

**COMISIÓN MULTISECTORIAL ENCARGADA DEL
ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO EL NIÑO**



Año 5 N°12

INFORME TÉCNICO ENFEN

DICIEMBRE de 2019

Programa Presupuestal por Resultados N° 068:

“Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”

Producto: Estudios Para la estimación del Riesgo de Desastres

Modelo Operacional: Generación de información y monitoreo del fenómeno El Niño

Autor: Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN)

Comisión Multisectorial ENFEN

Presidente:

Vice-Alm. (r) Javier Alfonso Gaviola Tejada

Presidente del Consejo Directivo, Instituto del Mar del Perú (IMARPE)

Vice-Presidente:

Calm. Jorge Manuel Paz Acosta

Director de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú (DHN)

Dr. Hernando Jhonny Tavera Huarache

Presidente Ejecutivo, Instituto Geofísico del Perú (IGP)

Dr. Ken Takahashi Guevara

Presidente Ejecutivo, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

Ing. Walter Obando Licera

Jefe, Autoridad Nacional del Agua (ANA)

General de Brigada EP Jorge Chávez Cresta

Jefe, Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI)

Valm. (r) Wladimiro Giovannini Y Freire

Jefe del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres – CENEPRED

Grupo de Trabajo Científico Técnico

Coordinador Científico Técnico: Kobi Mosquera Vásquez

IMARPE: Dimitri Gutiérrez, Marilú Bouchón, Luis Vásquez, Carlos Quispe y Tony Anculle.

DHN: Rina Gabriel, Roberto Chauca, Fernando Allasi.

SENAMHI: Grinia Ávalos, Nelson Quispe y Christian Febre.

IGP: Yamina Silva y Jorge Reupo

ANA: Litzia Cisneros y Jairo Chunga.

INDECI: Jakie Rojas.

CENEPRED: Ena Jaimes.

Año: 5

Redacción del informe: Grupo de Trabajo Científico Técnico ENFEN

Edición y Producción: Luis Pizarro (Secretaría Técnica ENFEN)

Diseño de carátula: IMARPE

El contenido de este documento puede ser reproducido mencionando la fuente ENFEN.

Este documento se puede citar como:

Comisión Multisectorial Encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) 2019.

Informe Técnico ENFEN. Año 5, N° 12, diciembre de 2019, **76 p.**

El Informe Técnico ENFEN de diciembre 2019 y los informes previos están disponibles en la World Wide Web de las páginas electrónicas de las instituciones que conforman la Comisión. De tener inconveniente para acceder al informe, contacte a la Secretaría Técnica ENFEN a la dirección electrónica: st_enfen@imarpe.gob.pe.

Diagnóstico Climático y Previsión de El Niño-Oscilación del Sur en el Perú, diciembre 2019



IMARPE
INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ



DIHIDRONAV
MARINA DE GUERRA DEL PERÚ



Senamhi
SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA
E HIDROLOGÍA DEL PERÚ



INDECI
INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL



ANA
Autoridad Nacional del Agua



CENEPRED
Centro Nacional de Estudios y Pronósticos de Riesgo de Desastres

PRESENTACIÓN

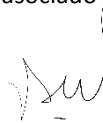
La gran diversidad y productividad de la zona continental como marítima del territorio peruano se altera eventualmente por eventos de la naturaleza que ocurren a diferentes escalas de tiempo y espacio. Entre ellos, el Fenómeno El Niño reviste singular importancia por sus impactos en el Perú como a nivel global.



Han transcurrido casi cuatro décadas desde que el Estado peruano estableciera el Comité Multisectorial encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN). Durante este tiempo, el Comité ha monitoreado, vigilado, analizado y alertado sobre las anomalías del océano y la atmósfera con el fin de prevenir y mitigar los impactos de El Niño en el Perú. Estas acciones se realizan de forma sinérgica, coordinada. En mayo de 2017 se recompone el Comité y adquiere la denominación de Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño, conformada por el Instituto del Mar del Perú IMARPE (Preside de la Comisión), el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN), el Instituto Geofísico del Perú (IGP), la Autoridad Nacional del Agua (ANA), el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y de Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED).

Las capacidades observacionales (meteorológica, oceanográfica, biológico-pesquera e hidrológica), de infraestructura, analíticas y de gestión se vienen fortaleciendo actualmente con la participación de algunas instituciones de la Comisión ENFEN en el Programa Presupuestal por Resultados N° 068 “Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”, en el producto denominado “Estudios para la estimación del riesgo de desastres” y actividad “Generación de información y monitoreo del fenómeno El Niño”, emitiendo como resultado una versión resumida denominado “Comunicado Oficial” que se publica mensualmente, y en algunas oportunidades quincenalmente en períodos de contingencia, así como una versión extendida “Informe Técnico” de carácter mensual. Este último documento incorpora elementos de información, que tengo el honor de presentar, esperando que contribuya a mejorar el conocimiento y a adoptar decisiones y acciones oportunas hacia una eficiente y eficaz gestión del riesgo asociado a El Niño-Oscilación del Sur en nuestro país.

Cordialmente,



Vice-Alm. (r) Javier Alfonso Gaviola Tejada
Presidente de la Comisión Multisectorial para El
Estudio Nacional del Fenómeno El Niño

Figuras.

3.1.1.1	a) Índice de Oscilación del Sur (IOS), b) Índice de Oscilación del Sur Ecuatorial (IOS-Eq). Ambas series de tiempo son medias móviles de tres meses obtenidas del re-analysis CDAS.	33
3.1.1.2.	a) Pronóstico a mediano plazo para OLR del modelo CFS. Los contornos indican actividad de ondas atmosféricas b) Anomalías decadas de OLR para el mes de diciembre de 2019. Datos: CFS y NCEP. Procesamiento: NOAA/SENAMHI	34
3.1.1.3.	Radiación de onda larga – OLR (W/m^2), desde el mes de enero de 2017 hasta diciembre de 2019, en el Pacífico central-oriental en: a) $170^{\circ}E-140^{\circ}W$, $5^{\circ}S-5^{\circ}N$ y b) $170^{\circ}W-100^{\circ}W$, $5^{\circ}S-5^{\circ}N$. Datos: ESRL/NOAA. Procesamiento: IGP.	35
3.1.1.4.	Configuración atmosférica en niveles altos (300 - 200 hPa) para el mes de noviembre del 2019: a) Promedio del viento total (m/s, vectores) y geopotencial (m, contornos) junto a anomalías estandarizadas de la velocidad total del viento (matrices de colores cada $\pm 0,5 \sigma$), b) Anomalías del campo de viento (m/s, vectores) y anomalías estandarizadas de la componente zonal del viento (matrices de colores cada $\pm 0,5 \sigma$). En ambos gráficos los vectores gruesos indican vientos anómalos con desviación estándar mayor a 1 ($\sigma > 1$). Fuente: SPC/SENAMHI.	36
3.1.1.5.	Configuración atmosférica en niveles bajos (1000 - 850 hPa) para el mes de noviembre del 2019: a) Promedio del viento total (m/s, vectores) y geopotencial (m, contornos) junto a anomalías estandarizadas de la velocidad total del viento (matrices de colores cada $\pm 0,5 \sigma$), b) Anomalías del campo de viento (m/s, vectores) y anomalías estandarizadas de la componente zonal del viento (matrices de colores cada $\pm 0,5 \sigma$). En ambos gráficos los vectores gruesos indican vientos anómalos con desviación estándar mayor a 1 ($\sigma > 1$). Fuente: SPC/SENAMHI.	37
3.1.1.6.	Secciones verticales de la circulación atmosférica ecuatorial (Walker) de este a oeste para el mes de diciembre 2019. (a), patrón promedio, (b) patrón climatológico y (c) patrón anómalo. Fuente: SPC/SENAMHI.	38
3.1.1.7.	Diagrama longitud-tiempo de las anomalías del esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del producto WINDSAT. Elaboración: IGP.	39
3.1.1.8	a) Anomalía promedio de la TSM para diciembre de 2019. Fuente: OSTIA, Gráfico: DHN. b) Series de tiempo de las anomalías semanales de la temperatura superficial del mar ($^{\circ}C$) en las regiones Niño, desde enero hasta diciembre del 2019. Fuente: AVHRR NCEP/NOAA.	40
3.1.1.9.	Series de tiempo de la anomalía diaria de la TSM en la región Niño 3.4 (panel superior) y Niño 1+2 (panel inferior). Las líneas en color negro (gruesa), gris y negro (fina) indican la evolución de la anomalía de la TSM en el presente año usando información infrarroja (IR), microondas (MW) y del producto OSTIA, respectivamente. Las líneas de color rojo, azul, celeste y verde indican la evolución de la anomalía de la TSM para distintos periodos en los que se desarrolló El Niño. Elaboración: IGP.	41
3.1.2.1.	Diagramas longitud-profundidad de las anomalías de la temperatura del mar ($^{\circ}C$) en el océano Pacífico ecuatorial (promediados entre $2^{\circ}N$ y $2^{\circ}S$) para los días, de izquierda a derecha y de arriba abajo, 05, 10, 15, 20, 25 y 30 de diciembre de 2019. Fuente: TAO/TRITON, PMEL/NOAA.	42
3.1.2.2.	Diagrama longitud-tiempo de la profundidad de la isoterma de $20^{\circ}C$ (m) promediado entre $2^{\circ}N$ y $2^{\circ}S$, desde mayo hasta diciembre de 2019, tanto para su valor total (a) como para su anomalía (b). Fuente: Global Tropical Moored Buoy Array Program office, NOAA/PMEL.	42
3.1.2.3	Series de tiempo de: a) la inclinación de la termoclina en el Pacífico ecuatorial basado en los datos de TAO entre $2^{\circ}N$ y $2^{\circ}S$; y b) del contenido de calor en la región ecuatorial. Estas series de tiempo se obtuvieron usando datos de las boyas TAO entre $2^{\circ}N$ y $2^{\circ}S$. Elaboración: IGP	43
3.1.2.4	Campos de anomalía del nivel del mar en el Pacífico tropical, de arriba a abajo, el 04, 09, 14, 19, 24 y 29 de diciembre de 2019. . Fuente: GODAS; Climatología 1981–2010.	44
3.1.2.5	Diagrama longitud – tiempo de la anomalía del nivel medio del mar en el Pacífico ecuatorial usando el producto DUACS. Las líneas diagonales indican la trayectoria teórica de la onda Kelvin si tuviera una velocidad aproximada de 2,6 m/s. Elaboración IGP.	45
3.1.2.6	Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos de WINDSAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de $20^{\circ}C$ calculados con los datos de TAO y los derivados de ARGO (b), diagrama de la onda Kelvin y Rossby (c), diagrama de la onda Kelvin (d) y finalmente diagrama de la onda Rossby (e), calculada con el modelo LOM-IGP (forzado por WINDSAT, y $\tau=0$ para el pronóstico). Las líneas diagonales representan la trayectoria de una onda Kelvin si tuviera una velocidad de 2,6 m/s. Elaboración: IGP.	46

3.2.1.1.	Análisis de superficie para el mes de diciembre de 2019. Arriba: Promedio del campo de presión reducida a nivel del mar (PRMSL, hPa) y vientos entre 1000 - 975 hPa (contornos rojos >8 m/s), vectores gruesos representan velocidad estandarizadas, ($\sigma > 1$). Abajo: Anomalías del campo de viento (m/s) y PRMSL (hPa, contornos), las matices en colores representan valores estandarizados de la PRMSL cada $\pm 1 \sigma$, vectores gruesos indican velocidades anómalas del viento total, $\sigma > 1$. Fuente: SPC/SENAMHI.	47
3.2.1.2	Mapas de la velocidad del viento frente a la costa peruana, durante el mes de diciembre de 2019 (Fuente: Satélite ASCAT). Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina, IMARPE). Actualizada hasta el 30/12/2019.	48
3.2.1.3	Mapas de anomalía de la Velocidad del Viento frente a la costa peruana, durante el mes de diciembre del 2019 (Fuente: Satélite ASCAT, Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina, IMARPE). Actualizada hasta el 30/12/2019	49
3.2.1.4	Diagrama Hovmöller de la velocidad del viento a lo largo de la costa peruana (Fuente: Satélite ASCAT, Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina, IMARPE). Actualizada hasta el 08/01/2020.	50
3.2.1.5.	Diagrama Hovmöller de la anomalía del viento a lo largo de la costa peruana (Fuente: Satélite ASCAT, Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina, IMARPE). Actualizada hasta el 08/01/2020.	50
3.2.1.6	Diagrama de Hovmöller del índice de afloramiento costero ($m^3/s.100m$), calculado a partir del viento satelital ASCAT a 40 km frente a la costa del Perú. Los contornos señalan la persistencia del afloramiento bajo condiciones de velocidad a 4 m/s durante 5 días o más. Fuente: Satélite ASCAT, Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina, IMARPE. Actualizada hasta el 08/01/2020.	50
3.2.2.1.	Anomalías de las temperaturas extremas del aire Tmax (a) y Tmin (b) para estaciones costeras a lo largo del litoral del Perú distribuidas desde el norte hacia el sur. Fuente: SPC/SENAMHI	51
3.2.3.1	Mapa de anomalías térmicas y pluviométricas a nivel nacional para el mes de diciembre de 2019. Las anomalías porcentuales de la precipitación, temperatura máxima, y temperatura mínima se muestran en el panel izquierdo, central y derecho, respectivamente. Fuente: SPC/SENAMHI.	51
3.2.3.2	Caudales diarios (m^3/s) de los principales ríos del norte del Perú: Tumbes (panel superior), Piura (panel central) y Lambayeque (panel inferior), hasta los primeros días de enero de 2020. Las líneas azules indican caudales de los años 2019-2020, rojas: Promedio histórico; celeste: promedio de años húmedos y líneas grises: promedio de años secos. Fuente datos: SENAMHI/ Procesamiento: ANA	52
3.2.3.3	Caudales diarios (m^3/s) de principales ríos del centro del Perú: Santa (panel superior), Chillón (panel central) y Rímac (panel inferior), hasta los primeros días de enero de 2020. Líneas azules: caudales de los años 2019-2020, rojas: Promedio histórico; celeste: promedio de años húmedos y líneas grises: promedio de años secos. Fuente datos: SENAMHI/Procesamiento: ANA	53
3.2.3.4	Caudales diarios (m^3/s) de principales ríos del sur del Perú: Camaná (panel superior) y Sama (panel inferior), hasta los primeros días de enero de 2020. Líneas azules: caudales de los años 2019-2020, rojas: Promedio histórico; celeste: promedio de años húmedos y líneas grises: promedio de años secos. Fuente datos: SENAMHI/ Procesamiento: ANA	54
3.2.4.1.	(a) TSM promedio para noviembre de 2019 y (b) anomalía, frente a la costa peruana y ecuatoriana. Climatología 1981 – 2009 (Pathfinder V5). Fuente Datos OSTIA, Procesamiento y gráfico: DIHIDRONAV.	55
3.2.4.2.	Diagrama Hovmöller de las anomalías de la temperatura superficial del mar en el litoral de Perú. Desde julio hasta diciembre de 2019. Climatología 1981 – 2010 DIHIDRONAV. Fuente: DIHIDRONAV.	56
3.2.4.3.	Series diarias de las anomalías de la TSM ($^{\circ}C$) en la red de estaciones costeras del IMARPE durante el último trimestre. Datos y procesamiento: IMARPE.	57
3.2.4.4	Variabilidad temporal del ICEN para los años 1971-1973 (verde), 1981-1983 (rojo), 1996-1998 (azul), 2013-2015 (anaranjado), 2015-2017 (morado), y 2018-2020 (negro). Fuente: IGP.	58
3.2.4.5	Distribución espacial de la salinidad superficial del mar (SSM), durante los días (de izquierda a derecha y de arriba a abajo) 06, 11, 16, 21, 26, 31 del mes de diciembre 2019. Fuente: HYCOM, Procesamiento: DGIOCC-IMARPE	59
3.2.4.6	Anomalía centrada del nivel del mar a lo largo de la franja ecuatorial (Figura superior izquierda) y a lo largo de la costa peruana (Figura inferior izquierda). A la derecha se muestra el promedio de los últimos 365 días en la franja ecuatorial (superior) y a lo largo de la costa (inferior), que fueron sustraídos a las figuras de la izquierda, respectivamente. Las unidades están centímetros.	60

3.2.4.7	Diagrama Hovmöller de las anomalías del nivel medio del mar en el litoral de Perú. De octubre hasta diciembre de 2019. Climatología 1981 – 2010 DIHIDRONAV Fuente: DIHIDRONAV.	60
3.2.4.8	Anomalía de altura del nivel medio del mar (cm) y corrientes geostróficas, cada cinco días para todo el mes de diciembre de 2019. Fuente: CMEMS, Procesamiento: IMARPE	61
3.2.4.9	Variación temporal de la ANMM, dentro de las 60 mn de la costa y en la zona de Galápagos, durante un año hasta el 31 de diciembre de 2019. Fuente: CMEMS, Procesamiento: IMARPE.	61
3.2.5.1	Diagrama Hovmöller de a) TSM, b) ATSM, c) SSM, d) ASSM, y e) Profundidad de la iso-oxigena de 1 mL.L-1 (m) de las secciones verticales frente a Paíta, registrado desde enero del 2015 hasta diciembre de 2019.	62
3.2.5.2	Distribución vertical de: a) temperatura (°C), b) anomalía de temperatura (°C), c) salinidad (ups), d) anomalía de salinidad (ups), e) oxígeno (mL.L-1) y f) velocidad geostrófica (cm/s) frente a Paíta, 19 y 20 de diciembre de 2019. Fuente: IMARPE.	62
3.2.5.3	Diagrama Hovmöller de a) TSM, b) ATSM, c) SSM, d) profundidad de la isoterma de 15°C (m) y e) Profundidad de la iso-oxigena de 1 mL.L-1 (m) de las secciones verticales frente a Chicama, registrado desde enero del 2015 hasta diciembre de 2019.	63
3.2.5.4	Distribución vertical de: a) Temperatura superficial del mar (°C), b) Anomalía de temperatura superficial del mar (°C), c) Salinidad superficial del mar (ups), d) Anomalía de salinidad superficial del mar (ups), e) Oxígeno (mL.L-1) y f) Velocidad geostrófica (cm/s) frente a Chicama, realizada durante el 17 y 18 de diciembre de 2019. Fuente: IMARPE.	63
3.2.5.5	Serie de tiempo, de julio de 2018 a primeros días de enero del 2020, de la estructura térmica vertical (°C) en las Estaciones Fijas de: Paíta, Chicama, Callao, Atico e Ilo.	64
3.2.5.6	Serie de tiempo, de julio de 2018 a primeros días de enero del 2020, de la anomalía térmica vertical (°C) en las Estaciones Fijas de: Paíta, Chicama y Callao.	65
3.2.5.7	Serie de tiempo, de julio de 2018 a primeros días de enero del 2020, de la salinidad del agua de mar (ups) en las Estaciones Fijas de: Paíta, Chicama, Callao, Atico e Ilo.	65
3.2.5.8	(Izquierda) Perfiles verticales de anomalía de la temperatura del mar hasta los 500 metros de profundidad calculada de los datos del flotador ARGO No. 3901231. Esta anomalía se calcula en base a la climatología (1981-2010) de: (a) GODAS, (b) SODA e (c) IMARPE. (Derecha) Trayectoria del flotador en el último año. Cada color indica un periodo de aproximadamente 30 días, en donde el círculo abierto indica la última posición del flotador.	66
3.2.6.1	Serie de tiempo, de julio de 2018 a diciembre de 2019, de la concentración de oxígeno disuelto (mL.L-1) en las Estaciones Fijas de Paíta, Chicama, Callao, Atico e Ilo.	67
3.2.6.2	Concentración de silicatos en $\mu\text{mol L}^{-1}$ en las Estaciones Fijas de: Paíta, Chicama, Callao e Ilo de IMARPE entre julio 2018 a diciembre 2019.	68
3.2.6.3	Concentración de nitratos en $\mu\text{mol L}^{-1}$ en las Estaciones Fijas de: Paíta, Chicama, Callao e Ilo de IMARPE entre julio 2018 a diciembre 2019.	68
3.2.6.4	Concentración de fosfatos en $\mu\text{mol L}^{-1}$ en las Estaciones Fijas de: Paíta, Chicama, Callao e Ilo de IMARPE entre julio 2018 a diciembre 2019	69
3.2.6.5	Mapa de la concentración de la clorofila-a (a) y su anomalía (b) obtenida del satélite MODIS-AQUA, VIIRS-SNPP durante diciembre de 2019. Número de días con nubes en (c). Serie de tiempo (d) para 4 °S-16 °S y dentro de los 100 km de la costa, de las concentraciones de clorofila-a satelital (línea negra) y su climatología (línea verde) proveniente de MODIS (en $\mu\text{g L}^{-1}$); y (e) Diagrama Hovmöller de las anomalías de clorofila-a con respecto a la latitud.	70
3.2.7.1	Captura (t), estructura de tallas según latitud (°S) y distribución de anchoveta durante diciembre 2019 en la región norte – centro.. Fuente: PBP/ADPERP/DGIRP/IMARPE.	71
3.2.7.2	Distribución vertical de cardumen de anchoveta durante diciembre 2019 en la región norte – centro.	71
3.2.7.3	Variación latitudinal mensual de la composición por especies de la dieta del guanay a lo largo de la costa durante octubre - diciembre del 2019. Donde MC: Isla Macabí, GN: Isla Guañape, MZ: Isla Mazorcas, PE: Isla Pescadores, BA: Isla Ballestas, SJ: Punta San Juan y PC: Punta Coles.	72
3.2.7.4	a) Anomalía de la TSM (°C) en Chicama. Indicadores reproductivos: b) Índice Gonadosomático (IGS), c) Fracción Desovante (FD) y d) contenido graso del stock norte – centro del recurso anchoveta. Julio 2017 – diciembre 2019. Fuente: LBR/AFIRNP/DGIRP/IMARPE.	73
4.2.1	Diagrama Hovmöller de longitud-tiempo de las ondas Kelvin oceánicas en el Pacífico ecuatorial: (a) Modo 1, (b) Modo 2, (c) Modo 1+ Modo 2. El modelo fue forzado con información de NCEP. La línea discontinua horizontal de color verde indica el inicio del pronóstico sin el forzante de viento. Fuente: IMARPE.	74
4.2.2	Índice Niño 3.4 mensual observado (línea negra continua) y pronosticado por los modelos de NMME. Los pronósticos de los modelos numéricos son indicados con líneas de distinto color mientras que el promedio de estos se grafica con una línea negra entrecortada. Fuente: CPC/NCEP/NOAA.	75

4.2.3	Índice Costero El Niño (ICEN, línea negra con círculos y triángulos llenos) y su valor temporal (ICENtmp, línea roja con círculo y triángulo lleno). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de 3 meses de las anomalías pronosticadas de la TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Los pronósticos de los modelos CFSv2, CMC1, CMC2, GFDL, NASA, GFDL_FLOR y NCAR_CCSM4 tienen como condición inicial del mes de enero de 2020. Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME.	75
4.2.4	Pronóstico probabilístico de la anomalía de la TSM (calibrados) para enero-marzo del 2020 por el promedio de los modelos de NMME inicializados en enero de 2020. Fuente: NMME.	76
4.2.5	Pronóstico probabilístico de precipitación (calibrados) para el trimestre febrero - abril de 2020 por modelos de NMME, inicializado en diciembre de 2019. Fuente: NMME.	77

Tablas

Tabla 3.1.4.1	Valores del Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) y el Índice Costero El Niño (ICEN) de marzo a noviembre de 2019, así como sus valores temporales para diciembre de 2019 y enero de 2020. Fuente IGP.	78
Tabla 3.2.4.2.	Anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar (°C) y del nivel medio del mar (cm) en el periodo que va de setiembre hasta diciembre de 2019. Fuente: Estaciones costeras – DHN.	78
Tabla 4.2.1	Pronóstico del ONI por los modelos de NMME (promedios trimestrales de los pronósticos de las anomalías de la TSM en la región Niño 3.4).	79
Tabla 4.2.2	Pronóstico del ICEN por los modelos de NMME (promedios trimestrales de los pronósticos de las anomalías de la TSM en la región Niño 1+2)	79

Diagnóstico Climático y Previsión de El Niño-Oscilación del Sur en el Perú, diciembre de 2019

1. INTRODUCCIÓN	12
2. DATOS	12
2.1. Variables	12
2.2. Índices	12
2.3. Modelo de Pronóstico	12
3. CONDICIONES OBSERVADAS EN DICIEMBRE	15
3.1. Condiciones a Macroescala	15
3.1.1. Circulación atmosférica y temperatura superficial del mar en el Pacífico ecuatorial	15
3.1.2. Dinámica oceánica en el Pacífico ecuatorial	16
3.2. Condiciones a Escala Regional	17
3.2.1. Circulación atmosférica en el Pacífico Suroriental	17
3.2.2. Temperatura del Aire	18
3.2.3. Precipitaciones e hidrología en la vertiente del Pacífico	18
3.2.4. Temperatura superficial de mar y nivel medio del mar	18
3.2.5. Condiciones oceanográficas sub-superficiales frente al litoral peruano	21
3.2.6. Nutrientes y Productividad en la costa peruana	23
3.2.7. Recursos Pesqueros e indicadores biológicos	25
4. PRONÓSTICO	27
4.1. A mediano plazo (semanas)	27
4.2. A largo plazo (más de 3 meses)	27
5. CONCLUSIONES	28
6. REFERENCIAS	29
7. FIGURAS.....	31

RESUMEN

La Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) se reunió para analizar y actualizar la información de las condiciones meteorológicas, oceanográficas, biológico-pesqueras e hidrológicas del mes de diciembre de 2019.

En el Pacífico ecuatorial central (región Niño 3.4); según el Índice Oceánico Niño (ONI), por sus siglas en inglés), el mes de noviembre indica condiciones Neutras. Las señales de convección en la región occidental se mostraron alrededor de su estacionalidad. En el campo de los vientos, la divergencia anómala desarrollada al este del Océano Índico mantuvo intensos los flujos zonales anómalos en el Pacífico sur.

En el Pacífico ecuatorial oriental, la anomalía de la temperatura superficial del mar indicó valores positivos, sin embargo, se mantuvieron en condiciones neutras. El máximo valor positivo se alcanzó en la segunda semana y se acercó a 0,5°C. El Índice Costero El Niño (ICEN) de noviembre y el estimado (ICEN-tmp) para el mes de diciembre se mantienen en condiciones neutras.

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS) se mostró poco intenso con una configuración meridional, la cual no favoreció la intensificación de los vientos costeros.

La temperatura superficial del mar en el litoral del Perú mostró un calentamiento que estuvo asociado a la estacionalidad, y a la fase culminante de la llegada de la onda Kelvin cálida pronosticada por la comisión ENFEN en el Comunicado N° 13 de octubre de 2019 (ENFEN 2019). Por otro lado, el enfriamiento de la columna de agua en la última semana de diciembre frente a Paíta indica la finalización del paso de la onda Kelvin cálida y/o el arribo de una onda Kelvin fría frente a la costa norte.

La concentración de la clorofila-a en la capa superficial mostró variaciones positivas al sur de San José con valores de +1 $\mu\text{g L}^{-1}$ a +10 $\mu\text{g L}^{-1}$, extendiéndose progresivamente de norte a sur de 10 m.n. a 60 m.n. La media mensual de nubosidad, la cual afecta el crecimiento del fitoplancton y la producción de clorofila-a, se encontró alrededor del 50 % en gran parte del litoral, menor a lo observado en meses anteriores.

Durante el mes de diciembre, las zonas de pesca de la anchoveta se localizaron entre Huarney (10°S) a Pucusana (12 °S) y entre Mórrope (6 °S) a Pacasmayo (07 °S), dentro de las 40 millas náuticas de la costa. Se evidenció una ligera profundización de los cardúmenes de anchoveta frente a Chicama (07°S). Los índices reproductivos de la anchoveta peruana del stock norte-centro en el mes de diciembre, mostraron la disminución en la actividad desovante de acuerdo con el patrón histórico.

Perspectiva

Desde la quincena de enero a inicios de marzo se espera el arribo de ondas Kelvin cálidas a la costa peruana y se espera que estas mantengan o incrementen la temperatura del mar por encima de sus valores normales, tanto en la superficie como por debajo de esta. El calentamiento superficial del mar podría favorecer, en la costa norte del Perú, principalmente en Tumbes y Piura, la ocurrencia de lluvias episódicas por encima de lo normal, sin llegar a ser extraordinarias.

Según los resultados de los modelos numéricos de NMME, se esperaría en promedio para el Pacífico oriental (región Niño 1+2), y central (región Niño 3.4), condiciones NEUTRAS entro los meses de enero - julio de 2020.

En base al análisis del ENFEN, se espera que la temperatura superficial del mar frente a la costa peruana; a pesar de poder mostrar incrementos por encima de su climatología en algunos periodos del verano; se mantenga, en promedio, dentro de sus rangos normales. Frente a esto, el ENFEN considera mantener el Estado de Alerta de El Niño en No Activo, debido a que actualmente no se observan condiciones para que el calentamiento esperado se prolongue después de inicios de otoño.

1. INTRODUCCIÓN

El Niño - Oscilación Sur (ENOS) en sus dos fases, El Niño y La Niña, tiene repercusiones más intensas en algunas zonas del mundo, como es el caso de Perú, en particular en la zona norte y centro de nuestro país. En la fase El Niño y en el contexto del denominado El Niño Costero las condiciones cálidas sobre el Pacífico Oriental, particularmente frente a la costa norte de Perú durante el verano austral, propician lluvias intensas que generan impactos en los sectores socioeconómicos.

En este contexto, la Comisión Multisectorial para el Estudio del Fenómeno de El Niño (ENFEN) mantiene el monitoreo constante y predicciones del desarrollo de ENOS, reportando periódicamente el análisis del monitoreo de parámetros océano-atmosféricos en el Pacífico ecuatorial y Sudoriental, así como de la dinámica sub-superficial de parámetros oceanográficos, con mayor atención en la zona costera de Perú. Para los impactos en el ecosistema marino se analizan indicadores de la fertilidad y productividad del mar peruano, así como también la respuesta de los principales recursos hidrobiológicos y la actividad pesquera; asimismo reporta los impactos hidrológicos, asociados a precipitaciones e incrementos súbitos del caudal de los principales ríos del territorio peruano. Finalmente, se formula la previsión futura de los principales indicadores asociados al ENOS y al Fenómeno El Niño, a corto, mediano y largo plazo.

La comunidad científica nacional e internacional aún sigue estudiando los mecanismos relacionados a este fenómeno, e investigando para conocer los inicios o causas que dan lugar a El Niño o La Niña, pues actualmente no hay acuerdo entre los científicos sobre los modelos propuestos internacionalmente.

2. DATOS

2.1. Variables

Las principales variables utilizadas en este documento están clasificadas en tres tipos: atmosféricas, oceanográficas e hidrológicas. Tabla 2.1.1.

2.2. Índices

Se cuenta con el Índice Costero El Niño (ICEN), con el cual se categoriza las condiciones como frías o cálidas, en el caso de frías con magnitudes de débil, moderada y fuerte, y en el caso de cálidas con magnitudes débil, moderada, fuerte y Extraordinaria (ENFEN, 2012; Takahashi, et al., 2014).

2.3. Modelo de Pronóstico

Modelo Oceánico Lineal (LOM-IGP): El modelo se utiliza para representar la dinámica superior en el Pacífico ecuatorial, se trabaja con dos tipos de termoclina, contante y variable. Para el diagnóstico el modelo es forzado con esfuerzos de viento del "reanalysis" NCEP-CDAS (Kalnay et al. 1996) y vientos observados remotamente de WinSAT (Wentzet. Al., 2013) obtenidos de <http://www.remss.com/missions/windsat/> . Para calcular la contribución de las ondas Kelvin y Rossby sobre el nivel del mar y las corrientes zonales se usa la metodología de Boulanger y Menkes (1995).

Para el pronóstico el modelo continúa integrándose numéricamente en el tiempo usando dos artificios: 1) esfuerzo de viento igual a cero y 2) el promedio de los últimos treinta días de la anomalía del esfuerzo de viento. Ver más en Mosquera (2009), Mosquera et al. (2011) y Mosquera (2014).

Modelo Oceánico de Complejidad Intermedia: El modelo se utiliza para representar la propagación de las Ondas Kelvin Ecuatoriales (OKE), ejecutándose con 3 modos baroclínicos, forzado con vientos del NCEP (Kalnay et al. 1996) y siguiendo la metodología de Illig et al. (2004) y Dewitte et al. (2002). En el modelo la señal de la OKE se descompone en modos normales de oscilación (modo 1, modo 2), que se propagan a diferentes velocidades; y a la vez se considera la suma de ambos modos, resultado que proporciona mayor contribución en la anomalía del nivel del mar.

Modelos Climáticos de Agencias Internacionales: Los resultados de estos modelos numéricos se utilizan como insumo para el análisis de la perspectiva de mediano y largo plazo. En este caso particular se utiliza la información del conjunto de modelos denominado North American Multi-Model Ensemble (NMME, Kirtman et al., 2014)

Tabla 2.1.1. Principales variables y bases de datos utilizados en el presente informe.

VARIABLE		FUENTE																				PROCESAMIENTO		
		Observación											Satélite (*)								Modelos			
		Estaciones a nivel nacional	Estaciones	Estaciones costeras	Estaciones fijas	Secciones verticales	Cruceros	Boyas TAO/TRITON	ARGO	Programa Bitácoras de	Seguimiento de Pesquerías	Muestras de	TRMM-3B42	ESRL/NOAA	Reanálisis NCEP/NOAA	ASCAT	AVHRR (Daily OI SSTv2-NOAA)	OSTIA	JASON-2	AVISO	MODIS		HYCOM	
VARIABLES ATMOSFÉRICAS																								
	Temperatura del Aire		X																				SENAMHI	
	Precipitación	X																					SENAMHI	
	Precipitación Estimada											X											SENAMHI/IGP	
	Radiación de Onda Larga												X										IGP	
	Presión Atmosférica														X								SENAMHI	
	Vientos															X								SENAMHI
															X								IGP/ IMARPE	
VARIABLES OCEANOGRÁFICAS																								
Físicas	Temperatura del Mar		X				X	X	X								X	X						DHN
						X	X																	IMARPE
								X	X						X		X							IGP
	Nivel medio del Mar		X																					DHN
																				X				IMARPE
																			X					IGP
Salinidad					X			X														X	DHN	
Biogeoquímicas	Oxígeno y Nutrientes				X	X	X																	IMARPE
					X	X	X																IMARPE	
				X		X	X																	IMARPE
																					X			IMARPE, Climatología: 2002-2014
Pesqueras	Desembarques índices reproductivos									X	X													IMARPE
												X												IMARPE
												X												IMARPE
											X	X	X											
VARIABLES HIDROLÓGICAS																								
	Caudal de ríos				X																			ANA/SENAMHI
	Capacidad Hidráulica de reservorios				X																			ANA

3. CONDICIONES OBSERVADAS EN DICIEMBRE

3.1. Condiciones a Macroescala

3.1.1. Circulación atmosférica y temperatura superficial del mar en el Pacífico ecuatorial

Al terminar el año 2019, la mayoría de los indicadores ENSO continúan manteniendo valores alrededor de sus valores climatológicos. Entre éstas, el Índice de Oscilación del Sur (IOS) y Índice de Oscilación del Sur ecuatorial (IOSeq), continuaron indicando anomalías negativas, con valores de -0,6 y 0,0, respectivamente (Figura 3.1.1.1).

Durante el mes de diciembre, la oscilación Madden Julian (MJO, por sus siglas en inglés) se mantuvo débil, prevaleciendo la convención sobre el continente Marítimo asociado a ondas ecuatoriales de baja frecuencia. Hacia los últimos días del mes, la MJO mantuvo una rápida emergencia hacia las fases 3 y 4, lo cual continuó permitiendo la actividad convectiva anómala alrededor de la línea de cambio de fecha, 180°, apoyado por la reciente actividad ciclónica sobre esta región. (Figura 3.1.1.2). La información de OLR (relacionada con la actividad convectiva) para el mes de diciembre en la región oeste (170 °E – 140 °W, 5 °S-5 °N), en los últimos días del mes, indicó valores inferiores a su climatología y en la región oriental (170 °W – 100 °W, 5 °S-5 °N) continúa indicando valores superiores a su climatología (Figura 3.1.1.3).

En niveles altos de la atmósfera (300-200 hPa) se observó la intensificación de los flujos zonales del oeste sobre la región central del Pacífico; mientras que, hacia el extremo oriental, prevalecieron condiciones propias de la estacionalidad. Cabe señalar que, durante el mes, la divergencia anómala desarrollada al este del Océano Índico mantuvo los flujos zonales anómalos intensos en el Pacífico sur, contribuyendo en la persistencia de los vientos de Este anómalos de la región central ecuatorial vía ondas extra-tropicales de bloqueo.

Por otro lado, sobre Sudamérica, el sistema de Alta de Bolivia se mantuvo débil en su posición climática del mes, prevaleciendo anomalías débiles del oeste sobre el Altiplano (Figura 3.1.1.4).

En niveles bajos de la atmósfera (Figura 3.1.1.5), los flujos zonales del oeste continuaron persistiendo en la región oriental del Pacífico; los pulsos del oeste mantuvieron una proyección este alrededor de 180, para intensificarse hacia la quincena mes y extenderse hacia la región oriental.

En asociación con la estructura vertical tropical de Walker (Figura 3.1.1.6), el patrón de sequedad y subsidencia anómalas de las masas de aire continuó intenso, predominando en niveles medios y altos de la atmósfera desde el Océano Índico hacia el lado occidental del Pacífico. Este patrón se ha ido reduciendo en niveles bajos, conforme la convección tropical en la región este del Índico retorna a sus valores habituales, que sumado a la variabilidad de los vientos zonales, mantuvo los ascensos anómalos justo al oeste de la línea de cambio de fecha. Por otro lado, hacia el lado oriental del Pacífico, la actividad convectiva se mantuvo debajo de lo normal, similarmente, hacia el Océano Atlántico oriental.

En la información del esfuerzo de viento zonal ecuatorial, del producto WindSat (Figura 3.1.1.7), se observaron tres pulsos de viento del oeste al oeste de la línea de cambio de fecha, siendo el más intenso el que se observó en la última semana de diciembre, el cual se localizó entre 155 °E y 180 °.

En el océano Pacífico ecuatorial occidental y oriental, la anomalía positiva de la temperatura superficial del mar (TSM) aumentó en intensidad durante diciembre en tanto que, en la región central disminuyó en cobertura espacial, particularmente entre los meridianos 150 °W y 120 °W. En las regiones occidental y oriental predominaron anomalías de +1 °C, con presencia de núcleos de +2 °C a +2,5 °C. El calentamiento de la región oriental, que se manifestó en noviembre, se propagó hacia la región adyacente a la costa de Sudamérica, manifestando condiciones cálidas sobre esta última región (Figura 3.1.1.8 a).

Por regiones Niño, la anomalía semanal de la TSM en Niño 4 osciló entre 0,8 °C y 1 °C, manteniendo el comportamiento mostrado en noviembre; mientras que, en las regiones Niño 3.4 y Niño 3, la anomalía se mantuvo ligeramente menor a las condiciones presentadas el mes anterior. Sólo en Niño 1+2 la anomalía positiva continuó aumentando durante el mes, alcanzando su valor máximo en la primera quincena de diciembre. El promedio mensual para noviembre fue de +1 °C en la región Niño 4, de +0,5 °C en Niño 3.4, de +0,3 °C en Niño 3 y 0,3 °C en Niño 1+2 (Figura 3.1.1.8 b). El índice ONI (Oceanic Niño Index en inglés) del mes de noviembre continuó mostrando condiciones Neutras (0,46 °C) aunque superior al valor del mes anterior (Tabla 3.1.4.1).

3.1.2. Dinámica oceánica en el Pacífico ecuatorial

Los datos in situ de las boyas TAO/TRITON de la región occidental, a nivel sub-superficial, muestran la profundización de la termoclina entre 170 °W y 140 °W manifestando condiciones cálidas a través de un núcleo de anomalías positivas, posiblemente asociados a la formación de una onda Kelvin cálida. Por otro lado, en parte de la región central y oriental se evidenció un núcleo ligeramente frío, entre 100 m y 150 m de profundidad, el cual se propagó hacia la costa de Sudamérica; asimismo, en la región oriental se evidenció el paso final de un núcleo de anomalías positivas (1 °C) en los primeros 50 m bajo la superficie. (Figura 3.1.2.1).

Con respecto a la profundidad de la isoterma de 20 °C, los datos de las boyas entre 170° y 130 °W muestran a la isoterma de 20 °C profundizada hasta a 110 m – 150 m, es decir en el rango de 30 m a 50 m más de la profundidad normal; al este de los 120 °W la isoterma ascendió unos metros respecto al mes de noviembre. En general, toda la franja ecuatorial la isoterma se ubicó entre 20 m a 40 m por debajo de la profundidad promedio, en las regiones occidental-central evidenciando el paso de una onda Kelvin cálida y en la región oriental el final del paso de una onda Kelvin cálida previa sumada a una onda fría (Figura 3.1.2.2 y Figura 3.1.2.3. a).

El contenido de calor ecuatorial no presentó oscilaciones notables en comparación a meses anteriores, manteniéndose anómalamente positivo respecto a su media estacional para el mes de diciembre. Esta variación puede estar asociada a la dinámica de ondas durante el mes, con la propagación y llegada a la costa sudamericana de una onda Kelvin fría y la reciente llegada de otra cálida, lo que mantendría balanceado la dinámica del contenido de calor (Figura 3.1.2.3 b).

El nivel del mar en el Pacífico ecuatorial occidental se mantuvo por encima el nivel normal, con anomalías positivas propagándose hacia la región central, mientras que, en la región oriental, el nivel se mantuvo cerca del promedio (Figura 3.1.2.4).

A lo largo de la costa peruana, según la información basada en altimetría satelital de DUACS (Figura 3.1.2.5) y los resultados de los modelos numéricos (Figura 3.1.2.6), se indica que los núcleos de la onda Kelvin cálida y fría, las cuales se formaron entre setiembre y octubre, ya habría pasado por la costa peruana, aunque aún se observan anomalías positivas de la TSM a lo largo de la costa (Figura 3.2.4.6). La onda Kelvin cálida, formada entre fines de octubre e inicios de noviembre, según la información satelital, ya habría iniciado su arribo a la costa peruana.

3.2. Condiciones a Escala Regional

3.2.1. Circulación atmosférica en el Pacífico Suroriental

El campo de presiones a lo largo del Pacífico ecuatorial (Figura 3.2.1.1) se mantuvo dentro de lo normal con regiones positivas en la región occidental, asociados a la convergencia anómala de los vientos oestes. Fuera de la línea ecuatorial, la huella de ondas extra tropicales se mantuvo hacia el Pacífico Sur, donde se caracterizaron sistemas de altas presiones de bloqueo con valores significativos en el sub-trópico, entre 180 ° y 120 W°. La proyección de estas ondas de bloqueo hacia la costa oeste de Sudamérica se reflejó con un campo negativo de anomalías frente al codo Perú – Chile. En particular, el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) se mantuvo ligeramente intenso respecto a lo habitual, cuya configuración meridional no favoreció significativamente la intensificación de los vientos costeros a lo largo de la costa peruana, excepto fuera de la costa norte.

El viento frente a la costa peruana, obtenido del satélite ASCAT, fue predominantemente moderado desde la primera a la tercera semana. Del 01 al 20 de diciembre, prevalecieron vientos entre 4,1 m s⁻¹ a 6,8 m s⁻¹ entre Tumbes y San Juan de Marcona, mientras que, al sur de Juan de Marcona se presentaron vientos débiles (menores a 4,1 m s⁻¹). Las anomalías de la velocidad del viento (VV) fueron positivas (> +1,0 m s⁻¹) de Paita a Chimbote, mientras que entre Chimbote y Tacna la VV presentó una intensidad normal. Entre el 21 y 31 de diciembre del 2019, se presentaron vientos moderados a débiles (menores a 4,1 m s⁻¹, principalmente entre Paita y Lambayeque y al sur de San Juan de Marcona) (Figura 3.2.1.2). En este período la VV varió entre un rango normal y anomalías negativas a lo largo de toda la costa. En la zona oceánica se presentaron anomalías positivas (mayores a +1,0 m s⁻¹), principalmente entre el 16 y 25 de diciembre, entre los 15 °S y 22 °S (Figura 3.2.1.3).

A lo largo de la franja costera dentro de los 100 km se presentaron vientos con velocidades entre 1,8 m s⁻¹ y 6,5 m s⁻¹, con una magnitud débil principalmente entre Paita y Lambayeque y al sur de San Juan de Marcona (Figura 3.2.1.4). La VV presentó anomalías positivas (+ 1,0 m s⁻¹) entre los 7 °S a 10 °S, mientras que al norte de los 6 °S y al sur de los 12 °S presentó anomalías negativas a condiciones neutras (Figura 3.2.1.5).

El índice de afloramiento costero (IAC), estimado a partir del esfuerzo de viento, presentó valores menores a $100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} 100\text{m}^{-1}$ desde frente a Chicama hasta San Juan de Marcona, mientras que, al norte de los 6°S presentó valores mayores a $100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} 100\text{m}^{-1}$, principalmente entre el 9 y 16 de diciembre. En general se detectó una disminución en la intensidad del afloramiento costero durante el mes. Para la segunda quincena, al norte de Huacho el afloramiento fue intermitente, mientras que al sur de esta localidad habría cesado por completo (Figura 3.2.1.6).

3.2.2. Temperatura del Aire

La distribución norte – sur de las temperaturas extremas del aire se mantuvieron anómalamente cálidas a lo largo de la costa peruana, principalmente en la región central y norte de Lambayeque, con excepción de Tumbes y Piura, donde prevalecen alrededor de sus valores normales (Figuras 3.2.2.1 y 3.2.3.1).

3.2.3. Precipitaciones e hidrología en la vertiente del Pacífico

A nivel nacional, las precipitaciones acumuladas (Figura 3.2.3.1, panel izquierdo), mensuales mostraron valores por encima de lo habitual en gran parte de los Andes y selva, exceptuándose la región sur occidental donde se mostraron deficitarias. En la costa peruana, se resaltaron algunos episodios de lluvia extremas en la región de Tumbes y sierra de Piura.

Los ríos más representativos de la costa norte Tumbes y Piura mostraron caudales superiores a su promedio histórico en la primera quincena del mes, en la segunda quincena ambos caudales retornaron a su promedio histórico, sin embargo, el río Chancay del departamento de Lambayeque, mostró su caudal por encima de su promedio en todo el mes. En la costa central los Ríos Chancay de Huaral y Rímac mostraron caudales por encima de su promedio histórico sin embargo el río Chillón estuvo por debajo de su promedio. En la costa sur (Camaná y Sama), los ríos mostraron caudales similares a su promedio histórico (Figura 3.2.3.2, Figura 3.2.3.3 y Figura 3.2.3.4).

Las reservas hídricas de los principales embalses de la costa norte y sur se encuentran, en promedio al 69 % y 41 % de su capacidad de almacenamiento respectivamente.

3.2.4. Temperatura superficial de mar y nivel medio del mar

En la región Niño 1+2, que incluye la zona norte del mar de Perú, la TSM varió de 21°C en la zona más adyacente a la costa de Sudamérica a 25°C en la zona más oceánica, con mayor gradiente térmico en la zona noreste de la región y dentro de las 200 m.n. adyacentes al litoral (Figura 3.2.4.1b).

En el mar de Perú, la TSM promedio varió de 21 °C a 23 °C en la zona norte, incrementando respecto a las condiciones observadas en el mes anterior. En la costa norte dominaron temperaturas de 21 °C a 24 °C, de 20 °C a 22 °C en el centro y de 19 °C a 22 °C en el sur, manifestando condiciones cálidas en la zona norte y parte centro (12 °S), a través de anomalía de TSM hasta +2,5 °C. En la zona sur, dentro de una franja de 50 millas, la temperatura manifestó condiciones ligeramente frías con anomalías de -0,5 °C (Figura 3.2.4.1b).

En el litoral peruano, los registros diarios de la TSM mostró la continuidad de un calentamiento que se inició en la tercera semana de noviembre, desde el litoral norte hacia el litoral centro, durante este calentamiento la ATSM diaria alcanzó hasta +3 °C en el litoral norte y hasta +4 °C en el litoral centro, frente a Salaverry. Al sur del Callo, la ATS; fluctuó entre $\pm 0,5$ °C (Figura 3.2.4.2 y Tabla 3.2.4.2).

La TSM registrada en los laboratorios costeros del IMARPE varió entre 26,8°C (Tumbes) y 16,0 °C (Callao). Las estaciones de Paíta a Chimbote presentaron calentamiento superior a 1,0 °C, siendo la estación Chicama la que presentó el mayor calentamiento (+2,5 °C), seguida de la estación Huanchaco (+2,4 °C). En las estaciones Tumbes y de Huacho al sur las anomalías de la TSM fluctuaron dentro del rango neutro. A nivel diario, el calentamiento del mar disminuyó paulatinamente durante diciembre, aunque con oscilaciones. Las anomalías extremas se localizaron en Chicama (+4,1 °C) y Pisco (-3,2 °C) (Figura 3.2.4.3).

El índice LABCOS (Quispe & Vásquez, 2016) continuó presentando una tendencia positiva donde el valor preliminar de diciembre (+0,48 °C) estuvo precedido por los valores +0,32 °C (noviembre), +0,13 °C (octubre) y -0,05 °C (setiembre); mientras que el valor promedio mensual de las anomalías de TSM de los muelles del litoral se incrementaron a +0,32 °C en noviembre y a +0,64 °C en diciembre. Los valores del índice LABCOS para noviembre y el valor preliminar de diciembre indican el desarrollo de condiciones térmicas cálidas de categoría débil en el litoral peruano.

El Índice Costero El Niño (ICEN) para el mes de noviembre, estimado con datos de TSM hasta el mes de noviembre, indican condiciones neutras (OISSTv2 = -0,56, ERSSTv3 = -0,78 y ERSSTv5 = -0,40). Para los meses más recientes se generaron versiones preliminares y temporales de los ICEN (ICENtmp), se obtienen combinando datos observados para cada fuente OISSTv2, ERSSTv3 y ERSSTv5 con datos pronosticados de NMME, los cuales coinciden en indicar condiciones neutras para los meses de diciembre de 2019 y enero de 2020.

La salinidad superficial del mar (SSM) para el mes de diciembre según el producto Mercator Océan (<https://www.mercator-ocean.fr/>) se caracterizó por la intrusión de aguas ecuatoriales superficiales (AES) de baja salinidad (SSM < 34,8 ups) hacia la costa central, mientras que, las aguas subtropicales superficiales (ASS) presentaron un mayor acercamiento entre San Juan de Marcona y Atico. Aguas propias del sector costero ocurrieron entre Huarney y Pisco, así como al sur de 16 °S. Las ASS con valores halinos superiores a 35,1 ups se desplazaron hacia la costa, restringiendo la presencia de aguas de mezcla en el sector costero peruano como al sur de 20 °S.

Cabe mencionar que, si bien la información obtenida por el producto significa un aporte importante para analizar la distribución espacial de la SSM, debe ser tomada de forma referencial. Por ejemplo, si bien las variaciones cada 5 días del campo halino (Figura 3.2.4.5) indicaron que el desplazamiento de las AES continuó hasta Pisco al término del 21 de diciembre, las observaciones directas en cruceros, estaciones fijas, laboratorios costeros y en embarcaciones pesqueras indican que la presencia de las AES habría alcanzado como máximo hasta Casma (11 °S) y no más al sur como refiere el producto Mercator Ocean.

Con respecto al nivel medio del mar (NMM), a lo largo de la línea ecuatorial se observó el arribo de la onda Kelvin fría a mediados de diciembre. Además, una onda cálida habría iniciado su llegada a la costa Sudamérica a inicios de enero. Un nuevo pulso de viento del oeste en la región occidental a finales del mes de diciembre generó una nueva onda Kelvin cálida que se encontraría en propagación, aproximadamente entre 180 ° y 160 °W (Figura 3.2.4.6). El paso de la onda Kelvin fría por el litoral de Perú provocó un descenso de las anomalías positivas del nivel del mar, sin embargo, éstas aún se mantuvieron positivas en mayor parte para luego aumentar nuevamente con la llegada de la onda cálida (Figura 3.2.4.7. Tabla 3.2.4.2).

En la costa peruana, a escala pentadal se observan tres escenarios característicos; el primero al norte de Paita que presenta las mayores ANM con valores que van disminuyendo progresivamente desde +15 cm durante la primera pentada (Figura 3.2.4.8 a) hasta valores de +10 cm en la última pentada del mes (Figura 3.2.4.8 f); el segundo escenario es el comprendido entre 5 °S y 15 °S donde predominaron valores casi normales en todo el periodo resaltando un núcleo de ANM de +10 cm frente a Chicama asociado a un vórtice anticiclónico presente entre la quinta y sexta pentada (Figura 3.2.4.8 e, f). El tercer escenario se encuentra al sur de Punta San Juan donde predominan ANM de ± 5 cm asociadas a la presencia de vórtices con anomalías negativas (positivas) con una polaridad horaria (anti-horaria), respectivamente (Figura 3.2.4.8).

En la franja de 60 m.n. (111 km) adyacente a la costa entre el ecuador geográfico y 22 °S continuó el incremento de las ANM, donde se presentaron incrementos ($> +5$ cm) especialmente desde el sector norte hasta Chicama, siendo esta señal más significativa en los primeros diez días de diciembre con un valor máximo de +17 cm (extremo norte del litoral) disminuyendo progresivamente hasta +4 cm en 10,5 °S durante la última semana del mes. Resalta además la propagación de la onda Kelvin hacia la costa central hasta la tercera semana de diciembre, proceso que se distingue por la formación de núcleos con anomalías de +10 cm (Figura 3.2.4.7). La variación temporal de las ANM para tres áreas promedio localizadas en 0,125 °S y 90,125 °W (próxima a las islas Galápagos), entre 5 °S y 14 °S y entre 14 °S y 18 °S, para una banda promedio de 60 m.n. adyacente al litoral peruano, de acuerdo al producto CMEMS v3.0, indicaron una tendencia a la disminución de las ANM al este de las islas Galápagos en los primeros 10 días de diciembre, asociada al paso de la onda Kelvin cálida. A lo largo de la costa peruana la misma tendencia fue detectada hasta la quincena de diciembre, para luego mantener valores dentro del rango de +5 cm a +10 cm, mientras que al este de las islas Galápagos las ANM se incrementaron ligeramente presentando picos de +10 y +12 cm durante la tercera y cuarta semana, respectivamente (Figura 3.2.4.9).

3.2.5. Condiciones oceanográficas sub-superficiales frente al litoral peruano

Por debajo de la superficie del mar, también se manifestaron cambios en la temperatura y salinidad, respecto al mes de noviembre.

Paita (19-20 de diciembre)

La sección Paita (Figura 3.2.5.1) evidenció el calentamiento e intromisión de AES anómalas en diciembre 2019. Las AES se presentaron desde setiembre del 2019 con valores que variaron de 33,719 ups (a 60 m.n., en setiembre) a 34,753 ups (a 11 m.n. en diciembre), evidenciando acercamiento del oeste al este.

Asimismo, presentó una termoclina moderada (8 isotermas de 15° C a 22 °C) presentando un mayor gradiente entre las 60 y 100 m.n. sobre los 100 m de profundidad (Figura 3.2.5.1 a, b). Dentro de las 40 m.n. las isotermas de 18 °C a 20 °C se aproximaron a la superficie. La isoterma de 15 °C se ubicó en promedio a los 100 m de profundidad. Las anomalías térmicas (Figura 3.2.5.2 b) en la capa de 0 m a 100 m mostró condiciones normales dentro de las 40-50 m.n.; en cambio, de las 50 m.n. a las 100 m.n., predominaron condiciones oceanográficas cálidas con anomalías de hasta +2 °C. La columna halina (Figura 3.2.5.2 c) presentó AES con salinidades de 34,5 ups a 34,7 ups en los 50 m superiores en el sector costero y por debajo de esta capa se ubicaron las ACF. La presencia de las AES fue inusual para el mes, reflejándose en anomalías halinas negativas (-0,1 a -0,3 ups).

Debajo de los 50 m el escenario halino fue propio del período estacional. Las corrientes marinas próximas a la costa mostraron flujos al norte con velocidades de 10 a 20 cm s⁻¹ y estuvieron asociados a la Corriente Costera Peruana (CCP). De las 70 a las 100 m.n. también se presentaron flujos al norte relacionados a la Corriente Oceánica Peruana (COP) con velocidades de 10 a 20 cm s⁻¹. En sub-superficie, entre las 40 m.n. y 70 m.n., se detectaron flujos al sur con velocidades de 10 cm s⁻¹, asociados posiblemente a la extensión sur de la Corriente de Cromwell, ESCC (Figura 3.2.5.2 f).

Chicama (17 – 18 de diciembre)

La TSM en la sección Chicama (Figura 3.2.5.3) varió entre 20 y 21 °C con anomalías de +1 a +2 °C. Estas condiciones cálidas se asociaron a la presencia de aguas de mezcla entre las AES y ACF, disminuyendo la concentración de sales de -0,1 a -0,4 ups en las primeras 60 m.n., mientras que de las 60 a 100 m.n. no se presentaron variaciones por la ocurrencia de procesos de mezcla (Figura 3.2.5.3 c, d). El escenario cálido presente en diciembre y también en noviembre estuvo precedido por condiciones frías de agosto a octubre.

En sub-superficie, la capa de 0 a 100 m exhibió valores de temperatura de 15 °C a 22 °C. La isoterma de 15 °C presentó su tope superior a 60 m.n. (150 m) y a 150 m cerca de la plataforma costera. Debido al avance de temperaturas de 21 a 22 °C se profundizó la termoclina compuesta por 7 isotermas (15 °C - 21 °C) entre 20 m y 70 m de profundidad.

Las anomalías térmicas indicaron condiciones cálidas en la capa de 0 a 150 m con anomalías de +1 a +3 °C. Entre 20 y 50 m.n., las anomalías alcanzaron valores de hasta +3°C (Figura 3.2.5.4 a, b). Los valores de salinidad fueron propios de las ACF entre 0 y 7 m.n., seguidos de las AES que se ubicaron entre 20 y 60 m y de las ASS que ocurrieron de 70 a 100 m.n. También se apreciaron aguas de mezcla (AM) por la interacción de las AES, ASS y ACF (Figura 3.2.5.4 c, d). Los flujos geostróficos mostraron entre 0 y 10 m.n. flujos al norte asociados a la CCP, mientras que de las 40 a 70 m.n. se presentaron flujos de dirección norte a sur hasta los 200 m de profundidad, con velocidades de hasta 30 cm s⁻¹ en la capa superficial (Figura 3.2.5.4 f).

Estaciones Fijas costeras

El monitoreo de alta frecuencia de la columna de agua (<100 m) que se realiza en las estaciones fijas mostró que en el último mes, para Paita, la temperatura varió entre 16 °C y 20 °C, en Chicama entre 15 °C y 21 °C, en Callao entre 14 °C y 18 °C, en Atico sobre los 14 °C y 16 °C y en Ilo entre 14 °C y 19 °C (Figura 3.2.5.5). La estación fija Paita evidenció un ascenso de las isotermas a fines del mes; mientras que Chicama mostró una profundización de las isotermas durante la primera semana de diciembre, siendo este proceso más notorio frente a Callao durante todo el mes. En Atico e Ilo también se observó una ligera profundización de las isotermas a finales del mes. En Paita y Chicama se detectaron anomalías térmicas positivas, con valores de hasta +2,0 °C (Paita) y +3,0 °C (Chicama), localizados sobre 55 y 18 m de profundidad, respectivamente, alcanzando sus máximos en la primera quincena de diciembre, asociados al arribo de la onda Kelvin cálida a fines de noviembre y cuyos efectos sobre la temperatura continuaron durante la primera quincena de diciembre. Sin embargo, hacia finales del mes en Paita se observó condiciones térmicas normales. Por otro lado, en Callao las condiciones térmicas en la columna de agua mostraron una transición de condiciones ligeramente frías (-0,5 °C) a condiciones normales (Figura 3.2.5.6).

En Paita, los registros de salinidad y temperatura evidenciaron la presencia de AES sobre los 95 m durante la primera quincena del mes. Posteriormente, hacia finales del mes, se observó un mayor predominio de ACF. En Chicama se observó un predominio de aguas mezcla, posiblemente entre AES y ASS. En Callao se observó una transición de ACF a aguas de mezcla (ACF-ASS), mientras que en Atico e Ilo el predominio de ACF (Figura 3.2.5.7).

Flotadores ARGO

Según la información del flotador ARGO (No. 3901231), el cual se localizó durante diciembre del 2019 e inicios de enero del 2020 entre 83,5 °W – 82,5 °W y 4 – 5,5 °S (frente a la costa norte del Perú), mostró la atenuación y cambio a anomalías negativas del núcleo cálido observado a finales de noviembre, todo esto durante la primera quincena del mes (climatología de IMARPE). Por debajo de los 100 m, las condiciones subsuperficiales se mostraron, en promedio, con condiciones neutras hasta los 300 m, a partir de donde se observaron condiciones ligeramente cálidas hasta los 450 m de profundidad (Figura 3.2.5.8). Durante el mes de diciembre este flotador ha continuado su acercamiento a la costa, por lo que los datos recolectados son similares a los observados en la sección Paita, indicando el paso de la onda Kelvin fría en el mes de diciembre.

3.2.6. Nutrientes y Productividad en la costa peruana

En las Estaciones Fijas costeras, los nutrientes se disminuyeron respecto al mes anterior en la mayoría de las estaciones fijas costeras, particularmente en Paita y Chicama. Esta disminución estuvo asociada al arribo de la onda Kelvin cálida entre noviembre y diciembre, que habría ocasionado la profundización de la nutricia.

3.2.6.1. Oxígeno

En la sección Paita las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) de alrededor de $1,0 \text{ mL L}^{-1}$ fluctuaron entre los 60 m a 100 m de profundidad y el límite superior de la Zona de Mínimo de Oxígeno (ZMO, definida por la isolínea de $0,5 \text{ mL L}^{-1}$), entre los 175 m a 210 m (Figura 3.2.5.2 e). La distribución del OD en la transecta Chicama exhibió una profundización de la iso-oxígena de $0,5 \text{ mL L}^{-1}$ cerca de la costa, llegando hasta los 150 m dentro de las 40 m.n.; mientras que, fuera de las 60 m.n. se ubicó a los 60 m (Figura 3.2.5.4 e). En los últimos meses, la iso-oxígena de $1,0 \text{ mL L}^{-1}$ mostró una profundización, ubicándose en Paita alrededor de los 90 – 110 m dentro de las 100 m.n. durante fines de noviembre y todo diciembre (Figura 3.2.5.1 e) mientras que, dentro de las 40 m.n., en Chicama se profundizó recién a mediados del mes ($\sim 70 \text{ m}$), respecto a fines de noviembre e inicios de diciembre ($\sim 40 \text{ m}$) (Figura 3.2.5.3 e).

En la estación Fija Paita también se evidenció la profundización de la iso-oxígena de $2,0 \text{ mL L}^{-1}$ desde los 10 m a mediados de noviembre, hasta los 90 m de profundidad a finales de diciembre 2019, observándose esta señal más intensa que en la transecta. Situación similar ocurrió para el Punto Fijo Chicama, donde el límite superior de la ZMO en noviembre 2019 se registró a los 20 m y a fines de diciembre 2019 se ubicó alrededor de los 100 m de profundidad (Figura 3.2.6.1 a, b). La mayor oxigenación en la columna de agua y profundización de la ZMO en Paita y Chicama estaría asociada al arribo de una onda Kelvin cálida en diciembre.

En Callao, Atico e Ilo las iso-oxígenas mostraron un comportamiento similar a noviembre. El límite superior de la ZMO se registró a 20 - 70 m en Callao, a 95-100 m en Atico y a 30 - 40 m en Ilo durante el mes, en promedio (Figura 3.2.6.1 c, d, e).

3.2.6.2. Fertilidad

En diciembre 2019 la fertilidad del mar en la sección Paita, mostró concentraciones propias de aguas de surgencia dentro de las 40 m.n., que alcanzaron la superficie del mar con valores entre $1,0 \mu\text{M}$ a $1,5 \mu\text{M}$ de fosfatos y de $10,0 \mu\text{M}$ a $15,0 \mu\text{M}$ tanto para silicatos como para nitratos. Las aguas pobres en nutrientes se registraron desde las 80 m.n. frente a costa, con fosfatos de $0,5 \mu\text{M}$ y $5,0 \mu\text{M}$ para silicatos y nitratos. Los nutrientes en la sección Chicama, sobre la capa de mezcla, presentaron concentraciones bajas, registrándose concentraciones de fosfatos entre $0,5 \mu\text{M}$ a $1,0 \mu\text{M}$ y concentraciones de silicatos y nitratos alrededor de $5,0 \mu\text{M}$ en ambos casos. Estas concentraciones estuvieron asociadas a la presencia de AES y ASS (Figura 3.2.6.2 y Figura 3.2.6.3).

En las estaciones fijas, los nitratos frente a Paita y a Chicama presentaron una disminución de sus concentraciones encima de los 40 m de profundidad, mientras que debajo de los 40 m en Chicama se observó el ascenso de las isolíneas de 15 μM de 100 m a 40 m entre inicios y fin de mes. En Callao e Ilo, las concentraciones presentaron un aumento respecto al mes anterior, observándose un núcleo de 15 μM entre los 20 m a 50 m en Callao durante el mes, y concentraciones entre 10 μM a 15 μM en Ilo, de los 20 m a 100 m durante todo el mes (Figura 3.2.6.3). En cuanto a los silicatos, en Paita, Chicama, Callao e Ilo se apreció la tendencia al descenso de sus concentraciones; sin embargo, estas menores concentraciones de silicatos se incrementaron en Chicama y Callao, destacando los núcleos de 5,0 μM (Figura 3.2.6.2). Los fosfatos también presentaron una disminución de sus concentraciones en Paita y Chicama durante diciembre, respecto a noviembre, llegándose a observar concentraciones menores a 1 μM en toda la columna de agua hacia fines de diciembre, frente a Chicama. En Callao se mantuvieron las concentraciones, respecto al mes anterior (entre 2 μM a 3 μM). En Ilo las concentraciones fluctuaron entre 1,5 μM a 2 μM durante el mes en toda la columna de agua (Figura 3.2.6.4).

3.2.6.3. Clorofila-a

La concentración de clorofila-a satelital mensual proveniente de la unión de todos los satélites que registran clorofila-a superficial (www.oceancolor.gsfc.nasa.gov/l3/), mostró que entre los 4 °S a 6 °S (dentro de las 60 m.n.) predominaron valores de 1 $\mu\text{g L}^{-1}$ a 3 $\mu\text{g L}^{-1}$; mientras que, al sur de Chimbote hasta Pisco predominaron valores mayores a 10 $\mu\text{g L}^{-1}$, en una franja costera que fue ampliándose de norte a sur (de ~20 m.n. a 60 m.n.) (Figura 3.2.6.5 a). En términos de anomalía, entre San José y Chimbote, entre las 10 m.n. a 80 m.n., se presentaron anomalías negativas entre -1 $\mu\text{g L}^{-1}$ y -3,5 $\mu\text{g L}^{-1}$; sin embargo, entre San José y los 10 °S predominaron anomalías positivas (de +1 $\mu\text{g L}^{-1}$ a +10 $\mu\text{g L}^{-1}$) dentro de las 10 m.n., las cuales se extendieron hasta las 60 m.n. al sur de los 10°S (Figura 3.2.6.5. b).

A escala diaria se ha utilizado la información de MODIS (Ocean Biology Processing Group, 2003) pero corregida respecto a SeaWIFS (O'Reilly *et al.* 1998). A partir de este producto, el promedio pentadal dentro de las 60 m.n. y entre 6 °S a 16 °S, se presentaron anomalías negativas en la primera y en la última semana del mes (~-1,5 $\mu\text{g L}^{-1}$); sin embargo, entre la segunda y tercera semana predominaron anomalías positivas (+2,5 $\mu\text{g L}^{-1}$) (Figura 3.2.6.5. d).

Latitudinalmente, en la franja costera predominaron anomalías positivas al sur de los 8 °S durante el mes (+2,0 $\mu\text{g L}^{-1}$ a +6,0 $\mu\text{g L}^{-1}$); mientras que, entre los 6 °S y 8 °S se presentaron anomalías negativas entre -1,0 $\mu\text{g L}^{-1}$ y -2 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Figura 3.2.6.5. e).

Un factor clave para el crecimiento fitoplanctónico y la producción de clorofila-a es la cantidad de luz incidente, la cual es limitada por la presencia de nubes. La media mensual del porcentaje de nubosidad para este mes estuvo alrededor de 50 % de Paita a Chimbote y de Pisco a Ilo, dentro de las 40 m.n., siendo esto menor a lo observado durante noviembre. Frente a Huacho y Callao el porcentaje de nubosidad fue de 80 %, dentro de las 40 m.n. (Figura 3.2.6.5. c).

Las anomalías negativas al norte de los 8 °S, que se acentuaron durante la segunda quincena del mes, estarían relacionadas al paso de la onda Kelvin cálida que habría profundizado la nutriclina. Además, la limitación por luz, evidenciada por una nubosidad mayor al 50 % en esa región, podría también haber influenciado en la presencia de una baja productividad.

3.2.7. Recursos Pesqueros e indicadores biológicos

Distribución, capturas y tallas de la anchoveta

La segunda temporada de pesca 2019 de anchoveta en la región Norte-Centro del litoral peruano, alcanzó un desembarque aproximado de 825 mil toneladas (t) durante el mes de diciembre, registrándose dos áreas importantes de pesca, la principal entre Huarmey (10 °S) a Pucusana (12 °S) y una segunda entre Mórrope (6 °S) a Pacasmayo (07 °S), dentro de las 40 m.n. de la costa (Figura 3.2.7.1). A nivel vertical, se evidenció una ligera profundización de los cardúmenes de anchoveta frente a Chicama (07 °S) (Figura 3.2.7.1) posiblemente debido al calentamiento y profundización de la estructura térmica, producto del vórtice observado en esta zona. Debido a la alta presencia de juveniles, desde el 21 de diciembre se suspendieron las actividades extractivas de anchoveta dentro de las 30 m.n. de costa entre los 8,0 °S y 15,0 °S.

La estructura de tallas del recurso, a lo largo del litoral fue principalmente juvenil, con modas en la región norte entre 9,0 cm y 10,0 cm de longitud total (LT) y en la región centro con modas entre 11,5 cm a 12,0 cm de LT. Solo en el área frente a Paíta (5 °S) se presentó un núcleo de solo adultos con moda en 14,5 cm LT.

Especies Indicadoras

Frente a Paíta se determinó a *Ceratium breve* var. *parallelum*, especie indicadora de AE, entre las 16 m.n. y 100 m.n. de la costa, relacionada a una TSM con un rango de variación entre 19,4 °C y 22,9 °C. En la sección Chicama, se registró a *Protoperidinium obtusum*, especie indicadora de ACF, a 5 m.n. de la costa, relacionada a una TSM de 19,2 °C. Asimismo, *Tripes incisus*, especie indicadora de ASS, se distribuyó entre las 80 m.n. y 100 m.n. asociadas a TSM de 22,6 °C y 22,7 °C, respectivamente. Entre Huacho y Lima se presentaron algunas especies de aguas cálidas. Frente a Vegueta, Supe y Carquín, se registraron 12 ejemplares de la especie *Peprilus snyderi* “chiri lomo negro” con tallas que oscilaron entre los 13 cm y 19 cm LT y pesos entre los 19 g y 74 g, los cuales fueron capturados con red de cortina superficial y de fondo durante la pesca de lorna y lisa. Cabe resaltar que el límite sur de su distribución normalmente es el norte del Perú.

En Supe se registró un ejemplar de *Hemirhamphus saltator* “saltador” de 45 cm LT y 315,4 g, el cual fue capturado mediante el arte de cerco, durante la pesca de lorna, a 40 m.n. de la costa. El límite sur de la distribución normal de esta especie es la Isla Lobos de Afuera

La evaluación de dieta del ave guanera *Phalacrocorax bougainvillii* “guanay”, como indicador indirecto de la distribución de anchoveta, realizada desde la Isla Macabí (08 °S) a Punta Coles (18 °S), mostró un cambio en el comportamiento alimentario, de una mayor proporción de anchovetas adultas en octubre a una composición principalmente de anchoveta juvenil en diciembre, situación similar a la encontrada en la pesquería (Figura 3.2.7.3)

Por otro lado, como parte del monitoreo bio-oceanográfico, se realizaron avistamientos de aves marinas en las operaciones de monitoreo frente a la costa norte. La mayor abundancia de aves guaneras se registró dentro de las 15 m.n. de la costa entre Paita y Chimbote, zona con presencia de ACF y aguas de mezcla.

Indicadores reproductivos y somáticos de la anchoveta

Los índices reproductivos de la anchoveta del stock norte-centro, en el mes de diciembre, mostraron la disminución en la actividad desovante de acuerdo al patrón histórico (Figura 3.2.7.4).

4. PRONÓSTICO

4.1. A mediano plazo (semanas)

Según los modelos oceánicos lineales simplificados, tanto del IGP (Figura 3.1.2.6. c y d), como del IMARPE (Figura 4.2.1), también las proyecciones teóricas sobre los datos observados indican que se esperaría el incremento del nivel del mar y TSM a lo largo de la costa peruana en las siguientes semanas como consecuencia del paso de una onda Kelvin cálida.

Por otro lado, los pronósticos de los modelos climáticos dinámicos de NMME (CFSv2, CanCM4i, GEM_NEMO, GFDL, NASA, GFDL_FLOR y NCAR_CCSM4), con condiciones iniciales del mes de enero de 2020, indican en promedio condiciones neutras para el océano Pacífico ecuatorial central (región Niño 3.4) y océano Pacífico oriental (región Niño 1+2), para la primera región mencionada, los modelos CFSv2 y NCAR_CCSM4 indican condición cálida débil entre los meses de enero-marzo y enero-febrero, respectivamente.

4.2. A largo plazo (más de 3 meses)

Se observa la presencia de una nueva onda Kelvin cálida, formada por el pulso de viento del oeste desarrollado durante el mes de diciembre, en 160 °W. Se espera que las ondas Kelvin cálidas impacten a la costa peruana hasta el mes de marzo.

Los modelos climáticos dinámicos coinciden en indicar condiciones neutras entre los meses de abril y julio de 2020 para el Pacífico central (región Niño 3.4) y Pacífico oriental (región Niño 1+2), es notable mencionar que según el modelo de NASA, se esperaría condiciones Frías débiles entre abril y julio de 2020 en ambas regiones.

5. CONCLUSIONES

Tal como se mencionó en el último comunicado de la comisión ENFEN, durante el mes de diciembre se detectó, en la información del nivel del mar, la presencia de la onda Kelvin fría a lo largo del litoral, contribuyendo a la reducción de las ATSM positivas observadas en la segunda quincena del mes de noviembre debido al paso de la onda Kelvin cálida. Asimismo, a partir de la tercera semana del mes se detectaron anomalías térmicas positivas ($< +1$ °C) entre 250 y 350 m frente a Paíta y fuera de las 30 millas náuticas de la costa, y hasta los 250 m frente a Chicama, en la mayor parte de la sección. También se detectaron anomalías térmicas positivas subsuperficiales entre Callao y Atico sobre el talud continental.

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS) se mostró poco intenso con una configuración meridional, la cual no favoreció la intensificación de los vientos costeros, excepto fuera de la costa norte.

En general se detectó una disminución en la intensidad del afloramiento costero durante el mes. Para la segunda quincena, al norte de Huacho el afloramiento fue intermitente, mientras que al sur de esta localidad habría cesado por completo.

En el Pacífico central (región Niño 3.4), la anomalía de la TSM disminuyó con respecto al mes anterior. El ONI de noviembre (OND) tiene la categoría Neutro, mientras que los estimados (ONI-tmp) diciembre y enero serían cálida débil y neutro. Por otro lado, en el Pacífico oriental (región Niño 1+2), el valor de ICEN para noviembre (el promedio de las tres fuentes) y sus respectivos temporales (ICEN-tmp) de diciembre y enero de 2020 indican condiciones cálidas débiles y neutras respectivamente.

Los caudales de los principales ríos de las regiones hidrográficas del Pacífico presentaron caudales entre superiores e iguales a su promedio histórico. Las reservas hídricas de los principales embalses de la costa norte y sur se encuentran, en promedio, al 69 % y 41 % de su capacidad de almacenamiento, respectivamente.

Los índices reproductivos de la anchoveta del stock norte-centro, en el mes de diciembre, mostraron una disminución en la actividad desovante; mientras que el índice de la condición somática (corporal) muestra un aumento de sus valores.

Para el Pacífico oriental (región Niño 1+2), y central (región Niño 3.4), el promedio de los modelos numéricos de NMME con condiciones iniciales de enero indican condiciones neutras para los meses entre febrero-julio de 2020.

Se esperaría el incremento del nivel del mar y TSM a lo largo de la costa peruana en las siguientes semanas como consecuencia del paso de una onda Kelvin cálida.

La Comisión Multisectorial ENFEN mantiene el Estado de Alerta de El Niño en “No Activo”; debido a que actualmente no se observan condiciones para que el calentamiento esperado se prolongue después de inicios de otoño.

6. REFERENCIAS

Boulanger, J.-P., and C. Menkes, 1995: Propagation and reflection of long equatorial waves in the Pacific Ocean during the 1992–1993 El Niño, *J. Geophys. Res.*, 100(C12), 25,041–25,059.

Chassignet, E. P., H. E. Hurlburt, O. M. Smedstad, G. R. Halliwell, P. J. Hogan, A. J. Wallcraft, R. Baraille, and R. Bleck (2007), The HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model) data assimilative system, *Journal of Marine Systems*, 65, 60–83.

Correa D., G. Luque, C. Grados, D. Quispe, C. Paulino (2016). Vigilancia y Pronóstico a Corto Plazo del Viento Frente al Litoral Peruano en Base a Información Satelital y el Modelo GFS. Poster CONCIMAR 2016.

Dewitte B., D. Gushchina, Y. duPenhoat and S. Lakeev, 2002: On the importance of subsurface variability for ENSO simulation and prediction with intermediate coupled models of the Tropical Pacific: A case study for the 1997-1998 El Niño. *Geoph. Res. Lett.*, vol. 29, no. 14, 1666, 10.1029/2001GL014452.

ENFEN, 2012: Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú. Nota Técnica ENFEN. 2p.

ENFEN, 2019. Comunicado Oficial ENFEN, N° 13 -2019, octubre de 2019.

Illig S., B. Dewitte, N. Ayoub, Y. du Penhoat, G. Reverdin, P. De Mey, F. Bonjean and G.S. E. Lagerloef, 2004: Interannual Long Equatorial Waves in the Tropical Atlantic from a High Resolution OGCM Experiment in 1981-2000. *J. Geophys. Research*, 109, C02022, doi: 10.1029/2003jc001771.

Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, A. Leetmaa, B. Reynolds, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, R. Jenne, and D. Joseph, 1996: The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437–471.

Kirtman BP, Min D, Infanti JM, Kinter JL, Paolino DA, Zhang Q, van den Dool H, Saha S, Peña M, Becker E, Peng P, Tripp P, Huang J, DeWitt DG, Tippett MK, Barnston AG, Li S, Rosati A, Schubert SD, Rienecker M, Suarez M, Li ZE, Marshak J, Lim YK, Tribbia J, Pegion K, Merryfield WJ, Denis B, Wood EF, 2014: The North American Multimodel Ensemble: Phase-1 Seasonal-to-Interannual Prediction; Phase-2 toward Developing Intraseasonal Prediction. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 95, 585–601. doi: 10.1175/BAMS-D-12-00050.1

Latif, M., D. Anderson, T. Barnett, M. Cane, R. Kleeman, A. Leetmaa, J. O'Brien, A. Rosati, and E. Schneider, 1998: A review of the predictability and prediction of ENSO. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 103, 14375–14393.

Mosquera, K., 2009: Variabilidad Intra-estacional de la Onda de Kelvin Ecuatorial en el Pacífico (2000-2007): Simulación Numérica y datos observados. Tesis para optar el grado de Magíster en Física - Mención Geofísica en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Mosquera, K., B. Dewitte y P. Lagos, 2011: Variabilidad Intra-estacional de la onda de Kelvin ecuatorial en el Pacífico (2000-2007): simulación numérica y datos observados. Magistri et Doctores, Revista de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Año 5, No9, julio-diciembre de 2010, p. 55.

Mosquera, K., 2014: Ondas Kelvin oceánicas y un modelo oceánico simple para su diagnóstico y pronóstico, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, Enero, 1, 1, 4-7.

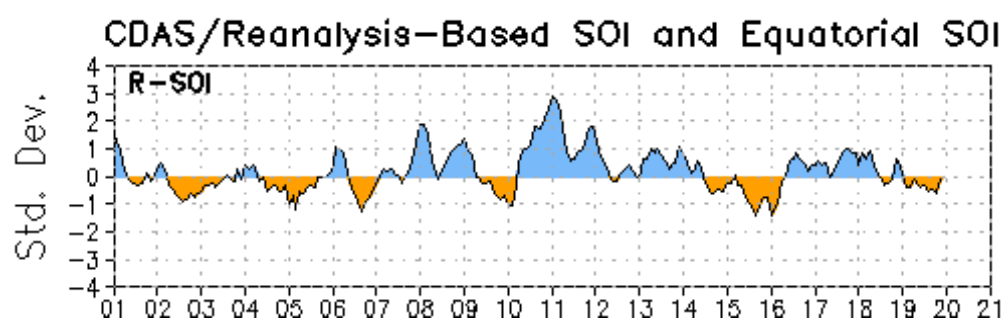
Quispe, J., y Vásquez, L. ,2015: Índice LABCOS para la caracterización de eventos El Niño y La Niña frente a la costa del Perú, 1976-2015. Boletín Trimestral Oceanográfico, Vol.1, Números 1-4, págs.: 14-18, Instituto del Mar del Perú.

Takahashi, K., K. Mosquera y J. Reupo, 2014: El Índice Costero El Niño (ICEN): historia y actualización, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, Febrero, 1, 2, 8-9.

Wentz, F.J., L.Ricciardulli, C.Gentemann, T. Meissner, K.A. Hilburn, J. Scott, 2013: Remote Sensing Systems Coriolis WindSat [indicate whether you used Daily, 3-Day, Weekly, or Monthly] Environmental Suite on 0,25 deg grid, Version 7.0.1. Remote Sensing Systems, Santa Rosa, CA. Available online at www.remss.com/missions/windsat.

7. FIGURAS

a)



b)

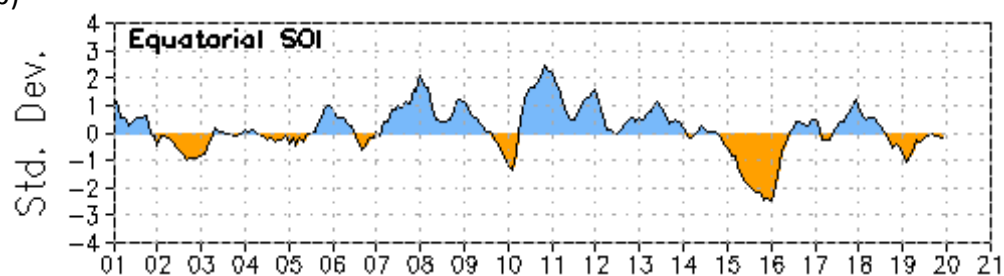


Figura 3.1.1.1 a) Índice de Oscilación del Sur (IOS), b) Índice de Oscilación del Sur Ecuatorial (IOS-Eq). Ambas series de tiempo son medias móviles de tres meses obtenidas del re-analysis CDAS.

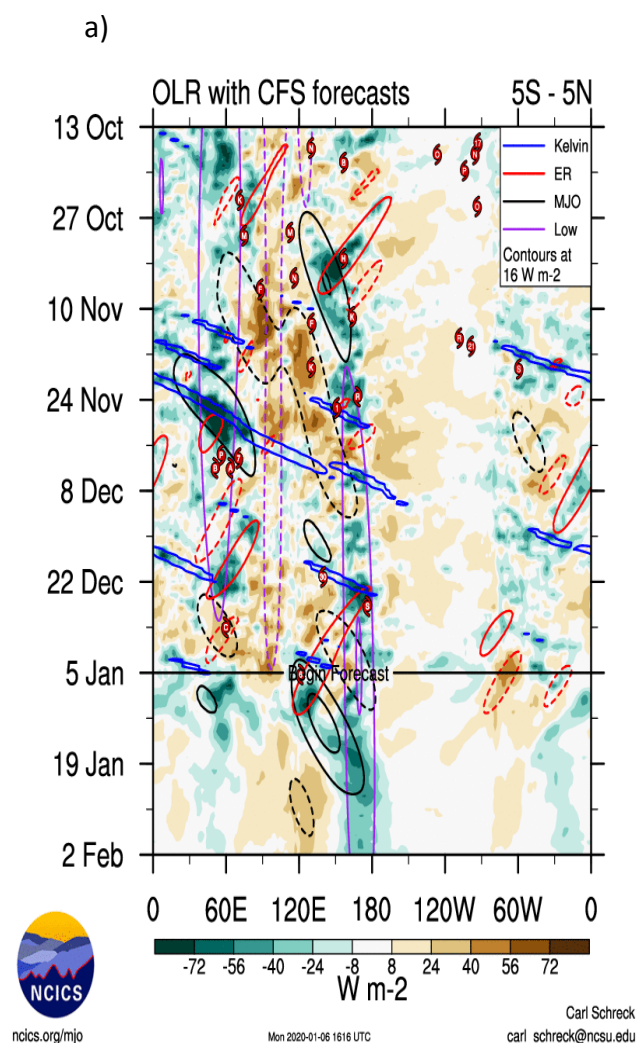
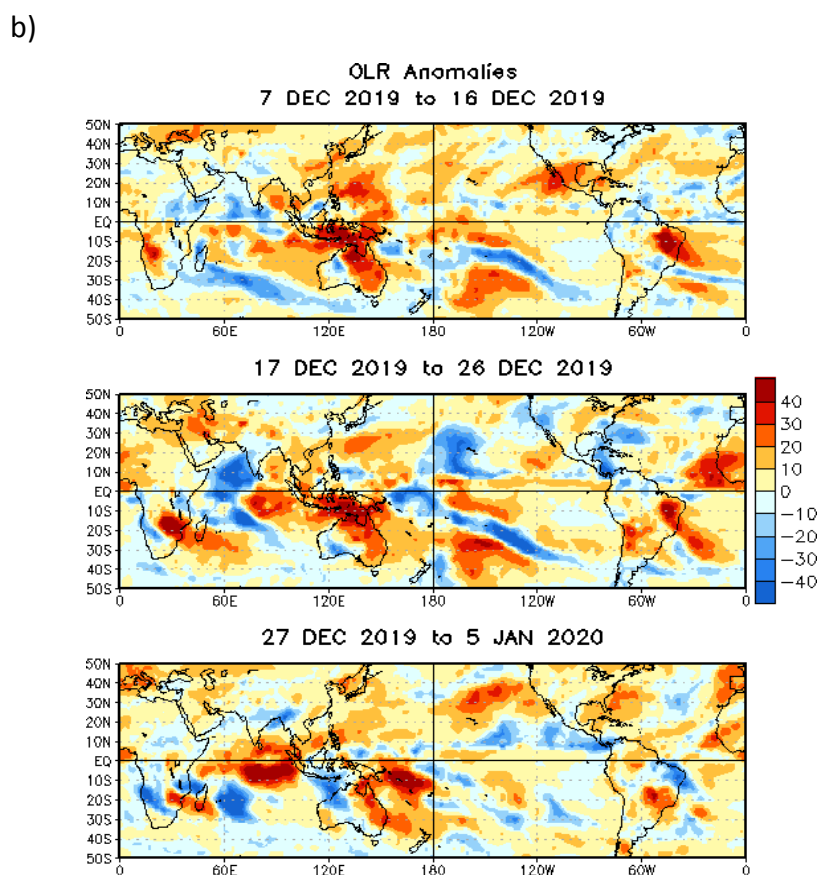


Figura 3.1.1.2. a) Pronóstico a mediano plazo para OLR del modelo CFS. Los contornos indican actividad de ondas atmosféricas b) Anomalías decadas de OLR para el mes de diciembre de 2019. Datos: CFS y NCEP. Procesamiento: NOAA/SENAMHI

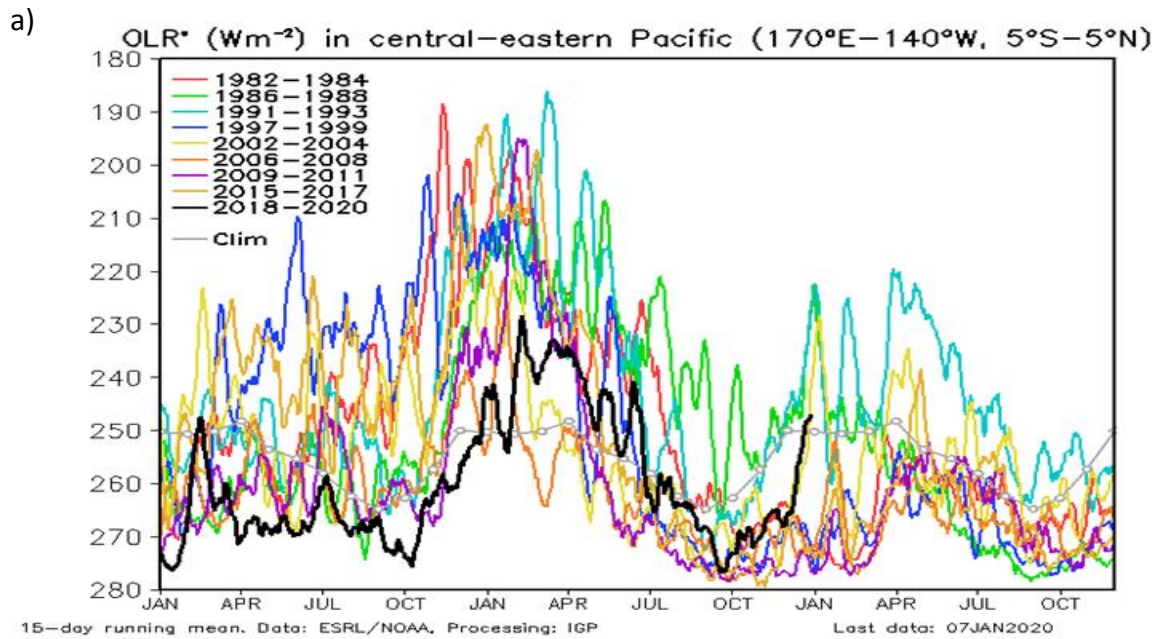
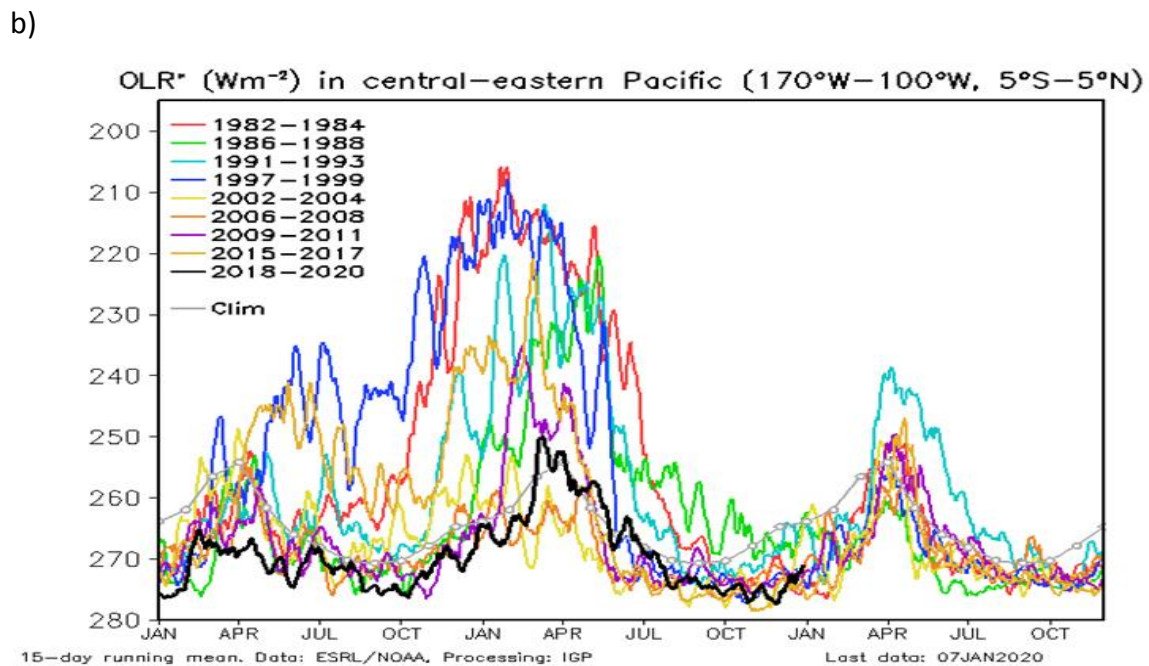
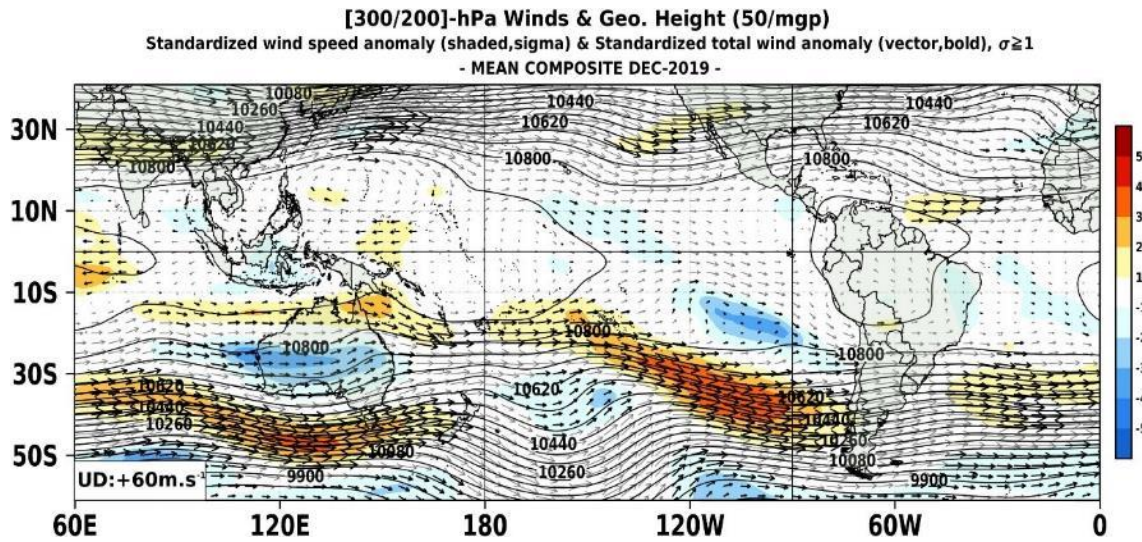


Figura 3.1.1.3 Radiación de onda larga – OLR (W/m^2), desde el mes de enero de 2018 hasta diciembre de 2019, en el Pacífico central-oriental en: a) $170^{\circ}\text{E}-140^{\circ}\text{W}$, $5^{\circ}\text{S}-5^{\circ}\text{N}$ y b) $170^{\circ}\text{W}-100^{\circ}\text{W}$, $5^{\circ}\text{S}-5^{\circ}\text{N}$. Datos: ESRL/NOAA. Procesamiento: IGP.

a)



b)

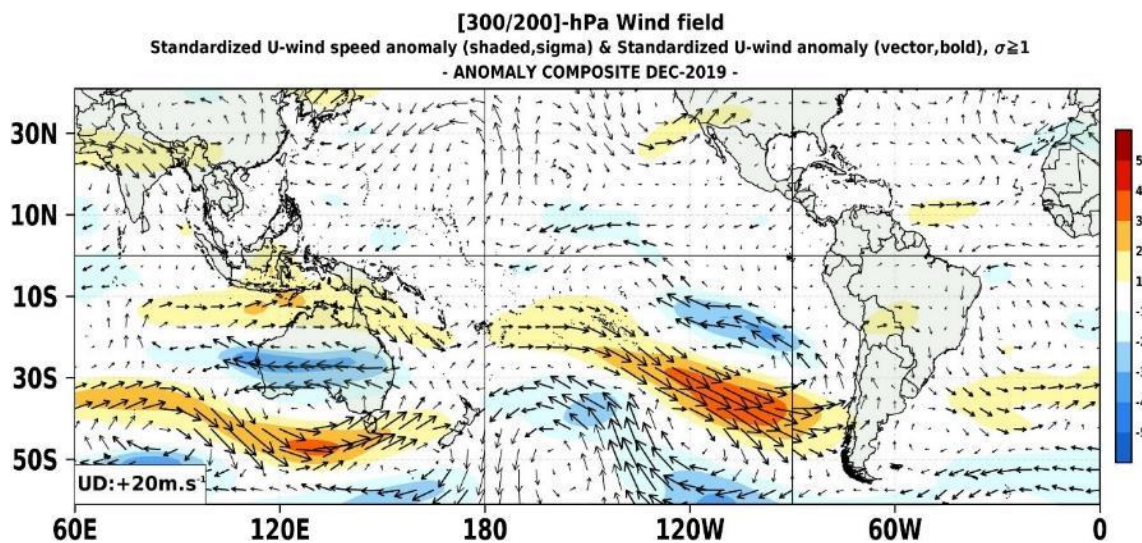
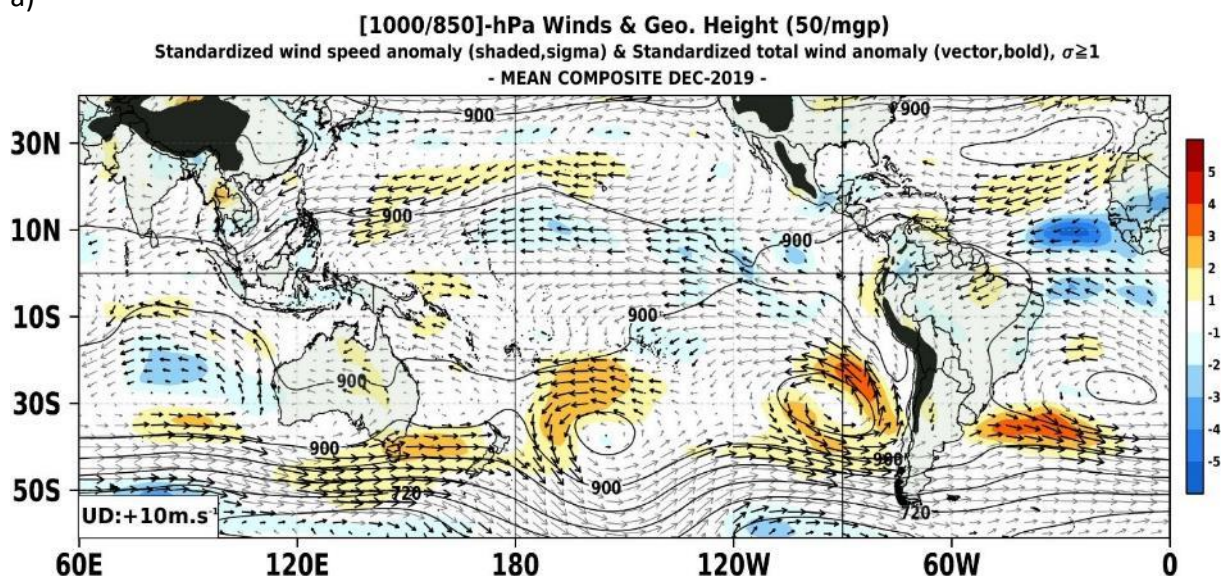


Figura 3.1.1.4 Configuración atmosférica en niveles altos (300 - 200 hPa) para el mes de diciembre del 2019: a) Promedio del viento total (m/s, vectores) y geopotencial (mgp, contornos) junto a anomalías estandarizadas de la velocidad total del viento (matices de colores cada $\pm 0,5 \sigma$), b) Anomalías del campo de viento (m/s, vectores) y anomalías estandarizadas de la componente zonal del viento (matices de colores cada $\pm 0,5 \sigma$). En ambos gráficos los vectores gruesos indican vientos anómalos con desviación estándar mayor a 1 ($\sigma > 1$). Fuente: SPC/SENAMHI.

a)



b)

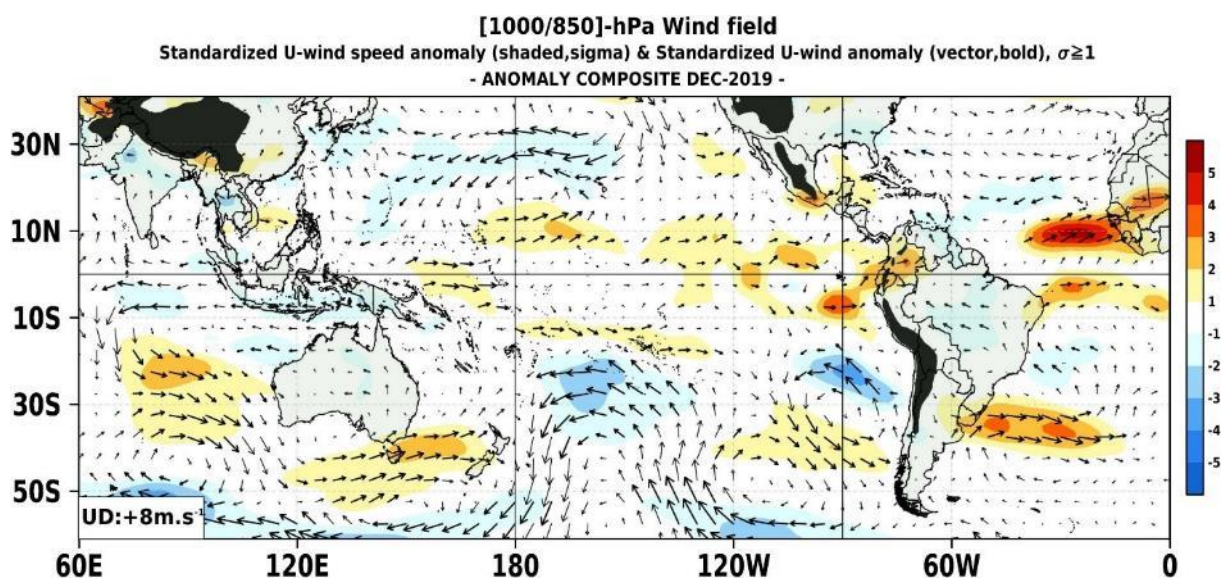
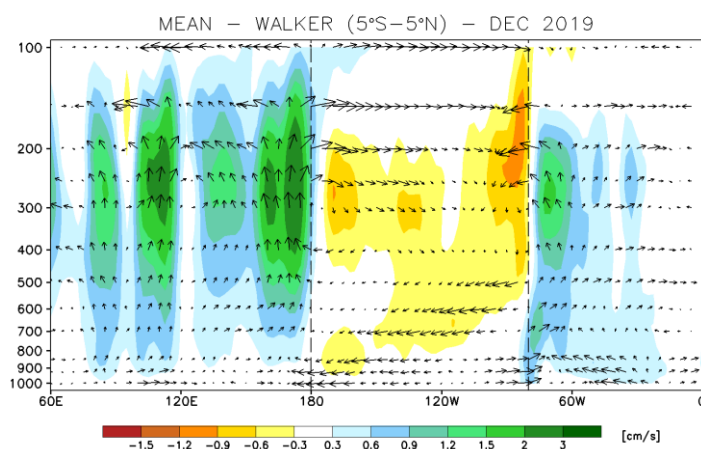


Figura 3.1.1.5. Configuración atmosférica en niveles bajos (1000 - 850 hPa) para el mes de diciembre del 2019: a) Promedio del viento total (m/s, vectores) y geopotencial (mgp, contornos) junto a anomalías estandarizadas de la velocidad total del viento (matices de colores cada $\pm 0,5 \sigma$), b) Anomalías del campo de viento (m/s, vectores) y anomalías estandarizadas de la componente zonal del viento (matices de colores cada $\pm 0,5 \sigma$). En ambos gráficos los vectores gruesos indican vientos anómalos con desviación estándar mayor a 1 ($\sigma > 1$). Fuente: SPC/SENAMHI

a)



b)

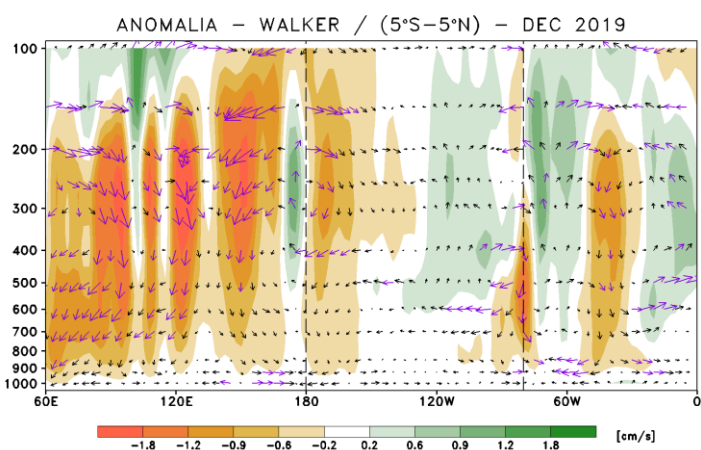


Figura 3.1.1.6. Secciones verticales de la circulación atmosférica ecuatorial (Walker) de este a oeste para el mes de diciembre 2019. (a), patrón promedio, (b) patrón climatológico y (c) patrón anómalo. Fuente: SPC/SENAMHI.

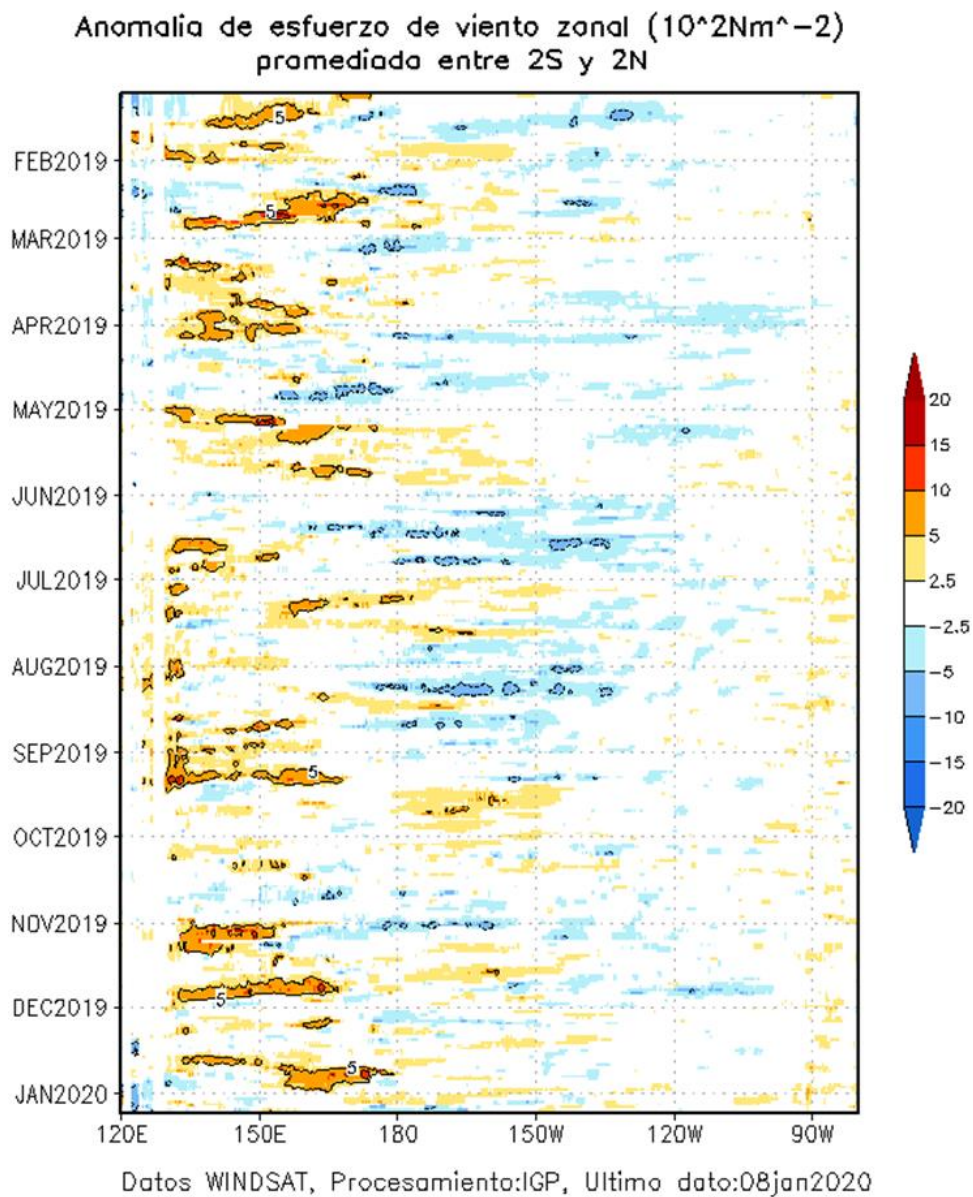


Figura 3.1.1.7. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías del esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del producto WINDSAT. Elaboración: IGP.

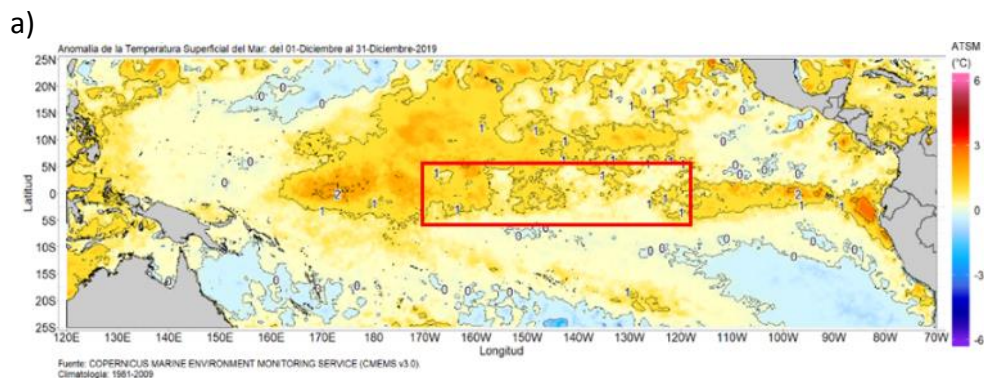
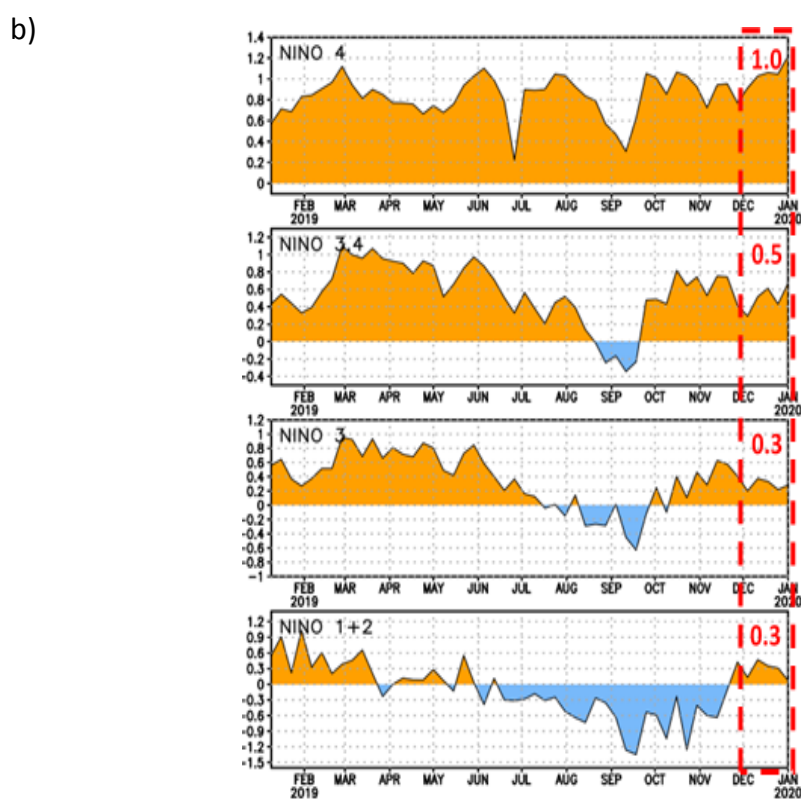


Figura 3.1.1.8. a) Anomalia promedio de la TSM para diciembre de 2019. Fuente: OSTIA, Gráfico: DHN. b) Series de tiempo de las anomalías semanales de la temperatura superficial del mar (°C) en las regiones Niño, desde enero hasta diciembre del 2019. Fuente: AVHRR NCEP/NOAA.

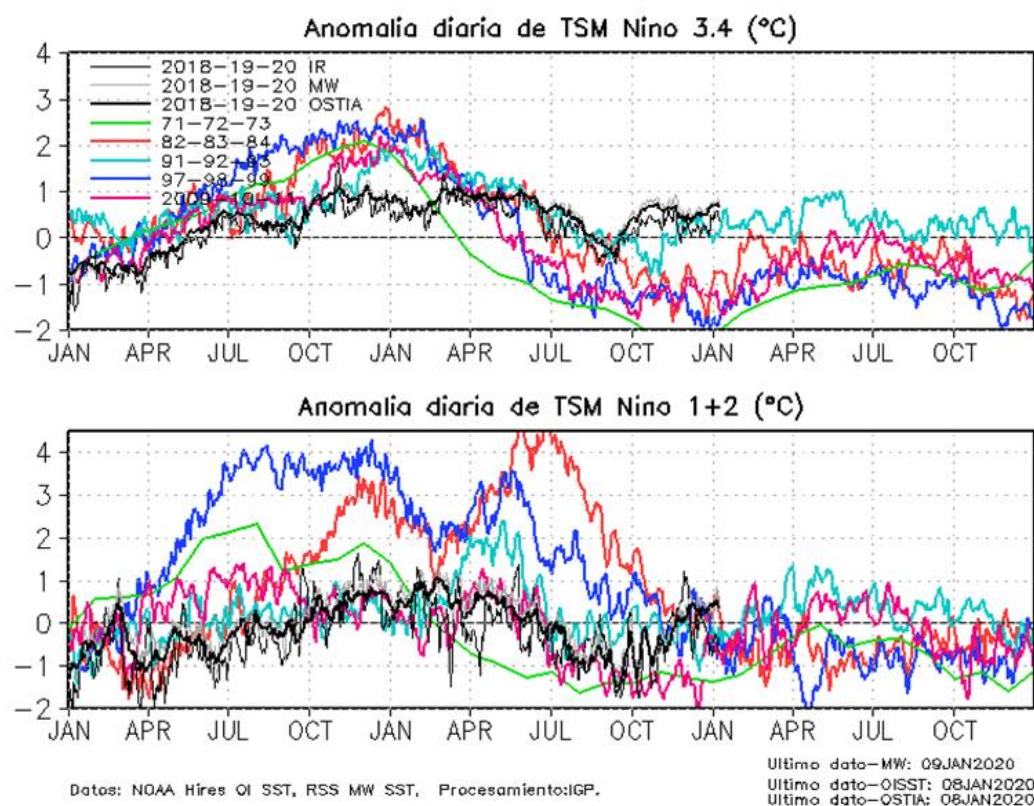


Figura 3.1.1.9 Series de tiempo de la anomalía diaria de la TSM en la región Niño 3.4 (panel superior) y Niño 1+2 (panel inferior). Las líneas en color negro (gruesa), gris y negro (fina) indican la evolución de la anomalía de la TSM en el presente año usando información infrarroja (IR), microondas (MW) y del producto OSTIA, respectivamente. Las líneas de color rojo, azul, celeste y verde indican la evolución de la anomalía de la TSM para distintos periodos en los que se desarrolló El Niño. Elaboración: IGP.

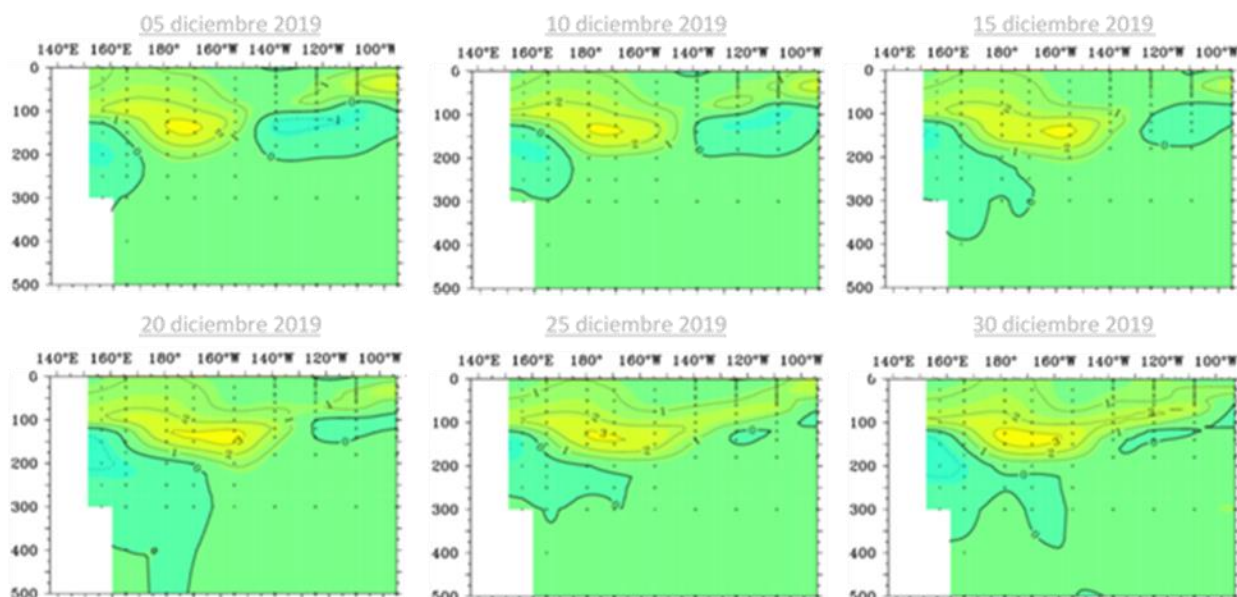


Figura 3.1.2.1. Diagramas longitud-profundidad de las anomalías de la temperatura del mar ($^{\circ}\text{C}$) en el océano Pacífico ecuatorial (promediados entre 2°N y 2°S) para los días, de izquierda a derecha y de arriba abajo, 05, 10, 15, 20, 25 y 30 de diciembre de 2019. Fuente: TAO/TRITON, PMEL/NOAA.

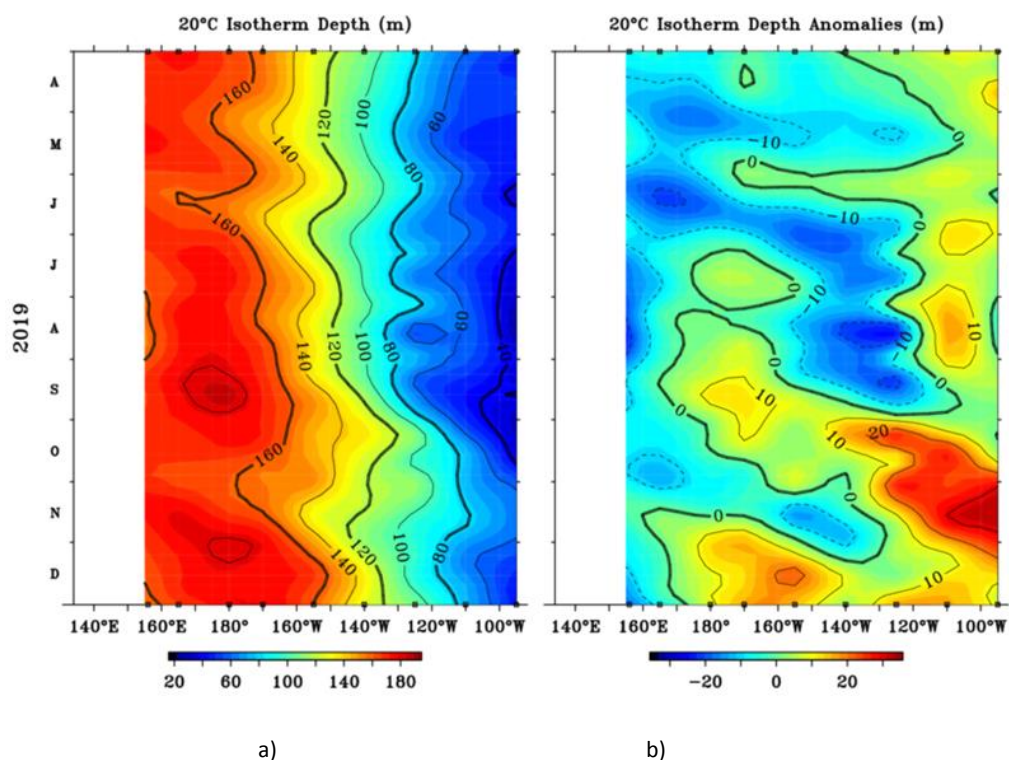


Figura 3.1.2.2. Diagrama longitud-tiempo de la profundidad de la isoterma de 20°C (m) promediado entre 2°N y 2°S , desde abril hasta diciembre de 2019, tanto para su valor total (a) como para su anomalía (b). Fuente: Global Tropical Moored Buoy Array Program office, NOAA/PMEL.

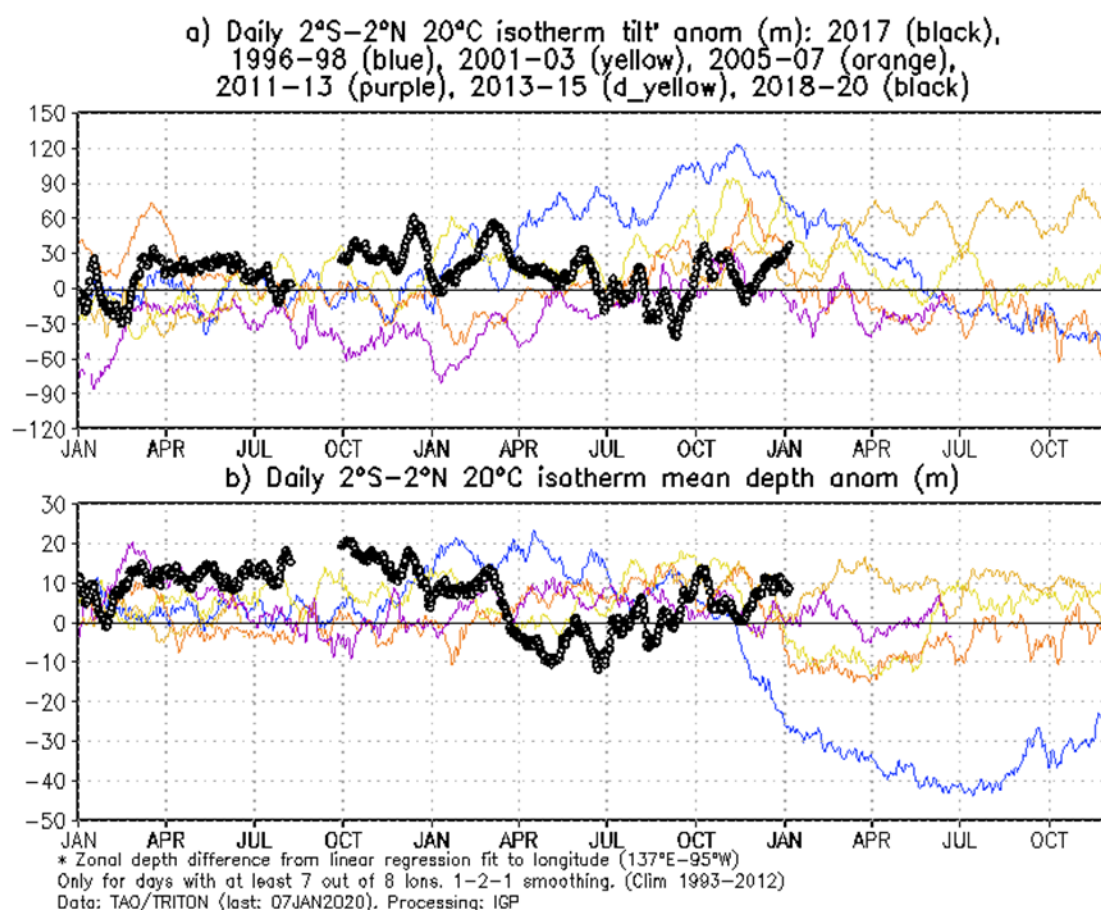


Figura 3.1.2.3. Series de tiempo de: a) la inclinación de la termoclina en el Pacífico ecuatorial basado en los datos de TAO entre 2 °N y 2 °S; y b) del contenido de calor en la región ecuatorial. Estas series de tiempo se obtuvieron usando datos de las boyas TAO entre 2 °N y 2 °S. Elaboración: IGP

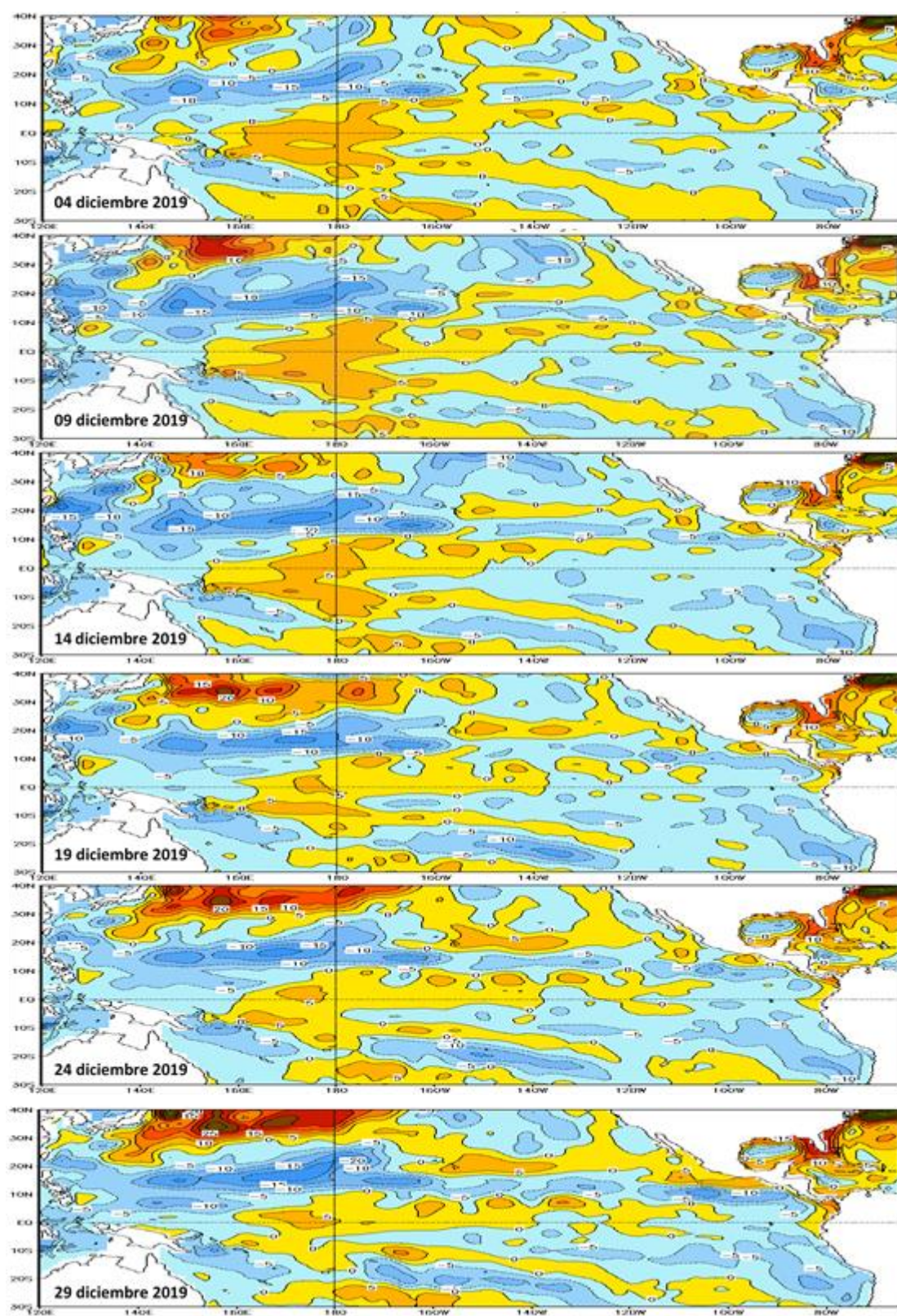


Figura 3.1.2.4. Campos de anomalía del nivel del mar en el Pacífico tropical, de arriba a abajo, el 04, 09, 14, 19, 24 y 29 de diciembre de 2019. Fuente: GODAS; Climatología 1981–2010.

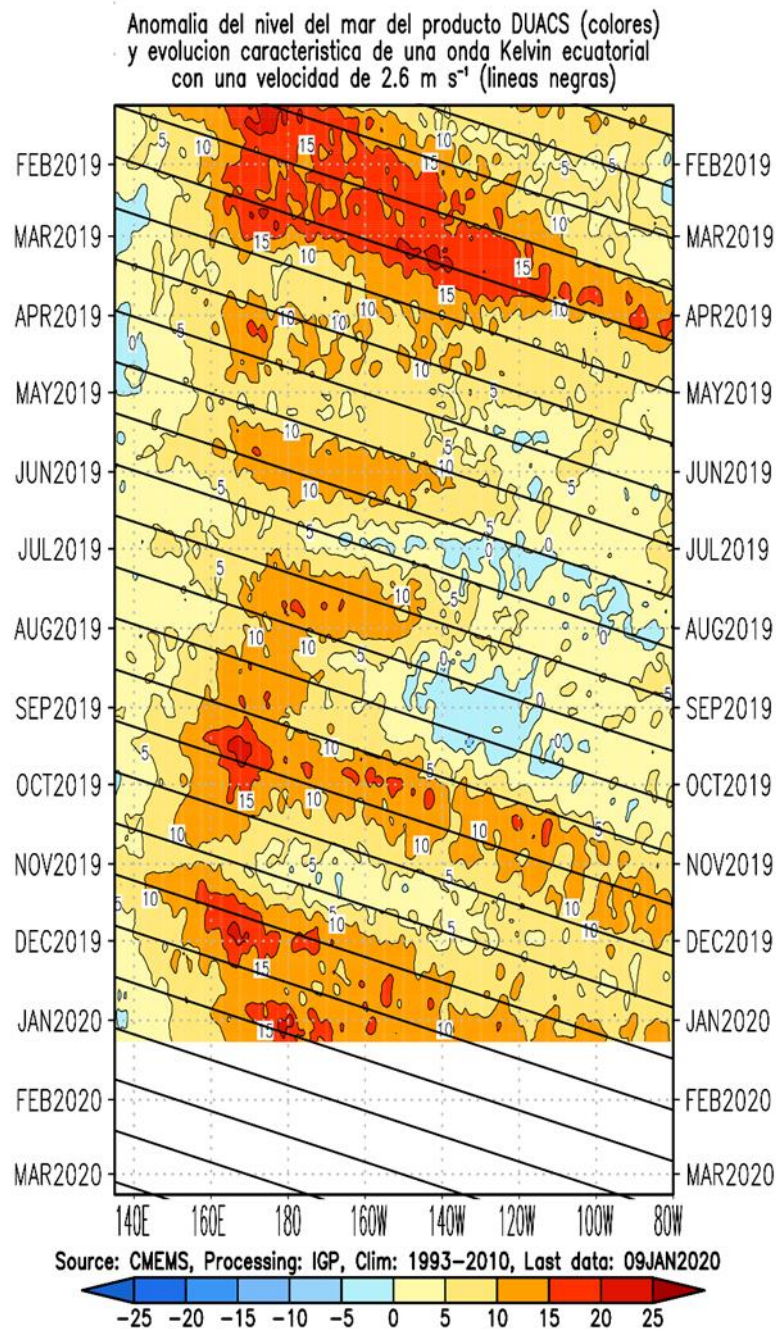


Figura 3.1.2.5. Diagrama longitud – tiempo de la anomalía del nivel medio del mar en el Pacífico ecuatorial usando el producto DUACS. Las líneas diagonales indican la trayectoria teórica de la onda Kelvin si tuviera una velocidad aproximada de $2,6 \text{ m/s}$. Elaboración IGP.

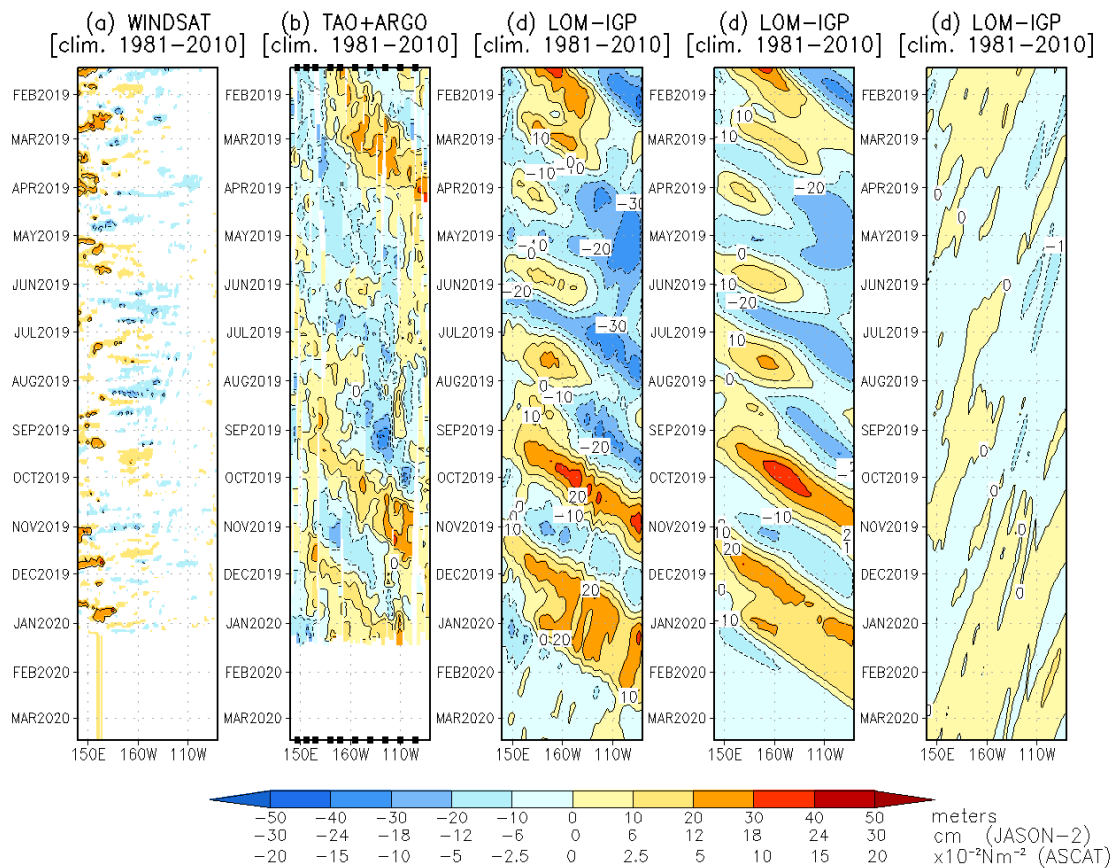
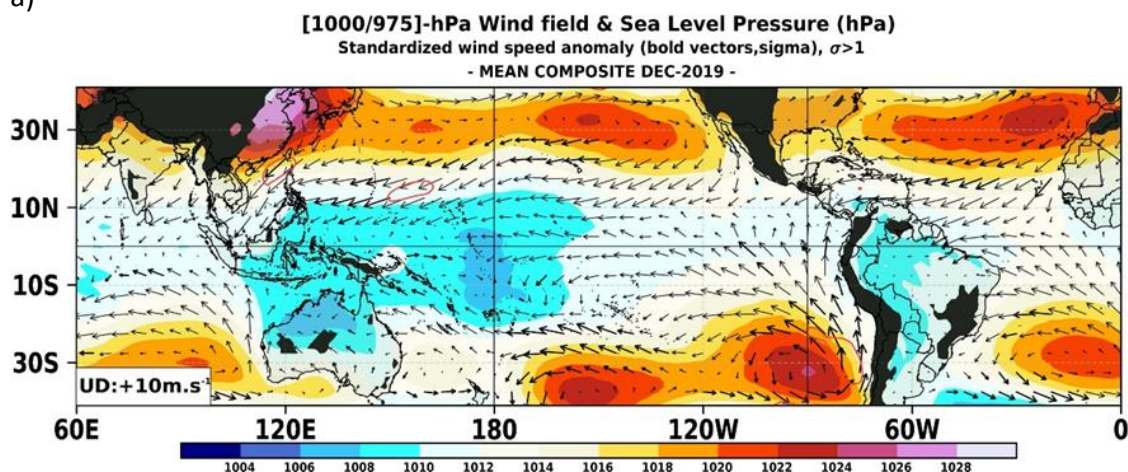


Figura 3.1.2.6. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos de WINDSAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de 20 °C calculados con los datos de TAO y los derivados de ARGO (b), diagrama de la onda Kelvin y Rossby (c), diagrama de la onda Kelvin (d) y finalmente diagrama de la onda Rossby (e), calculada con el modelo LOM-IGP (forzado por WINDSAT, y $\tau=0$ para el pronóstico). Las líneas diagonales representan la trayectoria de una onda Kelvin si tuviera una velocidad de 2,6 m/s. Elaboración: IGP.

a)



b)

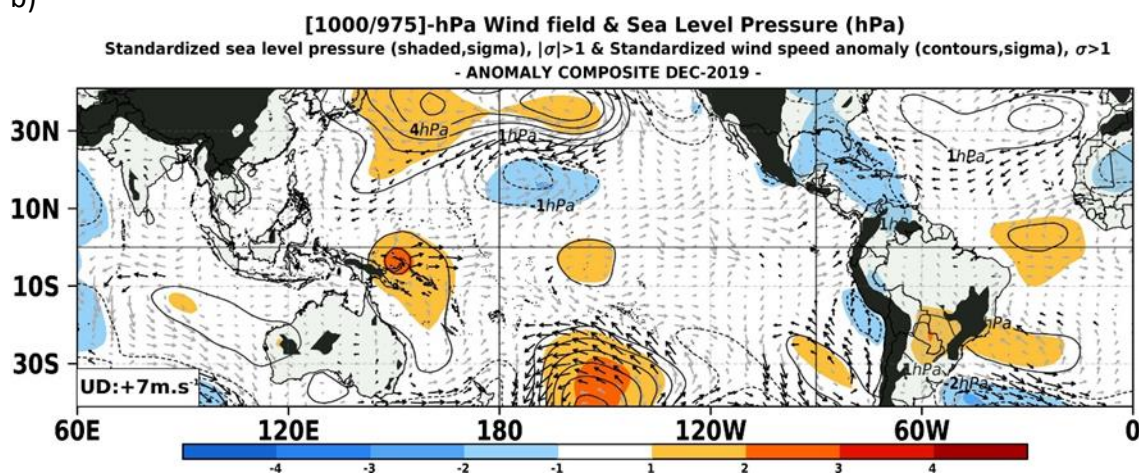


Figura 3.2.1.1. Análisis de superficie para el mes de diciembre de 2019. Arriba: Promedio del campo de presión reducida a nivel del mar (PRMSL, hPa) y vientos entre 1000 - 975 hPa (contornos rojos > 8 m/s), vectores gruesos representan velocidad estandarizadas, ($\sigma > 1$). Abajo: Anomalías del campo de viento (m/s) y PRMSL (hPa, contornos), las matices en colores representan valores estandarizados de la PRMSL cada $\pm 1 \sigma$, vectores gruesos indican velocidades anómalas del viento total, $\sigma > 1$. Fuente: SPC/SENAMHI.

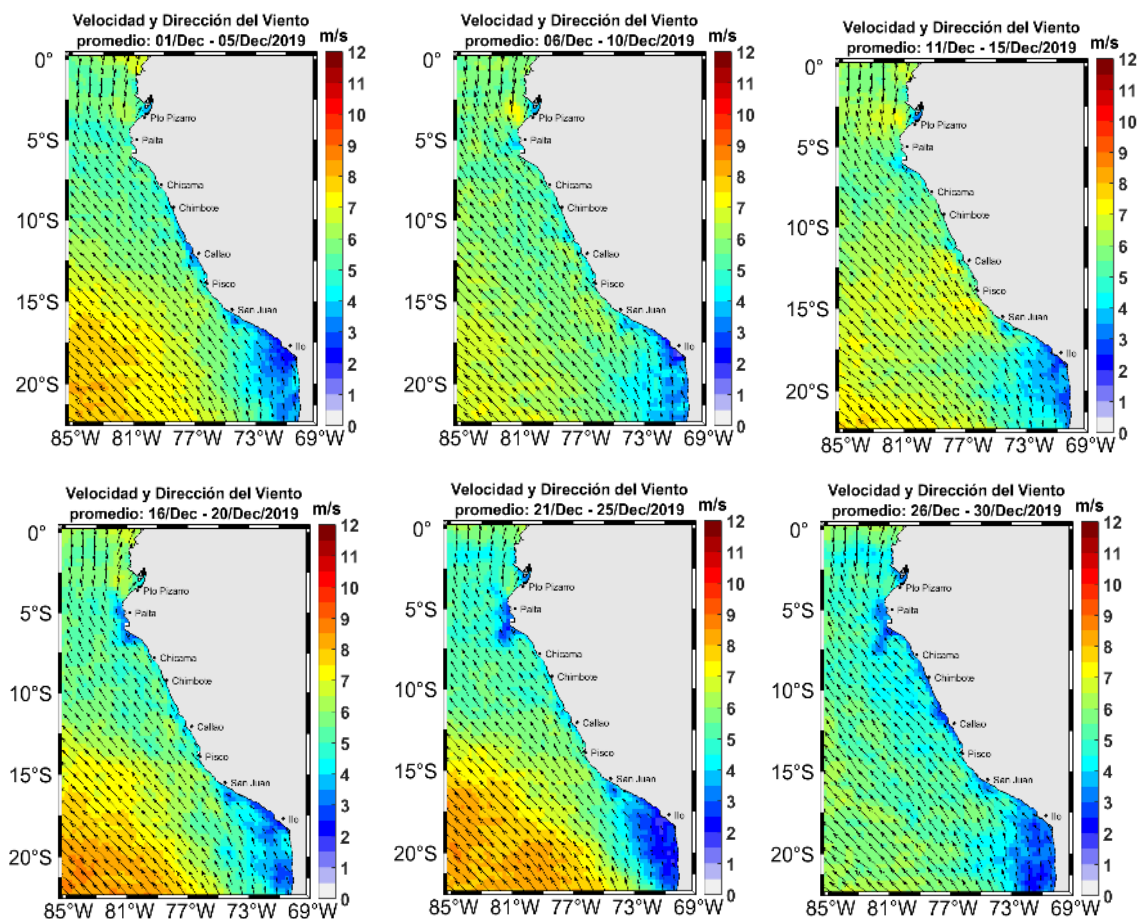


Figura 3.2.1.2. Mapas de la velocidad del viento frente a la costa peruana, durante el mes de diciembre de 2019 (Fuente: Satélite ASCAT). Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina, IMARPE). *Actualizada hasta el 30/12/2019.*

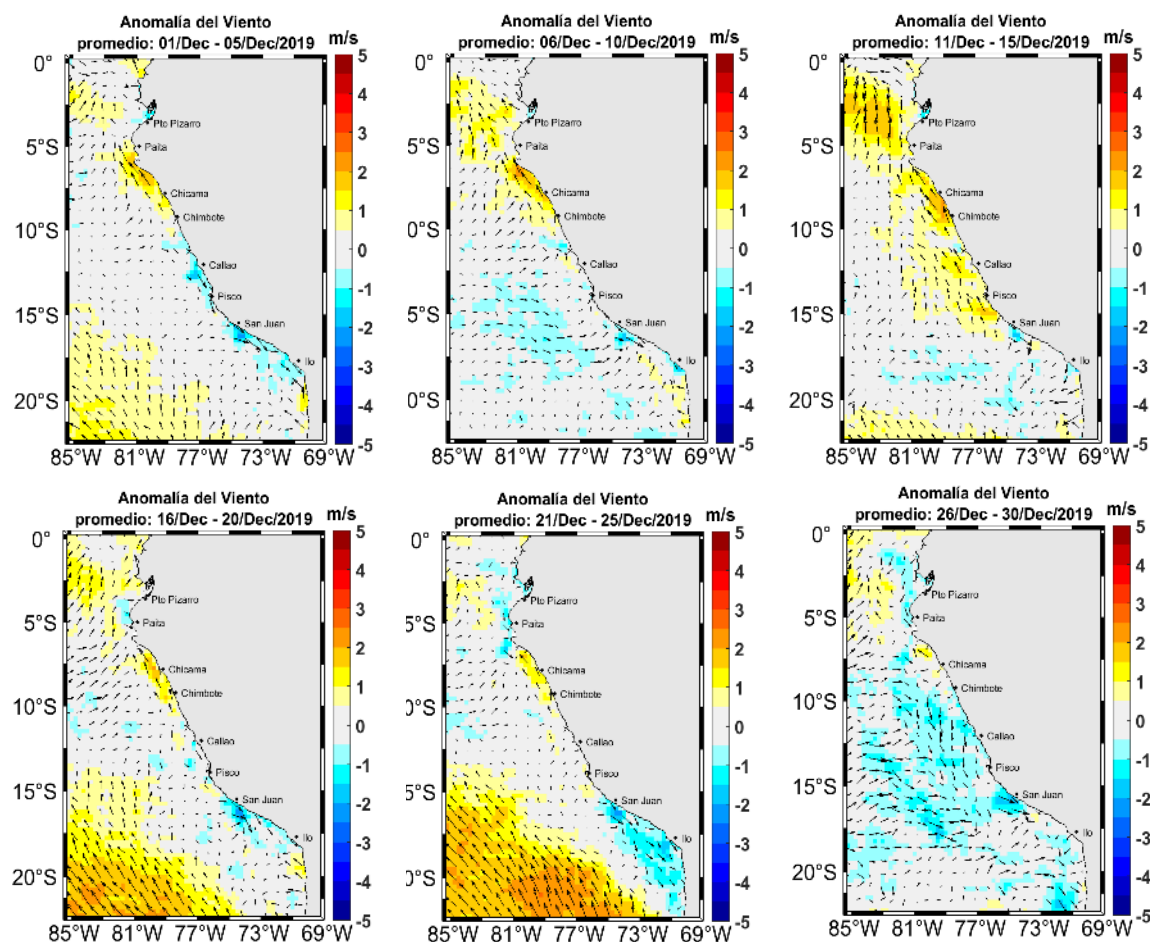


Figura 3.2.1.3. Mapas de anomalía de la velocidad del viento frente a la costa peruana, durante el mes de diciembre del 2019 (Fuente: Satélite ASCAT, Procesamiento: Laboratorio de Hidrofísica Marina, IMARPE). Actualizada hasta el 30/12/2019.

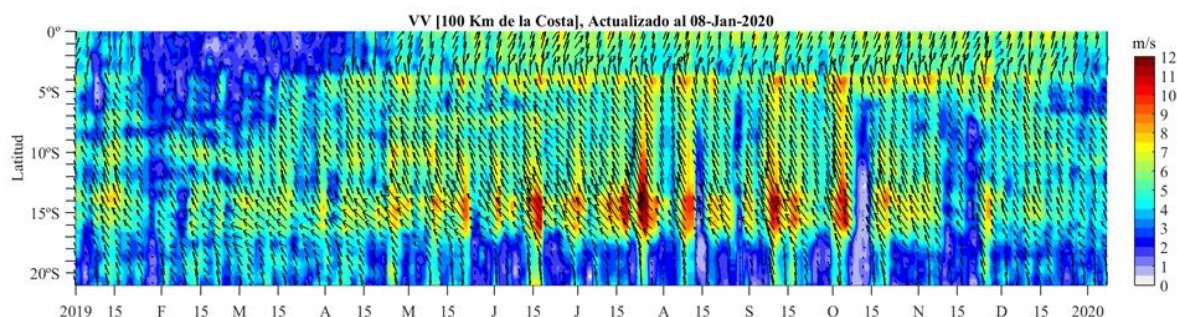


Figura 3.2.1.4 Diagrama Hovmöller de la velocidad del viento a lo largo de la costa peruana (Fuente: Satélite ASCAT, Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina, IMARPE). Actualizada hasta el 08/01/2020.

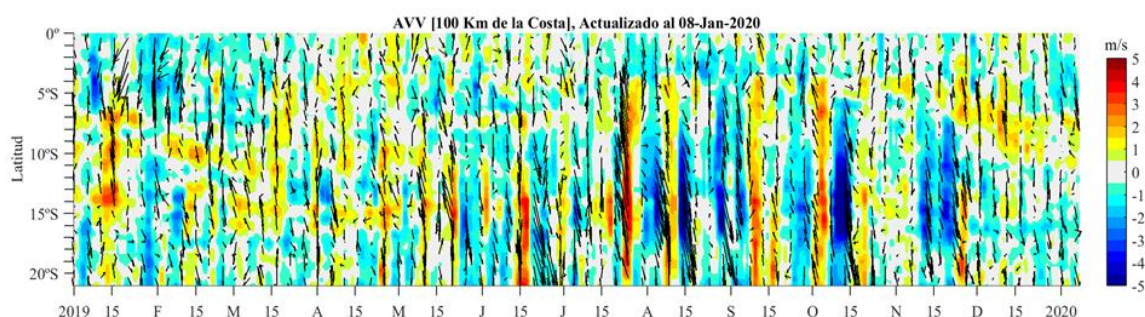


Figura 3.2.1.5. Diagrama Hovmöller de la anomalía del viento a lo largo de la costa peruana (Fuente: Satélite ASCAT, Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina, IMARPE). Actualizada hasta el 08/01/2020.

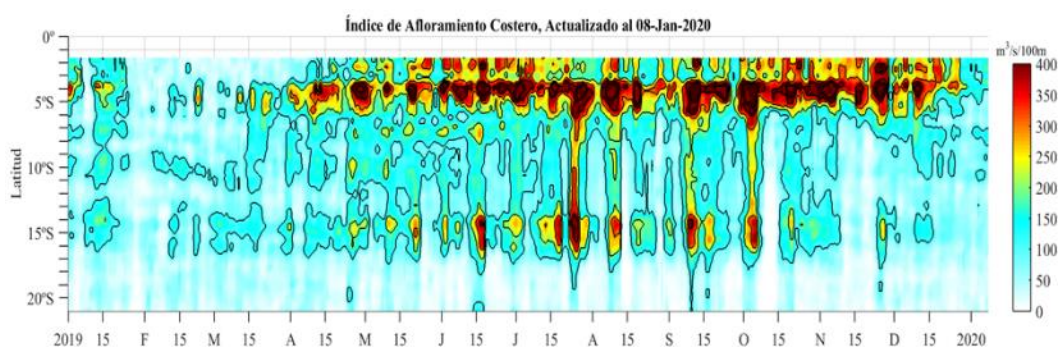


Figura 3.2.1.6. Diagrama de Hovmöller del índice de afloramiento costero ($\text{m}^3/\text{s} \cdot 100\text{m}$), calculado a partir del viento satelital ASCAT a 40 km frente a la costa del Perú. Los contornos señalan la persistencia del afloramiento bajo condiciones de velocidad a 4 m/s durante 5 días o más. Fuente: Satélite ASCAT, Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina, IMARPE. Actualizada hasta el 08/01/2020.

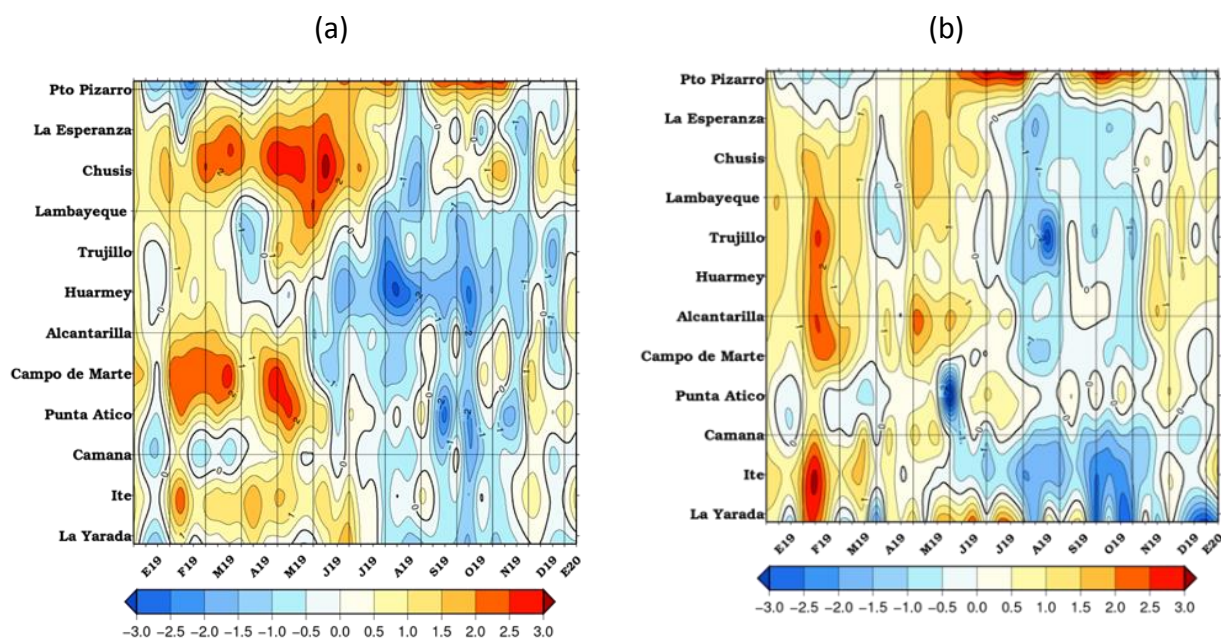


Figura 3.2.2.1. Anomalías de las temperaturas extremas del aire Tmax (a) y Tmin (b) para estaciones costeras a lo largo del litoral del Perú distribuidas desde el norte hacia el sur.
Fuente: SPC/SENAMHI

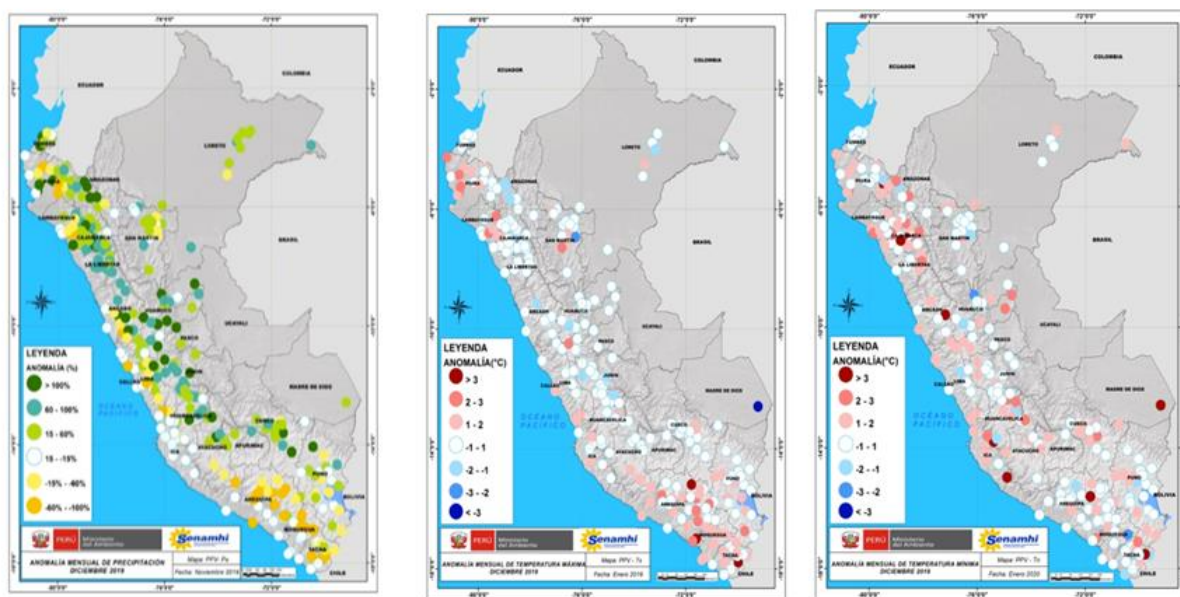


Figura 3.2.3.1. Mapa de anomalías térmicas y pluviométricas a nivel nacional para el mes de diciembre de 2019. Las anomalías porcentuales de la precipitación, temperatura máxima, y temperatura mínima se muestran en el panel izquierdo, central y derecho, respectivamente.
Fuente: SPC/SENAMHI.

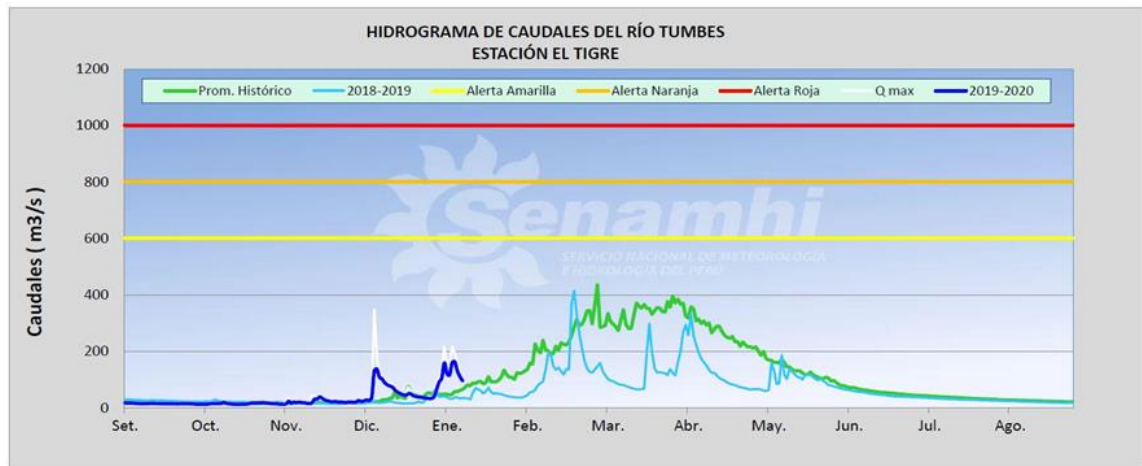
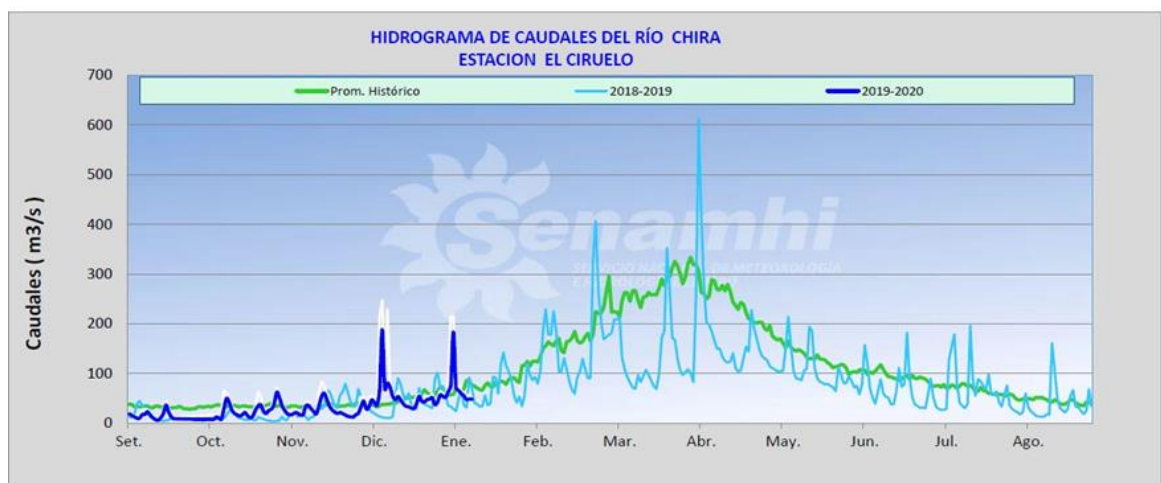
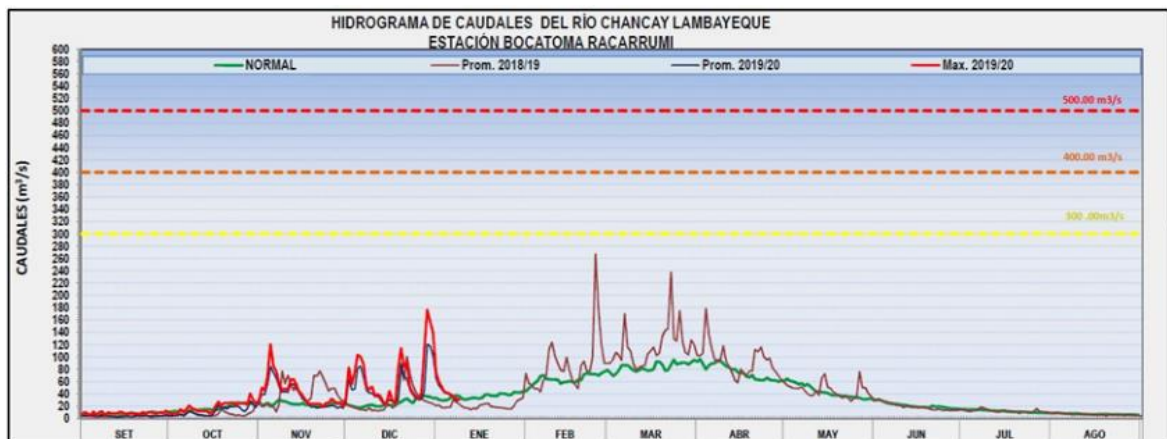


Figura 3.2.3.2 Caudales diarios (m^3/s) de los principales ríos del norte del Perú: Tumbes (panel superior), Piura (panel central) y Lambayeque (panel inferior), hasta los primeros días de enero de 2020. Las líneas azules indican caudales de los años 2019-2020, rojas: Promedio histórico; celeste: promedio de años húmedos y líneas grises: promedio de años secos. Fuente datos: SENAMHI/ Procesamiento: ANA

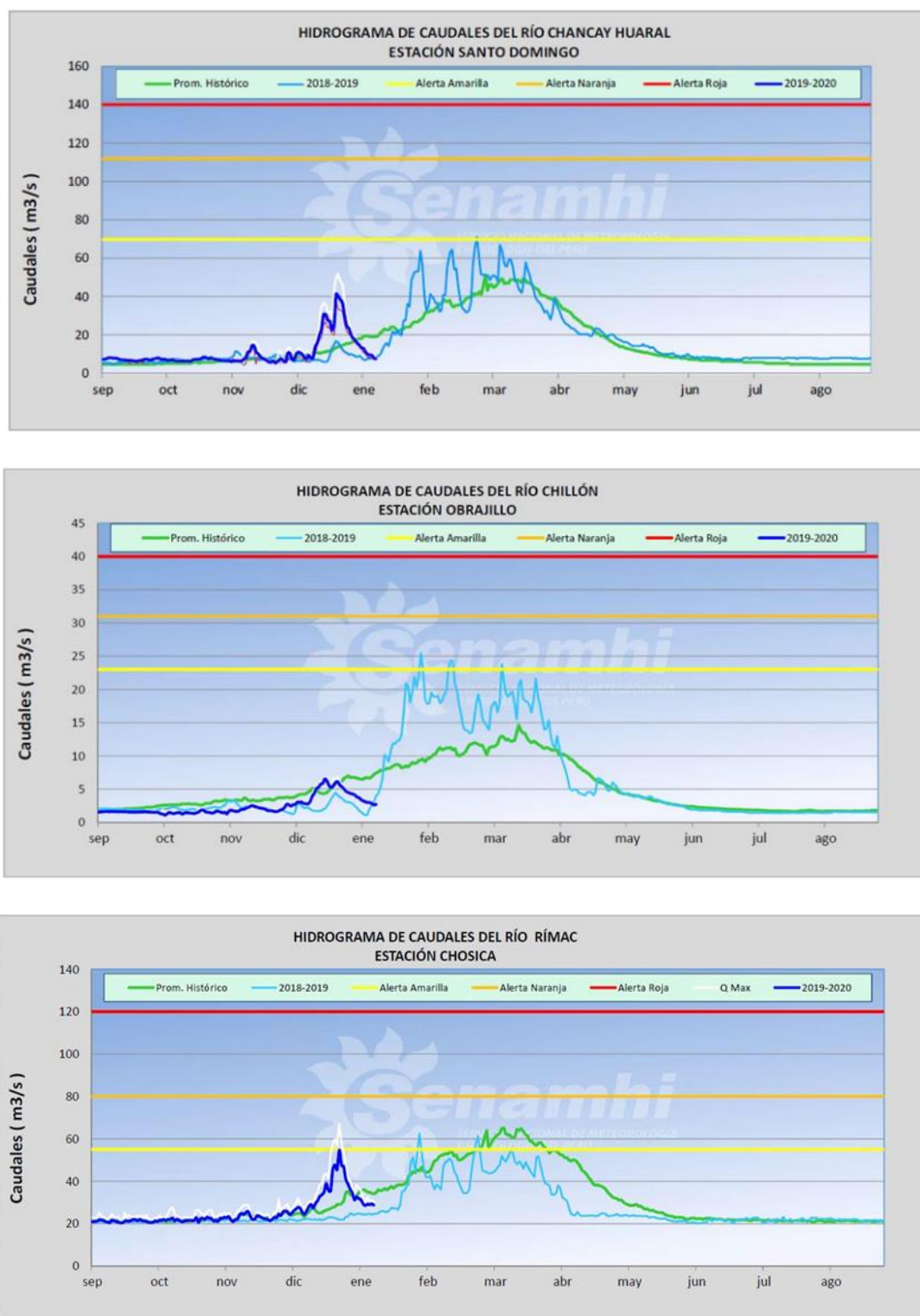


Figura 3.2.3.3 Caudales diarios (m^3/s) de principales ríos del centro del Perú: Chancay (panel superior), Chillón (panel central) y Rímac (panel inferior), hasta los primeros días de enero de 2020. Líneas azules: caudales de los años 2019-2020, rojas: Promedio histórico; celeste: promedio de años húmedos y líneas grises: promedio de años secos. Fuente datos: SENAMHI/Procesamiento: ANA

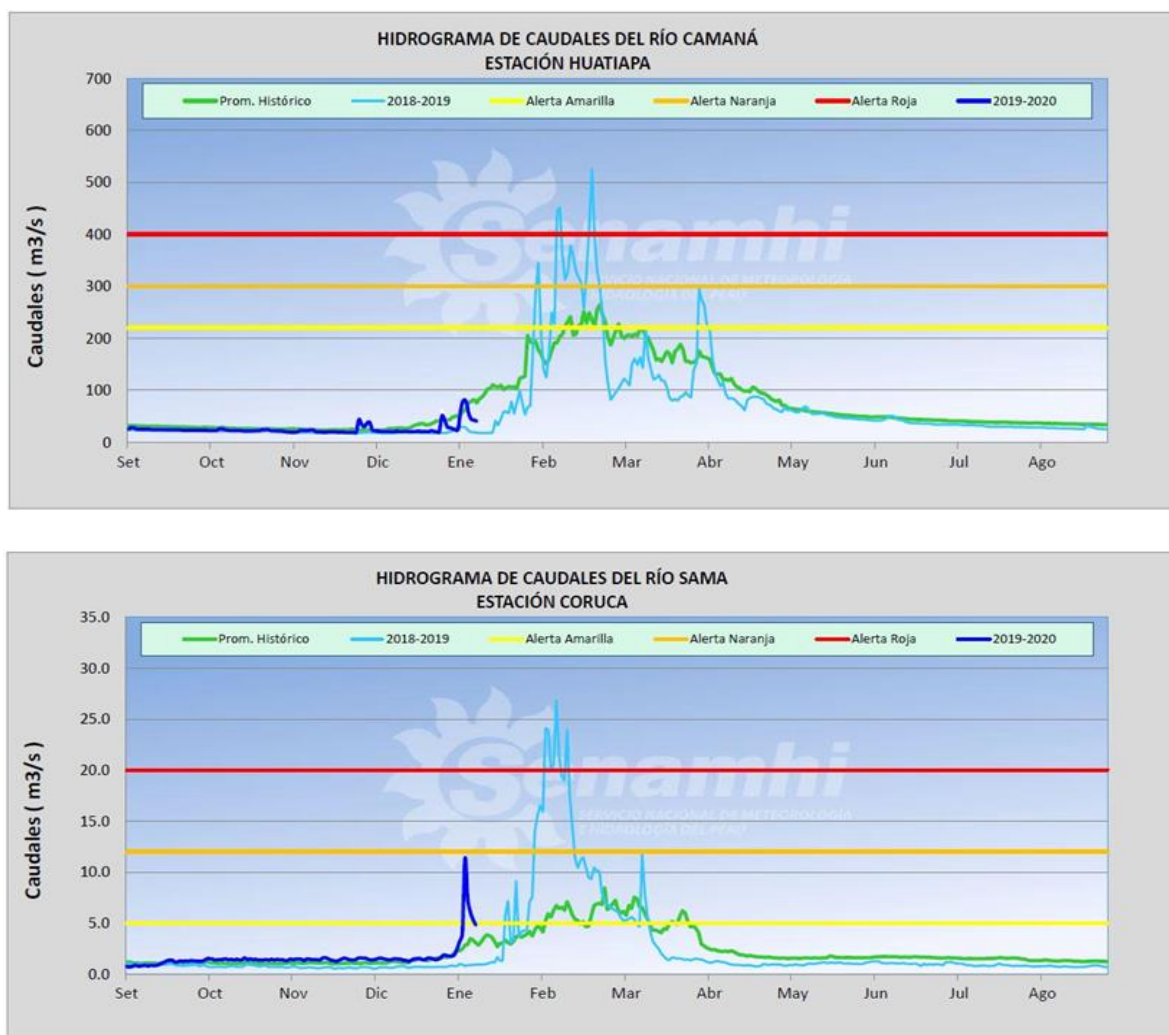
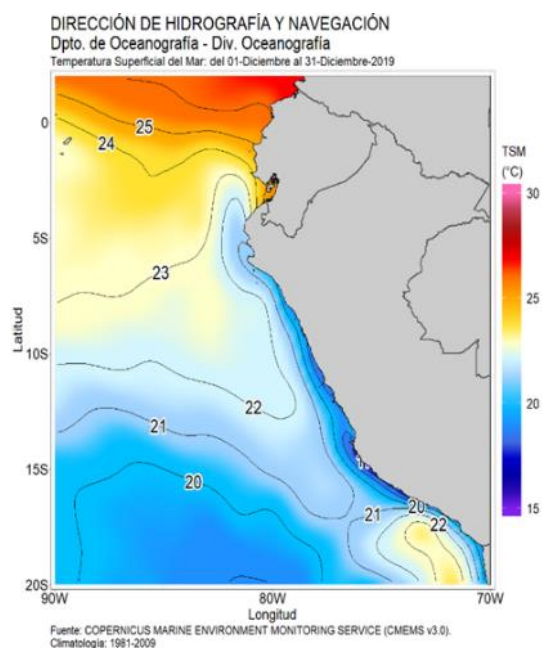


Figura 3.2.3.4 Caudales diarios (m^3/s) de principales ríos del sur del Perú: Camaná (panel superior) y Sama (panel inferior), hasta los primeros días de enero de 2020. Líneas azules: caudales de los años 2019-2020, rojas: Promedio histórico; celeste: promedio de años húmedos y líneas grises: promedio de años secos. Fuente datos: SENAMHI/ Procesamiento: ANA

a)



b)

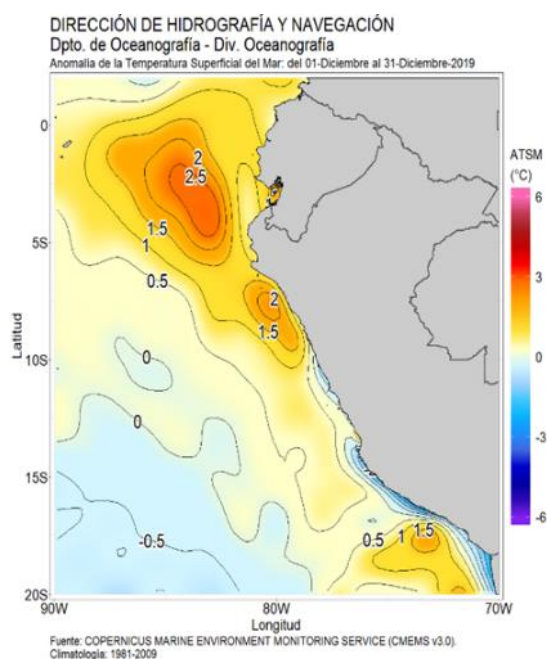


Figura 3.2.4.1. (a) TSM promedio para diciembre de 2019 y (b) anomalía, frente a la costa peruana y ecuatoriana. Climatología 1981 – 2009 (Pathfinder V5). Fuente Datos OSTIA, Procesamiento y gráfico: DIHIDRONAV.

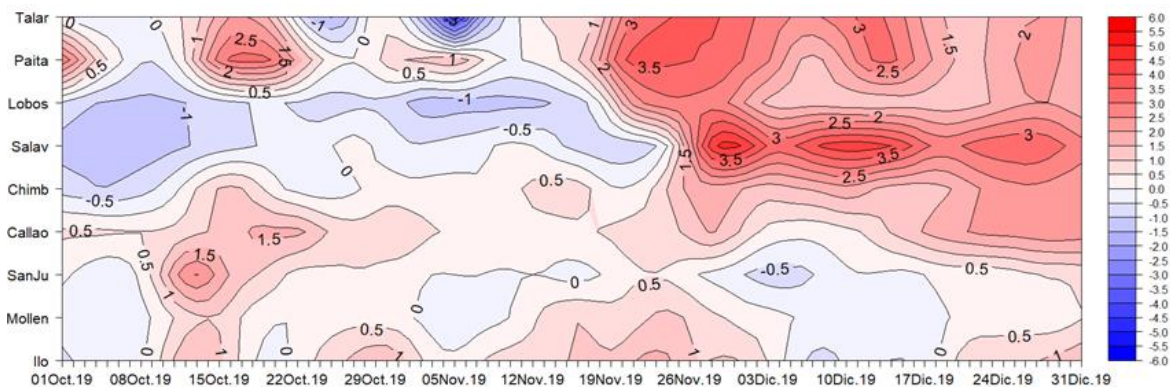


Figura 3.2.4.2. Diagrama Hovmöller de las anomalías de la temperatura superficial del mar en el litoral de Perú. Desde octubre hasta diciembre de 2019. Climatología 1981 – 2010 DIHIDRONAV. Fuente: DIHIDRONAV.

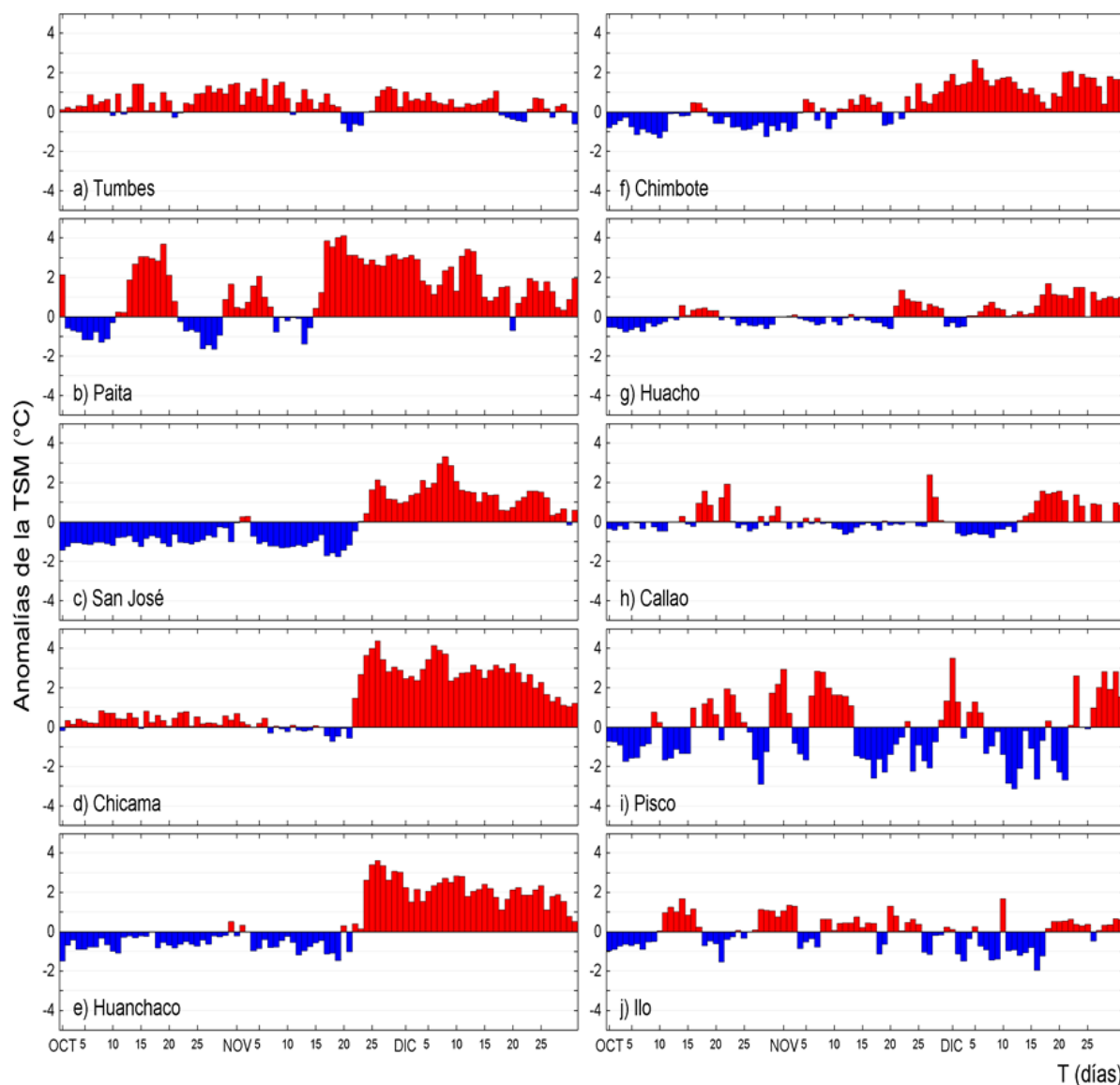


Figura 3.2.4.3. Series diarias de las anomalías de la TSM (°C) en la red de estaciones costeras del IMARPE durante el último trimestre. Datos y procesamiento: IMARPE.

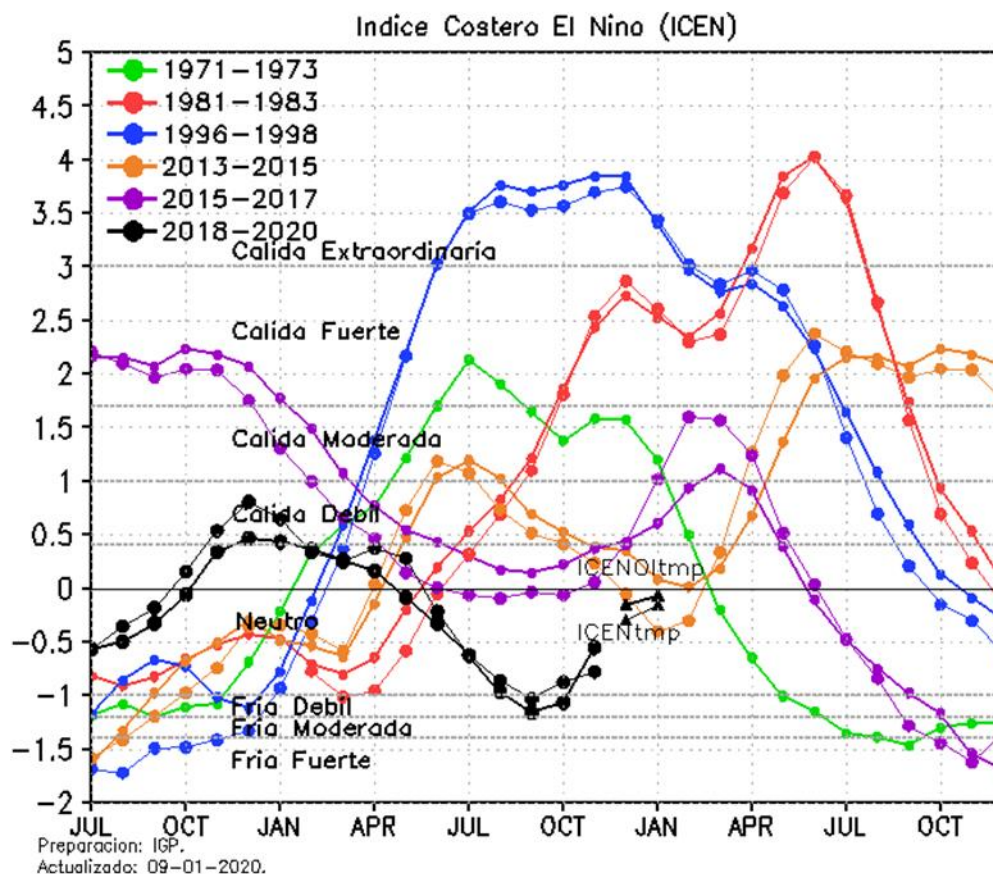


Figura 3.2.4.4 Variabilidad temporal del ICEN para los años 1971-1973 (verde), 1981-1983 (rojo), 1996-1998 (azul), 2013-2015 (anaranjado), 2015-2017 (morado), y 2018-2020 (negro). Fuente: IGP

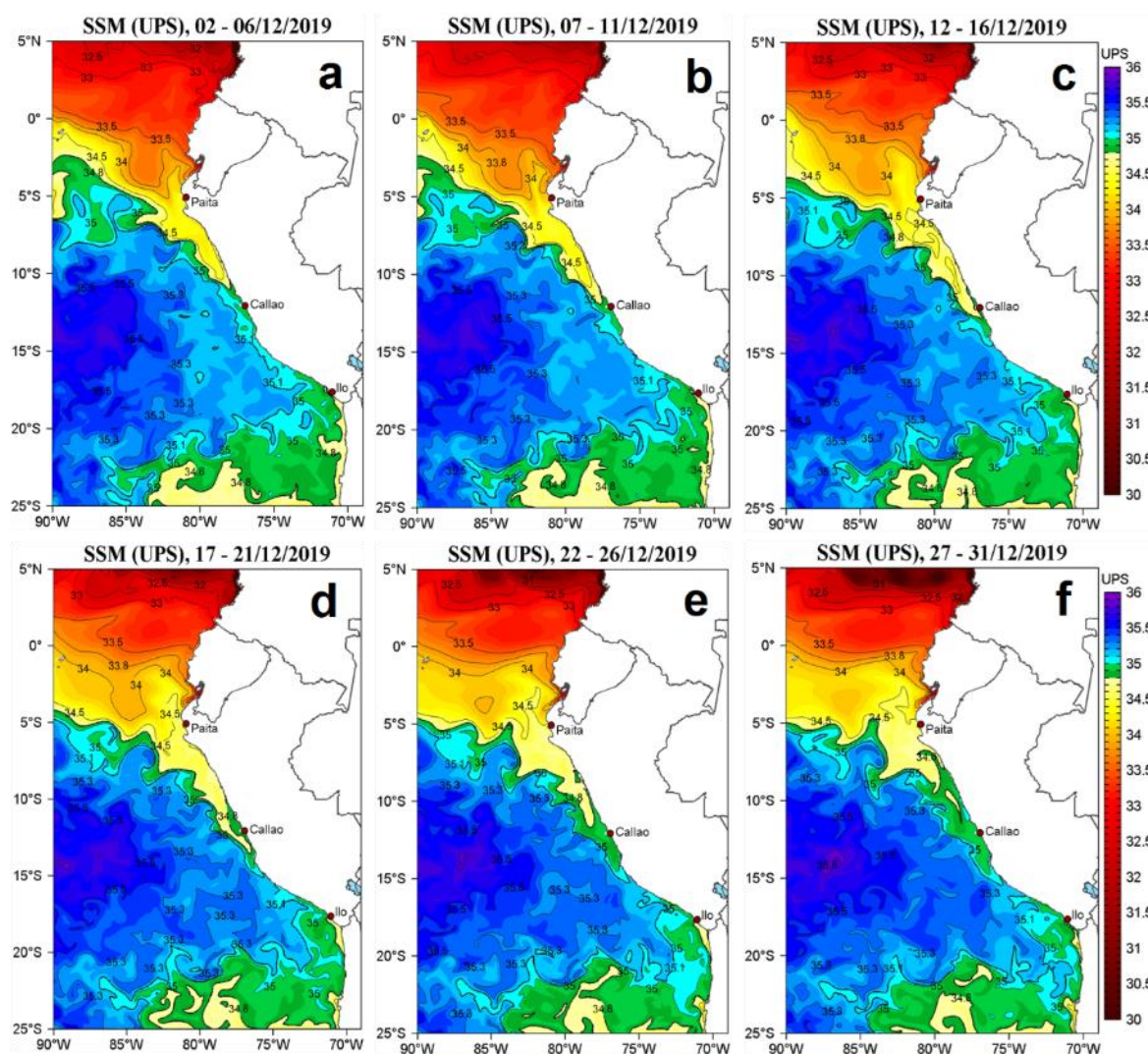


Figura 3.2.4.5. Distribución espacial de la salinidad superficial del mar (SSM), durante los días (de izquierda a derecha y de arriba a abajo) 06, 11, 16, 21, 26, 31 de diciembre de 2019. Fuente: HYCOM, Procesamiento: DGIOCC-IMARPE.

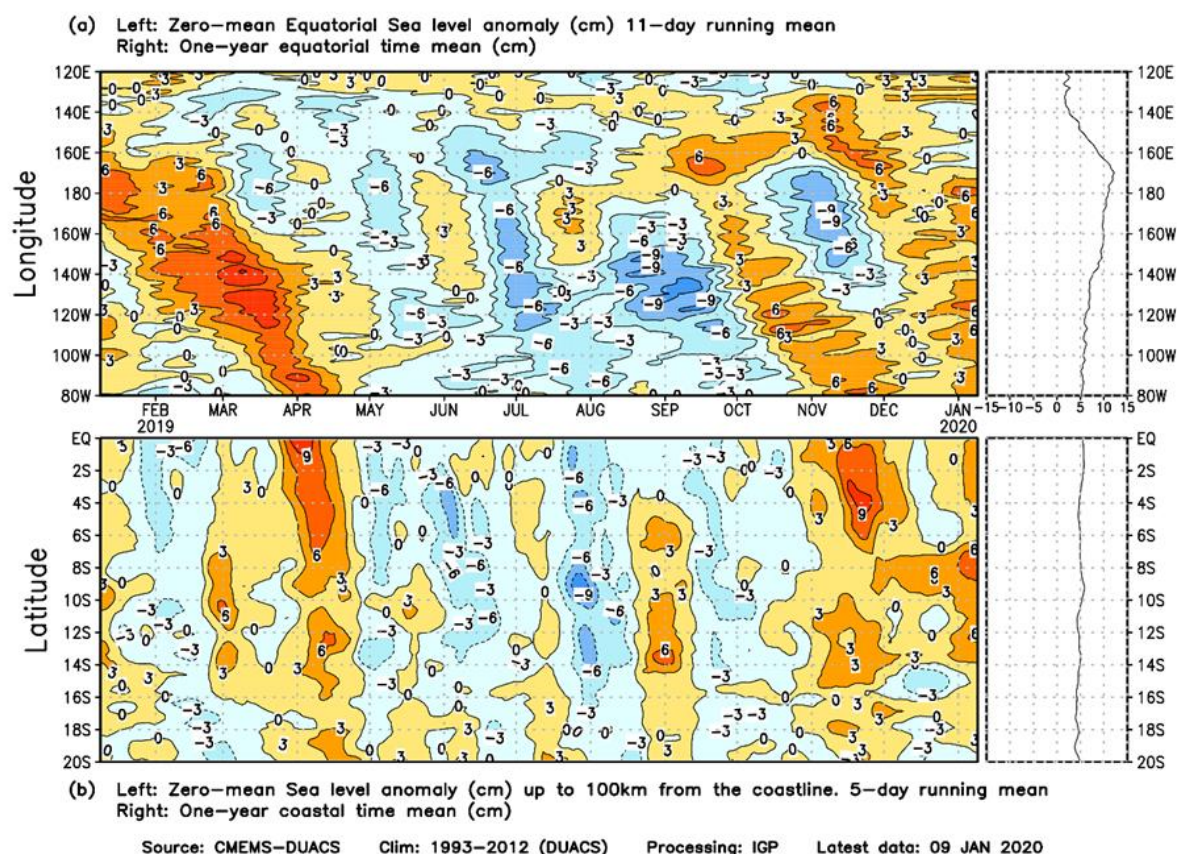


Figura 3.2.4.6. Anomalía centrada del nivel del mar a lo largo de la franja ecuatorial (Figura superior izquierda) y a lo largo de la costa peruana (Figura inferior izquierda). A la derecha se muestra el promedio de los últimos 365 días en la franja ecuatorial (superior) y a lo largo de la costa (inferior), que fueron sustraídos a las figuras de la izquierda, respectivamente. Las unidades están centímetros.

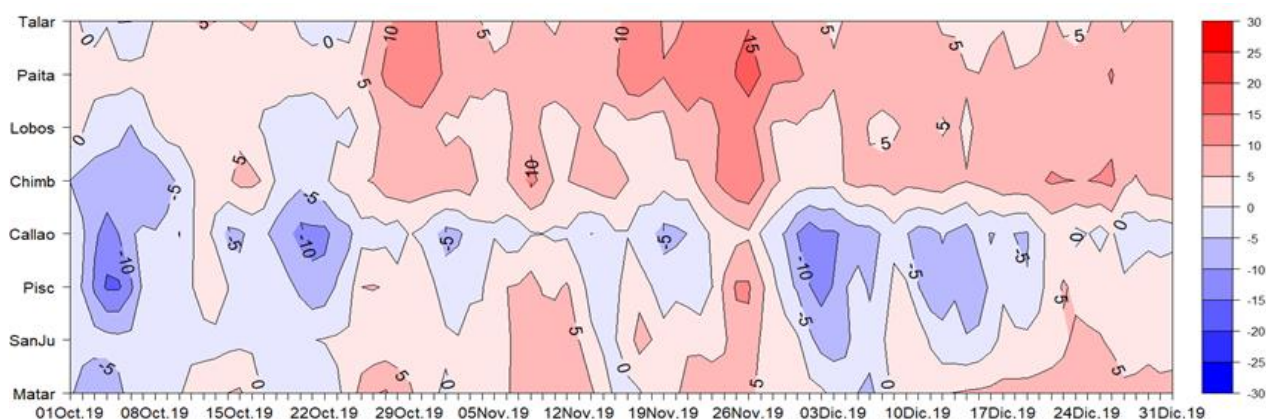


Figura 3.2.4.7. Diagrama Hovmöller de las anomalías del nivel medio del mar en el litoral de Perú. De octubre hasta diciembre de 2019. Climatología 1981 – 2010 DIHIDRONAV Fuente: DIHIDRONAV.

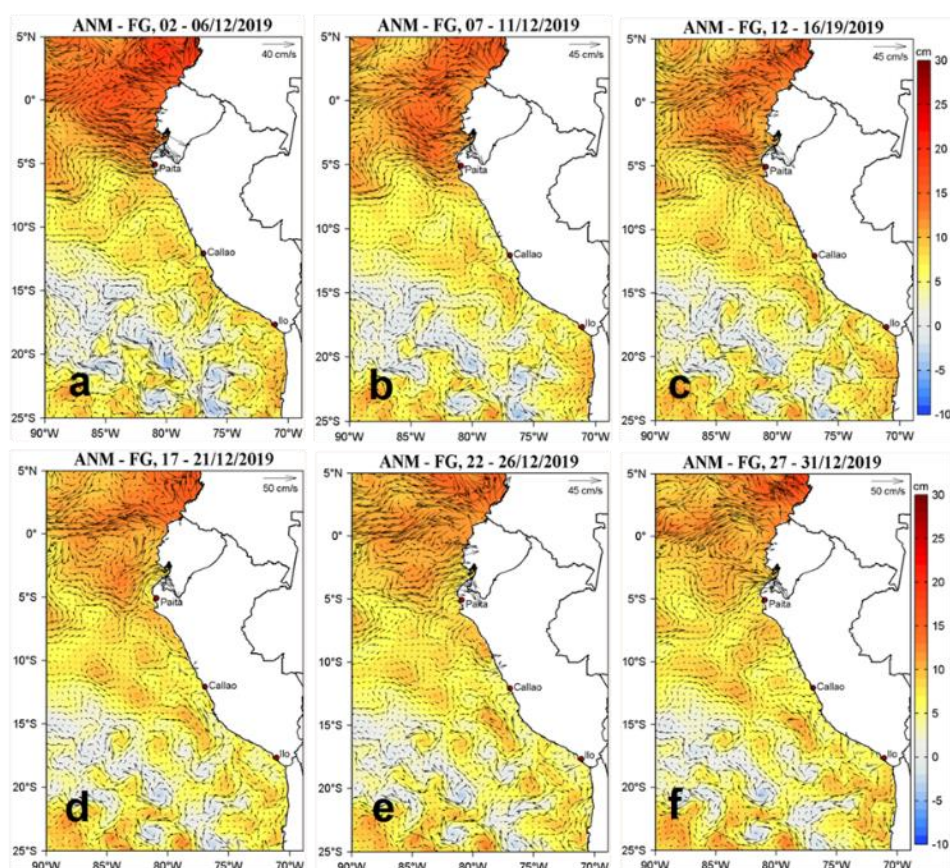


Figura 3.2.4.8. Anomalía de altura del nivel medio del mar (cm) y corrientes geostróficas, cada cinco días para todo el mes de diciembre de 2019. Fuente: CMEMS, Procesamiento: IMARPE.

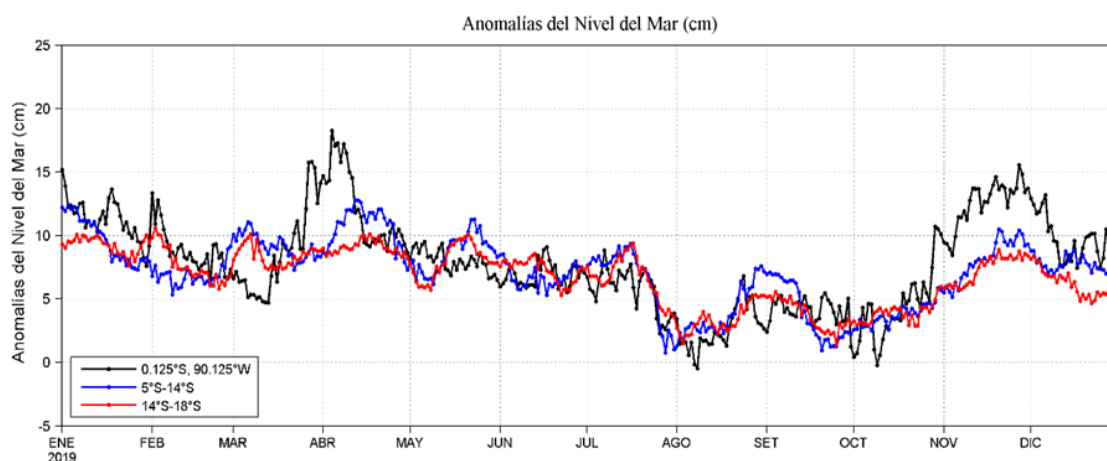


Figura 3.2.4.9. Variación temporal de la ANMM, dentro de las 60mn de la costa y en la zona de Galápagos, durante un año hasta el 31 de diciembre de 2019. Fuente: CMEMS, Procesamiento: IMARPE.

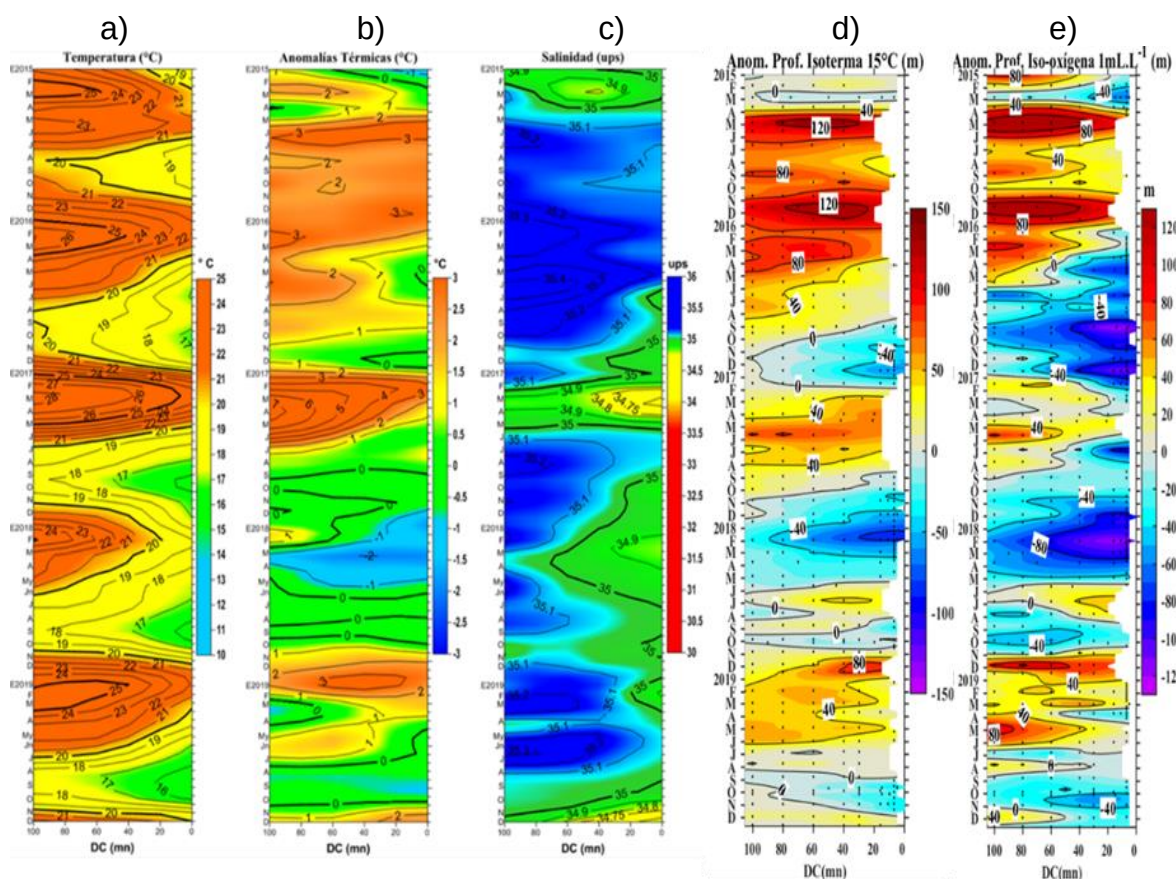


Figura 3.2.5.1. Diagrama Hovmöller de a) TSM, b) ATSM, c) SSM, d) ASSM, y e) Profundidad de la iso-oxigena de 1 mL.L⁻¹ (m) de las secciones verticales frente a Paíta, registrado desde enero del 2015 hasta diciembre de 2019.

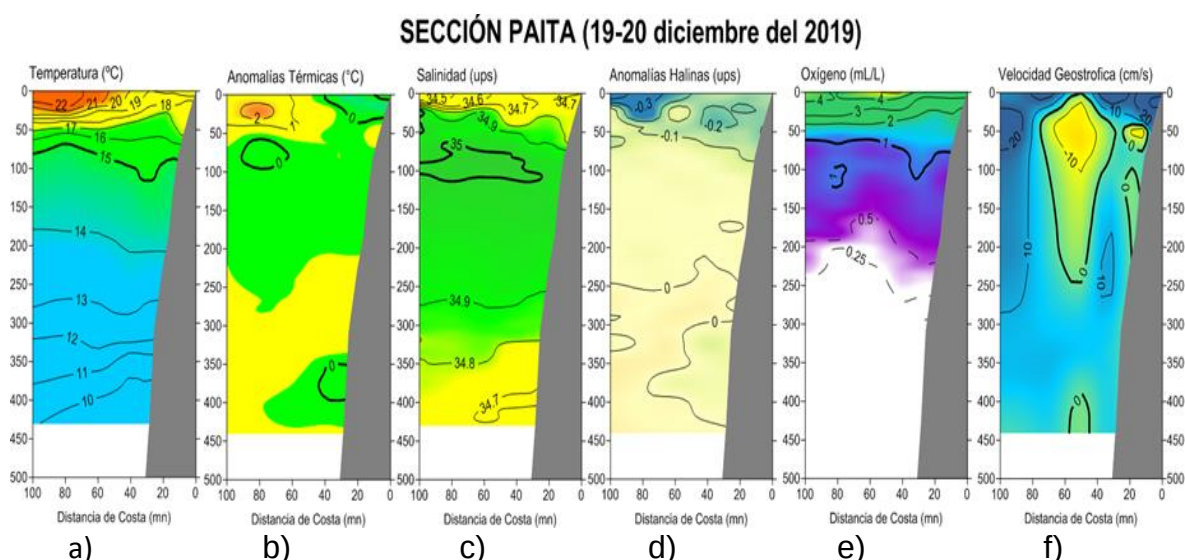


Figura 3.2.5.2. Distribución vertical de: a) temperatura (°C), b) anomalía de temperatura (°C), c) salinidad (ups), d) anomalía de salinidad (ups), e) oxígeno (mL.L⁻¹) y f) velocidad geostrófica (cm/s) frente a Paíta, realizada durante el 19 y 20 de diciembre de 2019. Fuente: IMARPE.

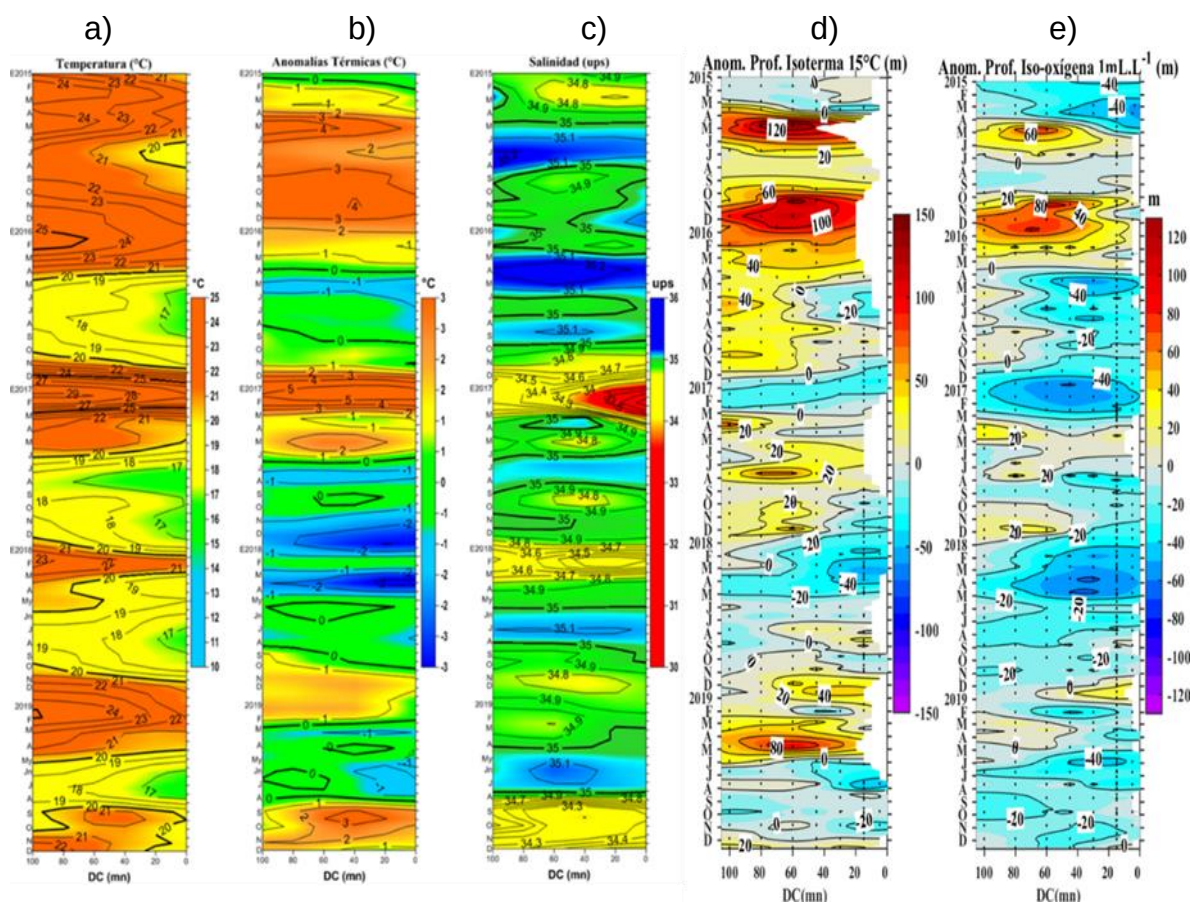


Figura 3.2.5.3. Diagrama Hovmöller de a) TSM, b) ATSM, c) SSM, d) profundidad de la isoterma de 15°C (m) y e) Profundidad de la iso-oxigena de 1 mL.L⁻¹ (m) de las secciones verticales frente a Chicama, registrado desde enero del 2015 hasta diciembre de 2019.

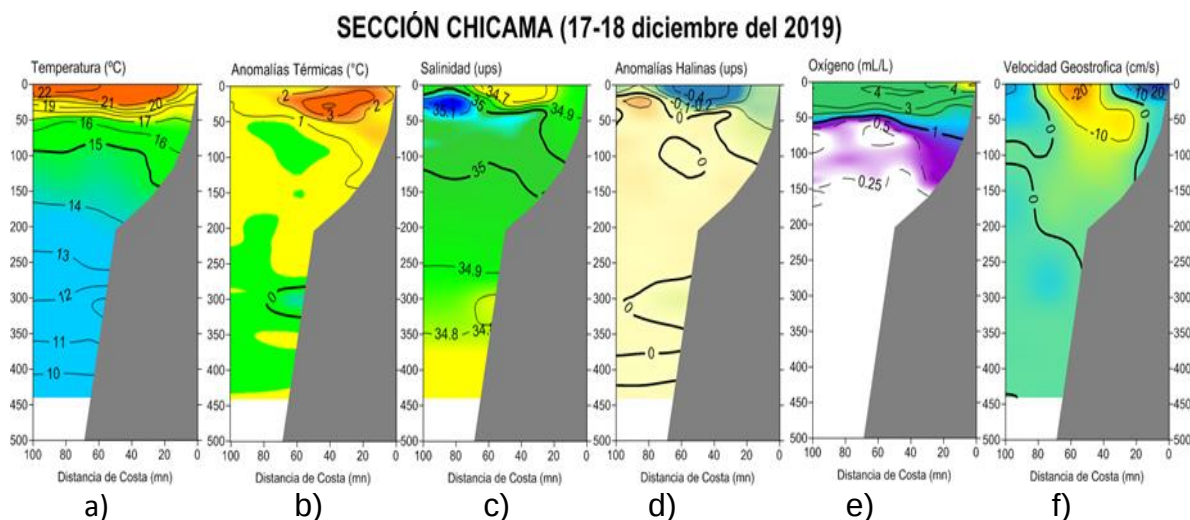


Figura 3.2.5.4. Distribución vertical de: a) Temperatura superficial del mar (°C), b) Anomalía de temperatura superficial del mar (°C), c) Salinidad superficial del mar (ups), d) Anomalía de salinidad superficial del mar (ups), e) Oxígeno (mL.L⁻¹) y f) Velocidad geostrofica (cm/s) frente a Chicama, realizada durante el 17 y 18 de diciembre de 2019. Fuente: IMARPE.

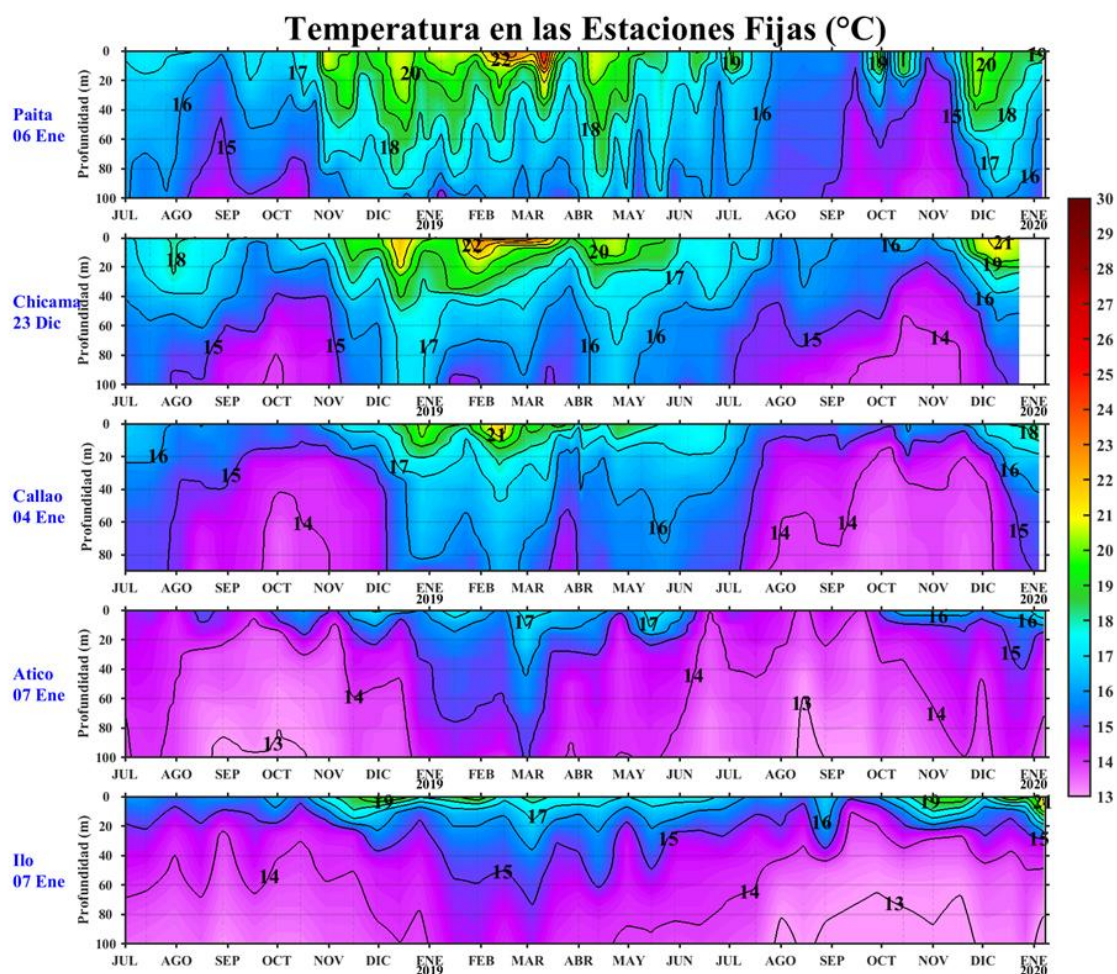


Figura 3.2.5.5. Series de tiempo, de julio de 2018 a primeros días de enero del 2020, de la estructura térmica vertical (°C) en las Estaciones Fijas de: Paíta, Chicama, Callao, Atico e Ilo.

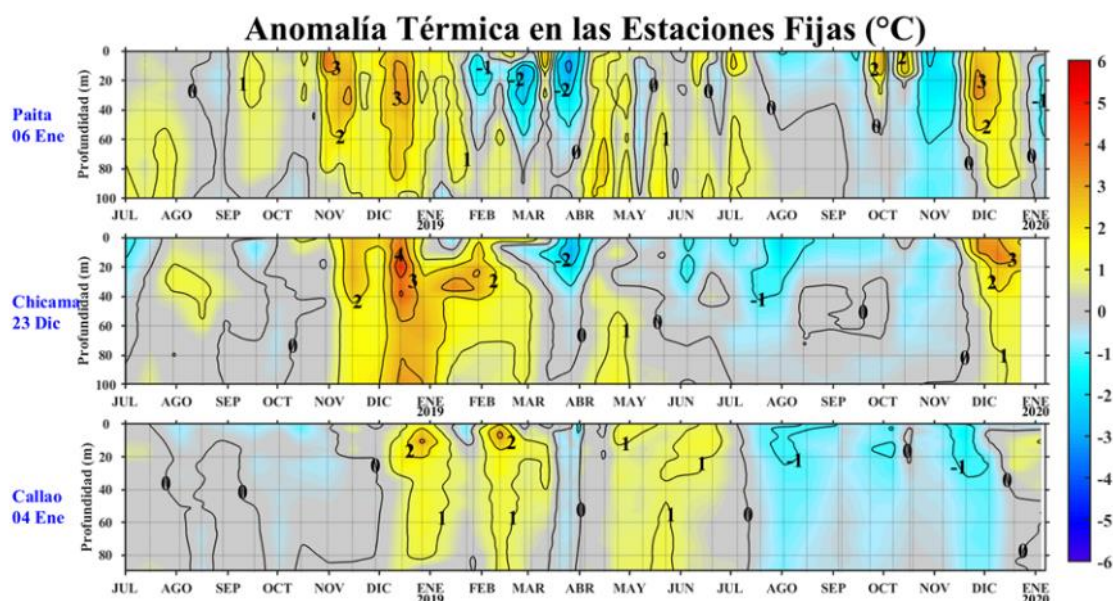


Figura 3.2.5.6. Series de tiempo, de julio de 2018 a primeros días de enero del 2020, de la anomalía térmica vertical (°C) en las Estaciones Fijas de: Paita, Chicama y Callao.

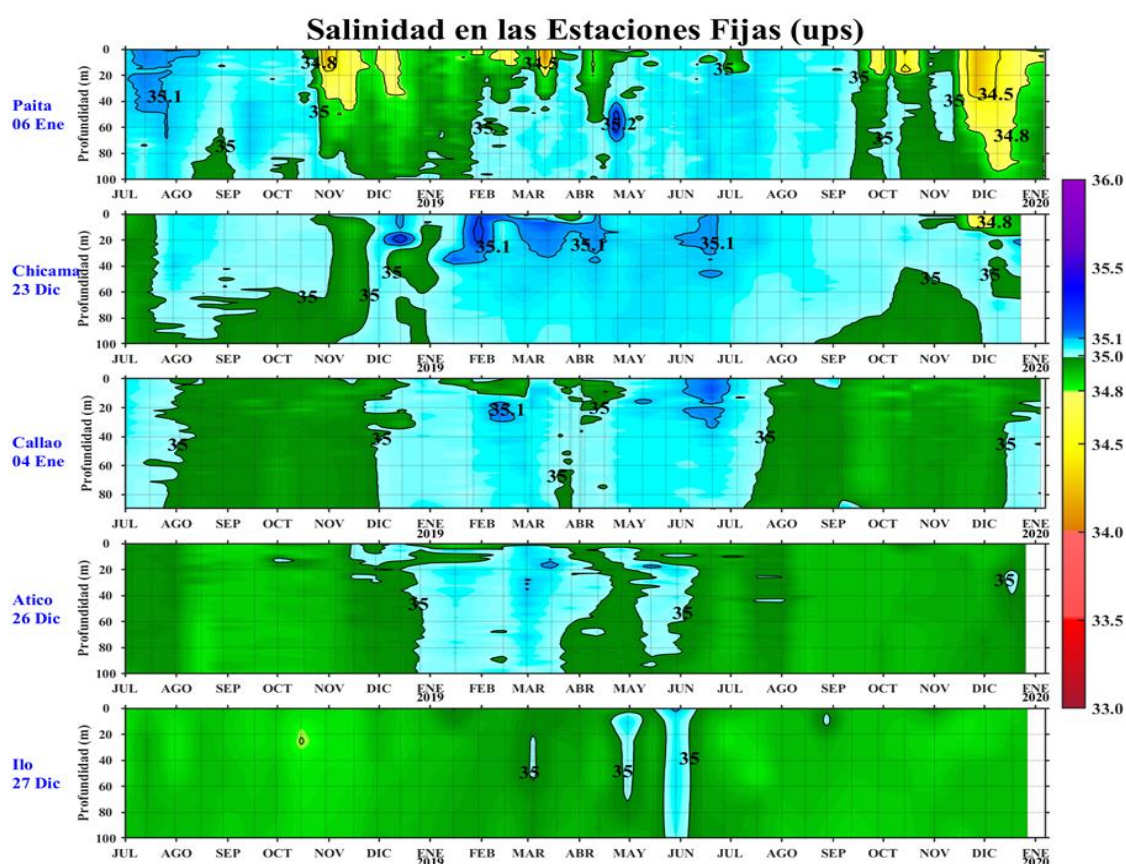


Figura 3.2.5.7. Series de tiempo, de julio de 2018 a primeros días de enero del 2020, de la salinidad del agua de mar (ups) en las Estaciones Fijas de: Paita, Chicama, Callao, Atico e Ilo.

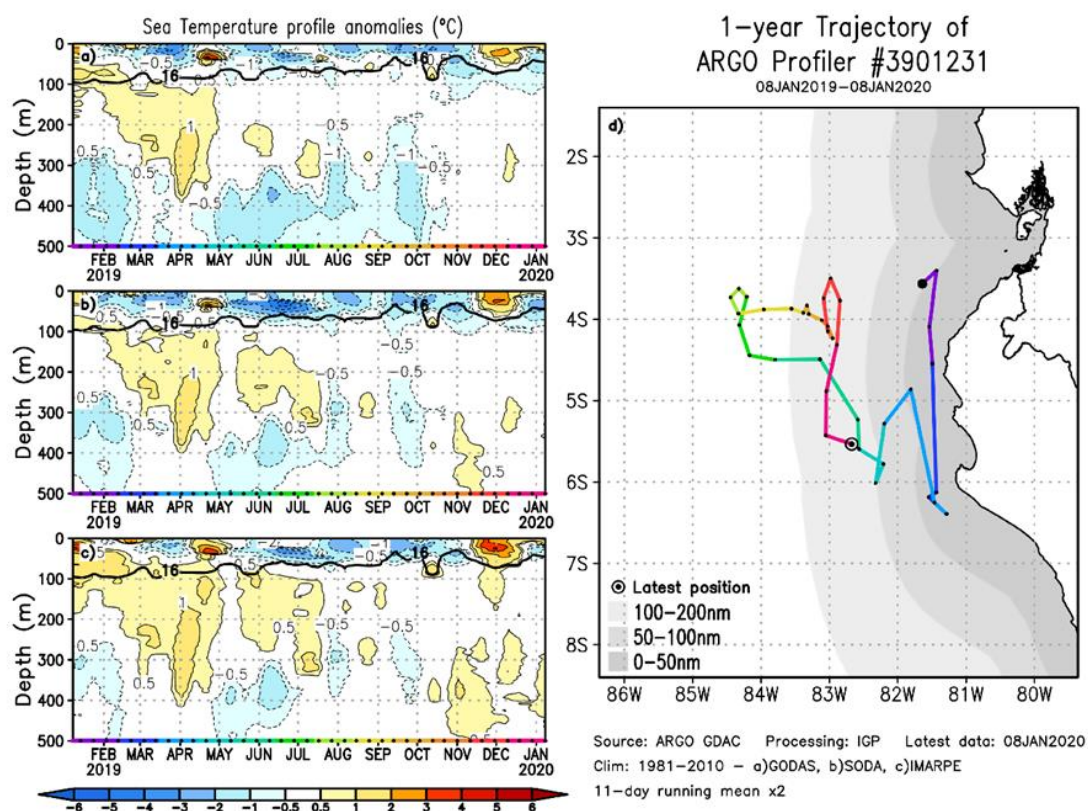


Figura 3.2.5.8. (Izquierda) Perfiles verticales de anomalía de la temperatura del mar hasta los 500 metros de profundidad calculada de los datos del flotador ARGO No. 3901231. Esta anomalía se calcula en base a la climatología (1981-2010) de: (a) GODAS, (b) SODA e (c) IMARPE. (Derecha) Trayectoria del flotador en el último año. Cada color indica un periodo de aproximadamente 30 días, en donde el círculo abierto indica la última posición del flotador.

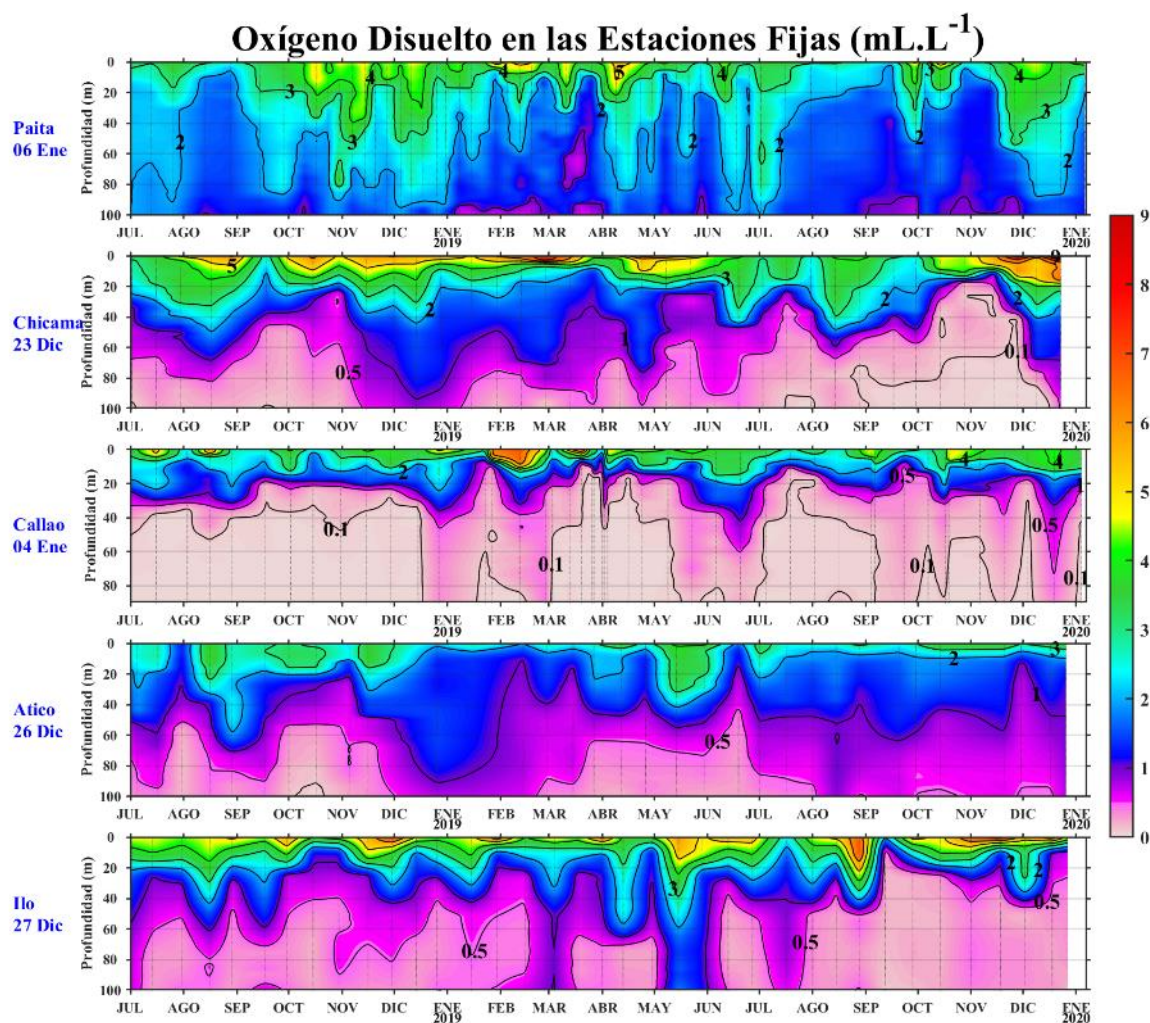


Figura 3.2.6.1. Series de tiempo, de julio de 2018 a diciembre de 2019, de la concentración de oxígeno disuelto (mL.L⁻¹) en las Estaciones Fijas de Paíta, Chicama, Callao, Atico e Ilo.

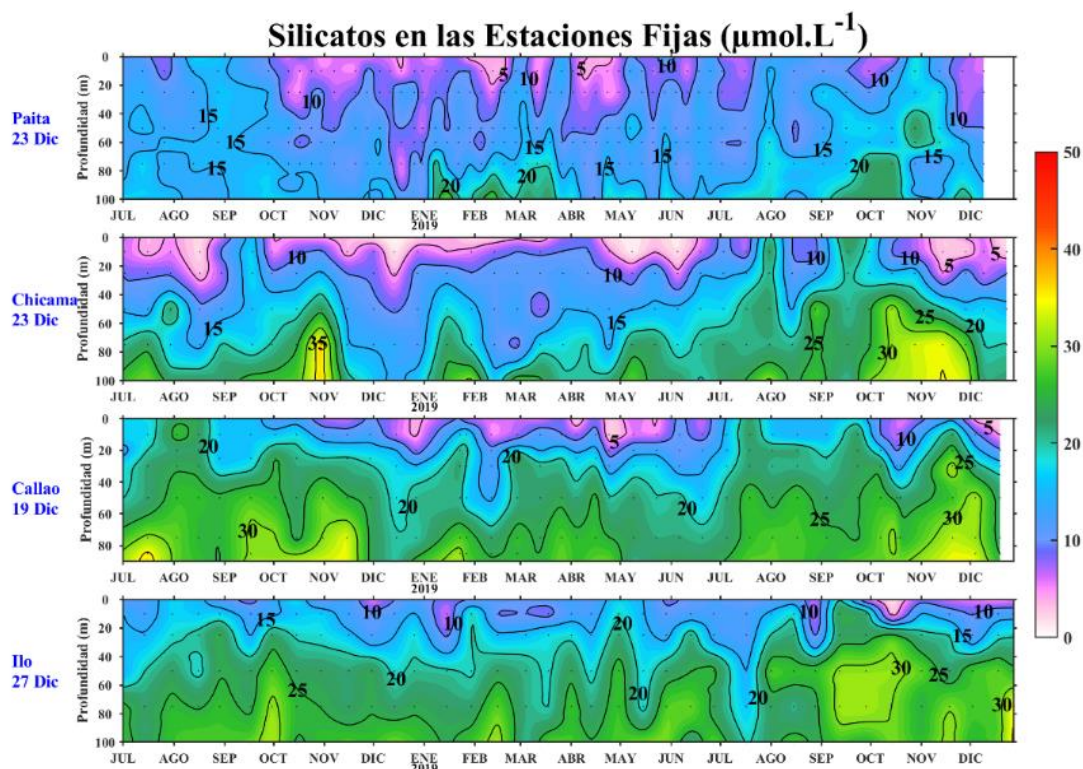


Figura 3.2.6.2. Concentración de silicatos en $\mu\text{mol L}^{-1}$ en las Estaciones Fijas de: Paita, Chicama, Callao e Ilo de IMARPE entre julio 2018 a diciembre 2019.

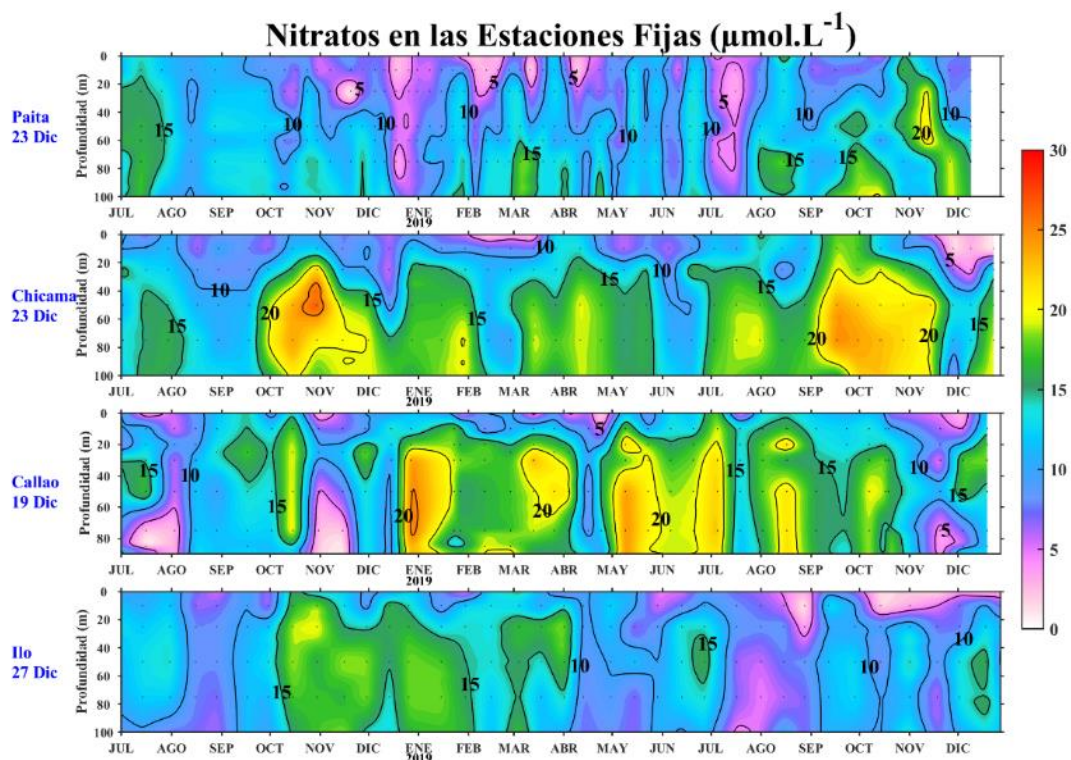


Figura 3.2.6.3. Concentración de nitratos en $\mu\text{mol L}^{-1}$ en las Estaciones Fijas de: Paita, Chicama, Callao e Ilo de IMARPE entre julio 2018 a diciembre 2019.

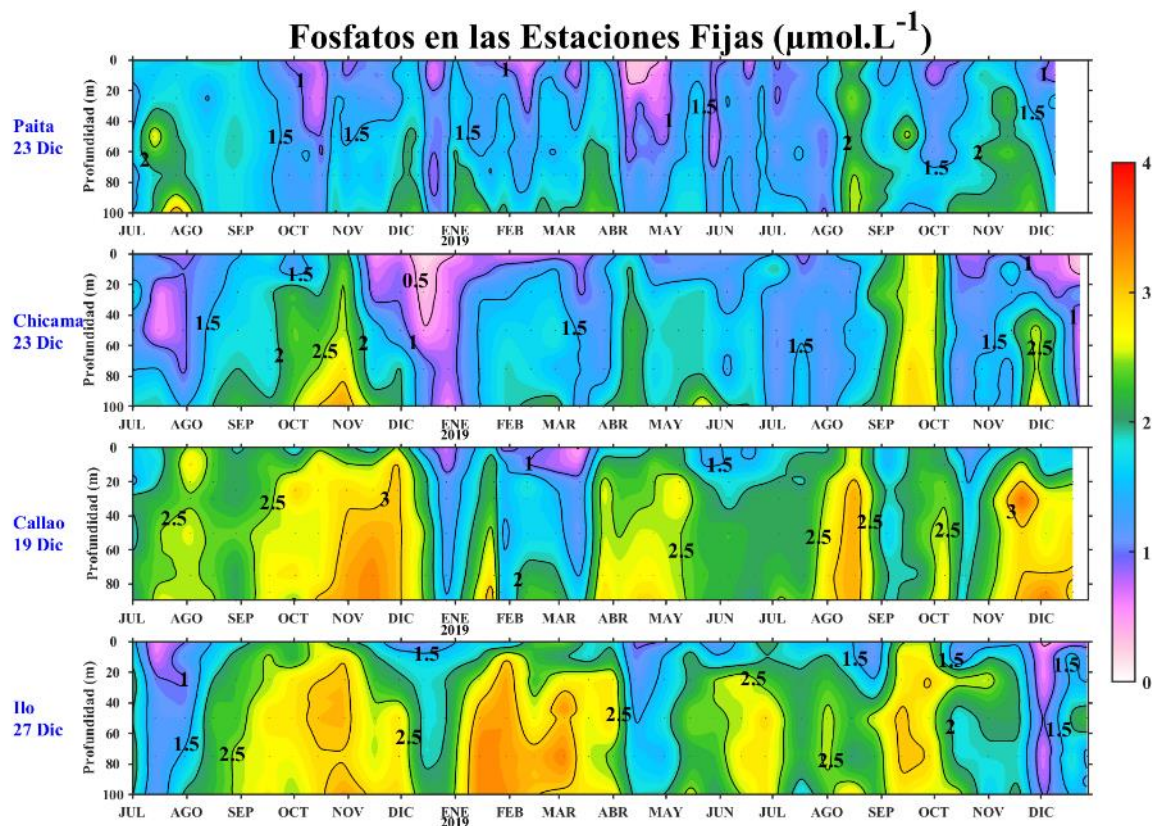


Figura 3.2.6.4. Concentración de fosfatos en $\mu\text{mol L}^{-1}$ en las Estaciones Fijas de: Paita, Chicama, Callao e Ilo de IMARPE entre julio 2018 a diciembre 2019.

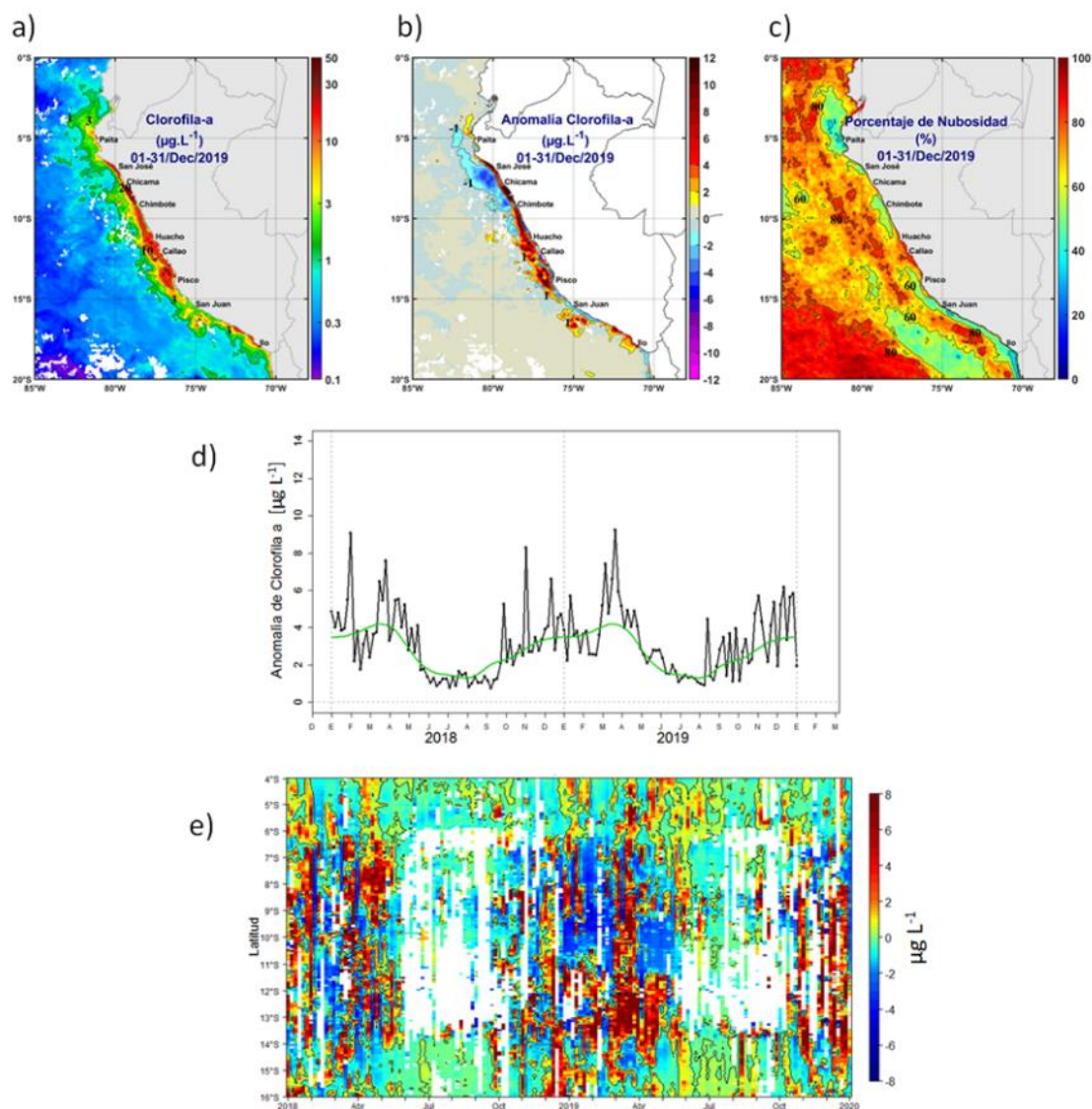


Figura 3.2.6.5. Mapa de la concentración (a) y anomalía (b) de la clorofila-a obtenida del satélite MODIS-AQUA, VIIRS-SNPP durante diciembre de 2019. Número de días con nubes en (c). Serie de tiempo (d) para 4 °S-16 °S y dentro de los 100 km de la costa, de las concentraciones de clorofila-a satelital (línea negra) y su climatología (línea verde) proveniente de MODIS (en $\mu\text{g L}^{-1}$); y (e) Diagrama Hovmöller de las anomalías de clorofila-a con respecto a la latitud.

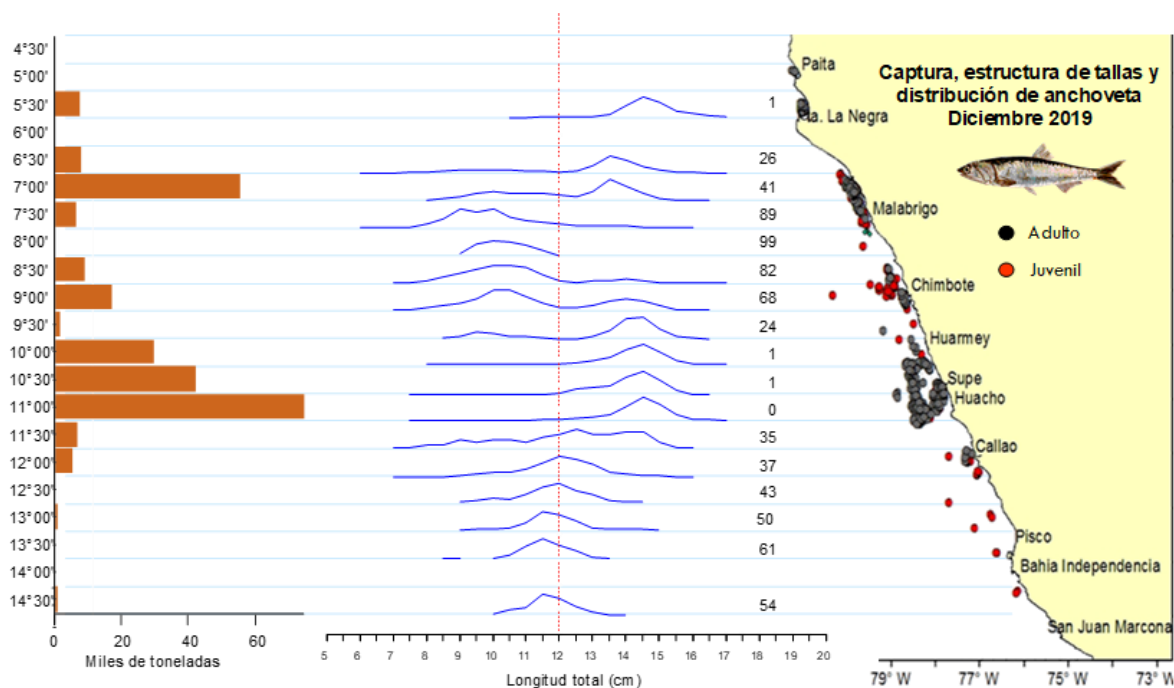


Figura 3.2.7.1. Captura (t), estructura de tallas según latitud (°S) y distribución de anchoveta durante diciembre 2019 en la región norte – centro. Fuente: PBP/ADPERP/DGIRP/IMARPE.

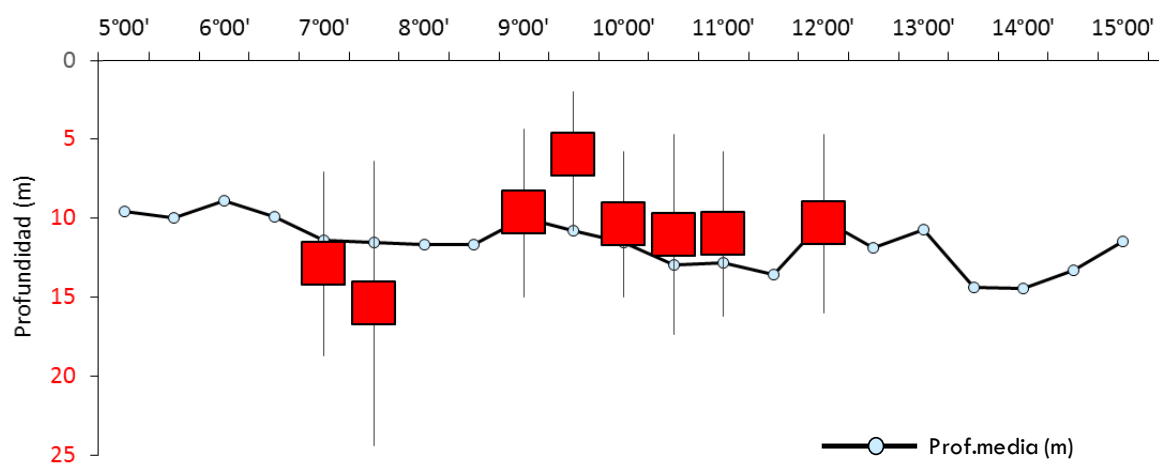


Figura 3.2.7.2. Distribución vertical de cardumen de anchoveta durante diciembre 2019 en la región norte – centro.



Figura 3.2.7.3. Variación latitudinal mensual de la composición por especies de la dieta del guanay a lo largo de la costa durante octubre - diciembre del 2019. Donde MC: Isla Macabí, GN: Isla Guañape, MZ: Isla Mazorcas, PE: Isla Pescadores, BA: Isla Ballestas, SJ: Punta San Juan y PC: Punta Coles.

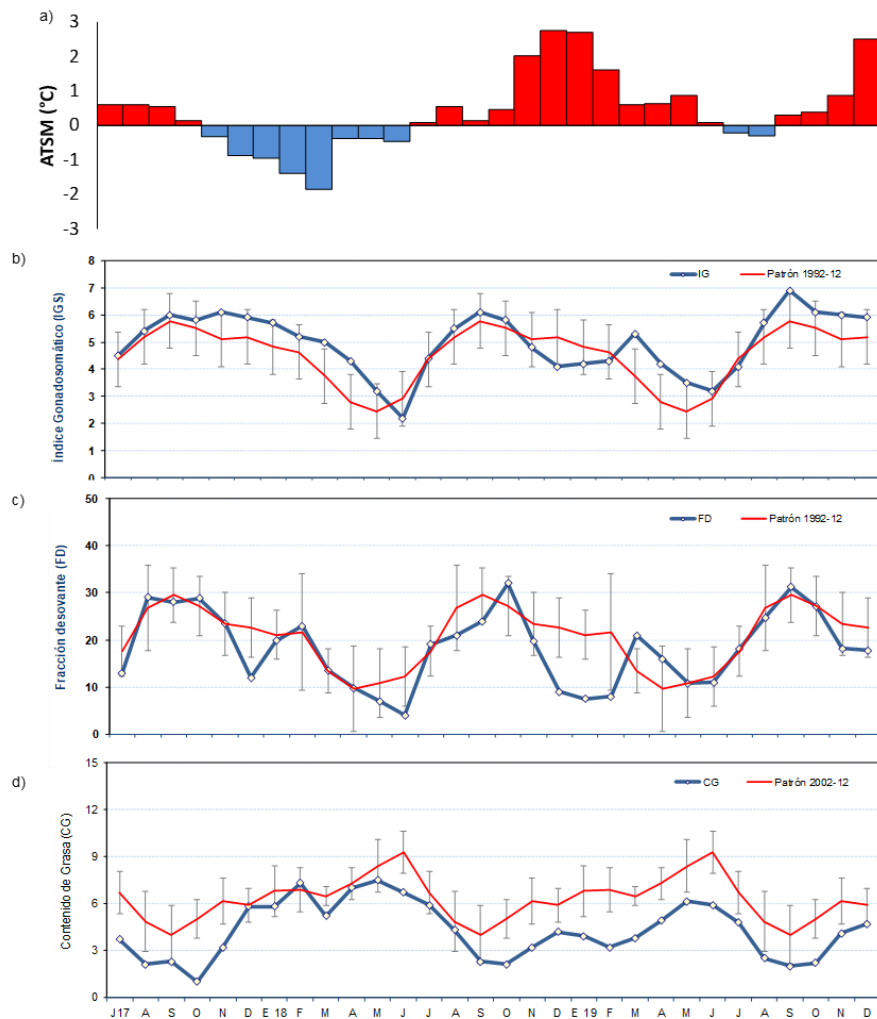


Figura 3.2.7.4. a) Anomalía de la TSM (°C) en Chicama. Indicadores reproductivos: b) Índice Gonadosomático (IGS), c) Fracción Desovante (FD) y d) contenido graso del stock norte–centro del recurso anchoveta. Serie mensual: julio 2017 – diciembre 2019.
 Fuente: LBR/AFIRNP/DGIRP/IMARPE.

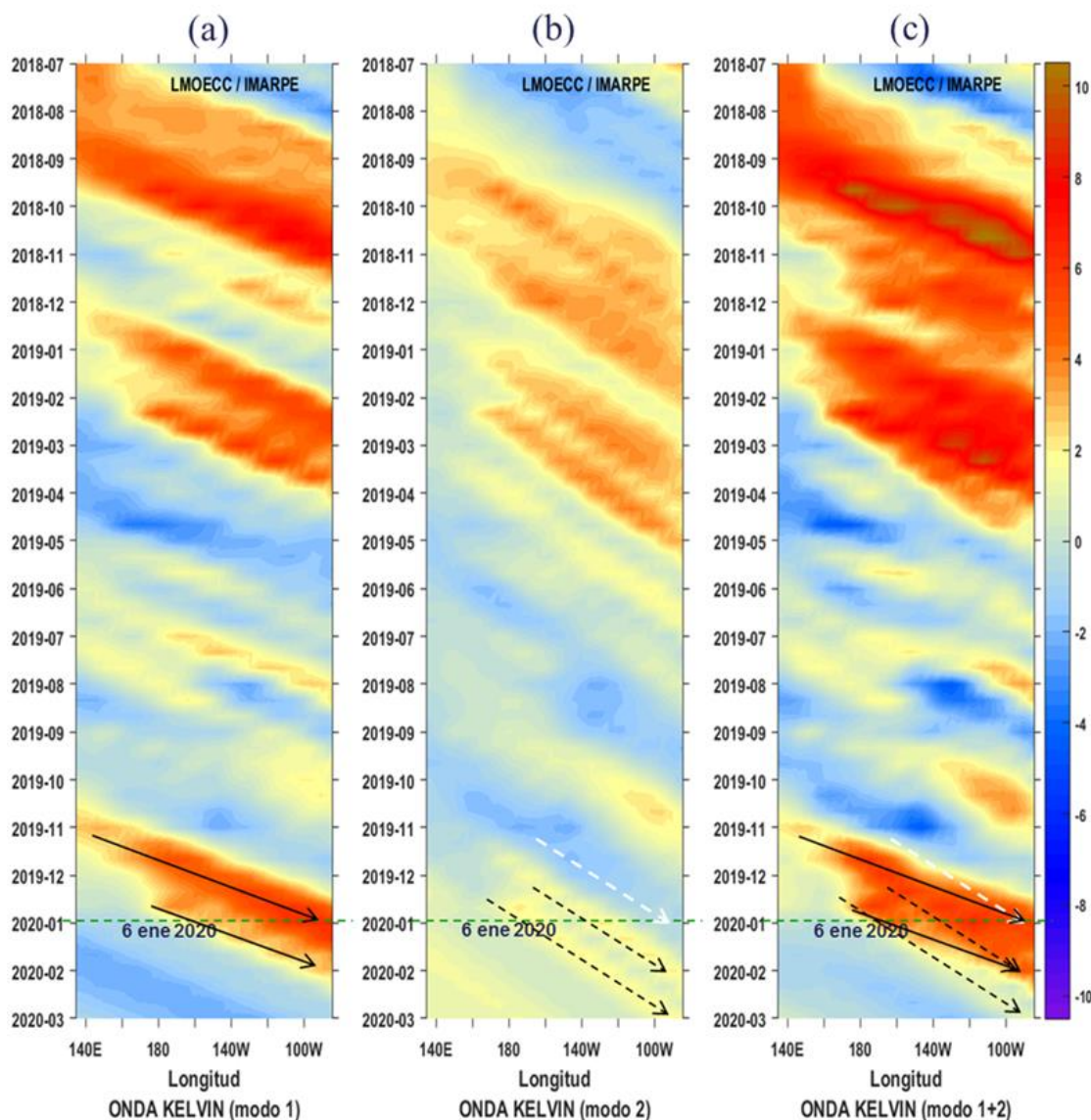


Figura 4.2.1. Diagrama Hovmöller de longitud-tiempo de las ondas Kelvin oceánicas en el Pacífico ecuatorial: (a) Modo 1, (b) Modo 2, (c) Modo 1+ Modo 2. El modelo fue forzado con información de NCEP. La línea discontinua horizontal de color verde indica el inicio del pronóstico sin el forzante de viento. Fuente: IMARPE.

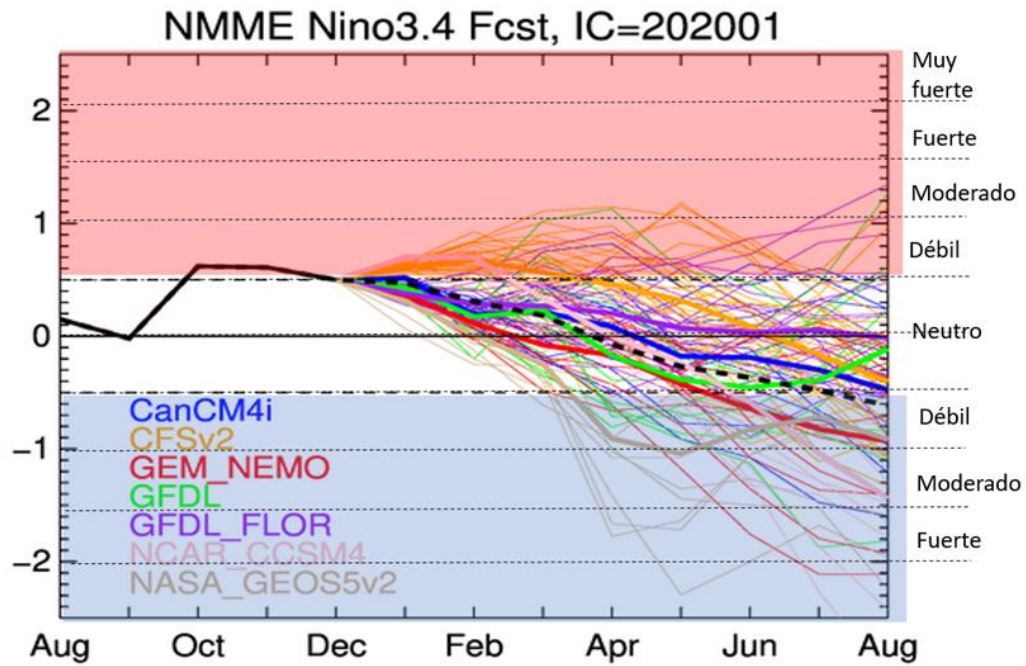


Figura 4.2.2. Índice Niño 3.4 mensual observado (línea negra continua) y pronosticado por los modelos de NMME. Los pronósticos de los modelos numéricos son indicados con líneas de distinto color mientras que el promedio de estos se grafica con una línea negra entrecortada. Fuente: CPC/NCEP/NOAA.

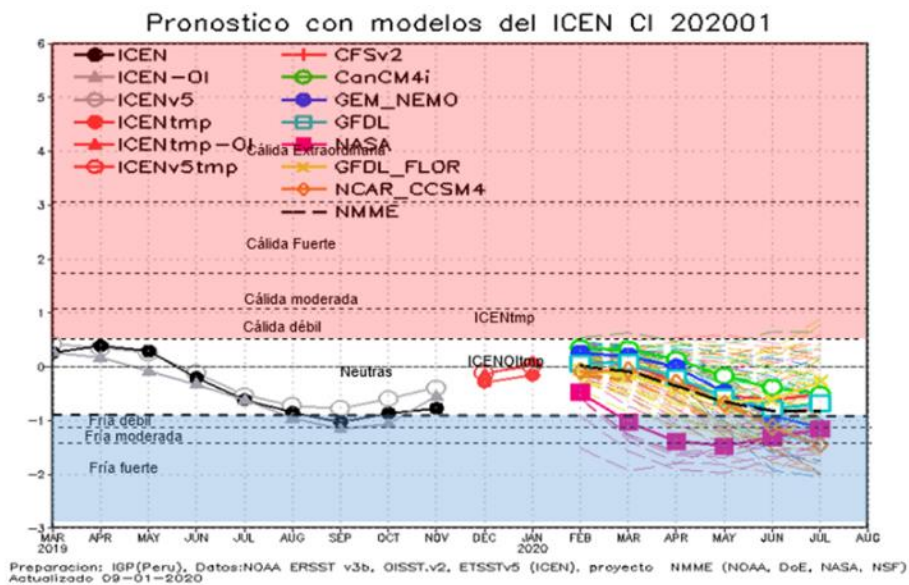


Figura 4.2.3. Índice Costero El Niño (ICEN, línea negra con círculos y triángulos llenos) y su valor temporal (ICENTmp, línea roja con círculo y triángulo lleno). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de 3 meses de las anomalías pronosticadas de la TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Los pronósticos de los modelos CFSv2, CMC1, CMC2, GFDL, NASA, GFDL_FLOR y NCAR_CCSM4 tienen como condición inicial del mes de enero de 2020. Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME.

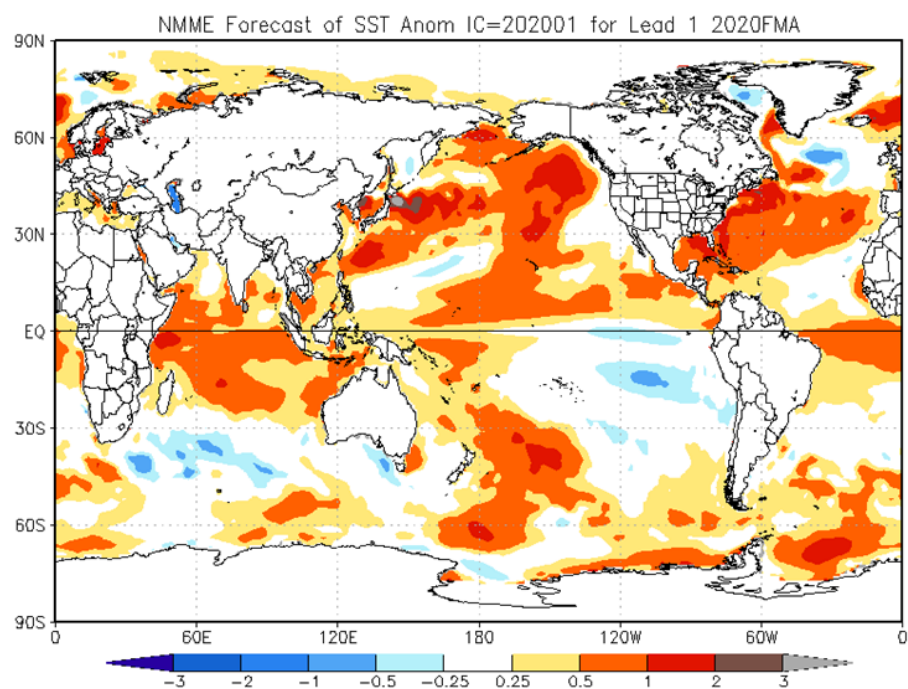


Figura 4.2.4. Pronóstico probabilístico de la anomalía de la TSM (calibrados) para febrero-abril del 2020 por el promedio de los modelos de NMME inicializados en enero de 2019. Fuente: NMME.

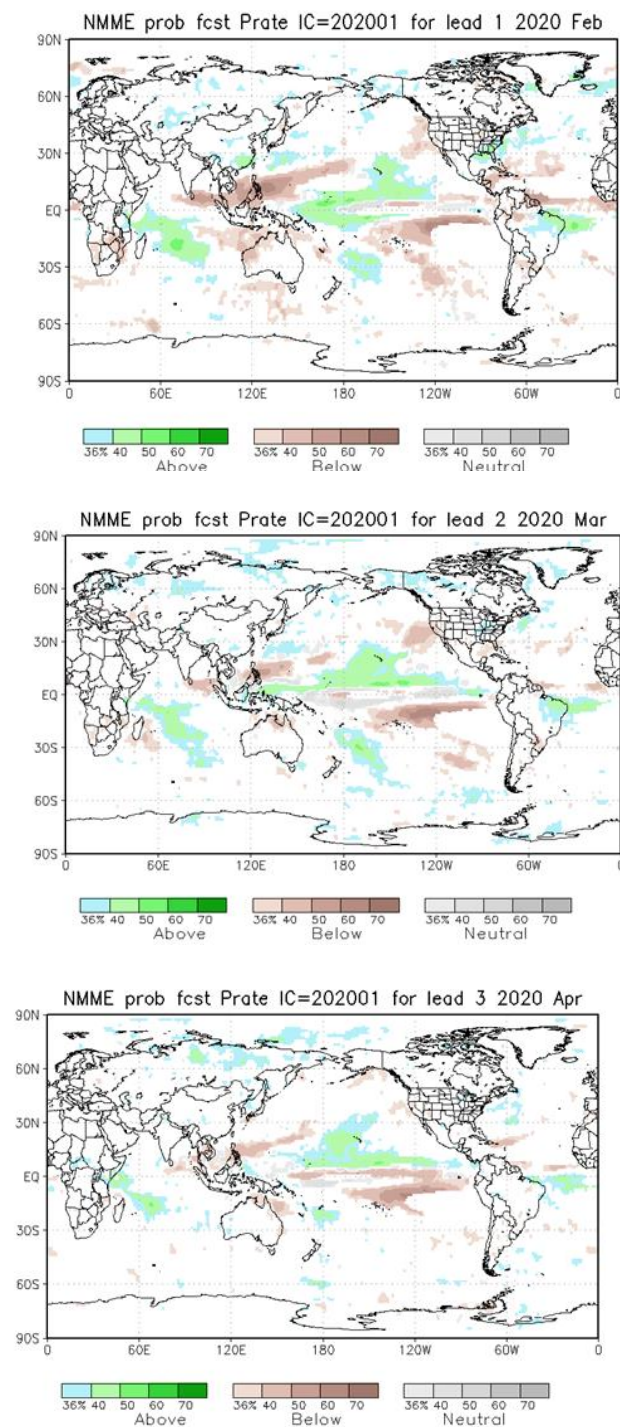


Figura 4.2.5 Pronóstico probabilístico de precipitación (calibrados) para el trimestre febrero-abril de 2020 por modelos de NMME, inicializado en diciembre de 2019. Fuente: NMME.

Tabla 3.1.4.1. Valores del Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) y el Índice Costero El Niño (ICEN) de marzo a noviembre de 2019, así como sus valores temporales para diciembre de 2019 y enero de 2020. Fuente IGP.

Valores del Índice Costero El Niño							ONI	
Mes	ICEN v3	Categoría	ICENOI	Categoría	ICEN v5	Categoría	ONI	Categoría
03/2019	0.25	Neutro	0.26	Neutro	0.41	C. Débil	0.82	C. Débil
04/2019	0.38	Neutro	0.16	Neutro	0.34	Neutro	0.76	C. Débil
05/2019	0.28	Neutro	-0.09	Neutro	0.25	Neutro	0.66	C. Débil
06/2019	-0.21	Neutro	-0.33	Neutro	-0.12	Neutro	0.54	C. Débil
07/2019	-0.62	Neutro	-0.63	Neutro	-0.54	Neutro	0.32	Neutro
08/2019	-0.86	Neutro	-0.97	Neutro	-0.73	Neutro	0.10	Neutro
09/2019	-1.03	Fría Débil	-1.16	Fría Débil	-0.78	Neutro	0.14	Neutro
10/2019	-0.87	Neutro	-1.07	Fría Débil	-0.60	Neutro	0.30	Neutro
11/2019	-0.78	Neutro	-0.56	Neutro	-0.40	Neutro	0.46	Neutro
Mes	ICENtmp	Categoría	ICENtmp	Categoría	ICENtmp	Categoría	ONItmp	Categoría
12/2019	-0.30	Neutro	-0.16	Neutro	-0.12	Neutro	0.54	C. Débil
01/2020	-0.16	Neutro	0.08	Neutro	0.01	Neutro	0.44	Neutro

Tabla 3.2.4.2. Anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar (°C) y del nivel medio del mar (cm) en el periodo que va de setiembre hasta diciembre de 2019. Fuente:

Estación	ATSM 2019				ANMM 2019			
	Set	Oct	Nov	Dic	Set	Oct	Nov	Dic
Talara	-0.2	0.2	1.4	1.4	1.0	2.2	8.8	8.8
Paita	1.1	1.2	1.8	1.8	-	9.0	10.3	10.3
Isla Lobos de Afuera	-0.3	-0.8	0.1	0.1	-	0.6	5.3	5.3
Salaverry	-	-0.2	0.4	0.4	-	-	-	-
Chimbote	-0.9	-0.1	0.6	0.6	-8.0	-0.1	6.7	6.7
Callao	0.7	1.0	0.6	0.6	-6.0	-5.1	-2.5	-2.5
San Juan	0.4	0.7	0.1	0.1	-	-	-	-
Mollendo	0.2	0.2	0.4	0.4	-1.0	0.2	4.4	-0.5*
Ilo	-0.2	0.4	0.9	0.9	-	-	-	-

Estaciones costeras – DHN.

Tabla 4.2.1. Pronóstico del ONI por los modelos de NMME (promedios trimestrales de los pronósticos de las anomalías de la TSM en la región Niño 3.4).

	NDE	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA
CFS2		0.62	0.62	0.57	0.44	0.28	0.07	-0.18
CanCM4i		0.41	0.30	0.15	0.02	-0.12	-0.25	-0.34
GEM_NEMO		0.34	0.13	-0.06	-0.24	-0.44	-0.66	-0.83
GFDL		0.38	0.27	0.05	-0.14	-0.38	-0.44	-0.33
NASA		0.27	-0.01	-0.44	-0.79	-0.97	-0.87	-0.81
GFDL_FLOR		0.41	0.32	0.27	0.20	0.13	0.08	0.06
NCAR_CCSM4		0.66	0.59	0.35	0.02	-0.30	-0.66	-1.07
NMME		0.44	0.32	0.13	-0.07	-0.26	-0.39	-0.50
ONItmp	0.51							

Tabla 4.2.2. Pronóstico del ICEN por los modelos de NMME (promedios trimestrales de los pronósticos de las anomalías de la TSM en la región Niño 1+2)

Modelo	NDE	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA
CFS2		-0.16	0.08	0.05	-0.27	-0.54	-0.61	-0.52
CanCM4i		0.03	0.35	0.33	0.14	-0.17	-0.39	-0.51
GEM_NEMO		-0.04	0.26	0.20	-0.01	-0.47	-0.92	-1.14
GFDL		-0.16	0.06	0.08	-0.20	-0.56	-0.78	-0.68
NASA		-0.30	-0.47	-1.03	-1.38	-1.47	-1.32	-1.16
GFDL_FLOR		-0.22	-0.06	-0.15	-0.43	-0.66	-0.61	-0.28
NCAR_CCSM4		-0.29	-0.08	-0.07	-0.29	-0.68	-1.13	-1.45
NMME		-0.16	0.02	-0.08	-0.35	-0.65	-0.82	-0.82
ICENtmp	-0.30							