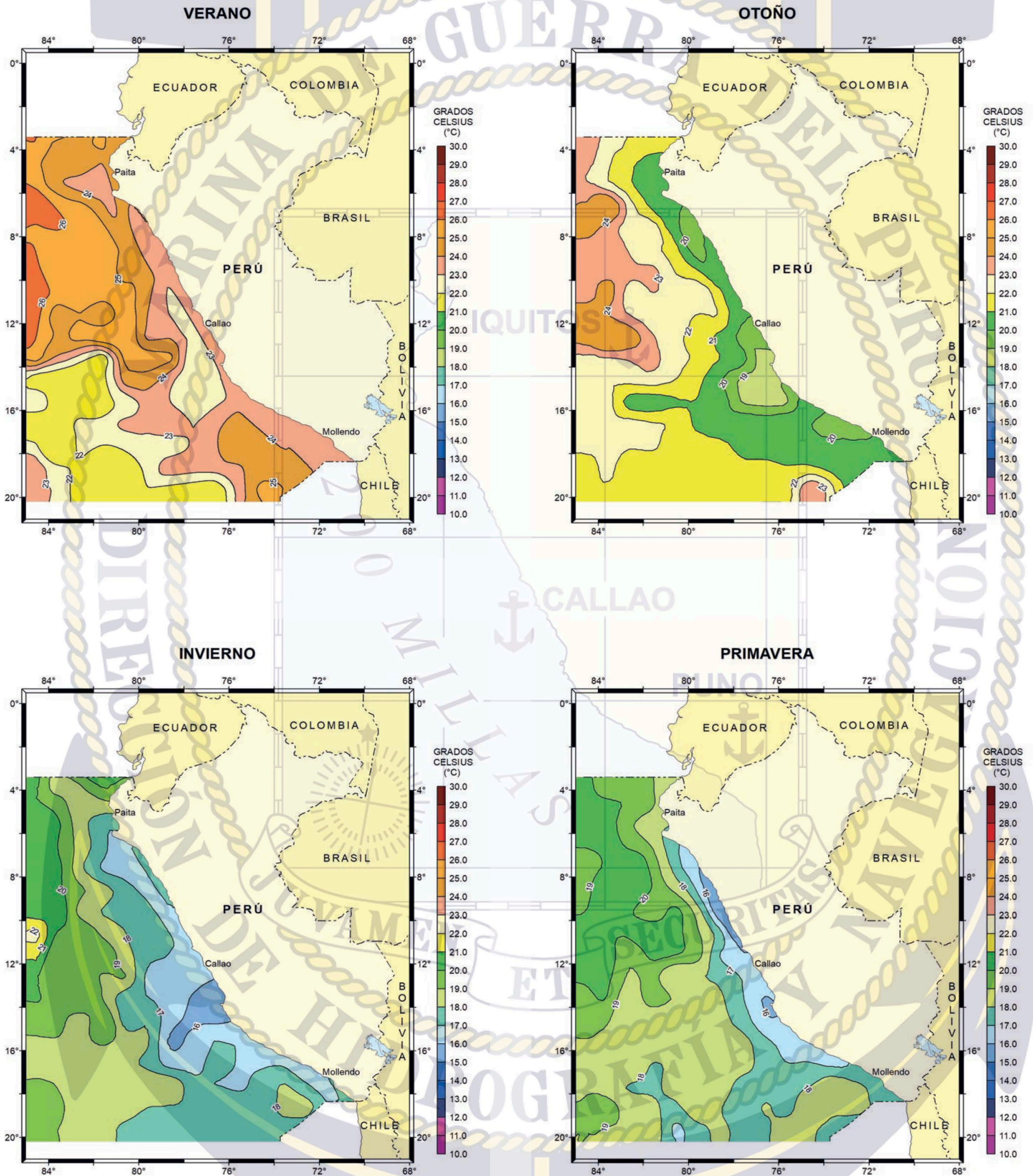


DICIEMBRE



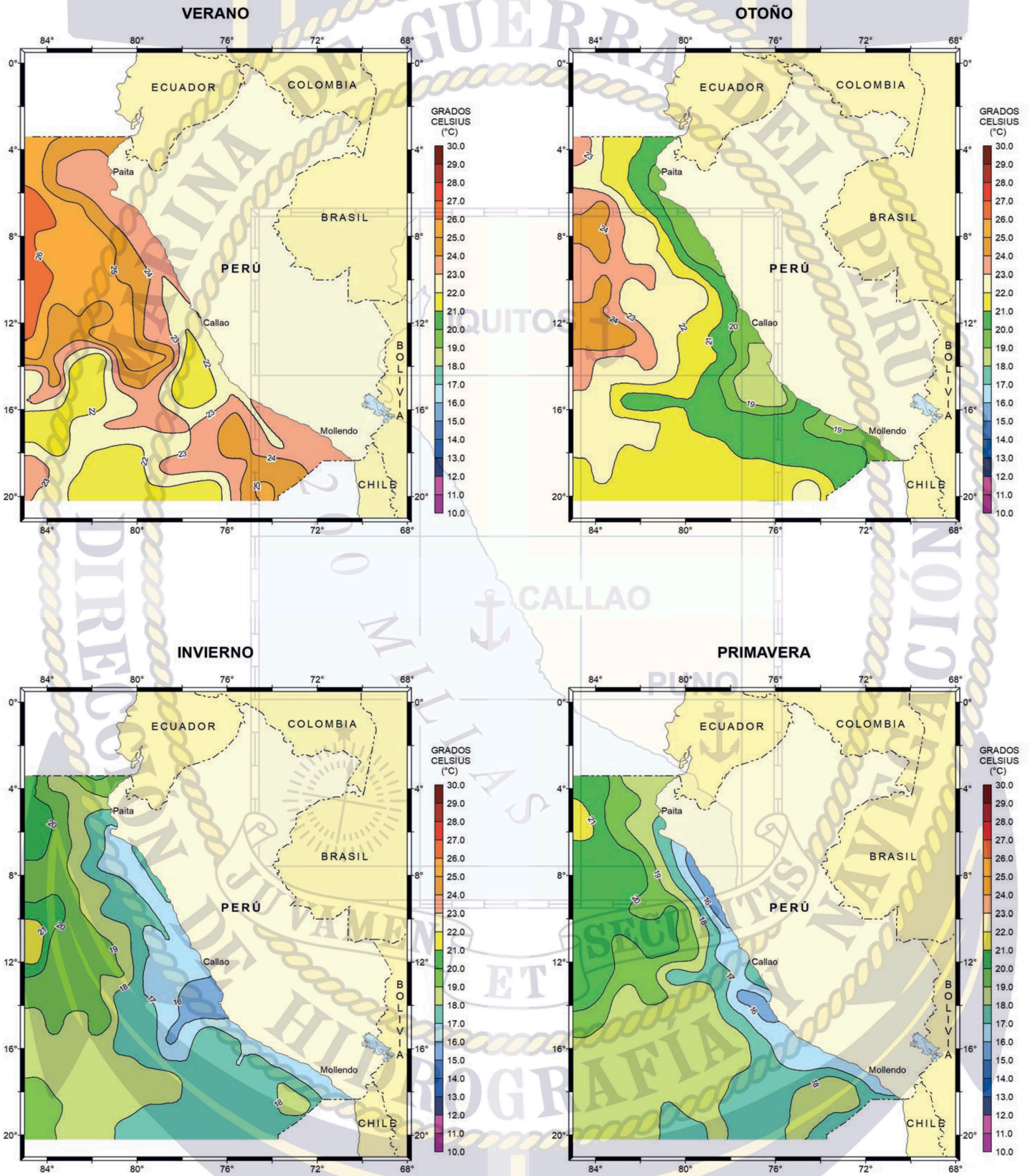
TEMPERATURA DEL MAR

CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL TEMPERATURA SUPERFICIAL



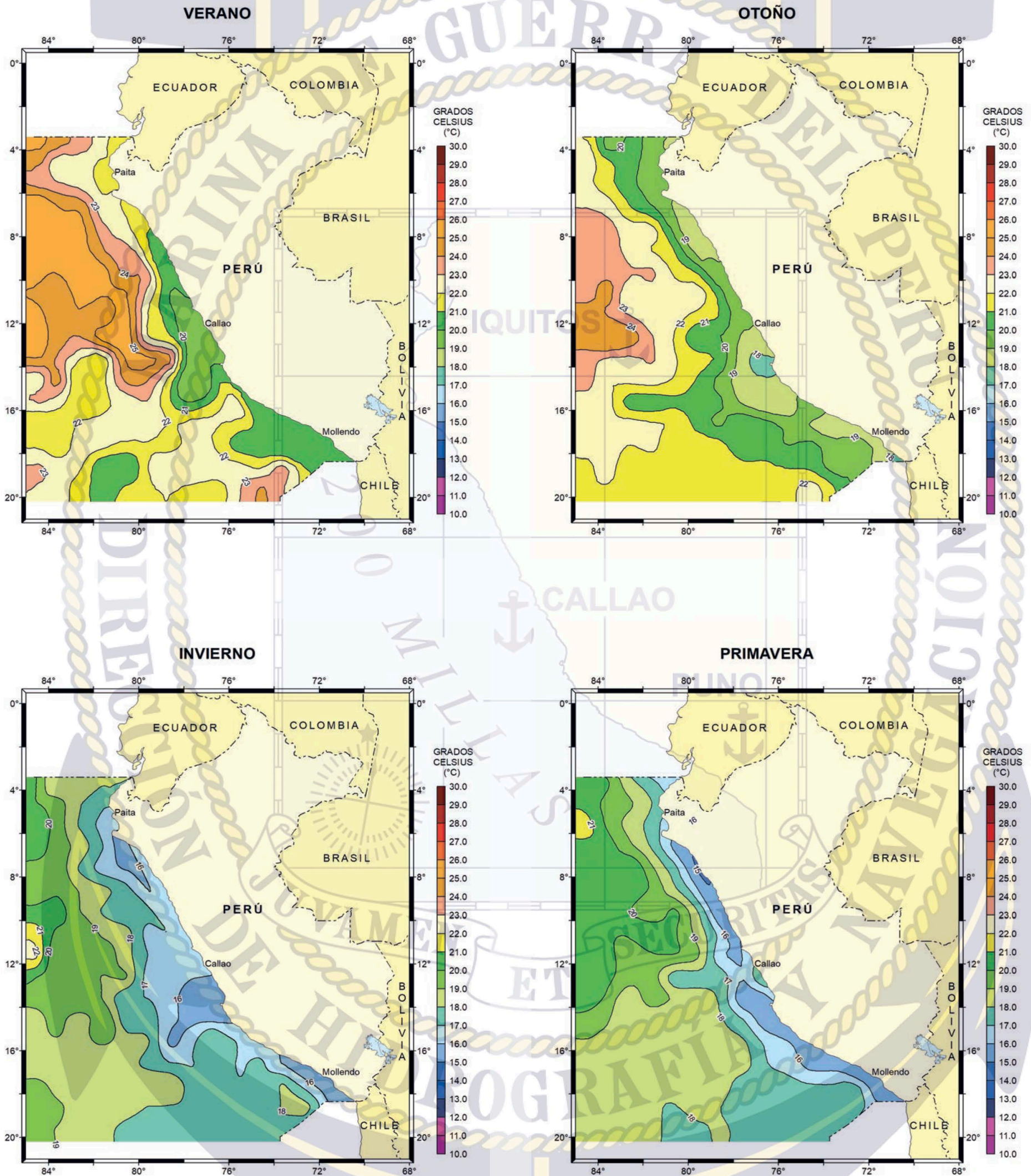
TEMPERATURA DEL MAR

CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL TEMPERATURA SUBSUPERFICIAL A 10 METROS



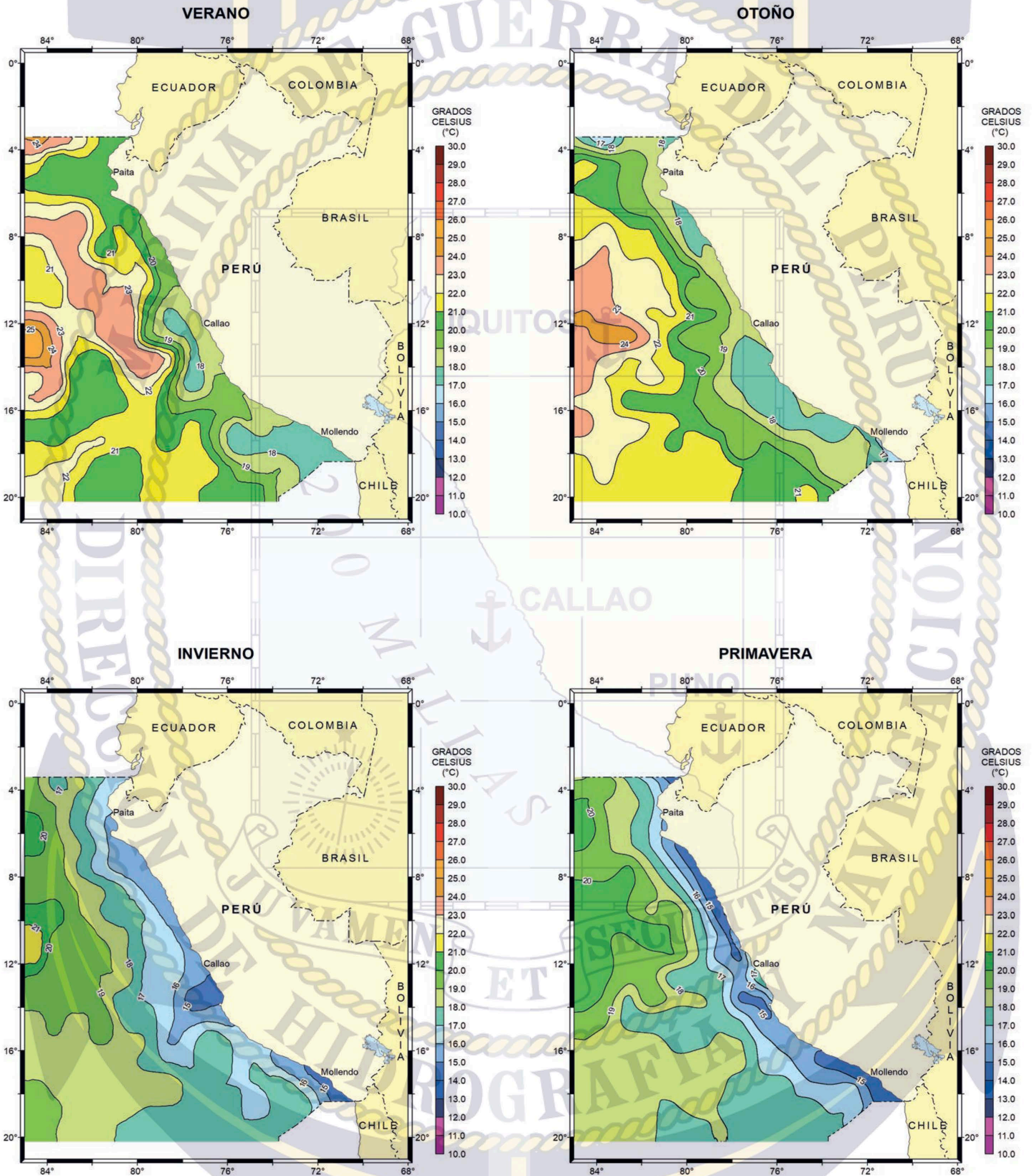
TEMPERATURA DEL MAR

CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL TEMPERATURA SUBSUPERFICIAL A 20 METROS



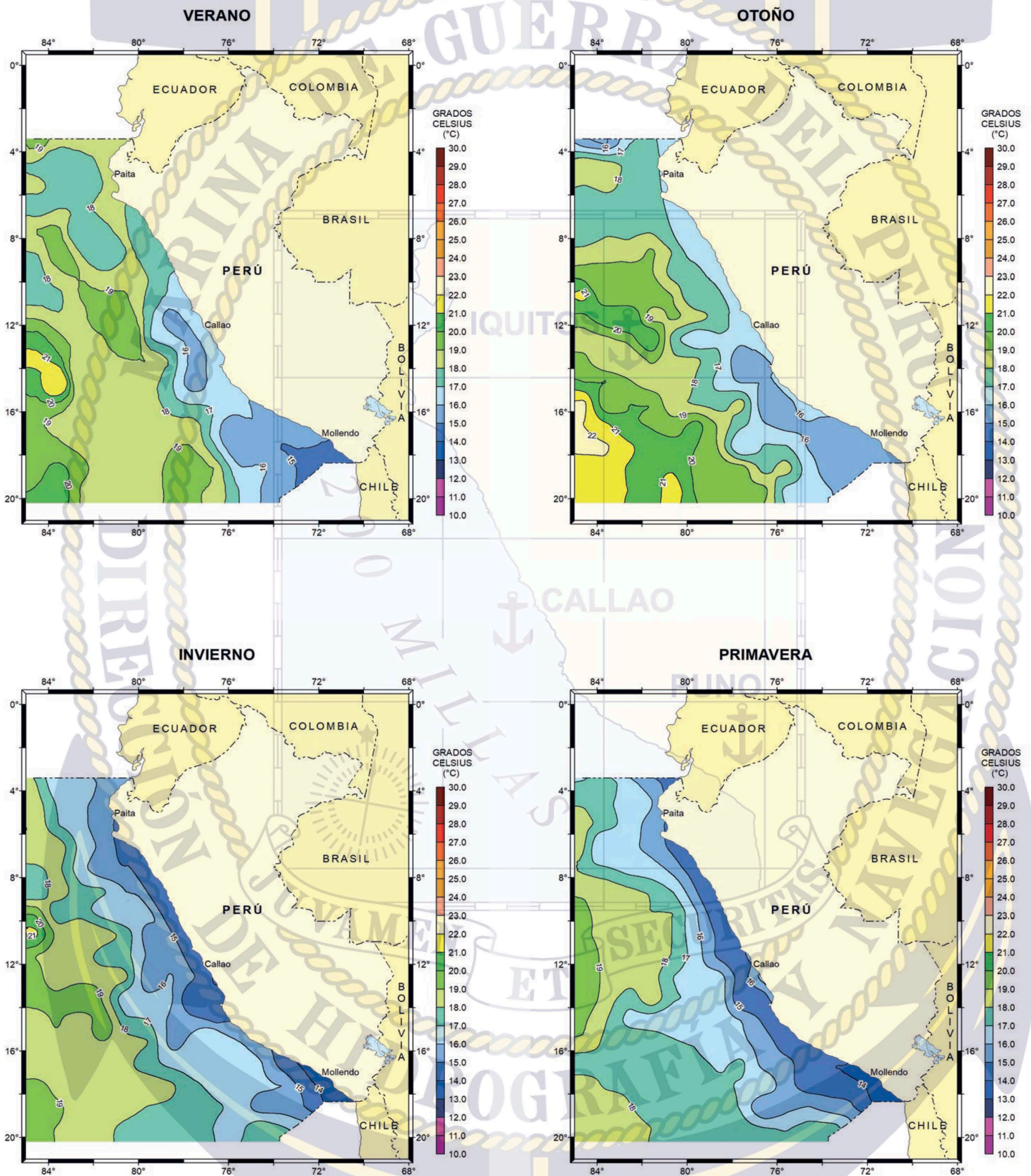
TEMPERATURA DEL MAR

CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL TEMPERATURA SUBSUPERFICIAL A 30 METROS



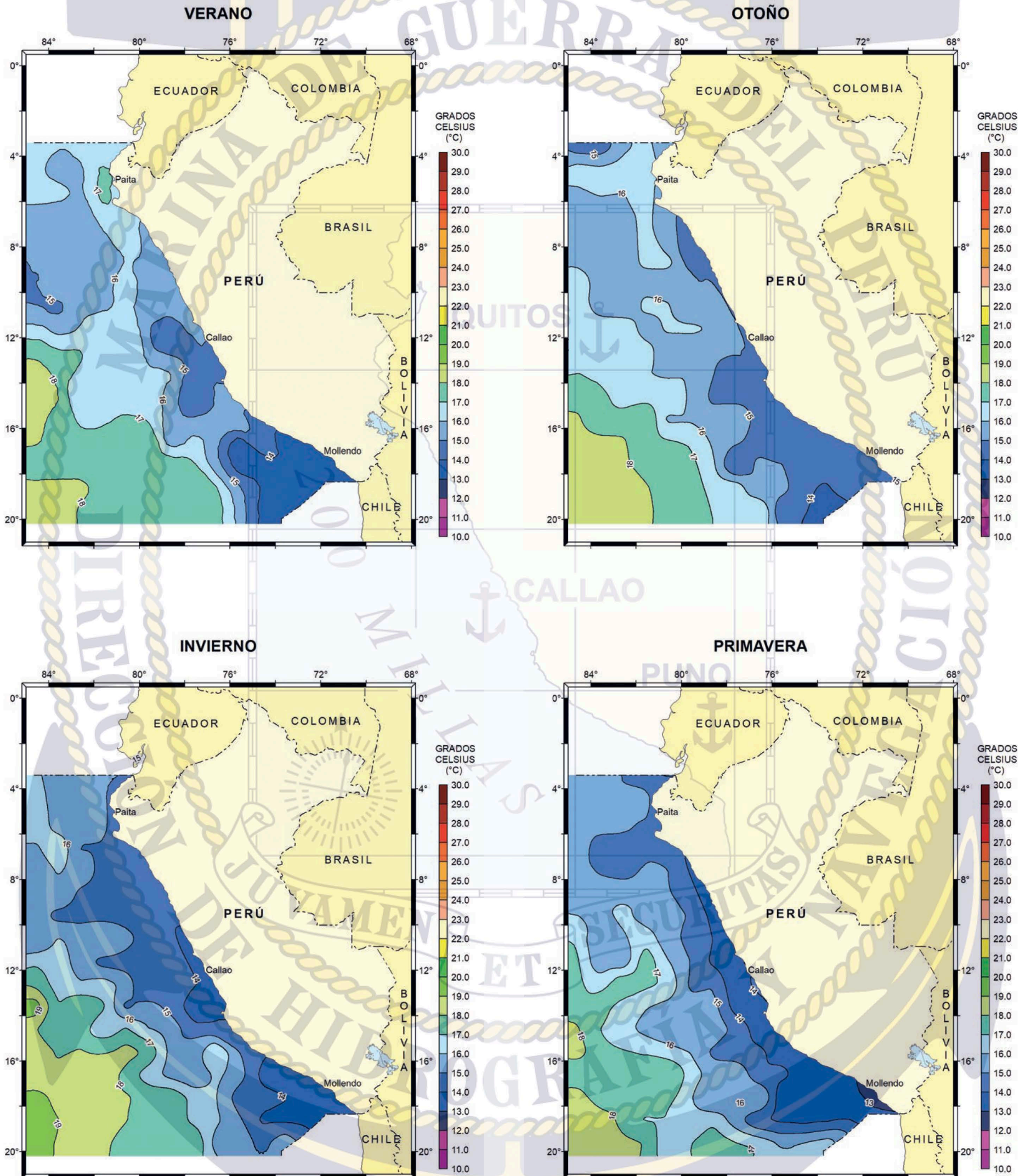
TEMPERATURA DEL MAR

CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL TEMPERATURA SUBSUPERFICIAL A 50 METROS



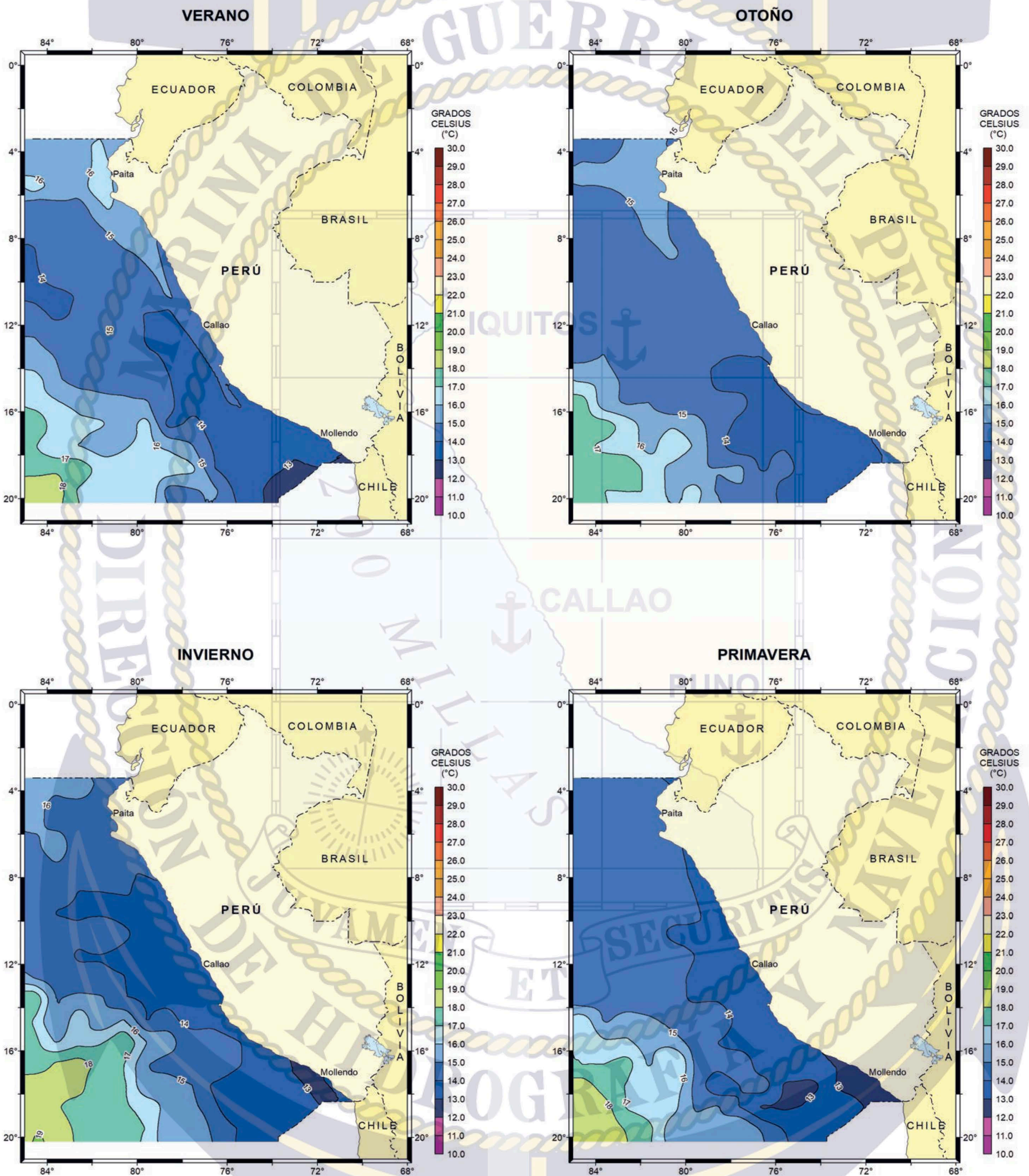
TEMPERATURA DEL MAR

CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL TEMPERATURA SUBSUPERFICIAL A 75 METROS



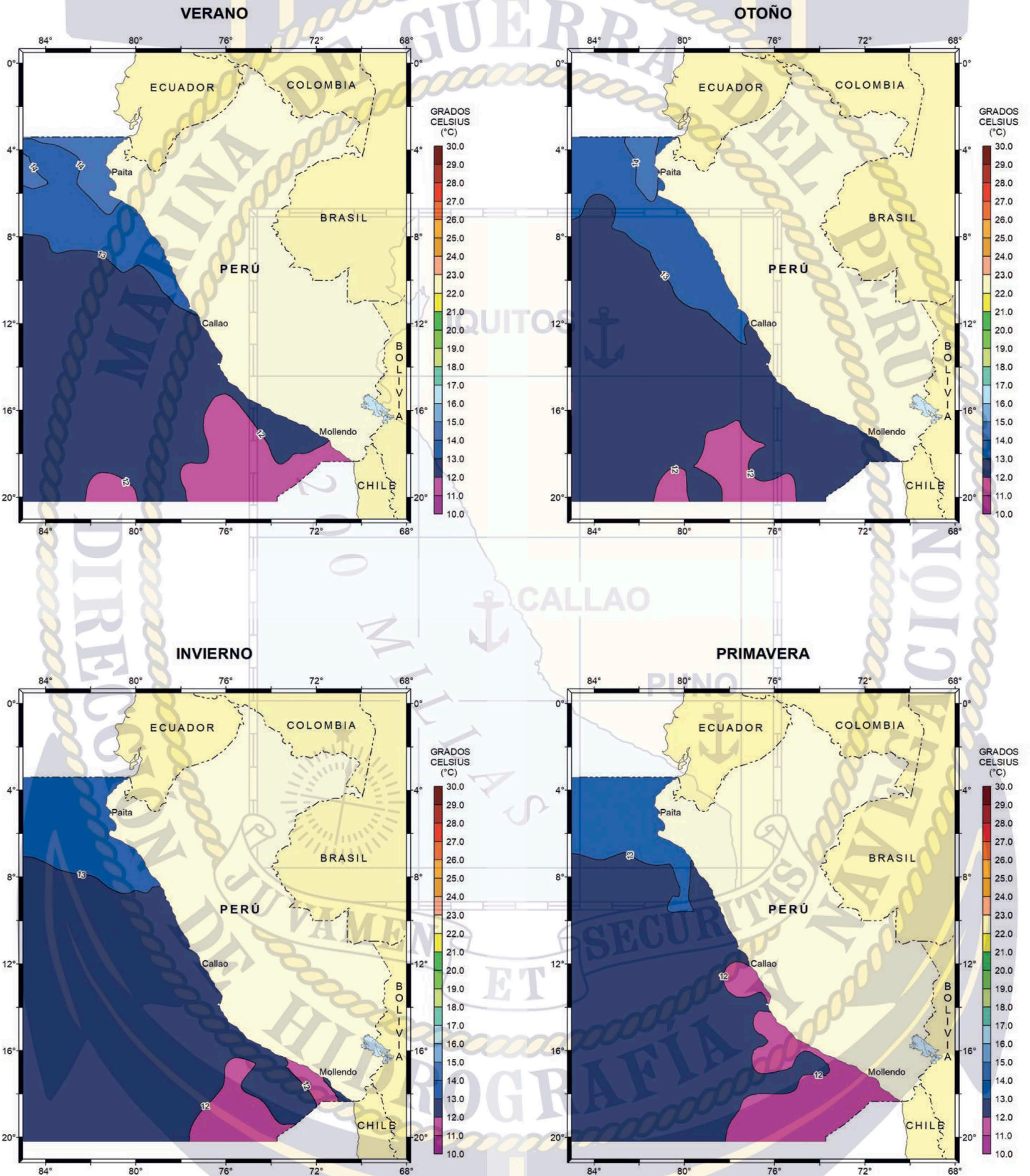
TEMPERATURA DEL MAR

CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL TEMPERATURA SUBSUPERFICIAL A 100 METROS



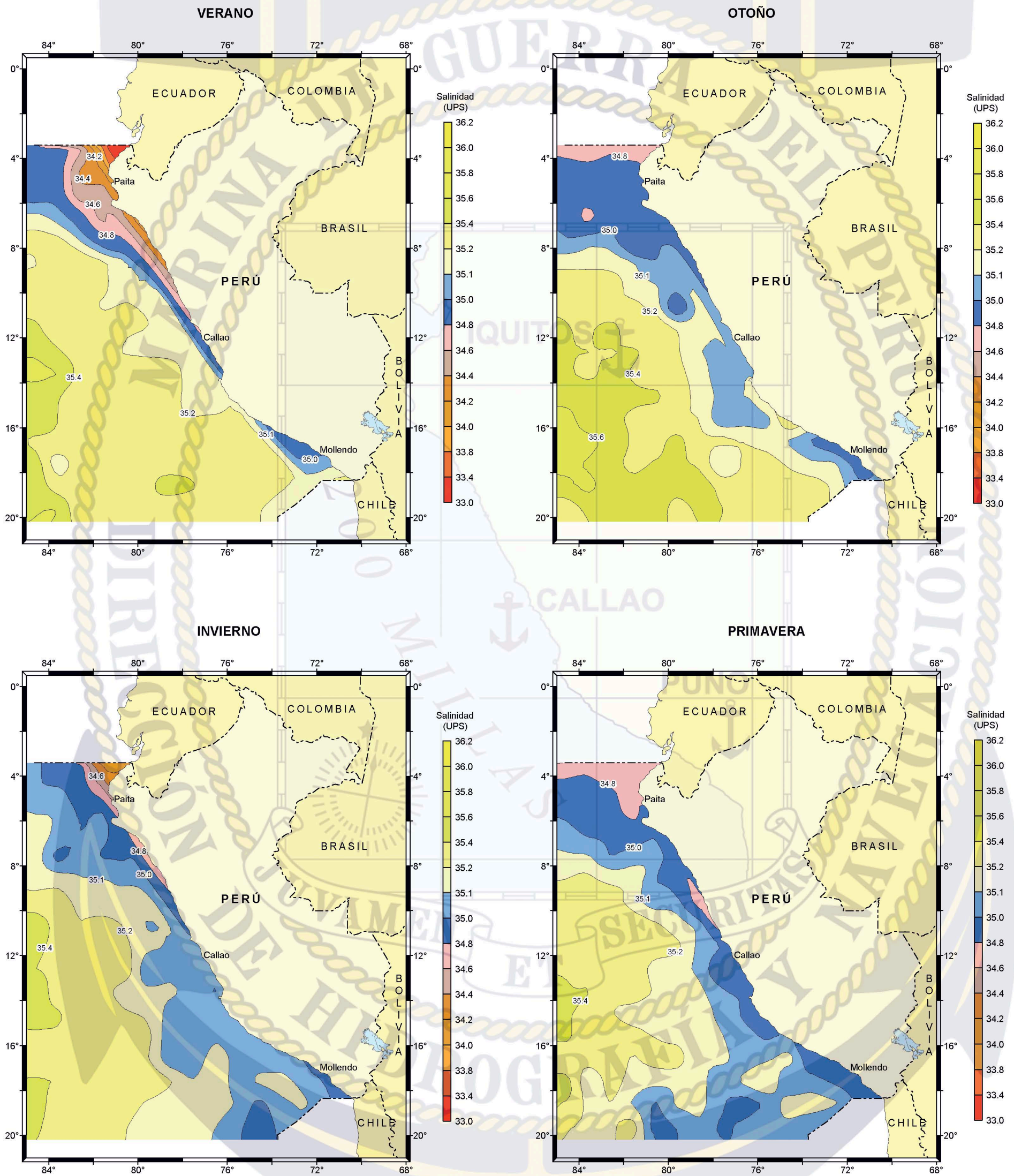
TEMPERATURA DEL MAR

CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL TEMPERATURA SUBSUPERFICIAL A 200 METROS



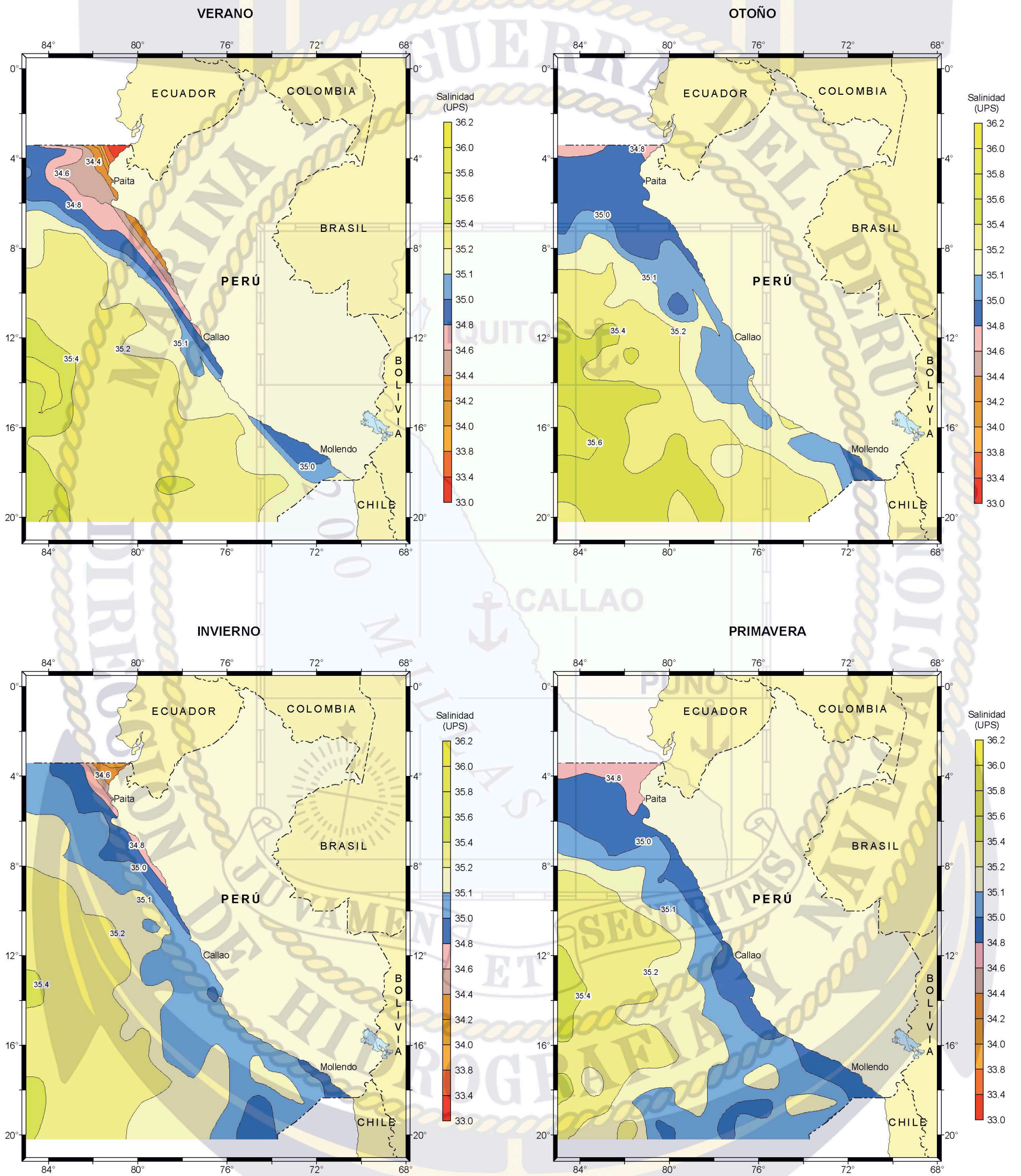
SALINIDAD DEL MAR

CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL SALINIDAD SUPERFICIAL



SALINIDAD DEL MAR

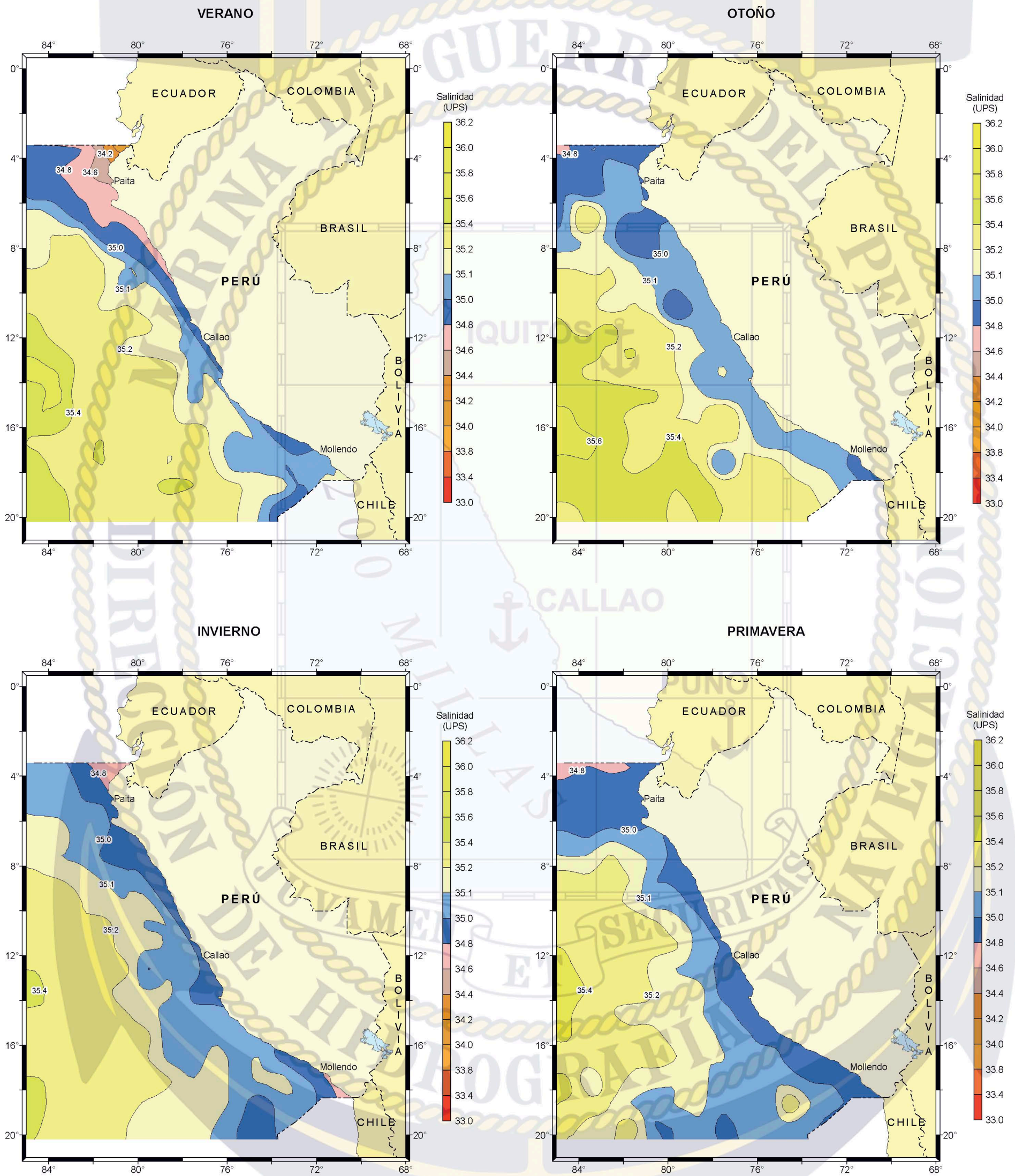
CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL SALINIDAD SUBSUPERFICIAL A 10 METROS



SALINIDAD DEL MAR

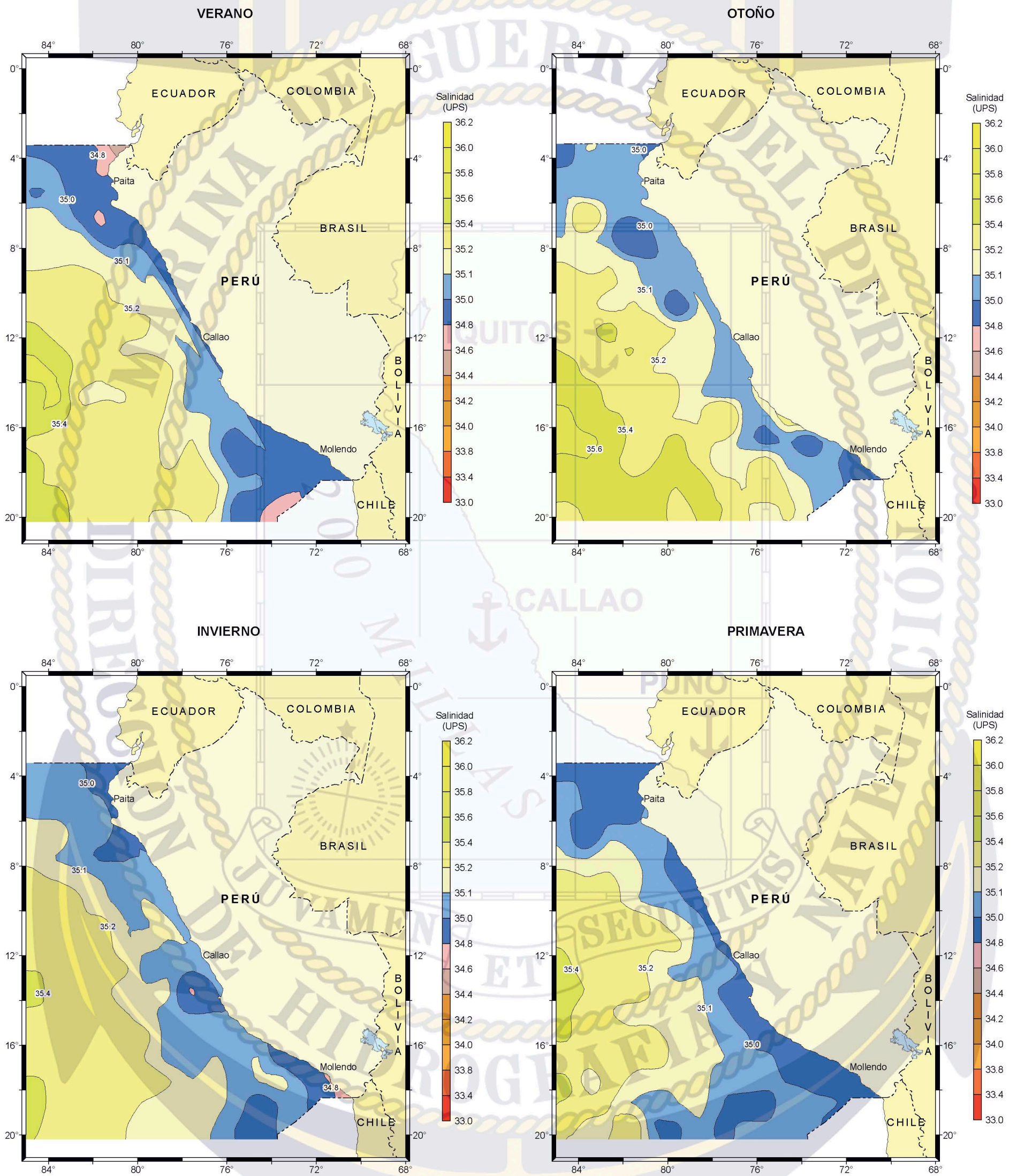
CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL

SALINIDAD SUBSUPERFICIAL A 20 METROS



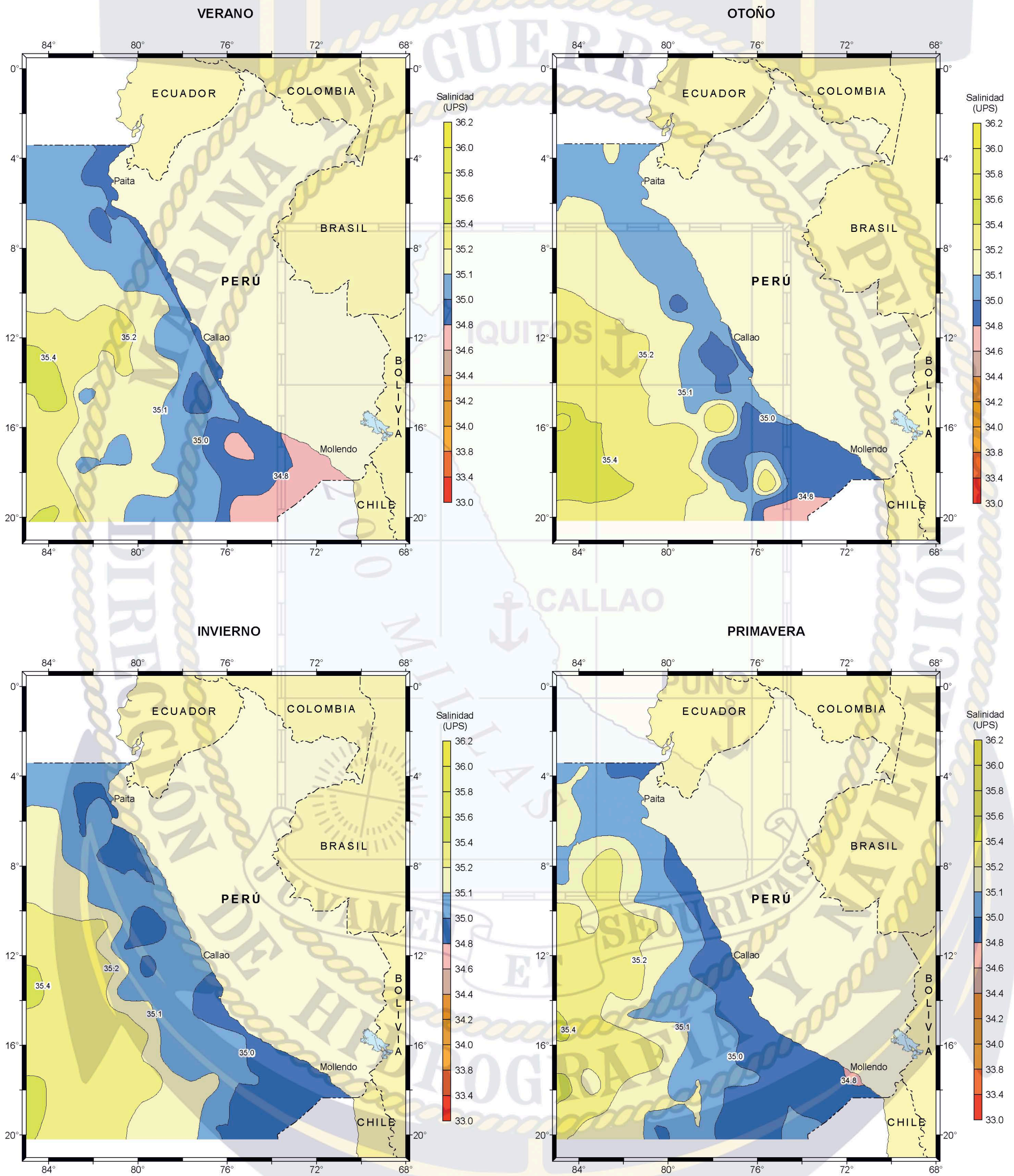
SALINIDAD DEL MAR

CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL SALINIDAD SUBSUPERFICIAL A 30 METROS



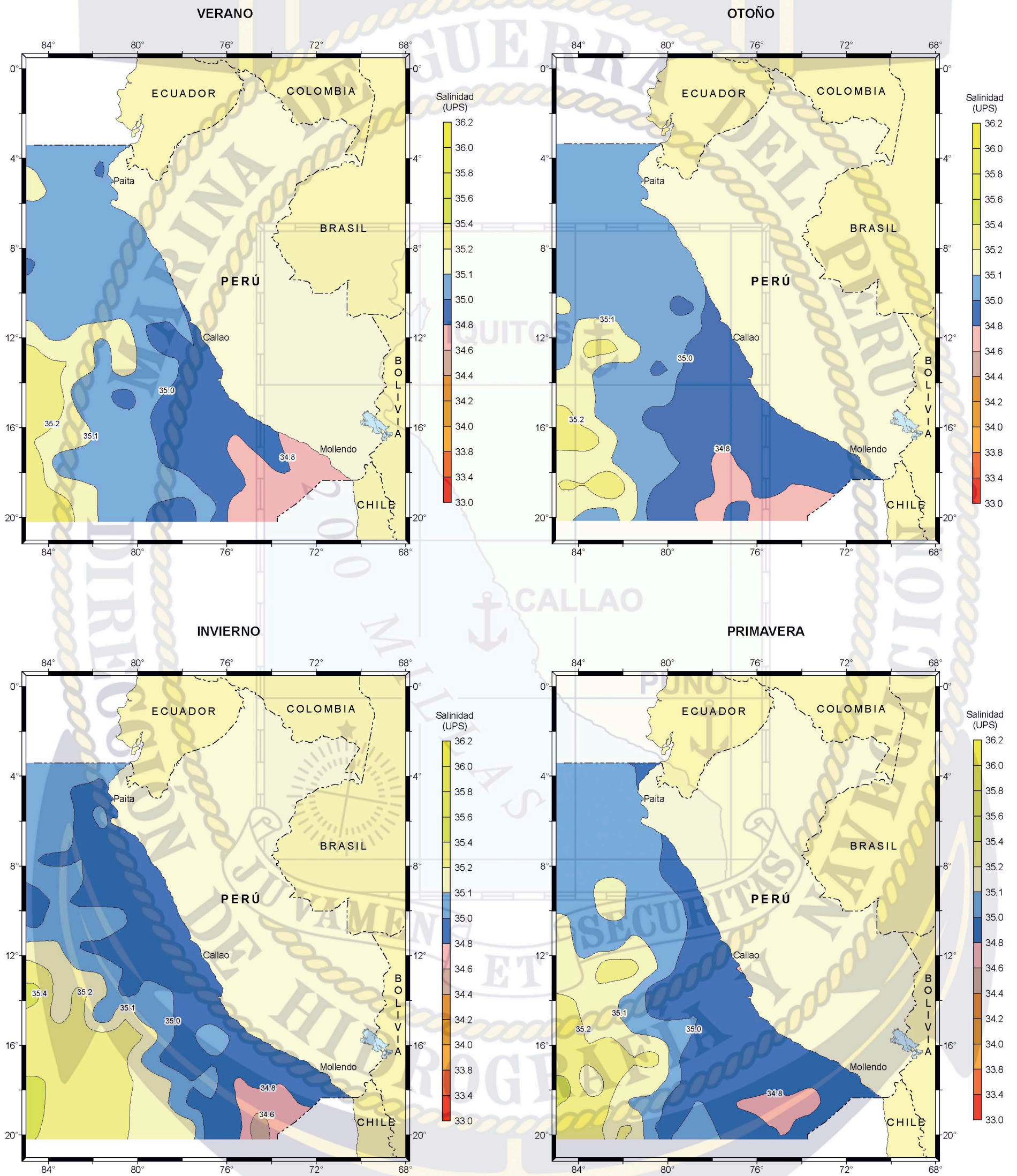
SALINIDAD DEL MAR

CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL SALINIDAD SUBSUPERFICIAL A 50 METROS



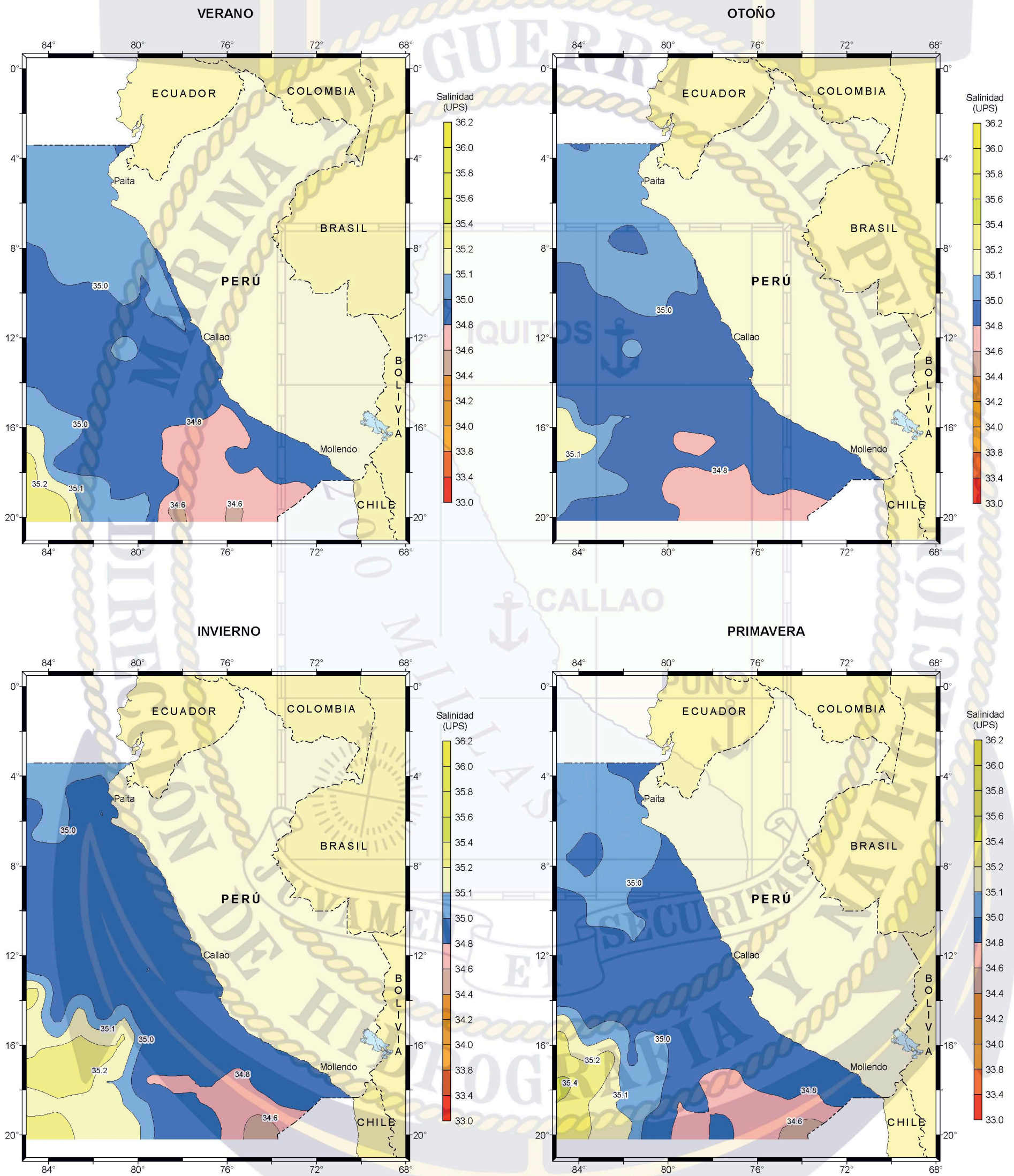
SALINIDAD DEL MAR

CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL SALINIDAD SUBSUPERFICIAL A 75 METROS



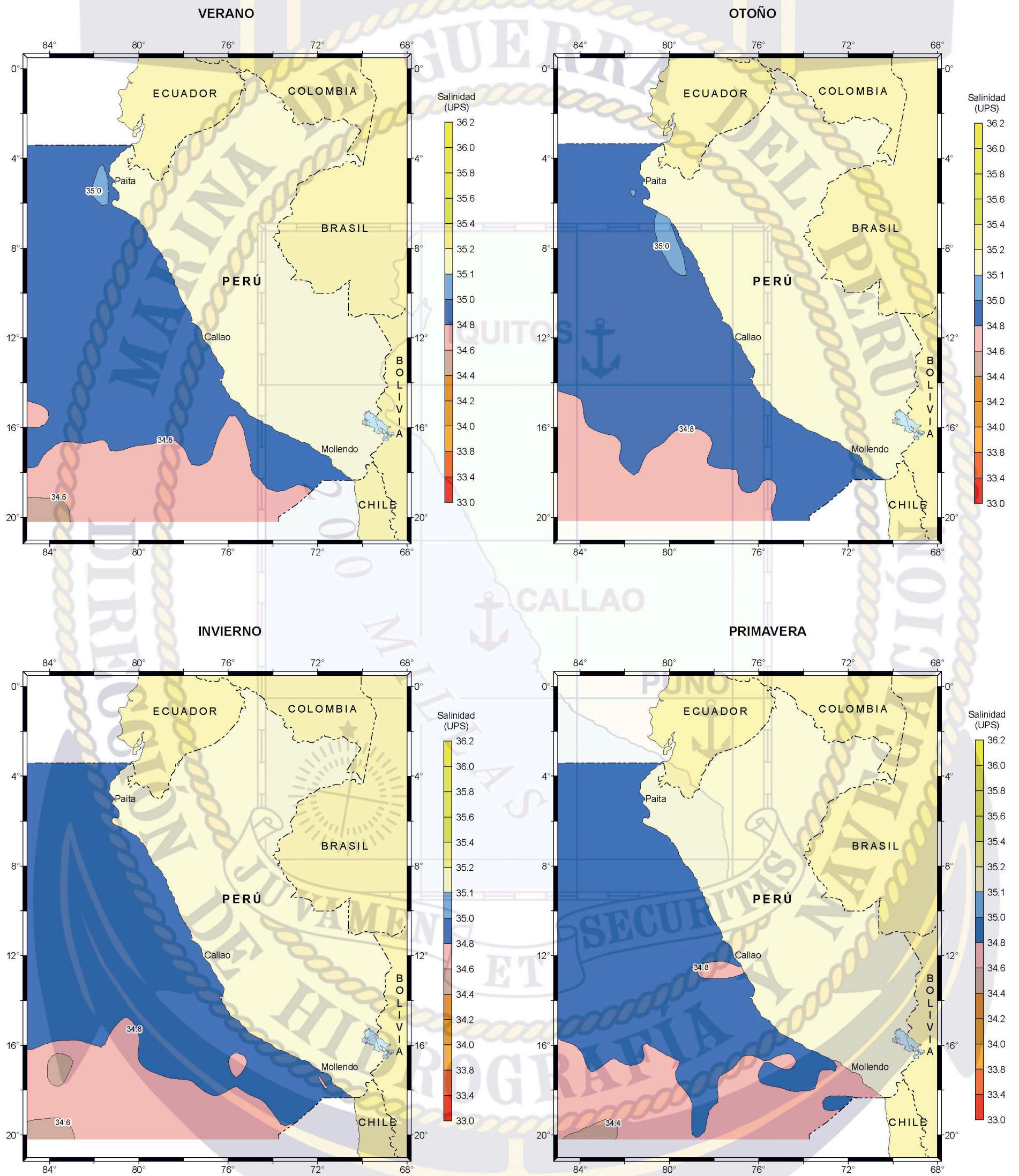
SALINIDAD DEL MAR

CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL SALINIDAD SUBSUPERFICIAL A 100 METROS



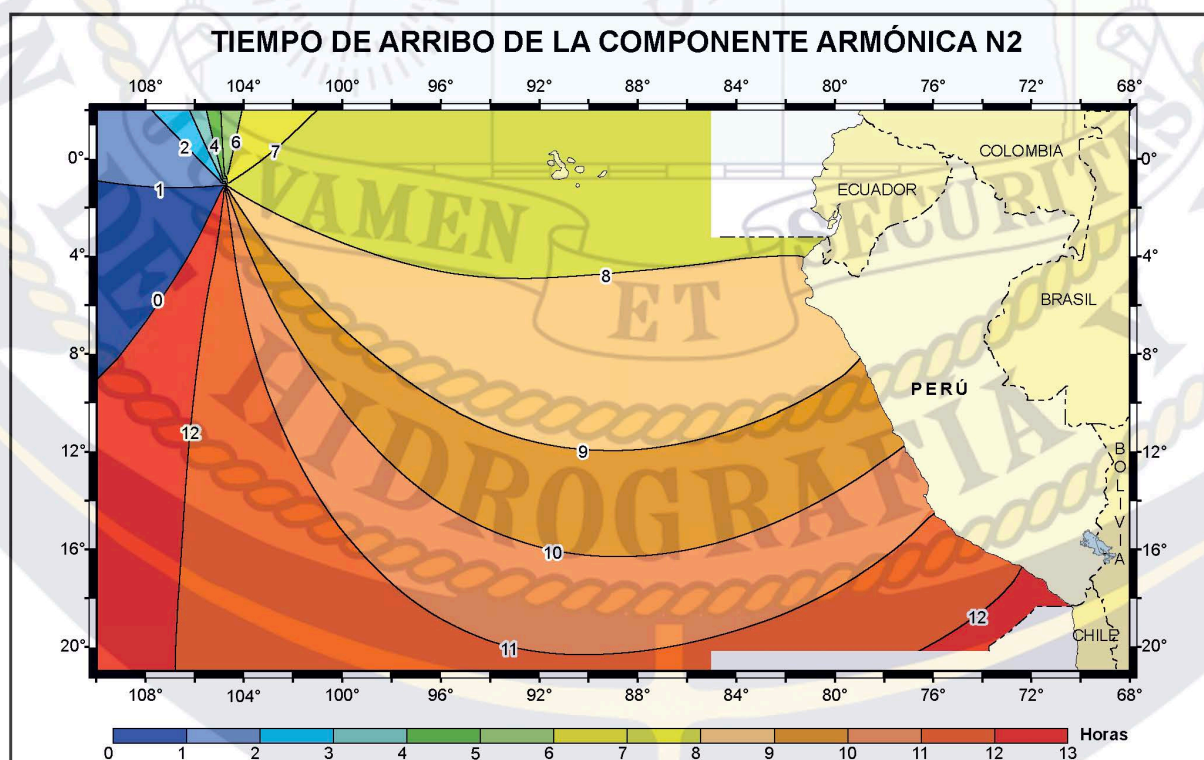
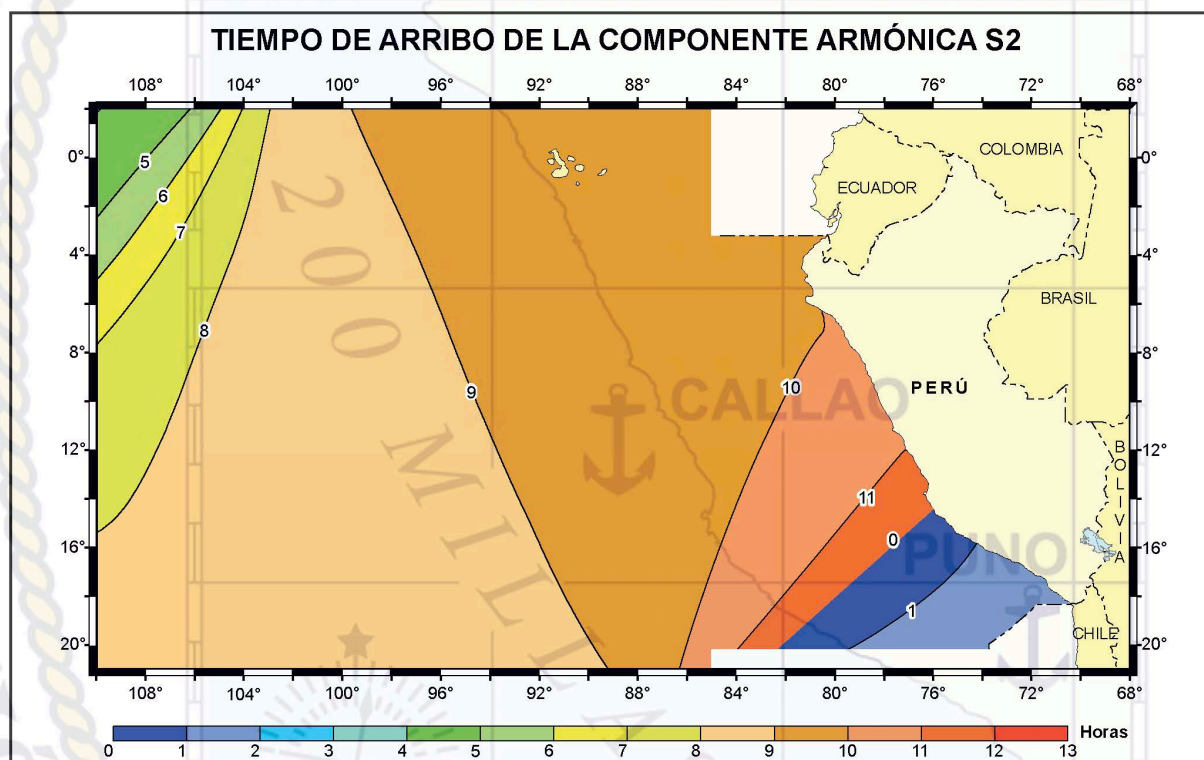
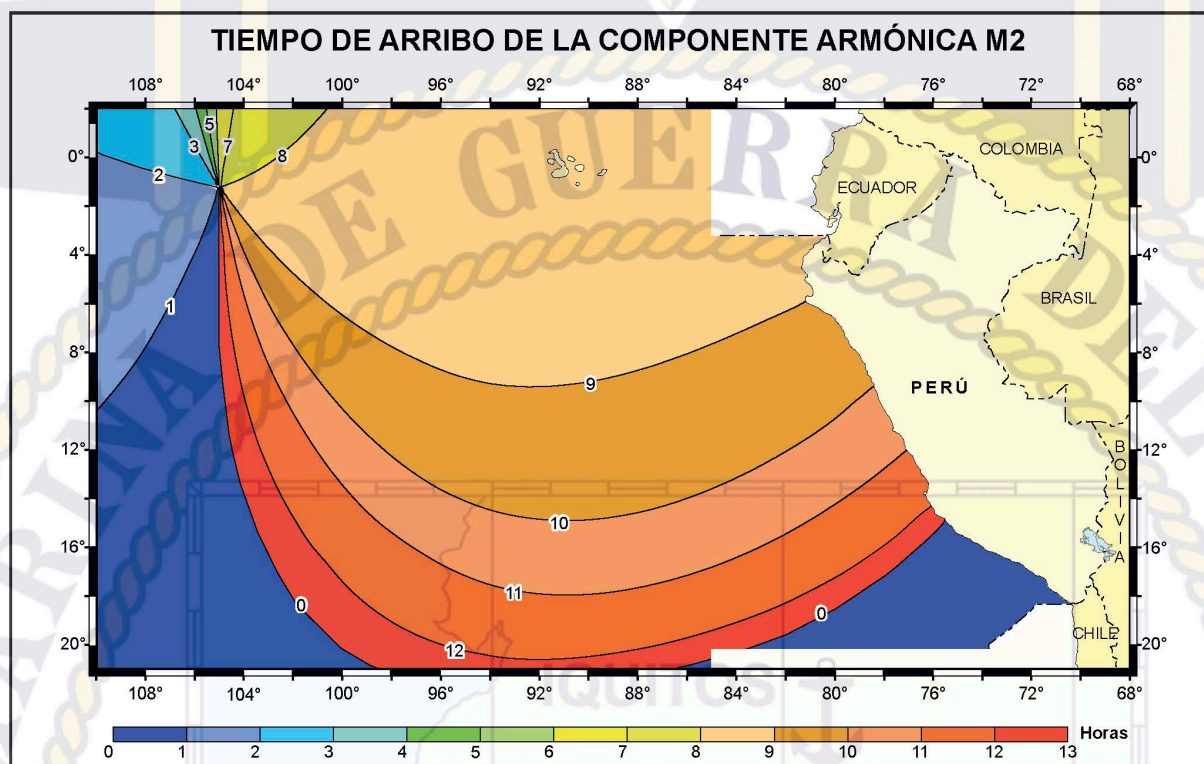
SALINIDAD DEL MAR

CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL SALINIDAD SUBSUPERFICIAL A 200 METROS



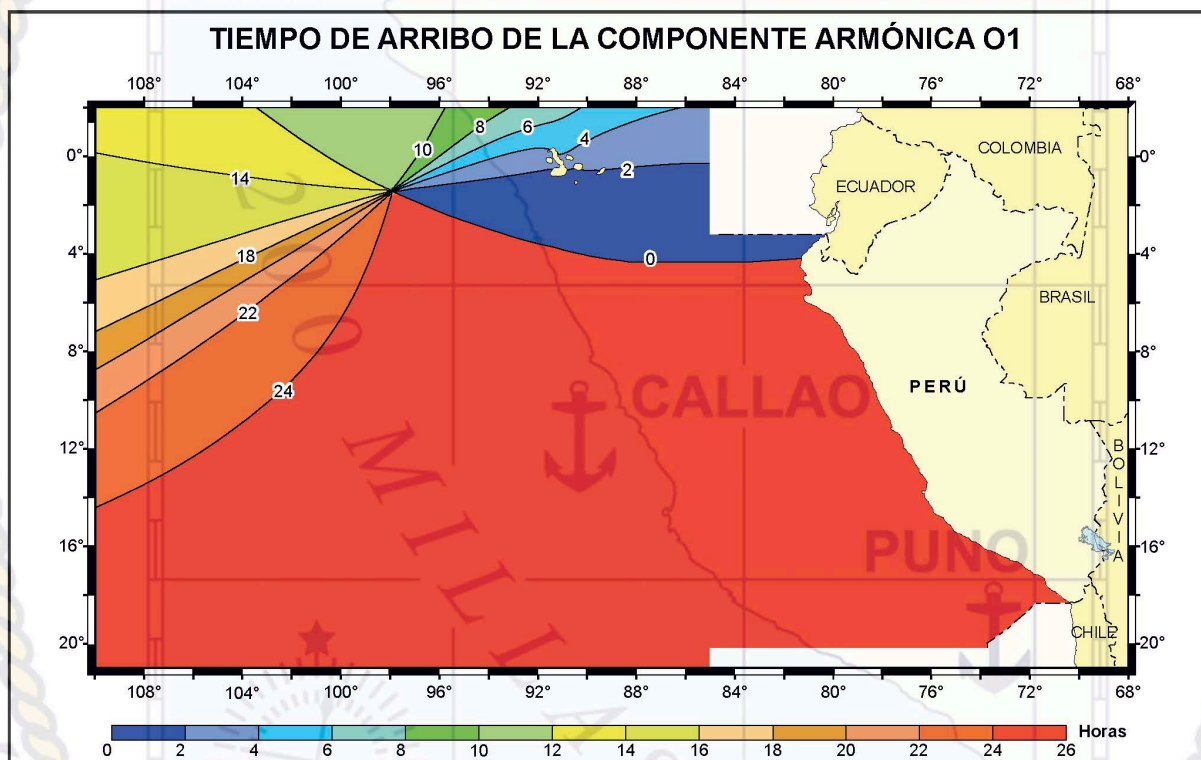
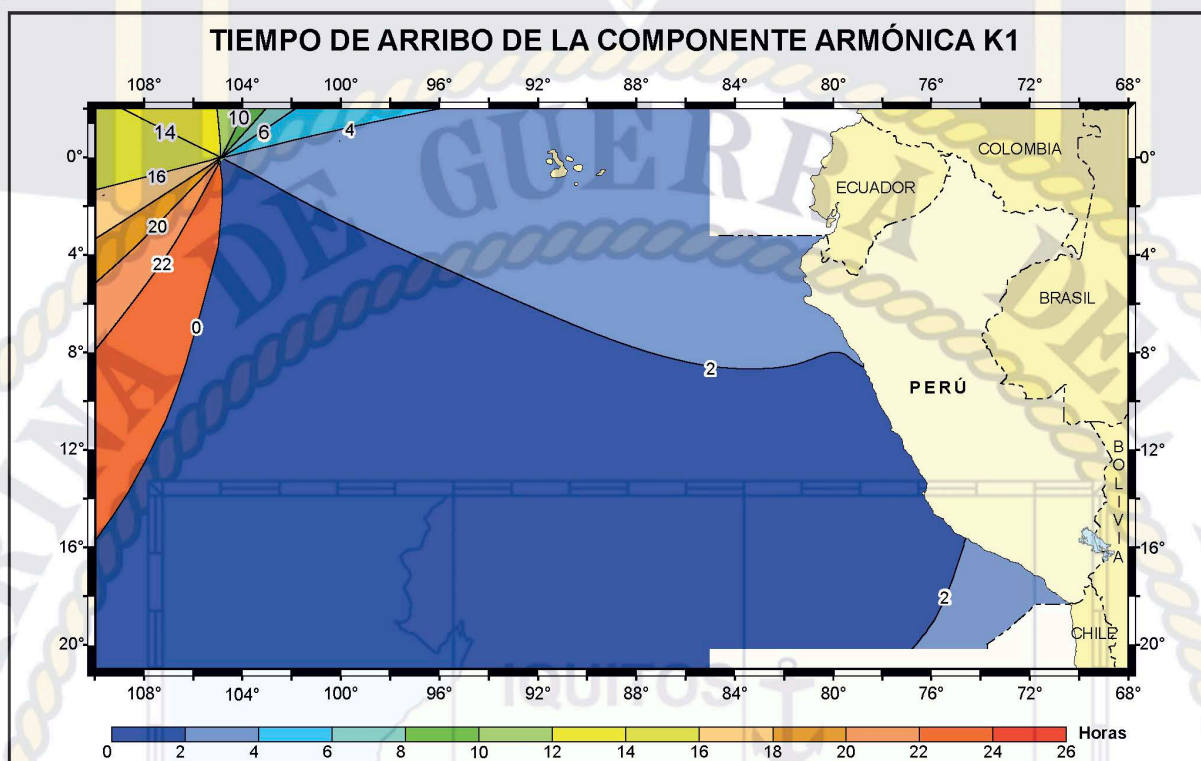
NIVEL MEDIO DEL MAR

PROGRESO DEL ARRIBO DE LA ONDA MAREAL (PLEAMAR Y BAJAMAR) A LO LARGO DE LA COSTA PERUANA



NIVEL MEDIO DEL MAR

PROGRESO DEL ARRIBO DE LA ONDA MAREAL (PLEAMAR Y BAJAMAR) A LO LARGO DE LA COSTA PERUANA



Para explicar el desplazamiento de las mareas, es necesario hacer mención al desarrollo de los sistemas anfidrómicos, los mismos que resultan de la combinación de la geometría de las cuencas oceánicas y la acción de la aceleración de Coriolis, que actúa sobre todo lo que se mueve sobre la superficie del planeta.

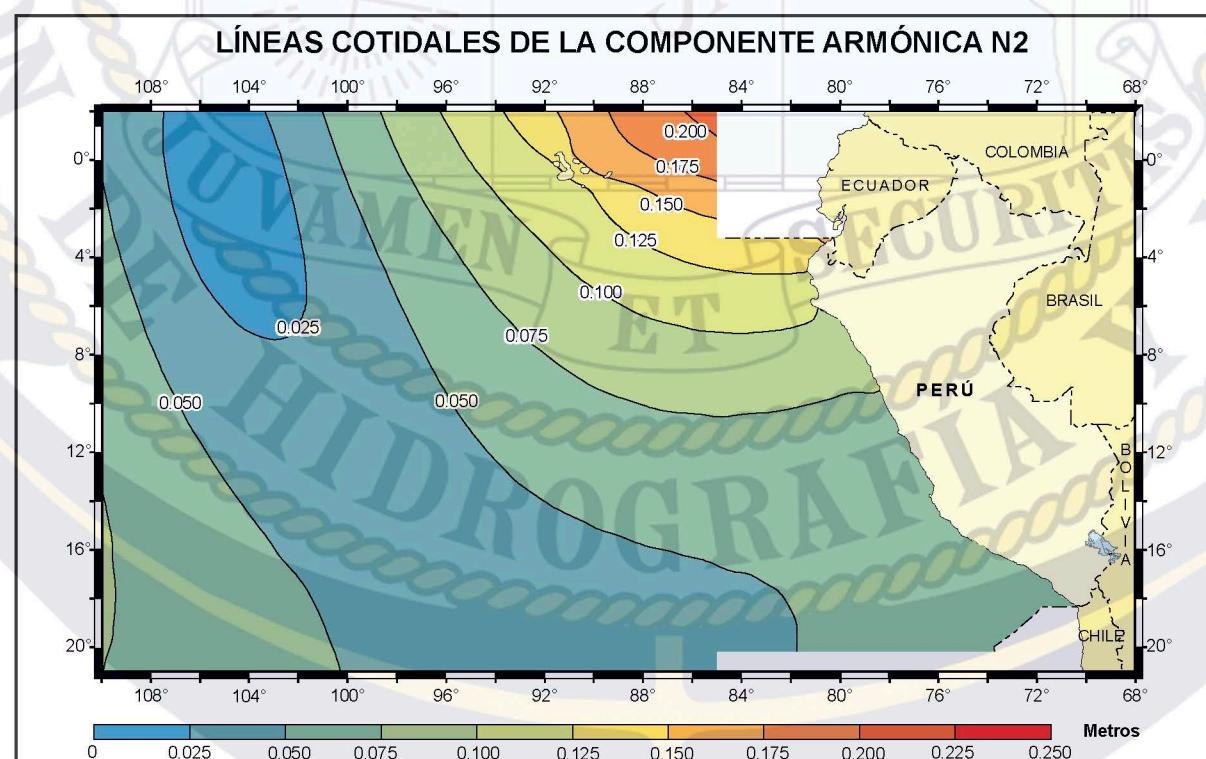
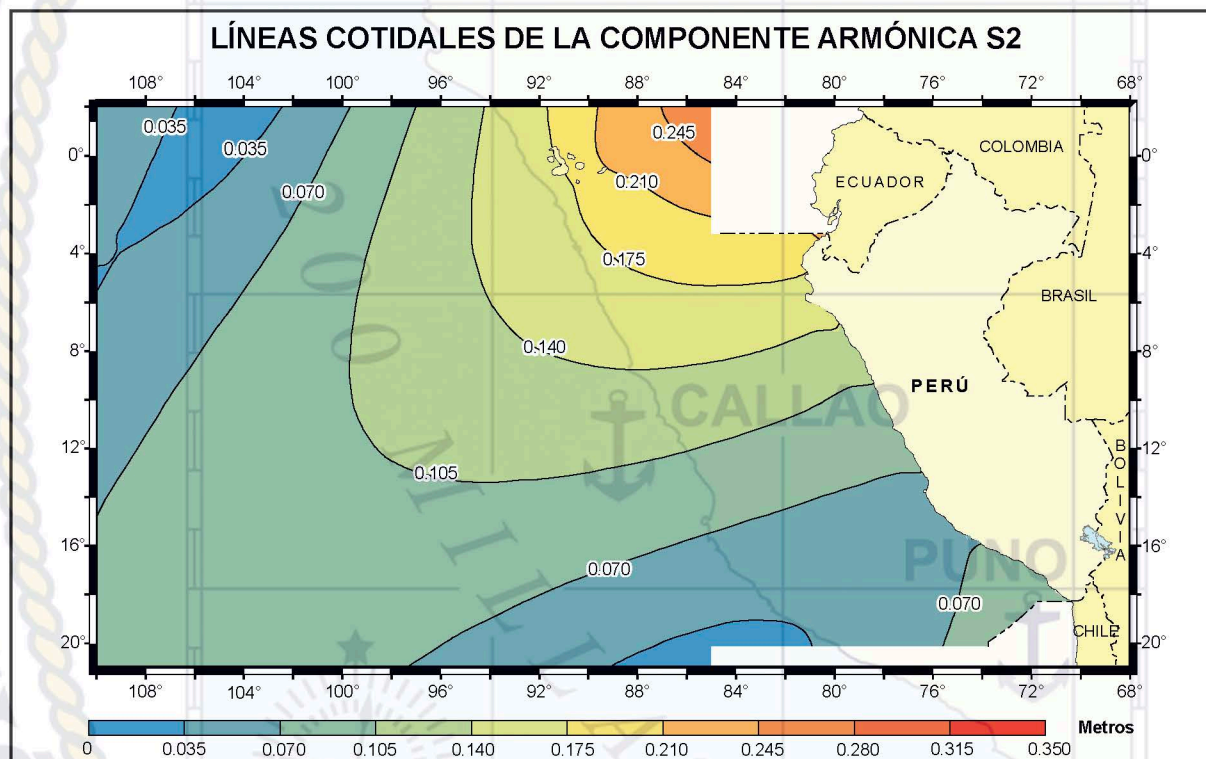
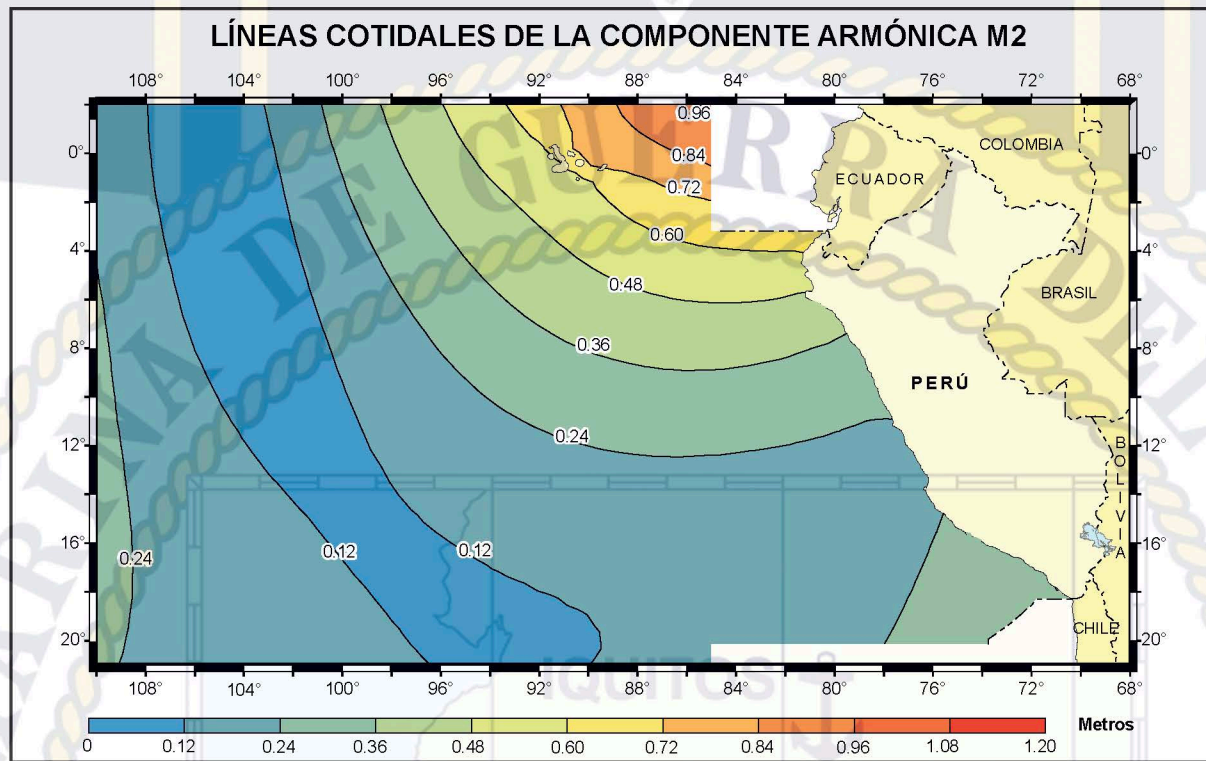
Estos sistemas se caracterizan por tener un punto central, llamado punto anfidrómico, desde donde la onda mareal se propaga alrededor de este punto, ya sea a favor o en contra de las manecillas del reloj.

La amplitud de la marea aumenta con la distancia a partir de estos puntos anfidrómicos, con lo que podremos entender, por qué en algunos lugares experimentan mareas más grandes que otros. Este sistema también explica por qué algunos puertos experimentan mareas semidiurnas, diurnas y mixtas, debido a que cada constituyente de marea tiene su propio sistema de puntos anfidrómicos.

Las mareas que se producen en la costa peruana están influenciadas por dos puntos anfidrómicos ubicados en la cuenca del Pacífico, y fluyen de norte a sur en sentido horario, de tal manera que la marea alta se presenta primero en el norte del país, horas después en Lima y horas más tarde en el sur.

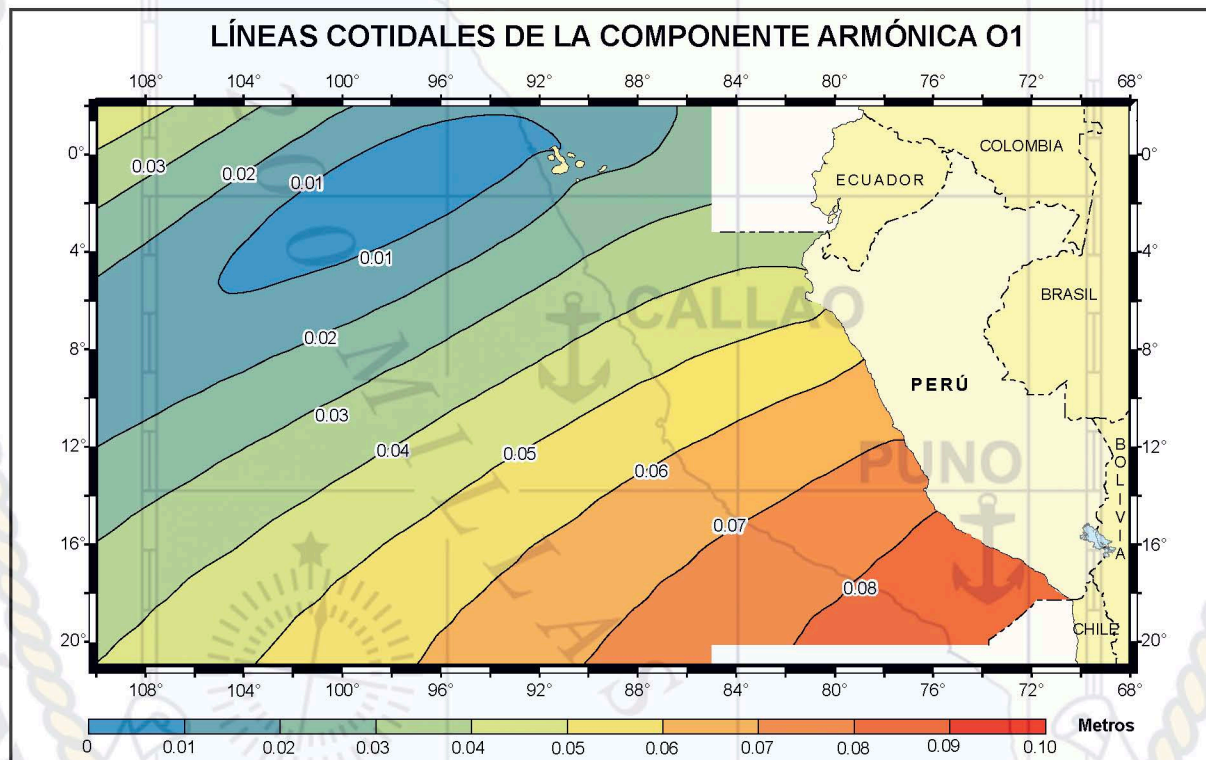
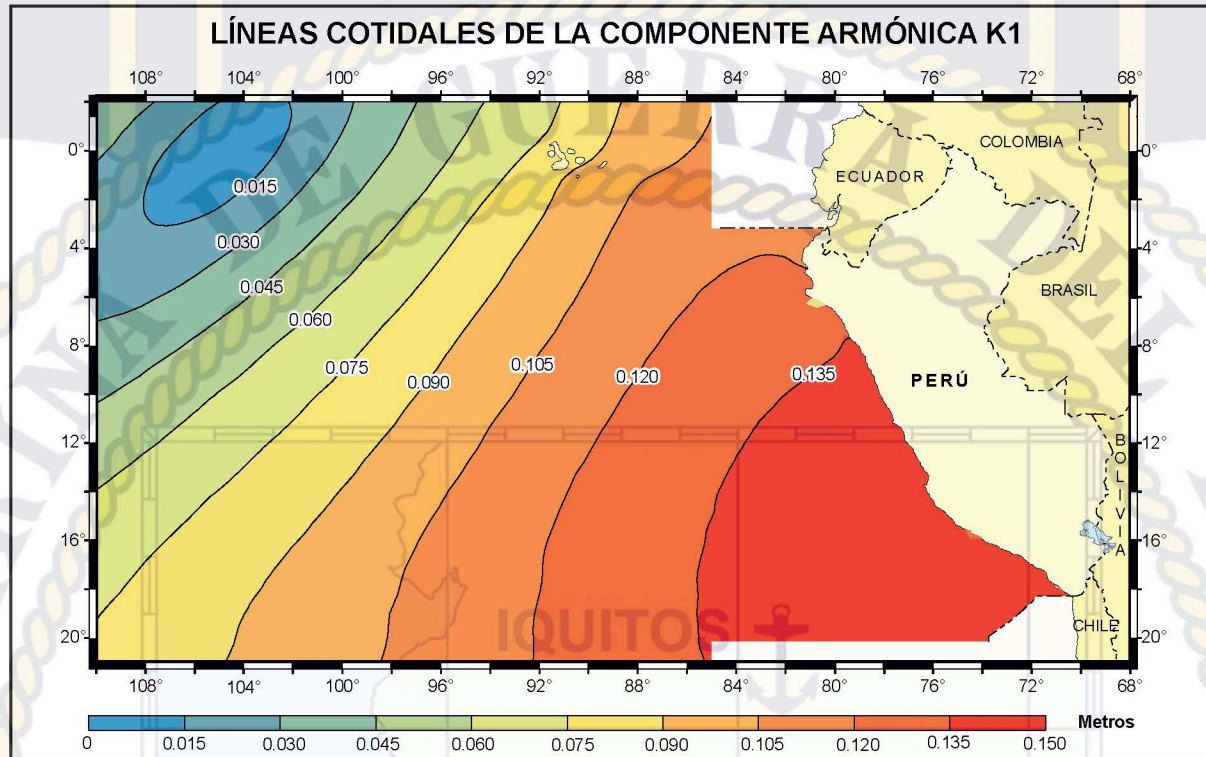
NIVEL MEDIO DEL MAR

LÍNEAS COTIDALES PARA LAS PRINCIPALES COMPONENTES ARMÓNICAS (M2, S2, N2) FRENTE A LA COSTA PERUANA



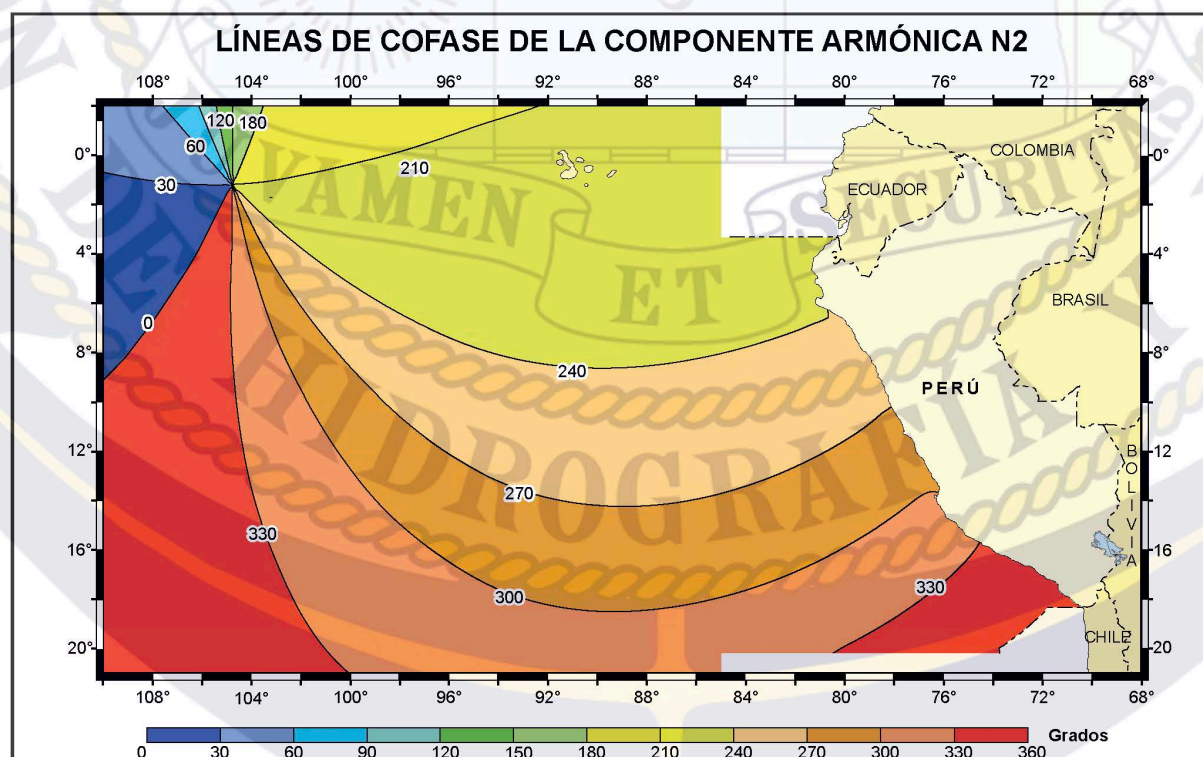
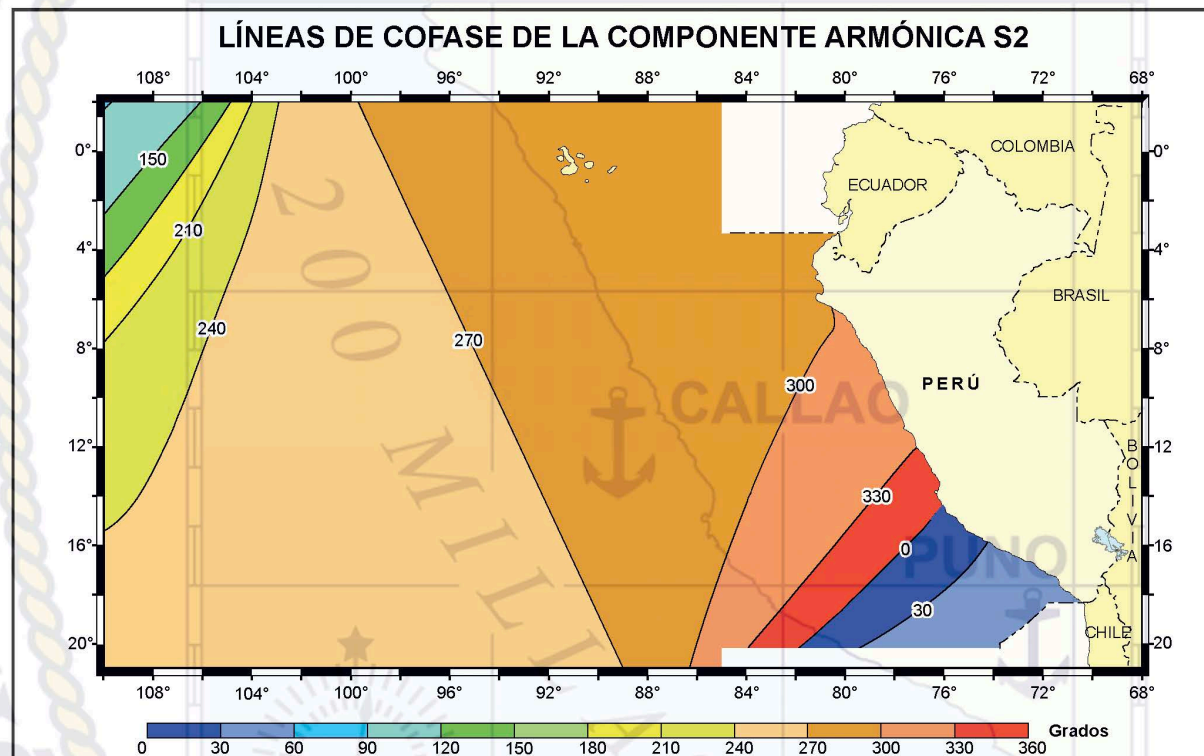
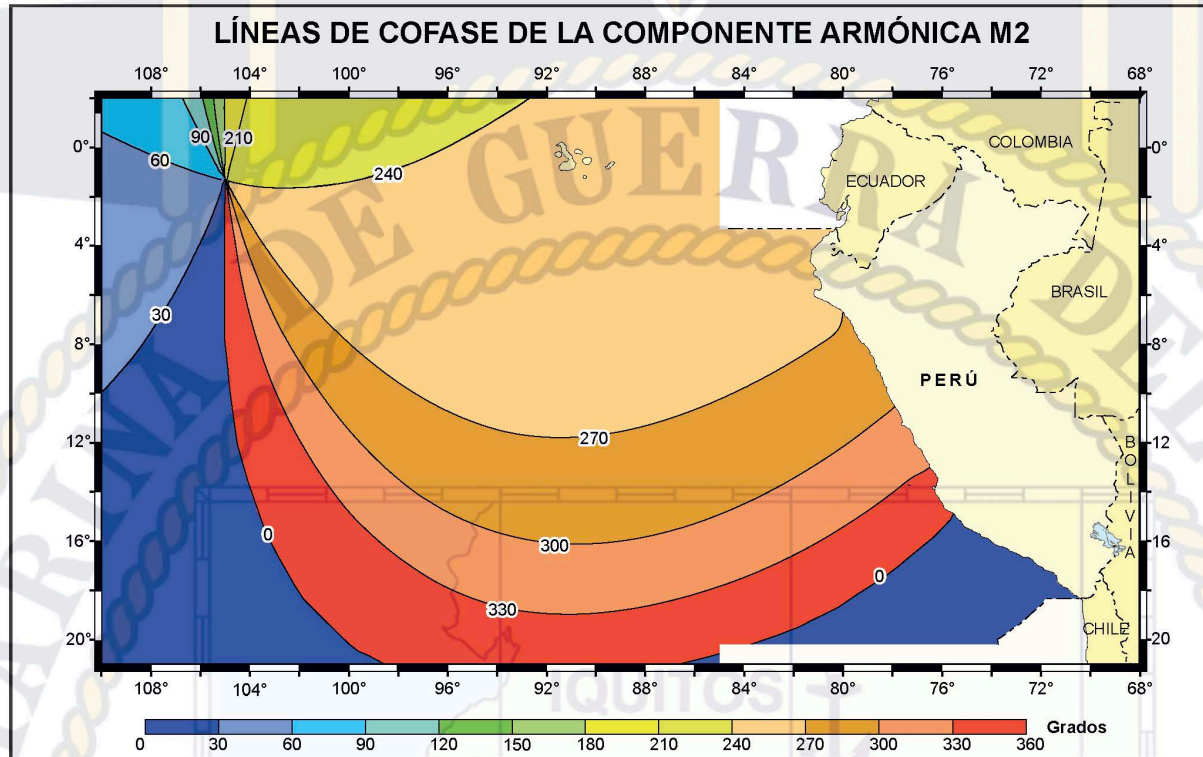
NIVEL MEDIO DEL MAR

LÍNEAS COTIDALES PARA LAS PRINCIPALES COMPONENTES ARMÓNICAS (K1, O1) FRENTE A LA COSTA PERUANA



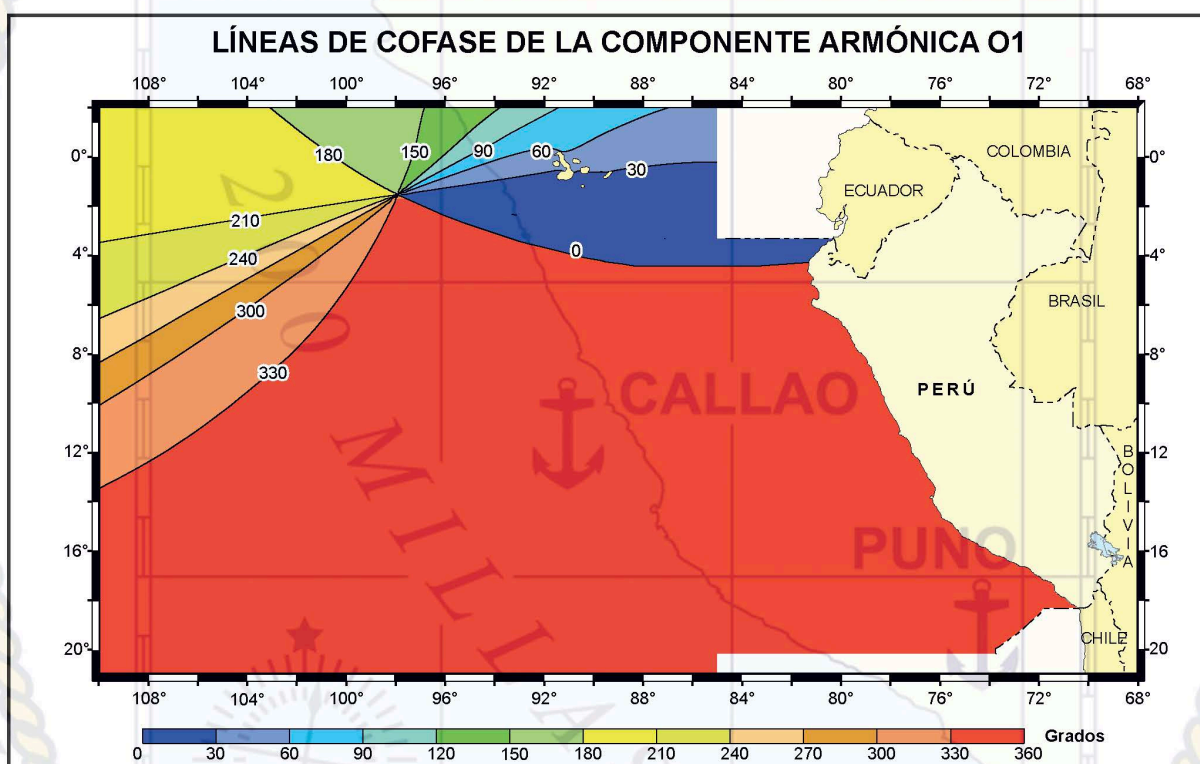
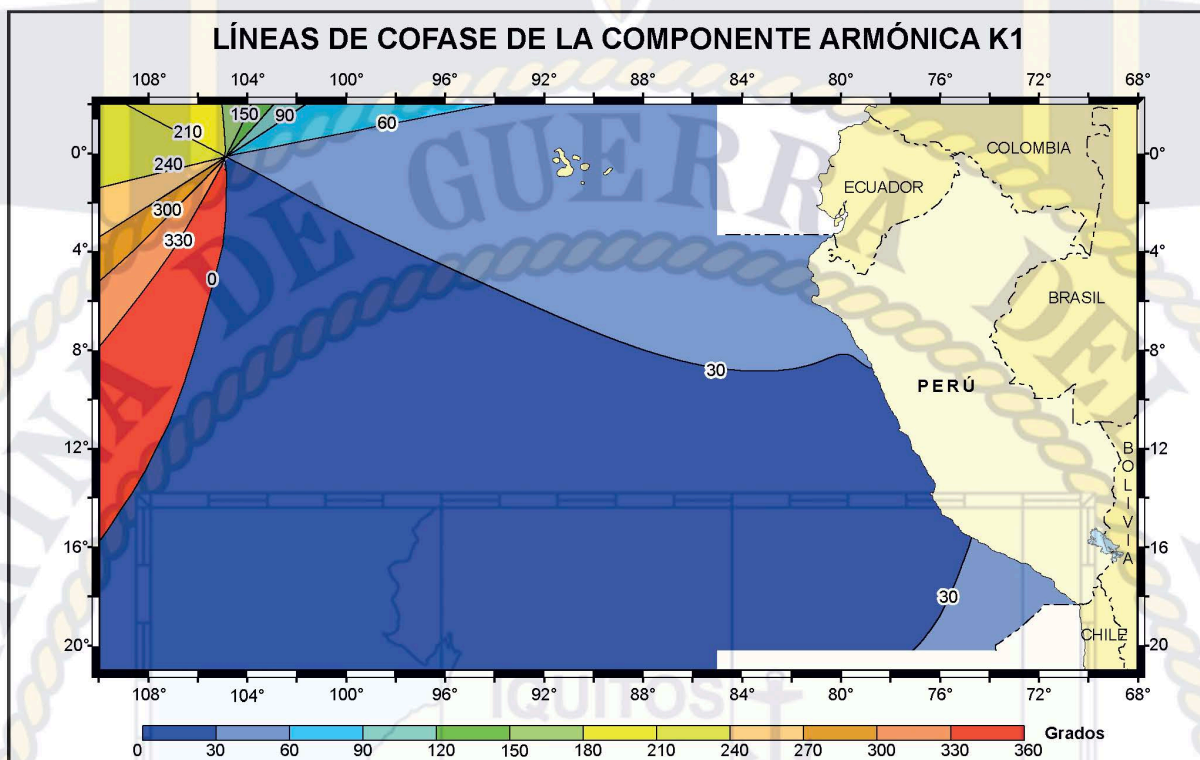
NIVEL MEDIO DEL MAR

LÍNEAS COFASE PARA LAS PRINCIPALES COMPONENTES ARMÓNICAS (M2, S2, N2,) FRENTE A LA COSTA PERUANA



NIVEL MEDIO DEL MAR

LÍNEAS COFASE PARA LAS PRINCIPALES COMPONENTES ARMÓNICAS (K1, O1) FRENTE A LA COSTA PERUANA



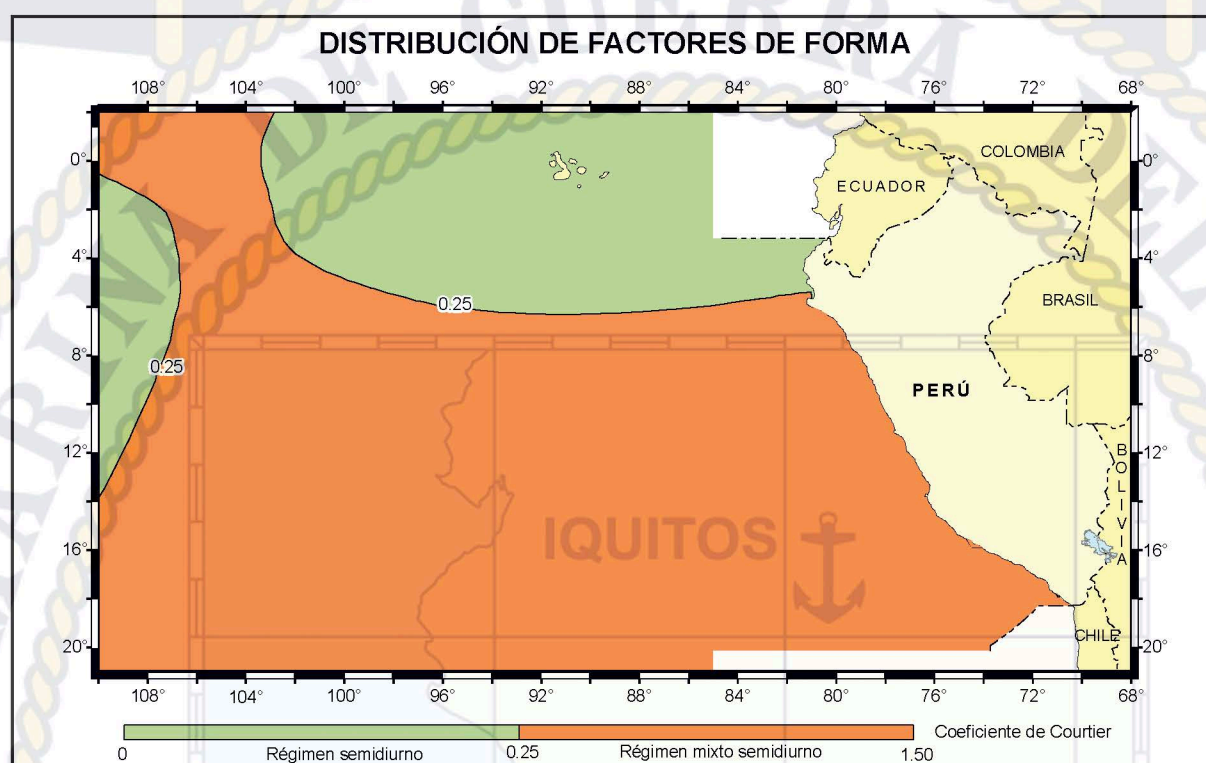
Del análisis armónico de la serie de alturas horarias de los registros mareográficos, se obtuvo un total de 68 constituyentes, de los cuales 5 corresponden a los más importantes en términos de amplitud y están asociados principalmente a periodos semidiurnos (M2, S2, N2, K1 y O1). Estos cinco constituyentes armónicos aportan más de un 80 % de la energía total de la onda de marea.

Principales componentes armónicas de la marea

Símbolo	Descripción	Periodo (horas)
M2	Componente lunar principal semidiurna	12.42
S2	Componente solar principal semidiurna	12.00
N2	Componente lunar elíptica mayor semidiurna	12.66
K1	Componente lunisolar declinación diurna	23.93
O1	Componente lunar declinación diurna	25.82

NIVEL MEDIO DEL MAR

DISTRIBUCIÓN DE LOS FACTORES DE FORMA O COEFICIENTE DE COURTIER PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE MAREAS FRENTE A LA COSTA PERUANA

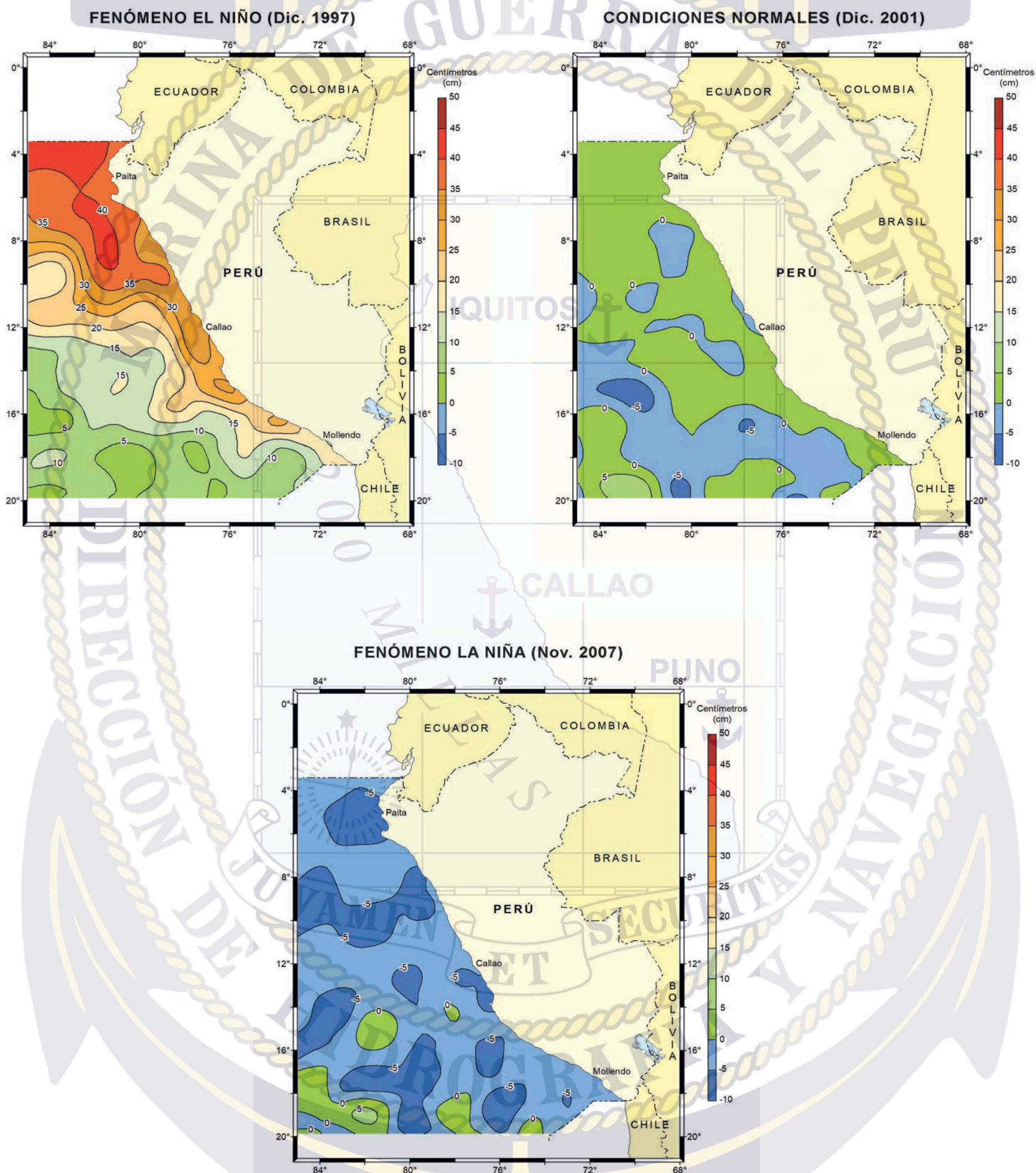


En general, en el litoral peruano, el factor de forma F indica la presencia de un régimen de marea semidiurno, menos influenciado por el régimen oceánico.

Distribución de los Factores de Forma o Coeficiente de Courtier			
Zona	Lugar	Coeficiente de Courtier (F)	Régimen de marea
Norte	La Cruz	0.159	Semidiurno
	Talara	0.202	Semidiurno
	Bayóvar	0.235	Semidiurno
Centro	Salaverry	0.404	Mixto semidiurno
	Callao	0.690	Mixto semidiurno
	Pisco	0.749	Mixto semidiurno
Sur	San Juan	0.723	Mixto semidiurno
	Matarani	0.610	Mixto semidiurno
	Caleta Grau	0.563	Mixto semidiurno

NIVEL MEDIO DEL MAR

VARIABILIDAD DEL NIVEL DEL MAR ANTE LA PRESENCIA DEL FENÓMENO EL NIÑO (DICIEMBRE 1997), CONDICIONES NORMALES (DICIEMBRE 2001) Y ANTE LA OCURRENCIA DEL FENÓMENO LA NIÑA (NOVIEMBRE 2007)







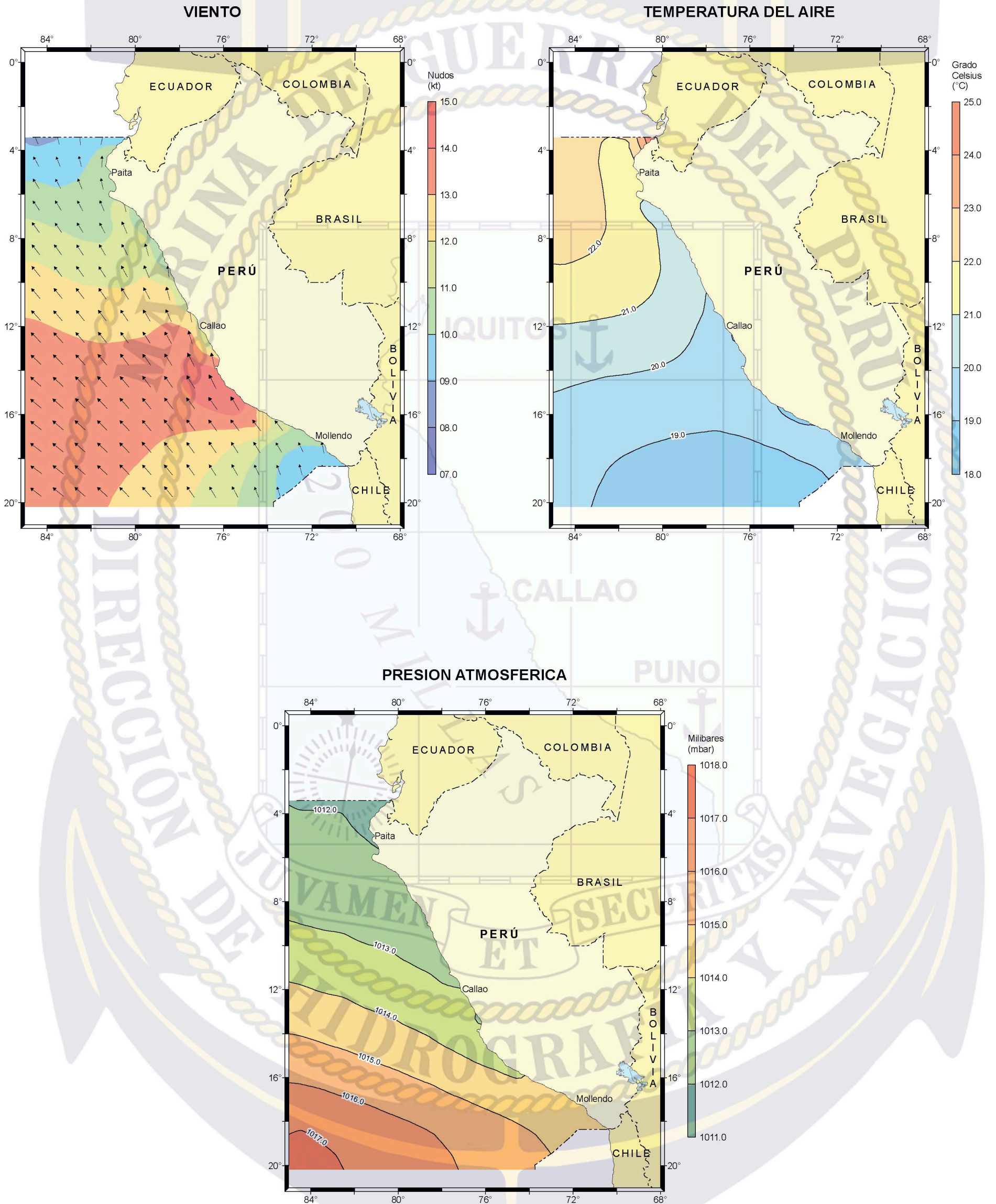
4

MAPAS DE METEOROLOGÍA



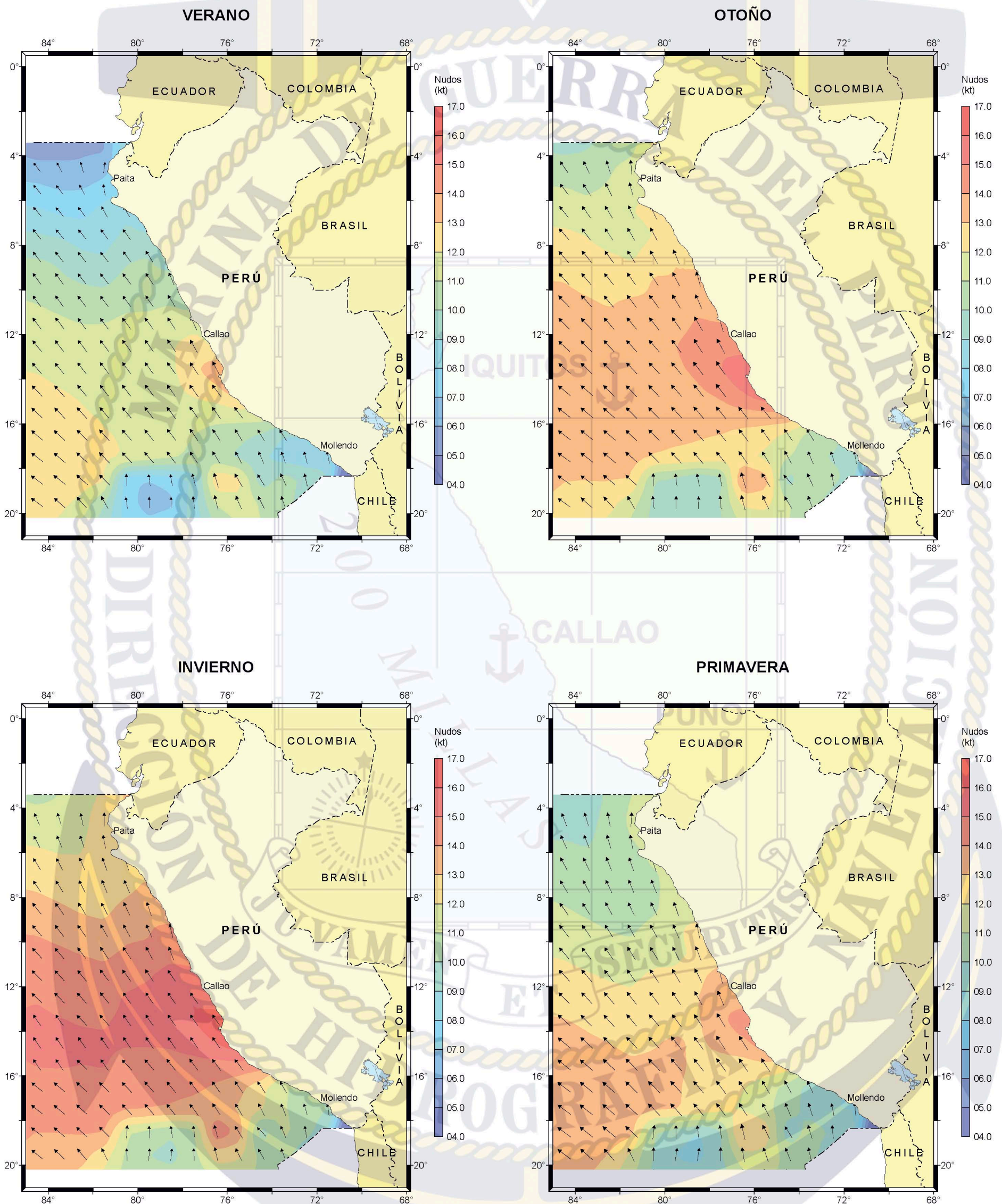
METEOROLOGÍA

CLIMATOLOGÍA ANUAL DEL VIENTO, TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL AIRE Y PRESIÓN ATMOSFÉRICA



VIENTO

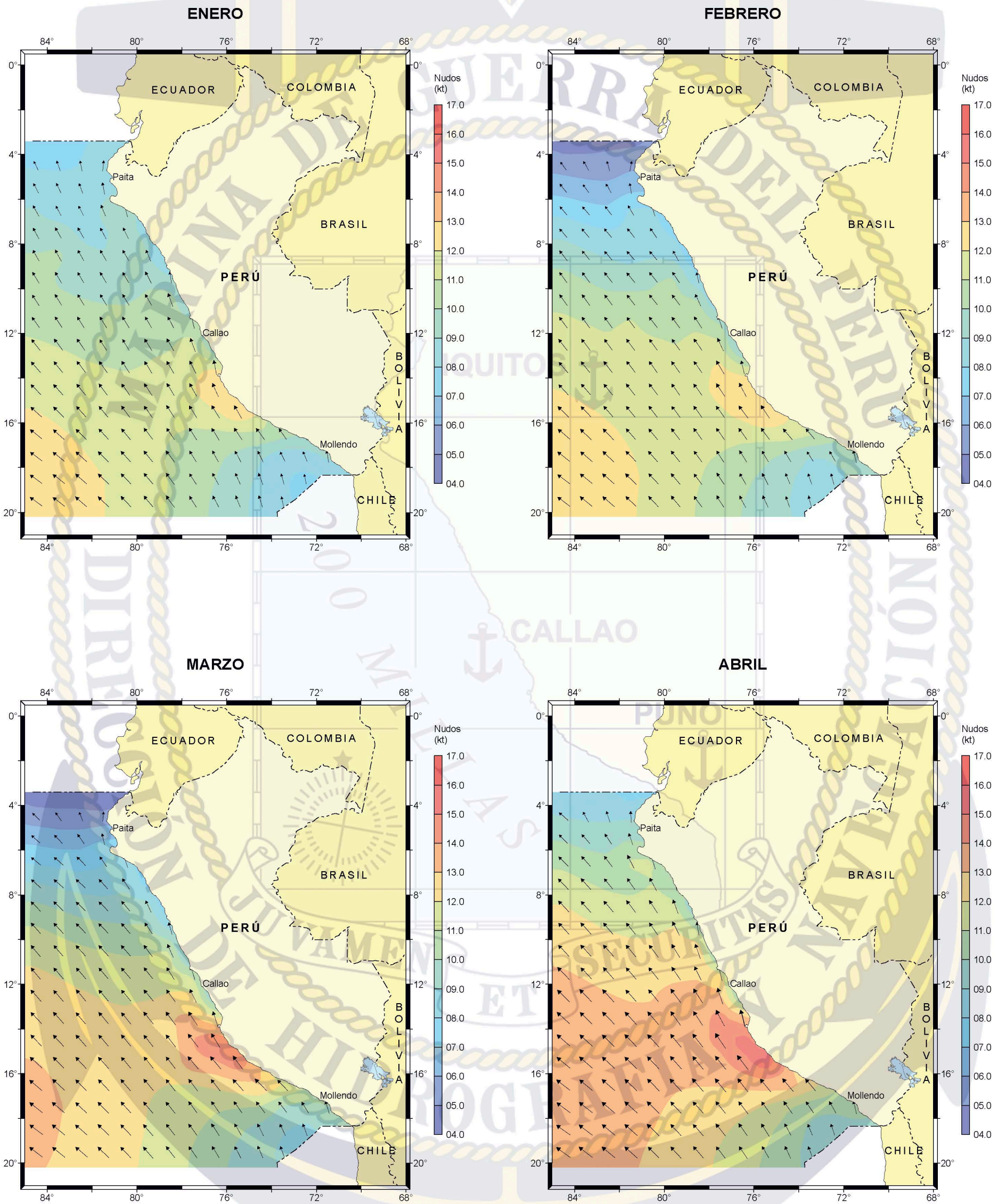
CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL





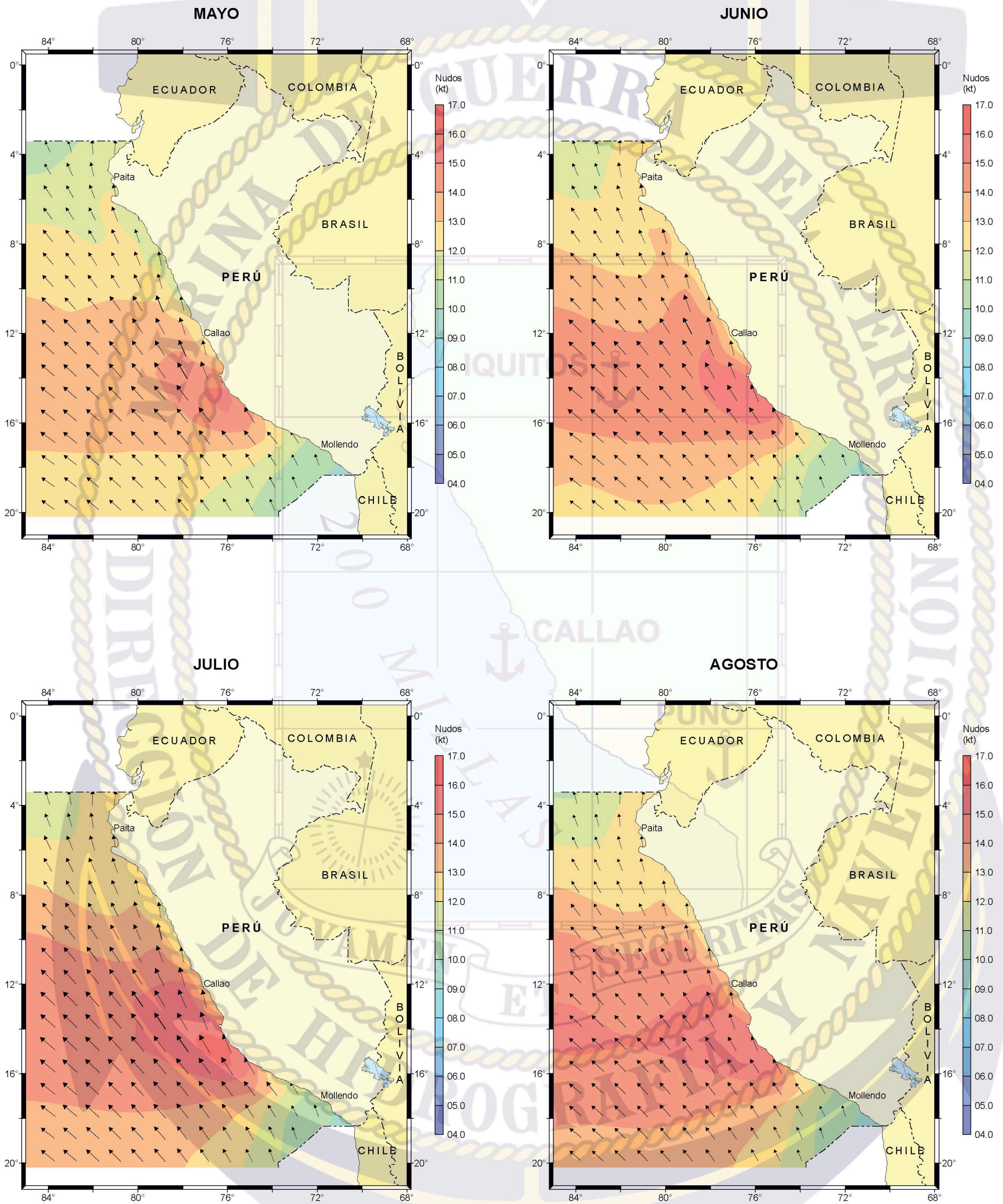
VIENTO

CLIMATOLOGÍA MENSUAL



VIENTO

CLIMATOLOGÍA MENSUAL

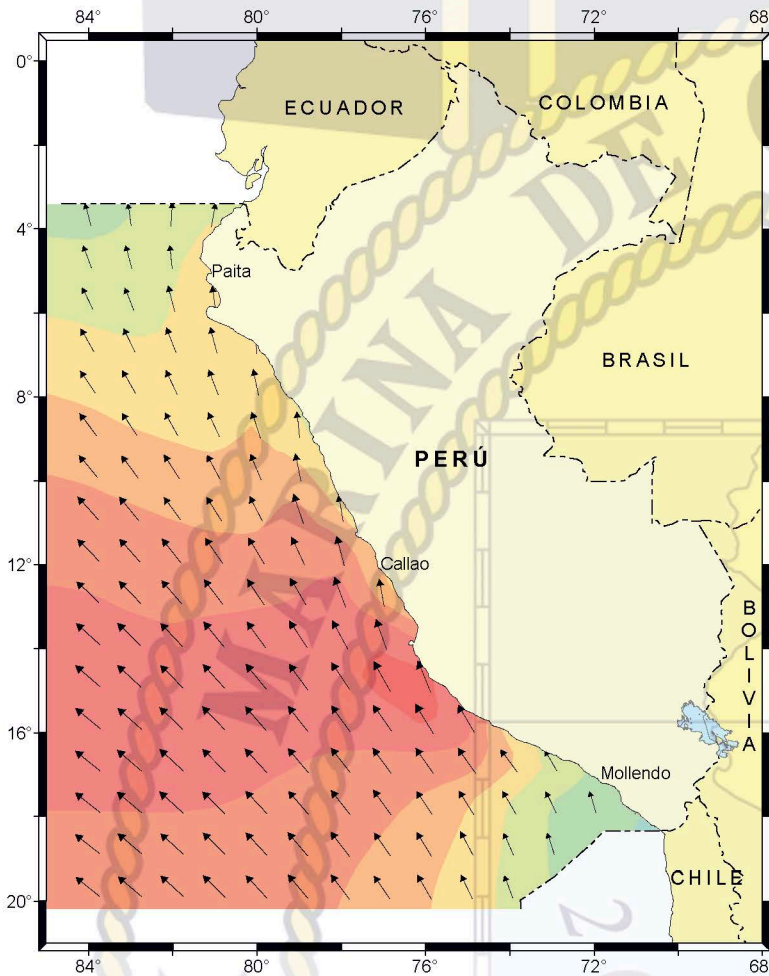




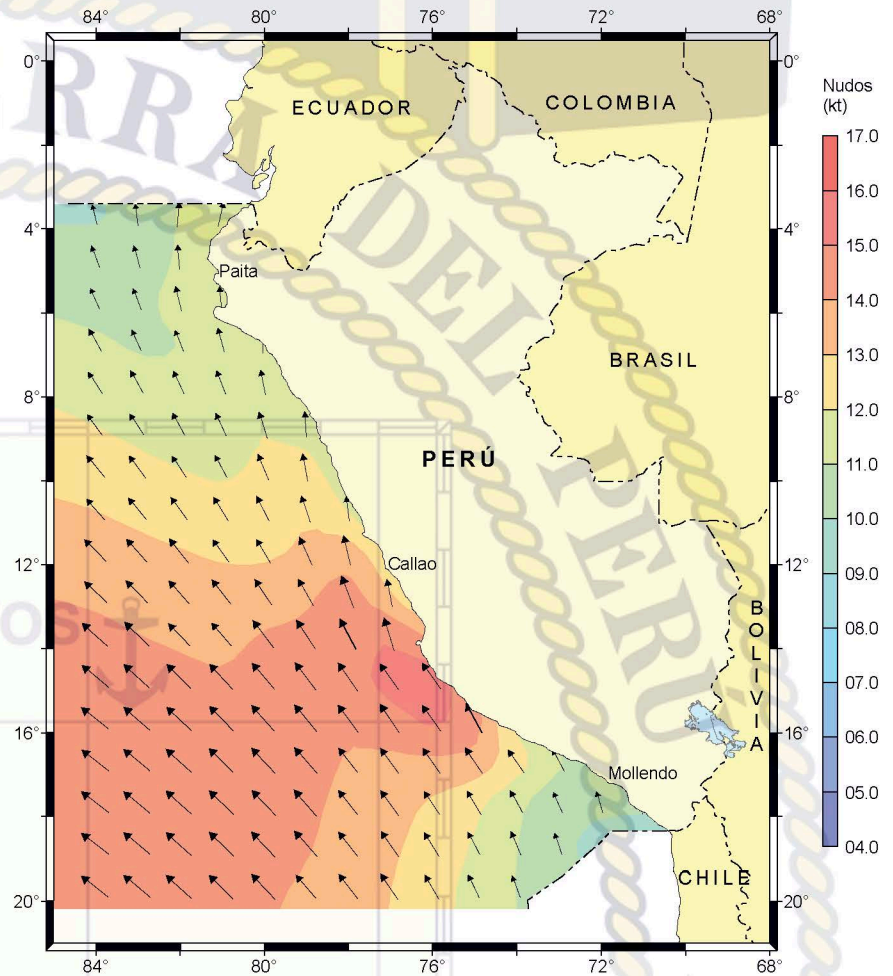
VIENTO

CLIMATOLOGÍA MENSUAL

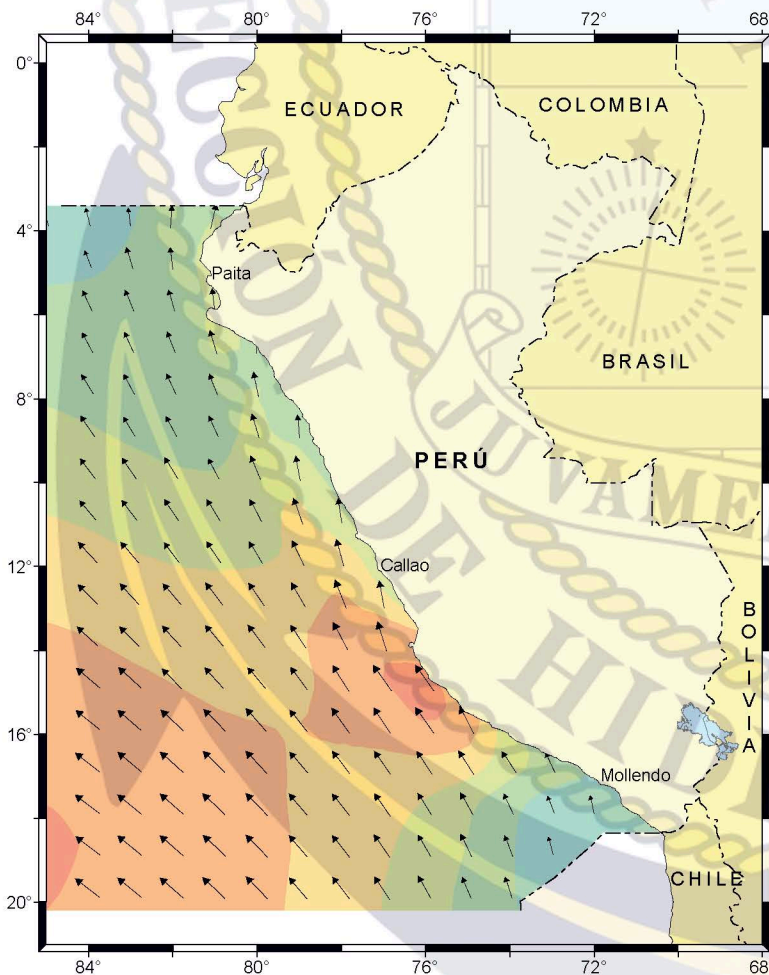
SETIEMBRE



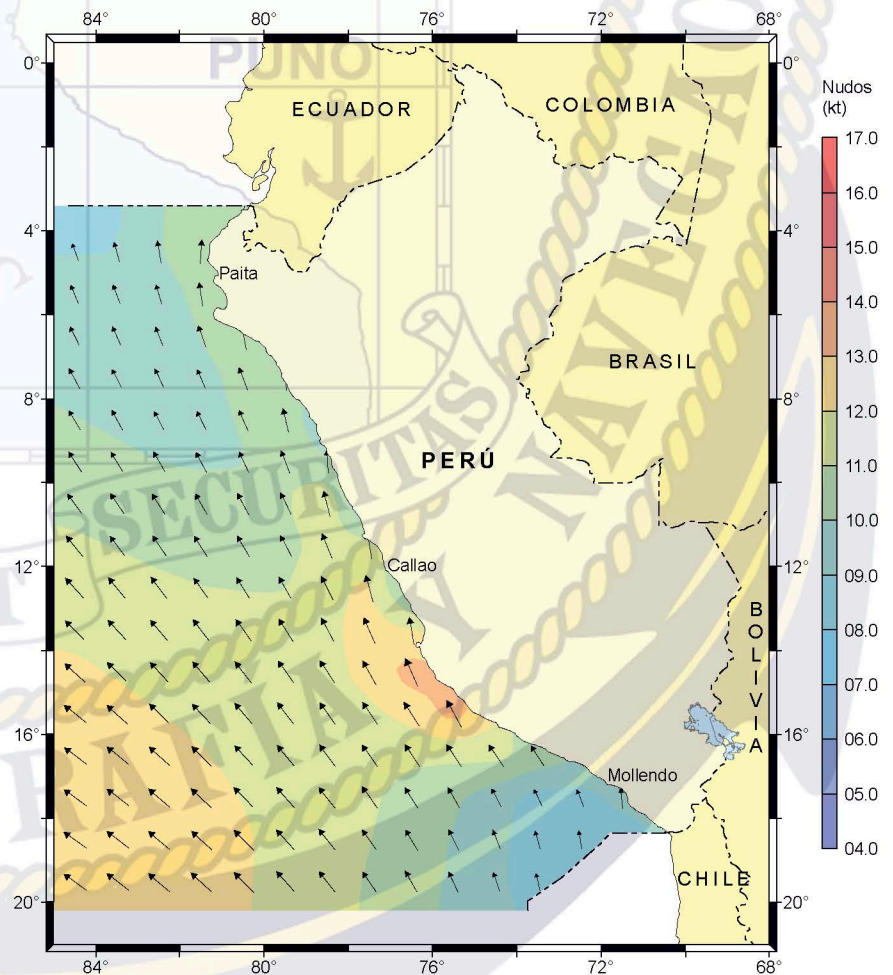
OCTUBRE



NOVIEMBRE

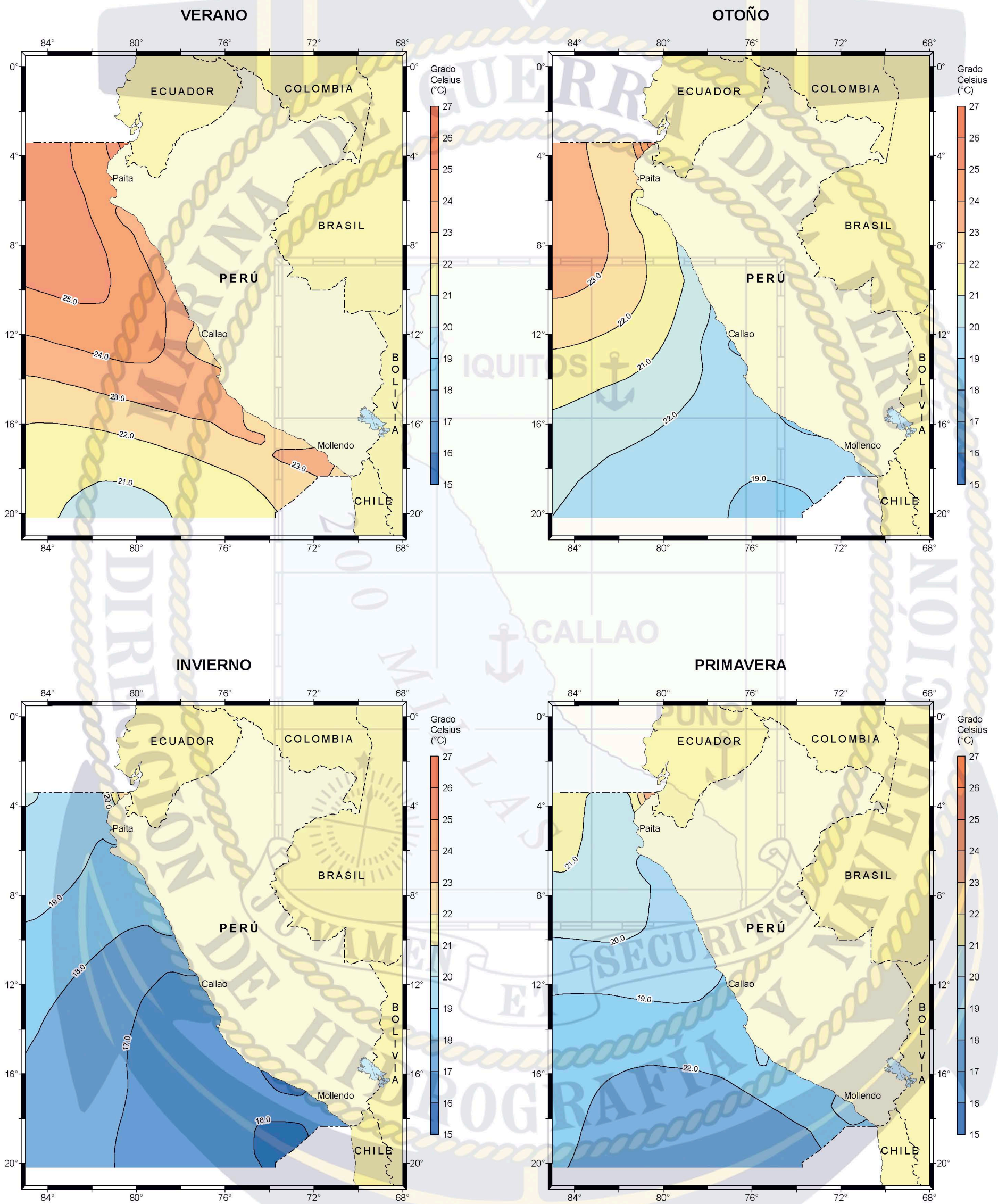


DICIEMBRE



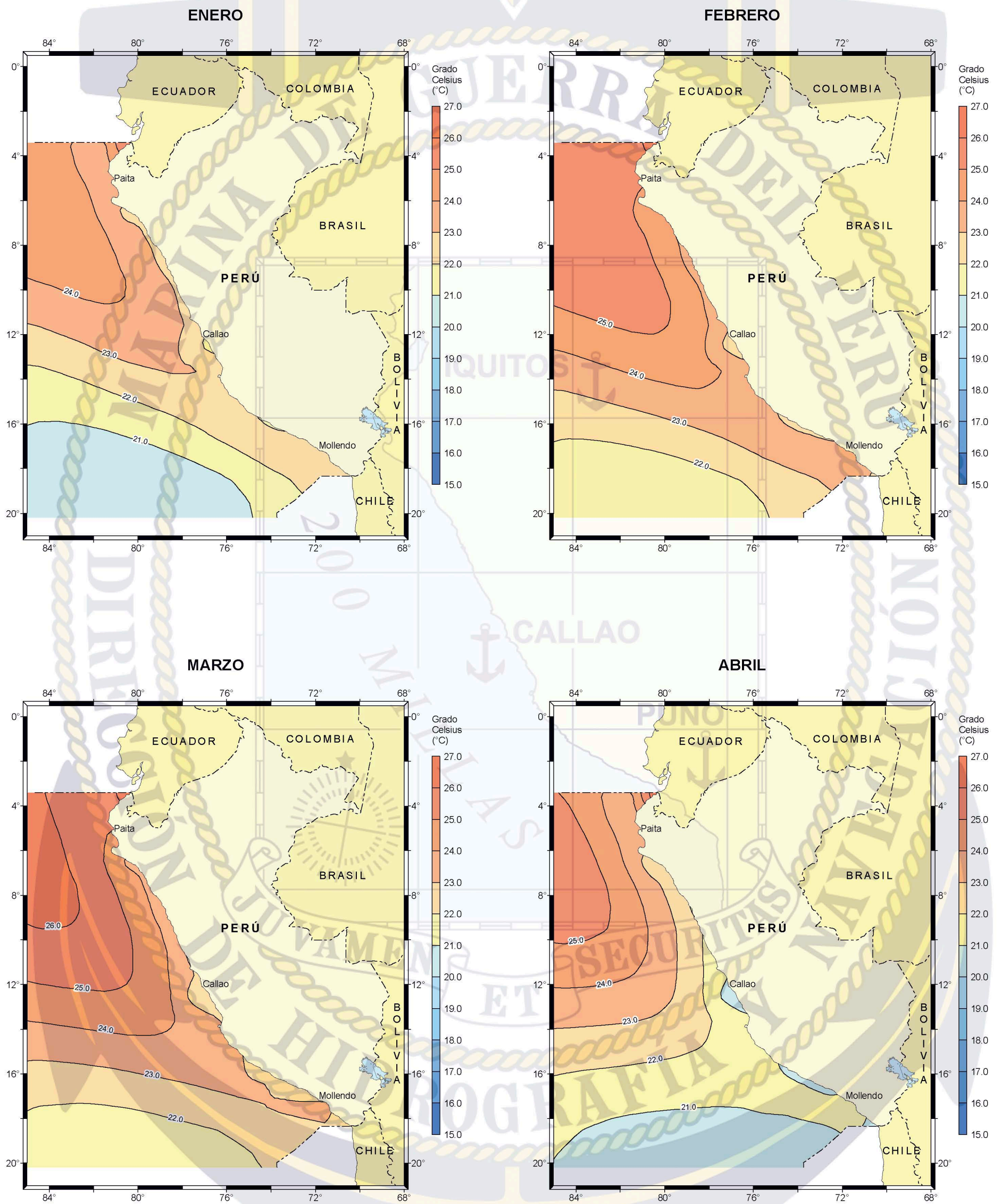
TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL AIRE

CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL



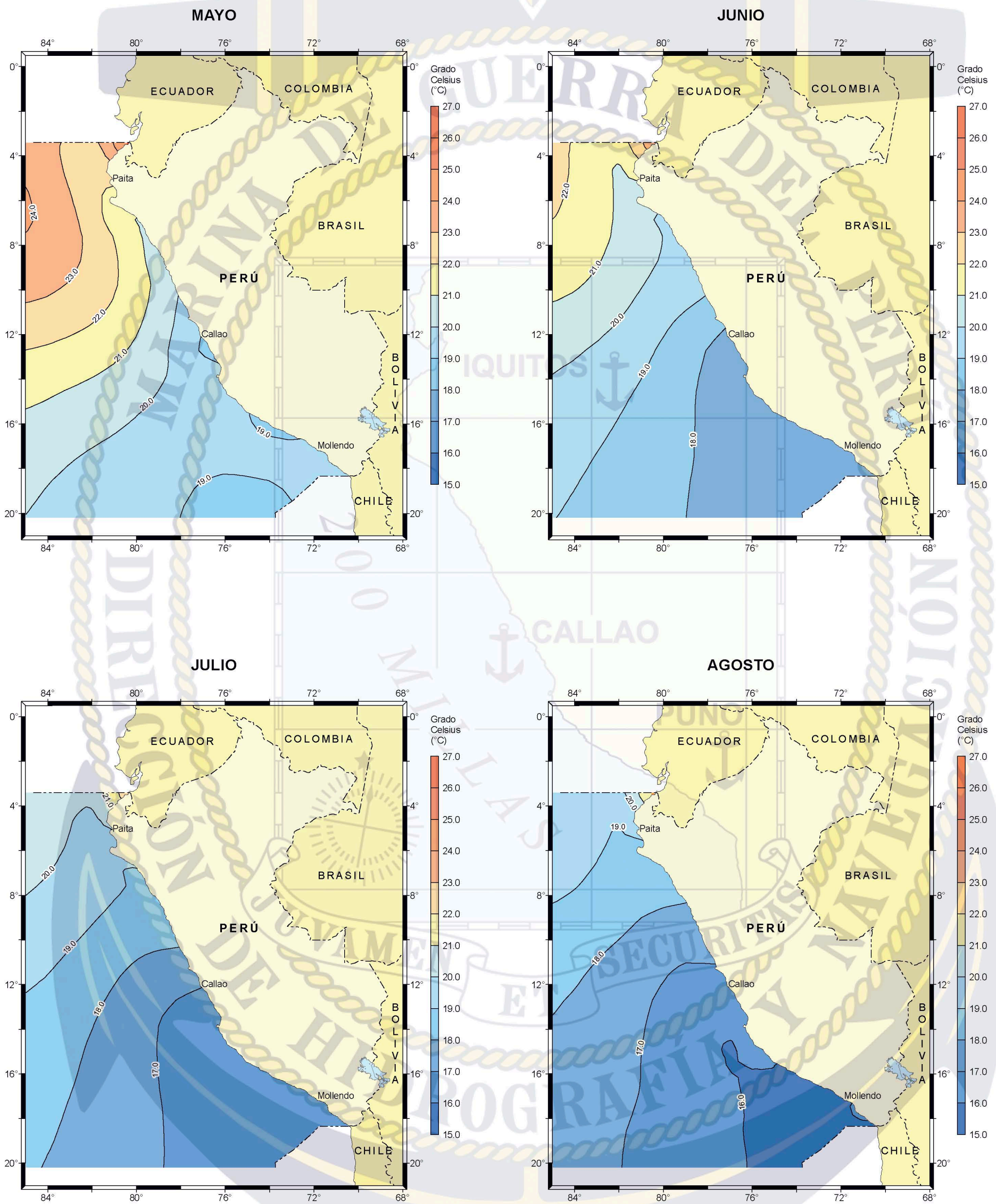
TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL AIRE

CLIMATOLOGÍA MENSUAL



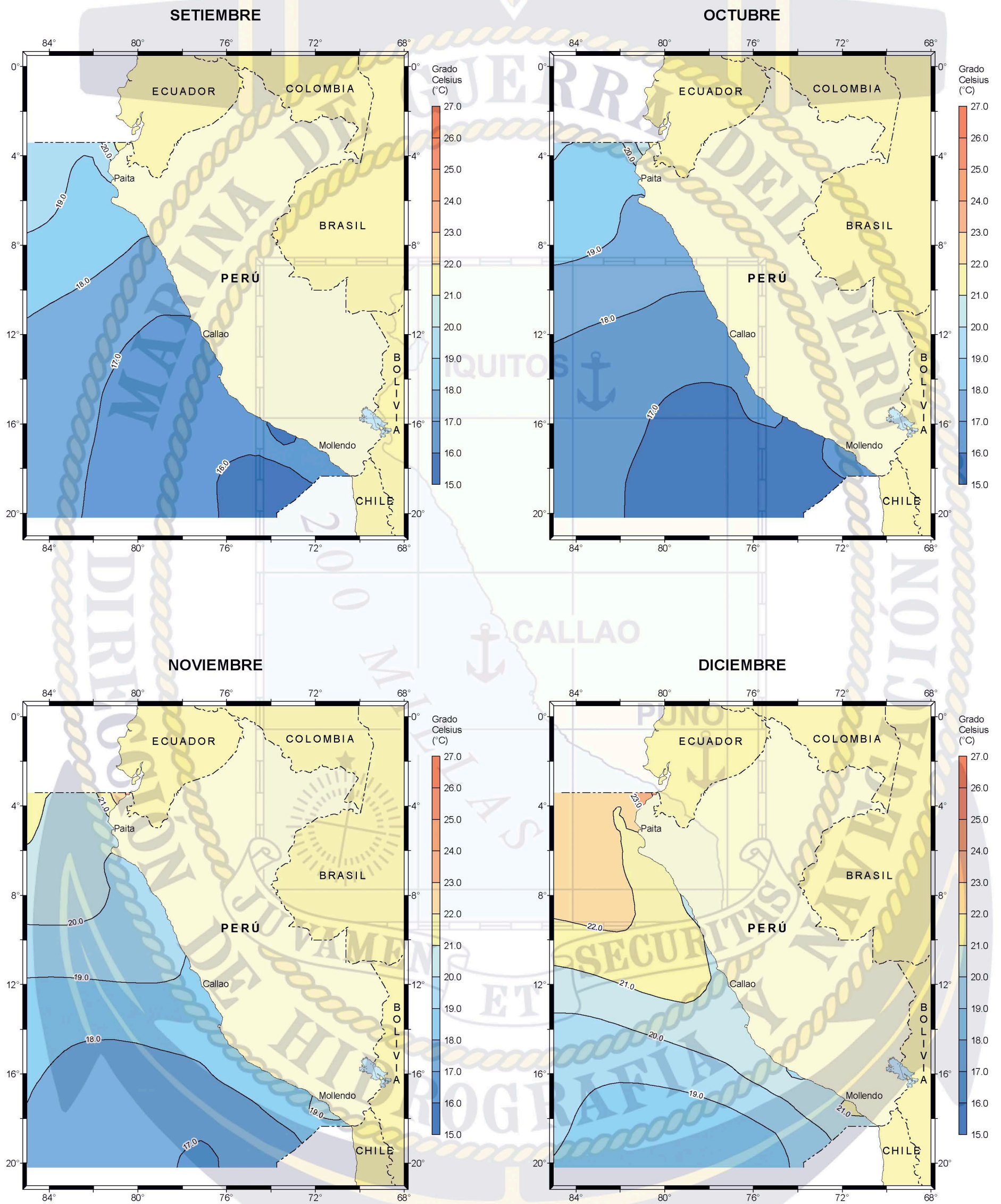
TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL AIRE

CLIMATOLOGÍA MENSUAL



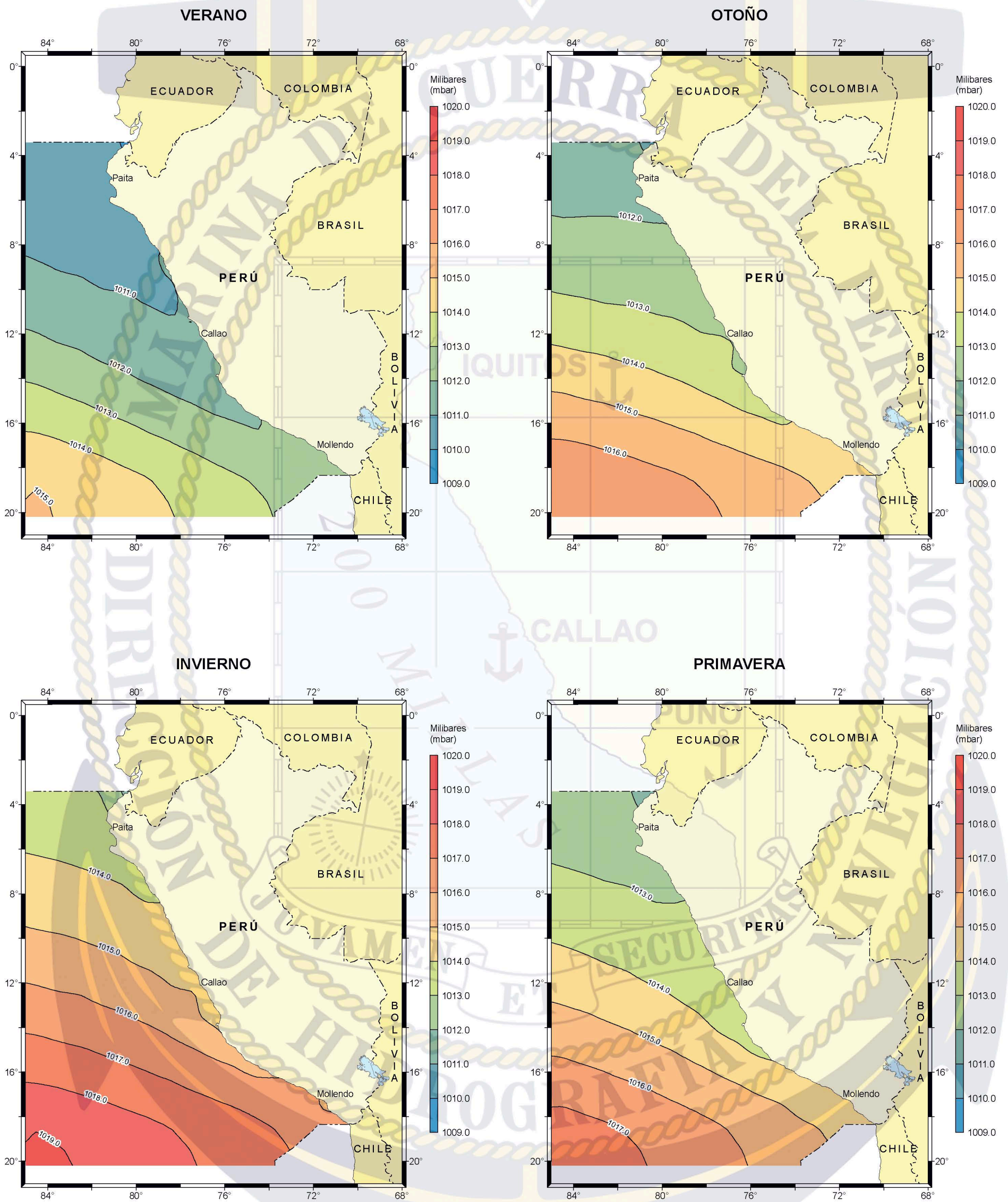
TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL AIRE

CLIMATOLOGÍA MENSUAL



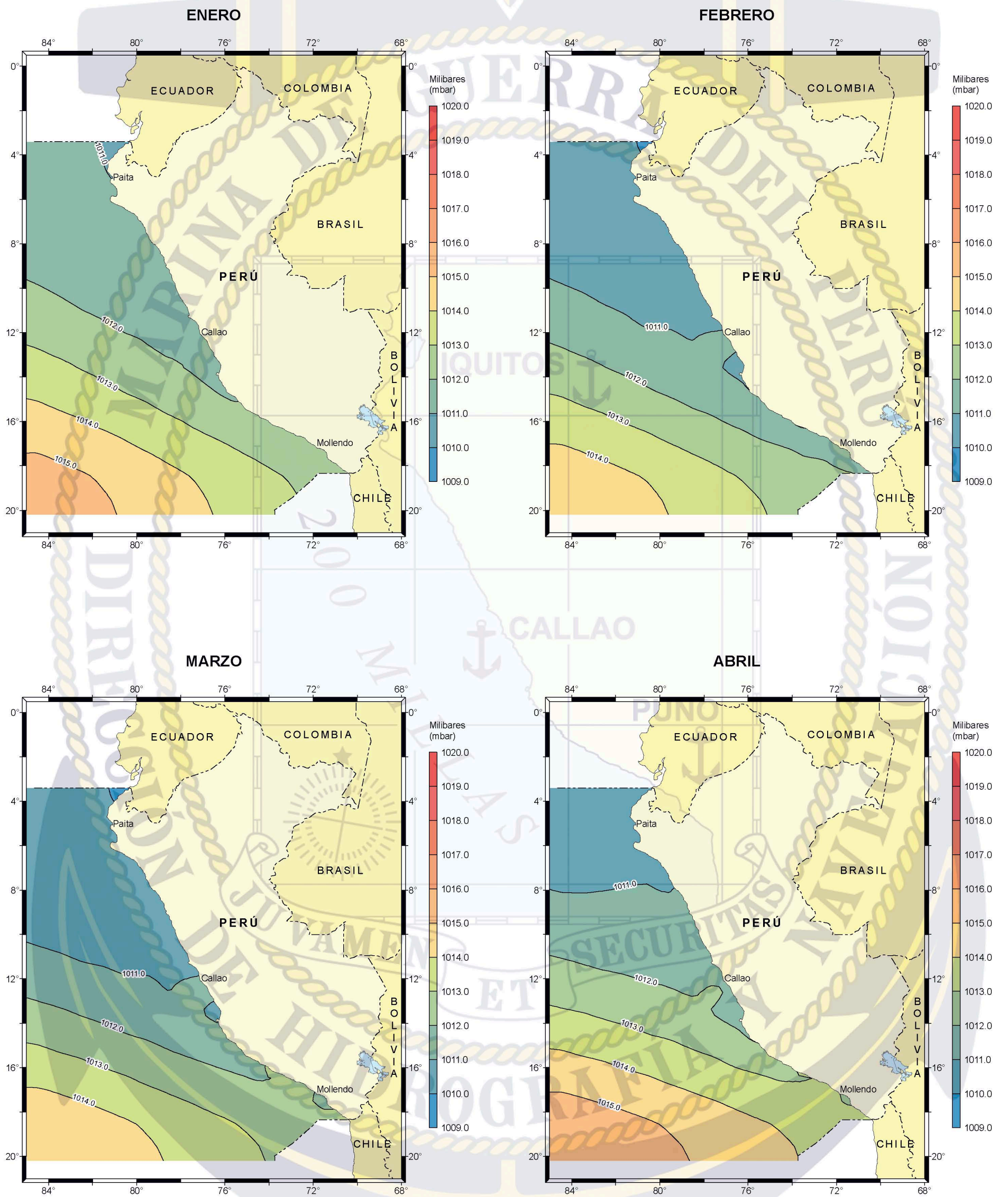
PRESIÓN ATMOSFÉRICA EN SUPERFICIE

CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL



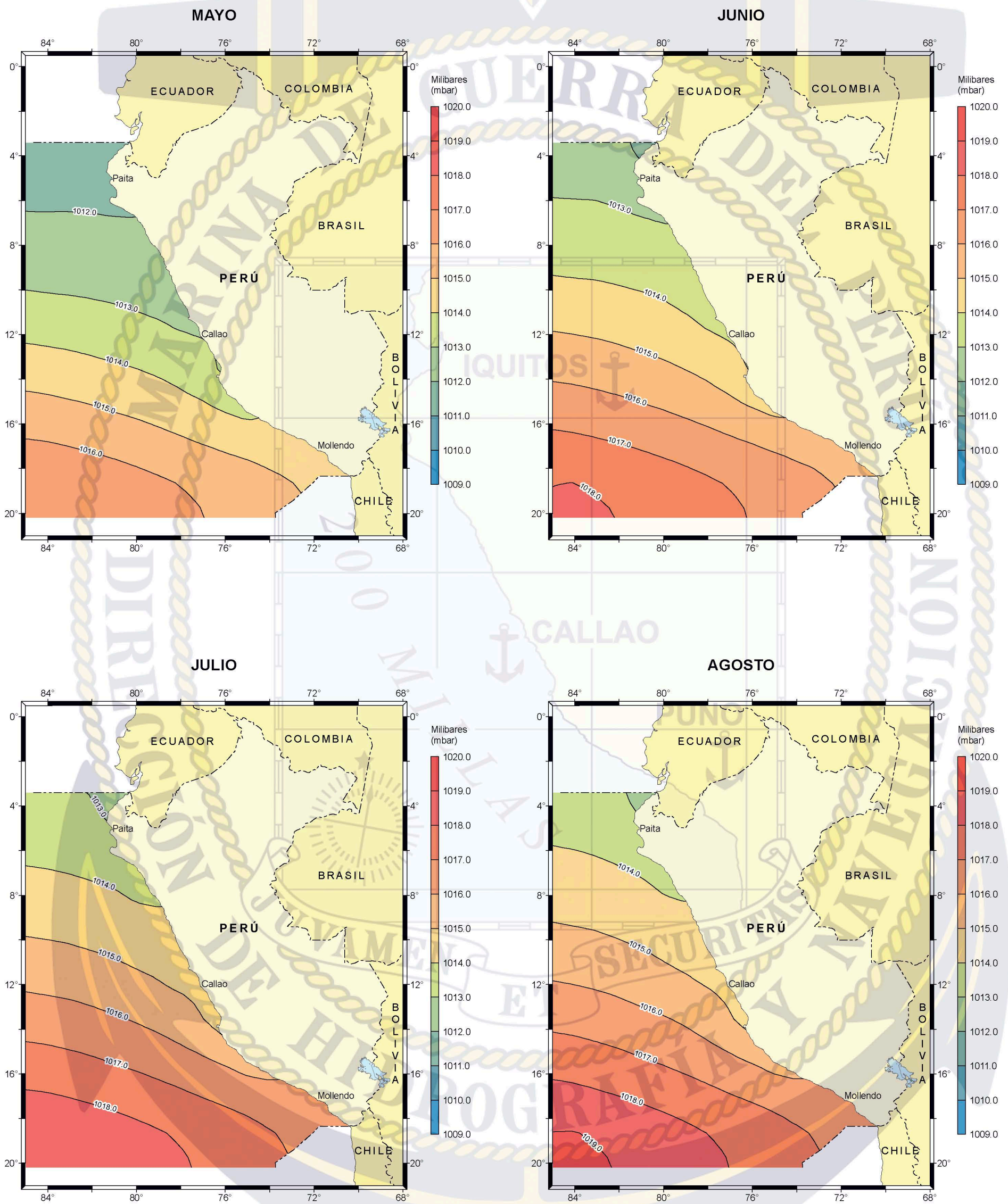
PRESIÓN ATMOSFÉRICA EN SUPERFICIE

CLIMATOLOGÍA MENSUAL



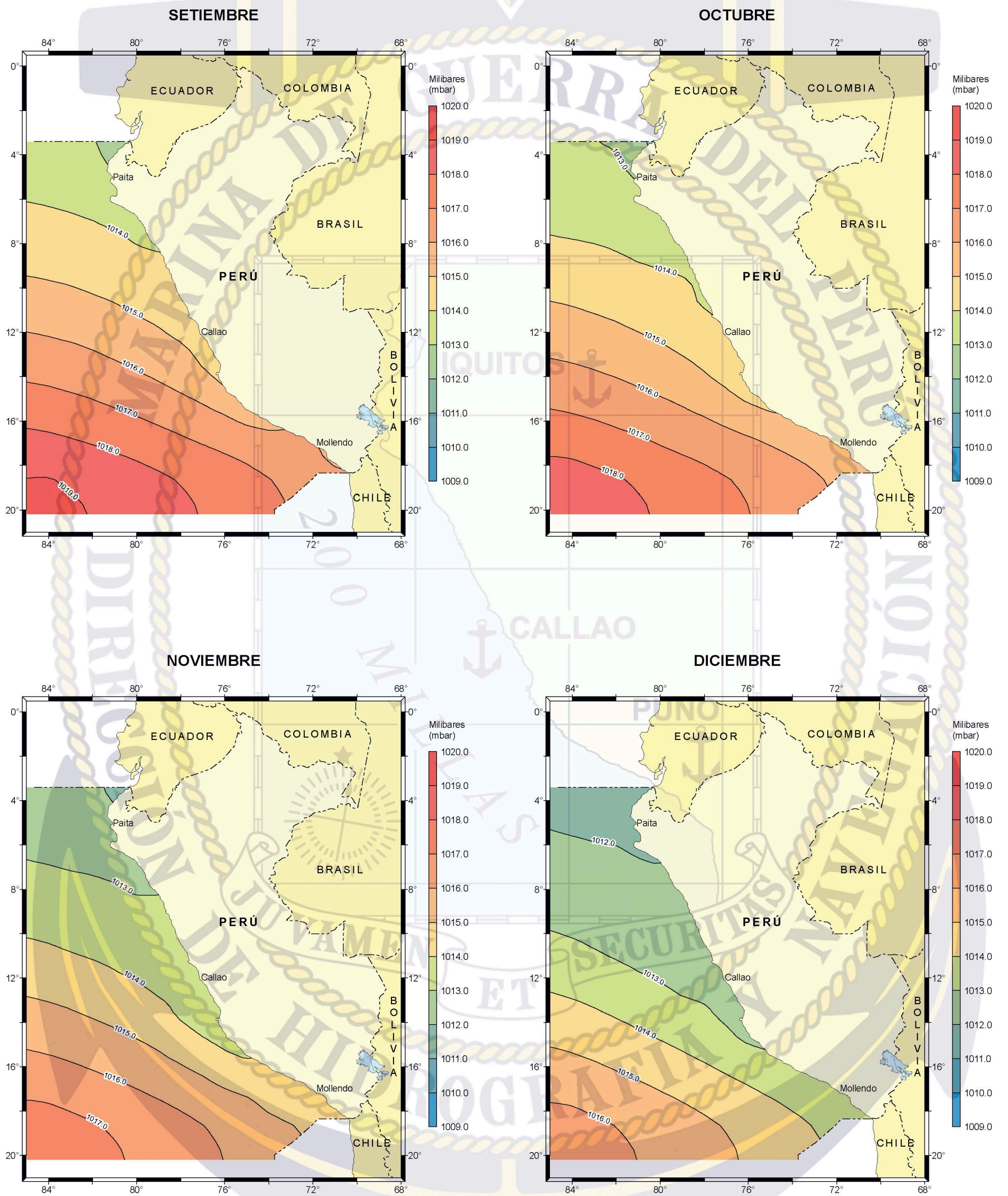
PRESIÓN ATMOSFÉRICA EN SUPERFICIE

CLIMATOLOGÍA MENSUAL



PRESIÓN ATMOSFÉRICA EN SUPERFICIE

CLIMATOLOGÍA MENSUAL





5

ANEXOS





CARRASCO

IGUITOS

5.1 GLOSARIO

ARGO, sistema de observación de los océanos que proporciona datos en tiempo real de perfiles de temperatura y salinidad. Compuesta de sondas robóticas desplegadas que se mueven a la deriva, en todos los océanos, con transmisión vía satélite.

Coefficiente de determinación, es una medida estadística de la fiabilidad de un modelo estadístico (Gaussiano, parabólica u otros) aplicado a una variable para la estimación de datos. es decir, mide la capacidad explicativa del modelo estimado.

Componentes armónicas, se le llama así a cada uno de los elementos armónicos de la expresión matemática que explica la fuerza generadora de la marea, que figuran en las fórmulas correspondientes para el cálculo de las mareas o corrientes de marea. Cada componente representa un cambio o variación periódica en las posiciones relativas de la Tierra, la Luna y el Sol. Una sola componente se escribe generalmente en la forma: $y = A \cos(at + a)$. Donde, "y" es una función de tiempo expresado por el símbolo "t" y se calcula a partir de un origen específico. El coeficiente "A", se llama amplitud del componente y es una medida de su importancia relativa. El ángulo "(at + a)" cambia uniformemente su valor en cualquier momento y se llama fase del componente. La velocidad del componente es el régimen de cambio de su fase y se representa por la letra "a" en la fórmula. La cantidad "a" es la fase del componente en el instante inicial a partir del cual se calcula el tiempo. El período de la componente es el tiempo requerido para que la fase cambie a lo largo de 360° y es el ciclo de la condición astronómica representada por la componente.

CTD, equipo oceanográfico con sensores de temperatura, conductividad y presión (Conductivity, Temperature, Depth), que permiten registrar perfiles a lo largo de la columna. A través de la conductividad se puede obtener la salinidad.

Cuadro Marsden, sistema que divide una carta del mundo con líneas de cuadrícula de un grado de latitud con un grado de longitud.

Cubic spline, método matemático de ajuste polinomial de tercer orden.

Factores de forma o coeficiente de Courtier, son valores que se obtienen del cociente de las amplitudes de las cuatro principales componentes armónicas de un puerto y que disminuyen el régimen o tipo de manera correspondiente. La marea se calcula en: diurna, semidiurna y mixta.

Si:	$\frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2} < 0.25$	Régimen semidiurno
Si:	$0.25 < \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2} < 1.50$	Régimen mixto semidiurno
Si:	$1.50 < \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2} < 3.00$	Régimen mixto diurno
Si:	$3.00 < \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2}$	Régimen diurno

Grilla, es la figura o dibujo formado por un conjunto de cuadrados que resultan de cortarse perpendicularmente dos series de rectas paralelas. Cuadrícula donde se realizan los cálculos del modelo.

Interpolación, es la obtención de nuevos puntos partiendo del conocimiento de un conjunto discreto de puntos cuyo valor si se conoce.

Kriging, también conocido como regresión en procesos Gaussianos, es un método geoestadístico de estimación de puntos. Utiliza un modelo de variograma para la obtención de los ponderadores que se darán a cada punto de referencias usados en la estimación.

Lag tolerance, la tolerancia de retardo es el rango entre los puntos que debe considerarse para la construcción de un variograma experimental.

Líneas cotidales, son aquellas líneas de rango o amplitud de marea constante, que se encuentran formando curvas cerradas de radio creciente alrededor de los puntos anfídromicos.

Líneas de cofase, son aquellas líneas de fase constante de marea, las cuales convergen y parten radialmente desde el punto anfídromico y representan todos aquellos lugares donde la marea alta ocurre a la misma hora.

Matriz de datos, modo de ordenar los datos de manera que sea particularmente, con una fila de valores, una columna de valores o una combinación de filas y columnas de valores.

Método de interpolación Kriging, es un método de inferencia espacial, el cual nos permite estimar los valores de una variable en lugares no muestreados utilizando la información proporcionada por la muestra

Nivel del mar, término que se usa para designar la altura de la superficie del mar desde el cual asciende y desciende la marea.

Nivel medio del mar, es un plano de referencia, que corresponde a la media aritmética de las alturas de la marea observadas en un lugar, en forma continua, separadas por el mismo intervalo de tiempo, efectuadas en periodos ligados a los principales ciclos de la marea (un mes, un año, o un ciclo nodal lunar). Este plano es utilizado en la red de nivelación en todo el país, considerado como el Nivel "O" de referencia topográfico.

Presión atmosférica, es la fuerza por unidad de área que ejerce la atmósfera sobre cualquier superficie.

Proceso estacionario, es un proceso estocástico cuya distribución de probabilidad varía de forma más o menos constante a lo largo de cierto periodo de tiempo

Script, es un conjunto de instrucciones computacionales, al cual se le asigna tareas o funciones específicas, dentro de un lenguaje de programación.

SGeMS, es un programa informático empleado para la visualización gráfica de las variables.

Temperatura ambiente, es la temperatura del aire registrado en un termómetro localizado en una caseta meteorológica protegida de la radiación solar.

Valores NaN, Not-A-Number (No es Un Número), denominación para indicar que la información no es un número.

Variograma, es una herramienta estadística que nos permite analizar el comportamiento espacial de una variable sobre una zona dada, es decir expresa la correlación espacial entre los variables analizadas.

Viento, aire en movimiento con relación a la superficie de la tierra, ocasionado de la gradiente de presión o de la temperatura del aire

5.2 BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Estatal de Meteorología. 2015. Atlas de Clima Marítimo. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España. 1era edición. Págs. 136 y 209.
- Dirección de Hidrografía y Navegación. 2013. Manual de Procedimientos para el Estudio de Mareas. Norma Técnica Hidrográfica N° 43. Publicación DIHIDRONAV-5172. Perú. 1era. Edición, 39 p.
- Egbert Gary D. Svetlana Y. Erofeeva. 2002. Efficient Inverse Modeling of Barotropic Ocean Tides. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. National Science Foundation. Office of Naval Research and National Aeronautics and Space Administration. EE.UU. 183-204 p. Recuperado de <https://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/1520-0426%282002%29019%3C0183%3AEIMOB%3E2.0.CO%3B2>.
- Emery X. 2013. Geoestadística. Ingeniería de Minas Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile. Chile. 1ra Edición. 43, 49 y 63 p.
- Environmental Systems Research Institute. 2018. ArcGIS Desktop: Descripción general del conjunto de herramientas Interpolación raster. Recuperado de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/3d-analyst/an-overview-of-the-raster-interpolation-toolset.htm>.
- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. 2018. ERA-Interim: Why Can't I download ERA-Interim data for recent months. Recuperado de <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA-Interim%3A+why+can%27t+I+download+ERA-Interim+data+for+recent+months>.
- Foreman M. G. G. 1977. Manual for Tidal Heights Analysis and Prediction. Pacific Marine Science. Report 77-10. Institute of Ocean Sciences. Patricia Bay. Victoria, B.C. Canadá. 58 p.
- García F. Palacio C. y García U. 2011. Distribución vertical de temperatura y salinidad en el área costera de Santa Marta. Colombia. Dyna 1979 N° 171. 232-238 p.
- Grados C. Chaigneau A. Echevin V. y Domínguez N. 2018. Upper ocean hydrology of the Northern Humboldt Current System at seasonal interannual and interdecadal scales. Progress in Oceanography. Instituto del Mar del Perú. Perú. 165, 123-144 p. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2018.05.005>.
- IH Cantabria. 2014. AMEVA-Manual de Usuario v1.4.1. Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria. España.
- Intergovernmental Oceanographic Commission. 1985. Manual on Sea Level Measurement and Interpretation. Paris, Volumen I – Basic Procedures. 78 p.
- Intergovernmental Oceanographic Commission. 1992. Joint IAPSO-IOC Workshop on sea-level measurements and quality control. Paris. Workshop Report No. 81. 166 p.
- Intergovernmental Oceanographic Commission. 1994. Manual on Sea Level Measurement and Interpretation. Paris, Volumen II – Emerging Technologies. 52 p.
- Intergovernmental Oceanographic Commission. 2002. Manual on Sea Level Measurement and Interpretation. Paris. Volumen III – Reappraisals and Recommendations as of the year 2000. 55 p.
- Intergovernmental Oceanographic Commission. 2006. JCOMM Technical Report N° 31. Manual on Sea Level Measurement and Interpretation. Paris. Volumen IV – An Update to 2006. 88 p.
- Lopez C. 2018. Geoestadística Variograma. Departamento de Ingeniería Topográfica y Cartográfica Universidad Politécnica de Madrid. España. 1era Edición. Págs. 10 y 13.
- Mínguez R. Espejo A. Tomás A. Méndez J. y Losada J. 2011. Directional calibration of wave reanalysis databases using instrumental data. Journal Atmospheric and Oceanic Technology. EE.UU. Vol. 28, 1466-1485.
- NDBC. 2018. National Data Buoy Center. National, Oceanic and Atmospheric Administration. EE.UU. Recuperado de https://www.ndbc.noaa.gov/station_page.php?station=32012.
- Pucha F. 2018. Geoestadística, interpolación con Kriging. Recuperado de <https://acolita.com/geoestadistica-interpolacion-con-kriging/>.
- Pugh, D. T. 1987. Tides Surges and Mean Sea-Level. John Wiley & Sons. Reino Unido. 472 p.
- Sibson, R. 1981. A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation - Interpolating Multivariate Data. John Wiley & Sons. Nueva York. Capítulo 2 de 1981. 21-36 p.
- Stephenson A. G. 2016. Harmonic Analysis of Tides Using Tide Harmonics. Australia. 21 p. Recuperado de <https://CRAN.R-project.org/package=TideHarmonics>.
- Zuta S. Guillen O. 1970. Oceanografía de las Aguas Costeras Peruanas. Instituto del Mar del Perú. Perú. Boletín Número 5, Volumen 2.



MARINA DE GUERRA DEL PERU

IQUITOS



CALLAO



PUNO



JUVAMEN
ET

SECURITAS

HIDROGRAFIA Y NAVEGACION

HIDROGRAFIA Y NAVEGACION



MARINA DE GUERRA DEL

AVELLANO

QUITOS

2000

PUNO

JUVAMEN

GRUPO

GRUPO

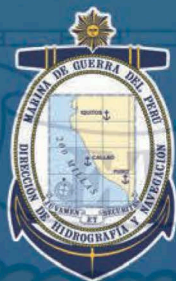
EL BARO
QUE
NO S OYLA





GUERRA


QUITOS




DIRECCIÓN DE HIDROGRAFÍA Y NAVEGACIÓN
MARINA DE GUERRA DEL PERÚ



Calle Roca N° 118 Chucuito Callao Perú / Teléfono: [511] 207 8160 / Web: www.dhn.mil.pe

 Dirección de Hidrografía y Navegación

 @dhn_peru

 DHN Marina de Guerra del Perú