



# UNIVERSIDAD NACIONAL "PEDRO RUIZ GALLO"



**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE FÍSICA**

**"CARACTERIZACIÓN ESTACIONAL E INTERANUAL DEL  
GRADIENTE TÉRMICO FRENTE A LA COSTA DE LA REGIÓN  
LAMBAYEQUE, A PARTIR DE LAS IMÁGENES SATELITALES DE LA  
TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR 1981 - 2015."**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:  
LICENCIADO EN FÍSICA**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. Fís. CIEZA TORRES, Kelgüin Iván**

**Bach. Fís. CORNETERO SUYBATE, Javier Antonio**

**ASESOR:**

**Ing. UCEDA PISFIL, Guillermo**

**Enero 2017**

**Lambayeque – PERÚ**

**UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”**  
**Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas**  
**Escuela Profesional de Física**

Los firmantes, por la presente certifican que han leído y recomiendan a la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas la aceptación de la tesis **“Caracterización Estacional e Interanual del Gradiente Térmico Frente a la Costa de la Región Lambayeque, a Partir de las Imágenes Satelitales de la Temperatura Superficial del Mar 1981 - 2015.”**, presentado por los Bachilleres **Cieza Torres, Kelgüin Iván** y **Cornetero Suybate, Javier Antonio** en cumplimiento de los requisitos necesarios para obtener el Título Profesional de Licenciado en Física.

---

M. Sc. Alejandro Wilson Rodríguez La Barrera

**Presidente**

---

Lic. Fis. Francisco García Roque

**Secretario**

---

Lic. Fis. Francisco Solano Salazar Ordinola

**Vocal**

Fecha de sustentación, 25 de Enero del 2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”**  
**Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas**  
**Escuela Profesional de Física**

***“Caracterización Estacional e Interanual del Gradiente  
Térmico Frente a la Costa de la Región Lambayeque, a Partir  
de las Imágenes Satelitales de la Temperatura Superficial del  
Mar 1981 - 2015.”***

---

**Bach. Fís. Cieza Torres, Kelgüin Iván**  
**Autor**



---

**Bach. Fís. Cornetero Suybate, Javier Antonio**  
**Autor**

---

**Ing. Uceda Pisfil, Guillermo**  
**Asesor**

**Enero 2017**  
**Lambayeque – PERÚ**

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mis padres y hermanos, por su amor, paciencia, comprensión y apoyo incondicional para terminar mi carrera.

**Kelgüin Iván**



El presente trabajo de investigación va dedicado de una manera muy especial a mis padres, por ser los mejores maestros que Dios me pudo brindar; a mis hermanas, por su amor, paciencia, comprensión y apoyo incondicional para terminar mi carrera.

**Javier Antonio**

## AGRADECIMIENTO

Este trabajo de investigación fue una experiencia inolvidable, ya que nos permitió trabajar en conjunto, fortalecer nuestra amistad y sobre todo proporcionarnos la satisfacción de haber aportado al conocimiento científico, en especial en el campo de las ciencias físicas; sin embargo, no habría sido posible realizarlo sin la participación de personas e instituciones que estuvieron apoyándonos durante el desarrollo de nuestra tesis de los cuales hacemos mención.

A Dios por darnos la vida y las fuerzas para seguir cada día adelante, y darnos la oportunidad de llegar hasta donde hemos llegado, haciendo realidad este sueño anhelado.

A nuestros padres, hermanos y amigos, por su apoyo incondicional durante nuestra formación universitaria, y en esta última etapa profesional.

A la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, por darnos la oportunidad de estudiar y ser profesionales.

A nuestros profesores de la Escuela de Física de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, porque todos aportaron con un granito de arena en nuestra formación, en especial por sus enseñanzas y sobre todo por su amistad.

A nuestro asesor de Tesis, Ms. Jacinto Guillermo Uceda Pisfil por el apoyo y asesoramiento durante el desarrollo de nuestro proyecto de tesis.

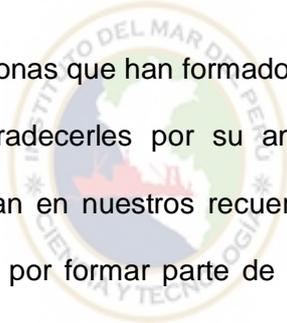
Al Laboratorio Costero de Santa Rosa del Instituto del Mar del Perú (IMARPE), que nos facilitó la información (imágenes satelitales y datos in-situ de la temperatura superficial del mar), necesaria para desarrollar nuestra tesis, y por el apoyo brindado a través de sus profesionales en el desarrollo de nuestros análisis, por permitirnos conocer de cerca el trabajo que realizan en la Región Lambayeque (como por ejemplo el

monitoreo de las temperaturas del mar en la caleta San José, a través del Técnico Pesquero David Sarmiento Barturén).

Al Ing. Jaime de la Cruz Galloso, investigador del Laboratorio Costero de IMARPE Santa Rosa, porque durante su gestión como director del Laboratorio nos facilitó el acceso a la información necesaria para el desarrollo de nuestra tesis.

Por último y de manera muy especial, nuestro agradecimiento al Lic. Físico David Correa Chilón, investigador del Laboratorio de Hidro-Física Marina del IMARPE, por su asesoramiento, amistad, paciencia, dedicación, apoyo incondicional y exclusividad de su tiempo para la elaboración de nuestra tesis, y de enseñarnos aspectos fundamentales de la investigación científica, de la física, la oceanografía, y la programación científica (que nos permitió procesar la gran cantidad de información).

Son muchas las personas que han formado parte de nuestra vida profesional a las que nos encantaría agradecerles por su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía, todas ellas quedan en nuestros recuerdos, sin importar en donde estén, queremos darles las gracias por formar parte de nosotros, por todo lo que nos han brindado y por todas sus bendiciones.



## RESUMEN

### ***“Caracterización estacional e interanual del gradiente térmico frente a la costa de la Región Lambayeque, a partir de las imágenes satelitales de la temperatura superficial del mar 1981 - 2015”***

Considerando que Lambayeque frecuentemente es impactado por los eventos anómalos El Niño y La Niña y estos a su vez impactan sobre las diversas actividades socio-económicas de la región, por lo tanto, es indispensable monitorear las condiciones marino – ambientales frente a la costa de Lambayeque.

En el presente trabajo de investigación se analiza la información de la Temperatura Superficial del Mar (TSM), mediante imágenes satelitales de TSM de nivel L3 y L4 a resolución espacial de 4 y 25 km respectivamente, obtenidas del “The Global Ocean Data Assimilation Experiment (GODAE) High Resolution Sea Surface Temperature Pilot Project (GHRSSST-PP)”; con las imágenes satelitales de nivel L3 y resolución espacial de 4 km, se analizó la cobertura de nubes entre los años 1982-1985 y se implementó la metodología de interpolación de análisis objetivo para la recuperación de información faltante de TSM por causa de la cobertura de nubes que se presentan en la zona costera y oceánica; y con las imágenes satelitales de nivel L4 y resolución espacial de 25 km, se analizó la climatología, el gradiente térmico, estacional e interanual frente a la región Lambayeque para los años 1981-2015; también se analizó la data in-situ de la TSM de los años 1991-2015, que se monitorea en la caleta San José, para validar los resultados satelitales.

Procesada la información de la TSM satelital, se llegó a validar la información entre los años 1991-2015, con un coeficiente de correlación de 0.8489; y con una nubosidad que dificulta el registro de la TSM satelital, que es mayor a 65%, en los 12 km de la franja costera; estacionalmente el porcentaje de nubes varia, presentándose 54.3 % para verano, y 34.8% para invierno.

La climatología general de la TSM tiene un valor promedio de 20.50°C, y un rango de variación entre 18.5 - 22.5 °C; la climatología estacional, muestra que en verano varía entre 21 a 25 °C, en otoño entre 19 a 23.5 °C, en invierno varía entre 17 a 20°C, y en primavera varía entre 17 a 21°C; la climatología mensual presenta una temperatura máxima de 23.6°C en el mes de febrero y una mínima de 18.13°C en el mes de setiembre; para el análisis interanual a través de las anomalías de temperatura, se muestra que el evento El Niño de 1982-83 presentó una anomalía máxima de +6.65, el evento El Niño 1997-98 alcanzó una anomalía máxima de +4.47 y los eventos cálidos de 2014-2015 alcanzaron una anomalía de +2.50; para el gradiente térmico general, entre la zona marino costera y oceánica, tiene un promedio de  $1.38 \times 10^{-2} \text{°C/km}$ ; estacionalmente el gradiente térmico varía en un rango entre  $1.12 \times 10^{-2} \text{°C/km}$  en invierno, a  $1.64 \times 10^{-2} \text{°C/km}$  en otoño, mensualmente varía en un rango de  $1.02 \times 10^{-2} \text{°C/km}$  en setiembre a  $1.87 \times 10^{-2} \text{°C/km}$  en abril, durante los eventos El Niño 1982-83 y 1997-98 el gradiente térmico se aproxima a 0°C/km, lo cual estaría asociado al acercamiento de aguas oceánicas hacia la zona costera, frente a Lambayeque.

**Palabras clave:** Imagen satelital, Temperatura Superficial del Mar (TSM), zona costera, zona oceánica.

# CONTENIDO

	Páginas
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>IV</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>V</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>VII</b>
<b>CONTENIDO.....</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>XII</b>
<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>XIV</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
1.1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN PROBLEMÁTICA.....	3
1.3. SITUACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.4. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.4.1. <i>Objetivo General</i> .....	4
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	4
1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.6. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.7. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE INTERÉS.....	5
1.7.1. <i>Área Geográfica</i> .....	5
1.7.2. <i>Área de estudio</i> .....	7
1.7.3. <i>Clima del Borde Costero de Lambayeque</i> .....	8
1.7.4. <i>Oceanografía y Actividad Pesquera</i> .....	10
1.7.5. <i>Hidrografía</i> .....	10
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
2.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	14
2.3. EVENTO “EL NIÑO”.....	18
2.3.1. <i>Como se produce el evento “El Niño”</i> .....	19
2.3.2. <i>El Evento “El Niño” en la Historia del Perú</i> .....	20
2.3.3. <i>Consecuencias de “El Niño” en el Perú</i> .....	21
2.4. EVENTO “LA NIÑA”.....	22
2.5. FENÓMENO DE AFLORAMIENTO.....	23
2.6. PERCEPCIÓN REMOTA O TELEDETECCIÓN.....	25
2.7. PLATAFORMA DE TELEDETECCIÓN TIROS – NOAA.....	27

2.7.1. Radiómetro Avanzado de Muy Alta Resolución (AVHRR) .....	29
2.7.2. Resolución Espacial .....	32
2.7.3. Resolución Temporal.....	32
2.7.4. Los diversos niveles del producto.....	32
<b>3. MATERIALES .....</b>	<b>36</b>
3.1. IMAGEN SATELITAL.....	36
3.2. TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR RECOLECTADA IN-SITU EN LAMBAYEQUE .....	37
3.2.1. Materiales utilizados.....	38
3.2.2. Procedimiento.....	39
<b>4. MÉTODOS.....</b>	<b>42</b>
4.1. METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	42
4.1.1. Climatología Mensual .....	42
4.1.2. Climatología Estacional.....	43
4.1.3. Climatología Interanual .....	44
4.1.4. Cálculo de la anomalía de la TSM.....	45
4.1.5. Interpolación de Análisis Objetivo sobre la TSM .....	45
4.1.6. Cálculo de la frecuencia de la variación de anomalías de la TSM .....	46
4.1.7. Promedio o media muestral.....	47
4.1.8. Desviación estándar.....	47
4.1.9. Gradiente Térmico .....	47
<b>5. RESULTADOS .....</b>	<b>50</b>
5.1. ANÁLISIS DE LA TSM IN-SITU Y SATELITAL .....	50
5.1.1. Variación de la TSM in-situ punto Distrito de San José.....	50
5.1.2. Variación de la TSM satelital punto Distrito de San José.....	51
5.1.3. Comparación y validación de la TSM satelital vs in-situ .....	52
5.2. RECUPERACIÓN DE INFORMACIÓN DE LA TSM SATELITAL POR EFECTOS DE COBERTURA DE NUBES.....	53
5.2.1. Porcentaje Estacional de nubosidad .....	54
5.2.2. Aplicación del método de Interpolación de Análisis Objetivo .....	58
5.3. CLIMATOLOGÍA DE LA TSM FRENTE A LAMBAYEQUE ENTRE 1981 Y 2015.....	60
5.3.1. Climatología General de la TSM frente a Lambayeque 1981-2015.....	60
5.3.2. Climatología Estacional de la TSM frente a Lambayeque 1981 – 2015 .....	61
5.3.3. Climatología mensual de la TSM frente a Lambayeque 1981-2015.....	66
5.3.4. Climatología Interanual de TSM satelital.....	79
5.4. ANÁLISIS DE LAS ANOMALÍAS DE LA TSM FRENTE A LAMBAYEQUE 1981 – 2015.....	80
5.4.1. Anomalía Interanual de la TSM .....	80
5.4.2. Análisis de las Anomalías de TSM en Eventos El Niño Frente a Lambayeque.....	82

5.4.3. Frecuencia de las Anomalías de la TSM frente a Lambayeque entre 1981 – 2015.....	83
5.5. VARIACIÓN DEL GRADIENTE TÉRMICO FRENTE A LAMBAYEQUE ENTRE 1981-2015 .....	85
5.5.1. Variación general del gradiente térmico.....	86
5.5.2. Variación estacional del gradiente térmico .....	86
5.5.3. Variación Mensual del Gradiente Térmico.....	89
5.5.4. Variación Interanual del Gradiente Térmico .....	92
<b>6. CONCLUSIONES, DISCUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>96</b>
6.1. CONCLUSIONES.....	96
6.2. DISCUSIONES. ....	98
6.3. RECOMENDACIONES .....	99
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>101</b>
7.1. BIBLIOGRAFÍA.....	101
7.2. HEMEROGRAFÍA.....	102
7.3. LINGÜOGRAFÍA .....	102
<b>8. ANEXOS .....</b>	<b>104</b>
8.1. PROGRAMAS.....	104
8.1.1. Programa para determinar climatología estacional .....	104
8.1.2. Programa para determinar la climatología mensual .....	106
8.1.3. Programa para determinar la climatología interanual .....	108
8.1.4. Programa para determinar las anomalías de TSM.....	110
8.1.5. Programa gradiente térmico estacional de la TSM .....	114
8.1.6. Programa gradiente térmico mensual de la TSM.....	118
8.1.7. Programa gradiente térmico interanual de la TSM.....	122
8.1.8. Función que permite superponer mapa del Perú .....	126
8.1.9. Programa Interpolación de Análisis Objetivo .....	127
8.2. DATOS IN-SITU PUNTO CERCAÑO DISTRITO DE SAN JOSÉ, 1991 - 2015.....	129
8.3. DOCUMENTACIÓN IMARPE –SANTA ROSA .....	130
8.3.1. Oficio de entrega de datos de TSM satelital emitido por IMARPE – Santa Rosa .....	130
8.3.2. Solicitud de datos de TSM in – situ a IMARPE – Santa Rosa .....	131
8.3.3. Carta de entrega de datos de TSM in – situ emitido por IMARPE – Sta. Rosa.....	132

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura N° 1: Vista satelital de la Región Lambayeque.</i>	6
<i>Figura N° 2: Delimitación del área de estudio</i>	8
<i>Figura N° 3: Mapa hidrográfico de Lambayeque</i>	11
<i>Figura N° 4: Escalas espacial y temporal de los procesos.</i>	16
<i>Figura N° 5: Evento “El Niño” con temperaturas anómalas de la superficie oceánica.</i>	18
<i>Figura N° 6: Desarrollo del evento “El Niño” con temperaturas anómalas de la superficie oceánica.</i>	20
<i>Figura N° 7: Desarrollo del Evento “La Niña”</i>	22
<i>Figura N° 8: Factores que intervienen en el Afloramiento Costero.</i>	24
<i>Figura N° 9: Obtención y Tratamiento de Imágenes Satelitales.</i>	26
<i>Figura N° 10: Barrido de los satélite de órbita polar.</i>	27
<i>Figura N° 11: Radiómetro AVHRR/3.</i>	30
<i>Figura N° 12: Imagen satelital original obtenida con el radiómetro AVHRR</i>	36
<i>Figura N° 13: Punto de referencia de donde se obtienen los datos in-situ de la TSM.</i>	38
<i>Figura N° 14: Termómetro y balde de plástico para la toma de datos de TSM in-situ.</i>	38
<i>Figura N° 15: Trayecto hacia el punto de toma de datos in-situ, medición y registro de la TSM.</i>	40
<i>Figura N° 16: Proceso para la Obtención de la Climatología Mensual de la TSM.</i>	42
<i>Figura N° 17: Proceso para la obtención de la climatología estacional de la TSM</i>	43
<i>Figura N° 18: Proceso para obtener la Climatología Interanual de la TSM</i>	44
<i>Figura N° 19: Proceso para la obtención de las Anomalías de la TSM</i>	45
<i>Figura N° 20: Método de Interpolación.</i>	46
<i>Figura N° 21: Variación interanual de la TSM in-situ, punto ubicado en el Distrito de San José.</i>	50
<i>Figura N° 22: Variación interanual de la TSM satelital, punto ubicado en el Distrito de San José; período 1991 a 2015.</i>	51
<i>Figura N° 23: Gráfico de correlación entre la TSM satelital y la TSM in-situ, punto cercano al Distrito de San José 1991 – 2015.</i>	53
<i>Figura N° 24: Porcentaje estacional de nubosidad en las imágenes satelitales de la TSM frente a Lambayeque, verano 1982-1985</i>	54
<i>Figura N° 25: Porcentaje estacional de la nubosidad de las imágenes satelitales de la TSM frente a Lambayeque, otoño 1982-1985</i>	55
<i>Figura N° 26: Porcentaje estacional de nubosidad de las imágenes satelitales de la TSM frente a Lambayeque, invierno 1982-1985</i>	56
<i>Figura N° 27: Porcentaje estacional de la nubosidad de las imágenes satelitales de la TSM frente a Lambayeque, primavera 1982-1984</i>	56
<i>Figura N° 28: Porcentajes estacionales de nubosidad de las imágenes satelitales de la TSM frente a Lambayeque 1982-1985</i>	57
<i>Figura N° 29: Imagen satelital original de la TSM frente a Lambayeque.</i>	58
<i>Figura N° 30: Imagen satelital de la TSM frente a Lambayeque con localización y delimitación de un pixel a interpolar.</i>	59
<i>Figura N° 31: Imagen satelital de la TSM frente a Lambayeque interpolada.</i>	59
<i>Figura N° 32: Climatología General de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque 1981-2015.</i>	60
<i>Figura N° 33: Climatología Estacional de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: verano 1981-2015.</i>	61
<i>Figura N° 34: Climatología Estacional de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: otoño 1981-2015.</i>	62
<i>Figura N° 35: Climatología Estacional de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: invierno 1981-2015.</i>	63
<i>Figura N° 36: Climatología Estacional de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: primavera 1981-2015.</i>	64
<i>Figura N° 37: Serie Climatológica Estacional de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque 1981-2015.</i>	65
<i>Figura N° 38: Climatología Mensual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: Enero 1981-2015.</i>	66
<i>Figura N° 39: Climatología Mensual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: Febrero 1981-2015.</i>	67

<i>Figura N° 40: Climatología Mensual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: Marzo 1981-2015.</i>	68
<i>Figura N° 41: Climatología Mensual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: Abril 1981-2015.</i>	69
<i>Figura N° 42: Climatología Mensual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: Mayo 1981-2015.</i>	70
<i>Figura N° 43: Climatología Mensual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: Junio 1981-2015.</i>	71
<i>Figura N° 44: Climatología Mensual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: Julio 1981-2015.</i>	72
<i>Figura N° 45: Climatología Mensual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: Agosto 1981-2015.</i>	73
<i>Figura N° 46: Climatología Mensual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: Setiembre 1981-2015.</i>	74
<i>Figura N° 47: Climatología Mensual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: Octubre 1981-2015.</i>	75
<i>Figura N° 48: Climatología Mensual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: Noviembre 1981-2015.</i>	76
<i>Figura N° 49: Climatología Mensual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: Diciembre 1981-2015.</i>	77
<i>Figura N° 50: Serie Climatológica Mensual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque 1981-2015.</i>	78
<i>Figura N° 51: Variación interanual de la TSM satelital frente Lambayeque, 1981-2015.</i>	79
<i>Figura N° 52: Anomalía Interanual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque 1981-2015.</i>	81
<i>Figura N° 53: Comparación de los eventos: (superior) El Niño 1982-1983, (medio) El Niño 1997-1998, (inferior) El Niño 2014-2015, frente a Lambayeque.</i>	83
<i>Figura N° 54: Histograma de Frecuencia de las Anomalías específicas de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque.</i>	84
<i>Figura N° 55: Ubicación de puntos para el cálculo del Gradiente Térmico de la TSM satelital, entre la Zona Costera y Zona Oceánica, frente a Lambayeque.</i>	85
<i>Figura N° 56: Variación estacional de la TSM entre la Z. Costera (1) y Z. Oceánica (1) (superior); gradiente térmico estacional entre ambas zonas (inferior); 1981-2015.</i>	87
<i>Figura N° 57: Variación estacional de la TSM entre la Z. Costera (2) y Z. Oceánica (2) (superior), gradiente térmico estacional entre ambas zonas (inferior); 1981-2015.</i>	88
<i>Figura N° 58: Variación mensual de la TSM entre la Z. Costera (1) y Zona Oceánica (1) (superior), gradiente térmico mensual de la TSM entre ambas zonas (inferior), 1981-2015.</i>	89
<i>Figura N° 59: Variación mensual de la TSM entre la Z. Costera (2) y Z. Oceánica (2) (superior), gradiente térmico estacional entre ambas zonas (inferior); 1981-2015.</i>	91
<i>Figura N° 60: Serie interanual de la TSM frente Lambayeque, entre la Z. Costera (1) y Z. Oceánica (1); Z. Costera (2) y Z. Oceánica (2); 1981 a 2015.</i>	92
<i>Figura N° 61: Gradiente térmico interanual de la TSM frente a Lambayeque, entre la Z. Costera (1) y Z. Oceánica (1), distancia de 158 km entre ambas zonas 1981 a 2015.</i>	93
<i>Figura N° 62: Gradiente térmico interanual de la TSM frente a Lambayeque, entre Z. Costera (2) y Z. Oceánica (2), distancia de 191 km entre ambas zonas; 1981 a 2015.</i>	94

## Lista de Tablas

<i>Tabla N° 1: Número de especies, litoral Lambayeque, I. L. de Tierra e Islas Lobos de Afuera.</i> .....	10
<i>Tabla N° 2: Programa de satélites asociados POES 4ta y 5ta Generación.</i> .....	28
<i>Tabla N° 3: Instrumentos conocidos a bordo de la serie NOAA 4<sup>ta</sup> Generación.</i> .....	29
<i>Tabla N° 4: Instrumentos conocidos a bordo de la serie NOAA 5ta Generación.</i> .....	29
<i>Tabla N° 5: Características de las bandas espectrales del AVHRR/3</i> .....	31
<i>Tabla N° 6: Características generales de las imágenes satelitales utilizadas.</i> .....	37
<i>Tabla N° 7: Características específicas de las imágenes satelitales utilizadas</i> .....	37
<i>Tabla N° 8: Valores de la variación interanual de la TSM satelital para el punto cercano al Distrito de San José.</i> .....	52
<i>Tabla N° 9: Promedio y desviación estándar de la serie climatológica estacional de la TSM frente a Lambayeque 1981 – 2015.</i> .....	65
<i>Tabla N° 10: Promedio y desviación estándar de la serie climatológica mensual de la TSM 1981 – 2015.</i> 78	
<i>Tabla N° 11: Variación de la climatología interanual de la TSM satelital 1981 – 2015.</i> .....	80
<i>Tabla N° 12: Valores de las anomalías interanuales de la TSM.</i> .....	82
<i>Tabla N° 13: Ubicación geográfica de la Zona Costera 1 y 2 y Zona Oceánica 1 y 2.</i> .....	85
<i>Tabla N° 14: Gradiente Térmico general entre la TSM costera y oceánica frente a Lambayeque, entre los años 1985 y-2015.</i> .....	86
<i>Tabla N° 15: Gradiente Térmico promedio estacional entre la TSM costera y oceánica frente a Lambayeque, entre los años 1985 y-2015.</i> .....	87
<i>Tabla N° 16: Variación estacional del gradiente térmico entre la Z. Costera (2) y la Z. Oceánica (2).</i> .....	88
<i>Tabla N° 17: Variación mensual del gradiente térmico entre la Z. Costera (1) y la Z. Oceánica (1) para el periodo 1981 – 2015.</i> .....	90
<i>Tabla N° 18: Variación mensual del gradiente térmico entre la Z. Costera (2) y la Z. Oceánica (2) para el periodo 1981 – 2015.</i> .....	91



# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**



---

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Introducción

Lambayeque es uno de los departamentos del norte del Perú, que frecuentemente es impactado por eventos anómalos como El Niño y La Niña, los mismos que causan una variedad de impactos sobre las diversas actividades socio-económicas del departamento, siendo indispensable monitorear la evolución de las condiciones marino – ambientales frente a la costa de Lambayeque.

Por otro lado, existen una serie de satélites con radiómetros de alta resolución espacial y temporal, que miden la Temperatura Superficial del Mar (TSM) a nivel global, en algunos casos los satélites se ven limitados por la cobertura de nubes que se presentan en la zona marino costera y oceánica frente a Lambayeque, que muchas veces bloquea la adquisición de la TSM, principalmente en los meses de verano.

Con el fin comprender la dinámica e influencia de la TSM sobre la costa de Lambayeque, es que a través de este estudio realizamos la caracterización estacional e interanual del gradiente térmico frente a la costa de la Región Lambayeque, a partir de las imágenes satelitales de la TSM entre los años 1981 y 2015, para lo cual fue necesario seguir las siguientes etapas de trabajo:

En primer lugar, se recolectó y proceso la información de la TSM satelital e In-situ, registrada frente a la costa de Lambayeque, llegando a trabajar con datos de TSM satelital del Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) desde 1981 al 2015 y la TSM In-situ, registrada en la Caleta de José entre los años 1991 y 2015.

En segundo lugar, se compara y se valida la información de TSM satelital vs In-situ frente a Lambayeque, llegándose a determinar el nivel de correlación entre ambas fuentes, principalmente entre los años 1991 a 2015.

En tercer lugar, se actualizó los mapas climatológicos de la TSM para Lambayeque, tanto a nivel general, estacional y mensual, utilizando información de TSM entre los años 1981 y 2015, de acuerdo a las metodologías y procedimientos que se utilizan para crear climatologías de variables ambientales.

En cuarto lugar, se determinó las anomalías de TSM para la zona frente a Lambayeque, adicionalmente se comparó y discute el comportamiento de las anomalías de la TSM durante los niños 1982-1983, 1997-1998 y las condiciones del año 2015.

En quinto lugar, se analiza la variación del gradiente térmico frente a Lambayeque en sus diversas escalas de tiempo, entre los años 1981 - 2015.

Durante el desarrollo de nuestra tesis fue necesario desarrollar diversos programas computacionales (Matlab) para el procesamiento masivo de las imágenes satelitales de TSM, y el cálculo de las climatologías, anomalías y gradiente térmico en sus diversas presentaciones tanto a nivel general, estacional, mensual e interanual para la zona frente a Lambayeque.

## 1.2. Planteamiento y formulación problemática

El presente proyecto de investigación parte de formular el siguiente problema:

¿El análisis y la caracterización de la temperatura superficial del mar, mediante imágenes satelitales registradas durante los años 1981 y 2015, permitirá determinar la existencia de una variación estacional de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) y del gradiente térmico costero y oceánico, así como la influencia de los eventos anómalos: El Niño y La Niña, sobre la variación interanual de la TSM, de la Región Lambayeque?

### 1.3. Situación del Problema

La temperatura del mar es una de las principales variables oceanográficas que se monitorean tanto en la costa de la Región Lambayeque como a lo largo de toda la costa peruana, debido a que es uno de los principales indicadores del desarrollo de Eventos Anómalos como, El Niño y La Niña; que afectan a la zona norte del Perú, por tal motivo existe la necesidad de conocer las características de las variaciones temporales de la temperatura superficial del mar, sus anomalías, y gradientes térmicos hacia fuera de la costa, tanto a nivel estacional (verano, otoño, invierno y primavera) e interanual (es decir su comportamiento a lo largo de los años).

### 1.4. Objetivo de la Investigación

#### 1.4.1. *Objetivo General*

Caracterizar la variación estacional e interanual del gradiente térmico frente a la costa de la Región Lambayeque, a partir de la información obtenida de las imágenes satelitales de la temperatura superficial del mar, desde el año 1981 al 2015.

#### 1.4.2. *Objetivos Específicos.*

- ✓ Analizar y determinar el estado de la información de las imágenes satelitales de la temperatura superficial del mar (TSM) diaria entre los años 1981 y 2015.
- ✓ Mostrar de forma resumida el método de interpolación de análisis objetivo para recuperar parte de la información faltante por efecto de la cobertura de nubes.
- ✓ Actualizar la climatología de la TSM satelital existente para la zona frente a la costa de la Región Lambayeque, cubriendo el periodo 1981 a 2015.
- ✓ Calcular una serie temporal de las anomalías de la TSM para la zona costera y oceánica de la Región Lambayeque.

- ✓ Determinar y cuantificar la variación estacional e interanual del gradiente térmico entre la zona costera y oceánica de la Región Lambayeque.

## 1.5. Justificación e importancia de la investigación

El presente trabajo de investigación permitirá determinar la variación estacional e interanual del gradiente térmico entre la zona costera y oceánica de la Región Lambayeque y actualizar la data climatológica de la TSM entre los años 1981-2015, del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) sede Santa Rosa.

## 1.6. Hipótesis de la investigación

La TSM y el gradiente térmico entre la zona costera y oceánica de la Región Lambayeque, presentaran una variación estacional e interanual que es afectada por los eventos anómalos: El Niño y La Niña, produciendo el abrupto incremento y descenso de la TSM.

## 1.7. Descripción del área de interés

### 1.7.1. Área Geográfica

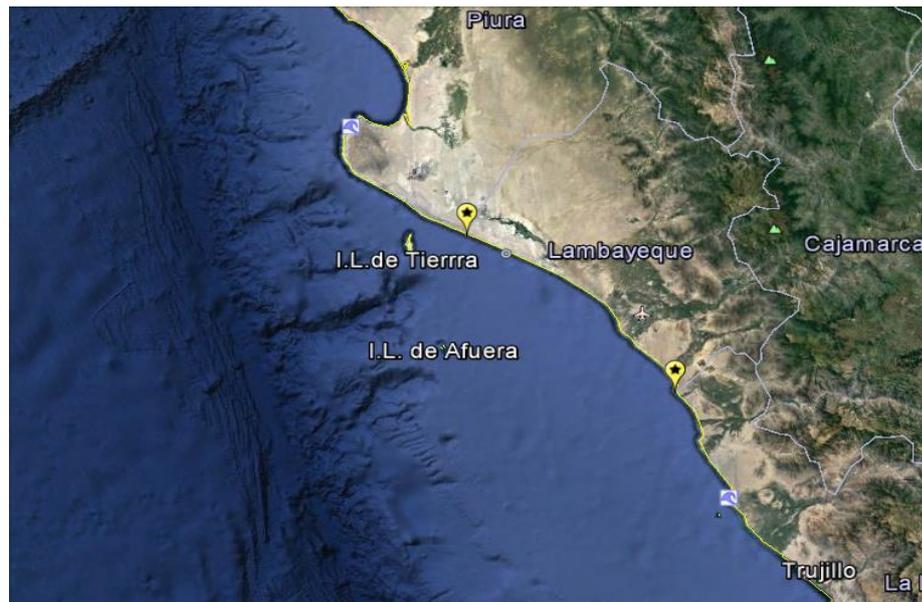
La Región Lambayeque se ubica al noroeste del Perú, en el sector occidental de los andes, limita por:

- ✓ **El norte:** con Piura;
- ✓ **El sur:** con La Libertad;
- ✓ **El este:** con Cajamarca;
- ✓ **El oeste:** con el Océano Pacífico.

Lambayeque tiene una superficie total de 14,231.30 km<sup>2</sup>, después de Tumbes es el segundo departamento más pequeño del Perú. Tiene 3 provincias; Lambayeque, Chiclayo y Ferreñafe, y un total de 38 distritos.

Su territorio abarca dos islas del océano pacífico; las islas lobos de afuera y la isla lobos de tierra.

Figura N° 1: Vista satelital de la Región Lambayeque.



Fuente: Google Eart – 2016

### **Islas Lobos de Afuera**

Las Islas Lobos de Afuera se ubican entre los  $06^{\circ}55'30''S$  y  $80^{\circ}42'24''O$ , a 93 km de la costa de Lambayeque. Este conjunto de islas de  $2.36 \text{ km}^2$  de extensión es lugar de anidación de aves marinas. Las características frías del mar peruano hacen posible la presencia de una alta diversidad biológica de peces que sirven de alimento a las aves.

Las islas forman parte del conjunto de islas guaneras protegidas por el estado a través del sistema de islas y puntas del SINAMPE. La isla y el guano (excremento de aves) fueron la base de la economía en la década pasada.

La isla alberga poblaciones de “pingüinos de Humboldt” (*Spheniscus humboldti*), de “lobos chuscos” (*Otaria byronia*), y “chanchos marinos” (*phocoena spinipinnis*), además de la diversidad de aves e invertebrados que habitan alrededor de estos lugares (Stucchi & Figueroa, 2006, págs. 6 - 37)

### ***Isla Lobos de Tierra***

Se ubica a 19 km de la costa, entre las coordenadas  $6^{\circ} 25' 40''$  S y  $80^{\circ} 51' 29''$  W. Alrededor de la isla Lobos de Tierra hay varios islotes como El León o Albatros. El clima de esta isla es muy cálido y en ella viven aves como los camanayes, gaviotas, piqueros y guanayes, siendo las 2 últimas especies de gran importancia durante el apogeo del guano de isla. Hacia el año 1863 esta isla tenía depósitos de más de 7 millones de toneladas de guano, que fueron explotados sin ningún control. Hoy día esa riqueza casi ha desaparecido y las pocas muestras que aún quedan no tienen la misma calidad de años atrás. La isla Lobos de Tierra debe su nombre a su cercanía con la costa y a la presencia de otáridos. Eventualmente se ven enormes cetáceos como la ballena azul, que también fue diezmada en el mar peruano y en todos los océanos del mundo.

#### **1.7.2. Área de estudio**

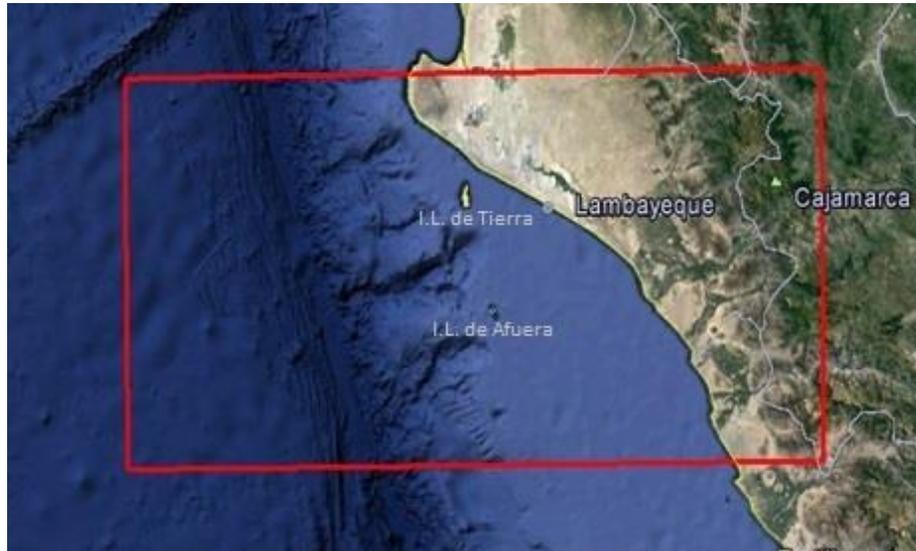
Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se hará uso de información satelital de la temperatura superficial del mar frente a la costa de la Región Lambayeque, entre las latitudes  $5^{\circ}52'30''$  y  $7^{\circ}37'30''$  S y las longitudes  $79^{\circ}$  y  $82^{\circ}37'30''$  W, para el periodo 1981 a 2015 (ver Figura N° 2).

La información de la temperatura superficial del mar será obtenida de la base de datos del Grupo de Alta Resolución de Temperatura Superficial del Mar (GHRSSST), del Centro de Datos Climáticos de la NOAA, que genera temperaturas superficiales diarias a una resolución espacial de  $0.25^{\circ}$  grados (aproximadamente 25 Km).

Este producto utiliza el método de interpolación óptima (OI), datos de temperatura de 4 kilómetros de muy alta resolución del Radiómetro AVHRR de la base de datos Pathfinder versión 5, adicionalmente utiliza datos medidos y de sistemas operacionalmente de la NOAA y de boyas. La información de la TSM satelital frente a las costas de Lambayeque será proporcionada por el

Laboratorio de Hidro-Física Marina del IMARPE en coordinación con el Laboratorio Costero de IMARPE, sede Santa Rosa.

*Figura N° 2: Delimitación del área de estudio*



*Fuente: Google Earth - 2016*

### **1.7.3. Clima del Borde Costero de Lambayeque**

#### **Clima Costero**

Las condiciones atmosféricas en la costa de Lambayeque son estables, debido a la semi-permanencia del anticiclón del Pacífico suroriental y el fenómeno de inversión térmica, que se presenta en altitudes variables entre 300 y 1,200 metros sobre el nivel del mar; estableciéndose como su nivel promedio los 800 metros de altura. El estrato de aire debajo de este nivel de inversión térmica es fresco y húmedo, en tanto que el aire sobre este nivel es cálido y seco, contribuyendo así en que gran parte del año la zona costera de la cuenca se cubra de una capa nubosa estable asociada a la humedad condensada de las masas de aire marítimas desplazadas sobre la fría corriente peruana.

Gran parte de la Región Lambayeque presenta un clima del tipo desértico subtropical. Su principal característica es ser templado durante buena parte del año, y muy caluroso en época de verano. Sin embargo, en el sector oriental de la Región, en los distritos de Incahuasi y Kañaris, estas condiciones son

diferentes, presentando menores temperaturas y mayor humedad, ello debido al incremento de altitud.

Según el informe denominado “Guía Climática Turística” elaborado por el servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú (SENAMHI) (Cuba & Itan, 2010), la Región Lambayeque cuenta con los siguientes tipos de climas:

- ★ **Clima del tipo árido, semi - cálido**, con ausencia de precipitaciones en todas las estaciones del año corresponde este tipo climático a la mayor parte del territorio del departamento, abarcando localidades de las provincias de Chiclayo, Ferreñafe y Lambayeque.
- ★ **Clima del tipo árido, cálido**, con ausencia de lluvias en todas las estaciones del año. Corresponde este tipo climático a las localidades ubicadas en las provincias de Lambayeque y Ferreñafe.
- ★ **Clima del tipo semi – seco, templado y húmedo**, con carencia de lluvias en otoño, invierno y primavera, corresponde este tipo climático a las localidades de la provincia de Ferreñafe, ubicada en las estribaciones andinas en el límite de Cajamarca.

Por su ubicación geográfica, al departamento le corresponde un clima tropical, pero es árido y seco debido básicamente a la influencia del anticiclón del océano pacífico, que con sus movimientos verticales descendentes (subsistencia) sobre los 1000 m.s.n.m. impide el desarrollo de nubes productivas de lluvias.

Las lluvias, como corresponde a la costa peruana, son muy escasas. La mayor parte del año, excepto en los años en que las condiciones meteorológicas impuestas por el evento El Niño tropicalizan toda la región norteña, ocasionando lluvias de moderada a fuerte intensidad. La humedad relativa del aire en Lambayeque es muy variable en el transcurso del día, registrando cerca de 90% de humedad en las horas matinales, y un 40% hacia el mediodía.

### 1.7.4. Oceanografía y Actividad Pesquera

El mar frente a la costa de la Región Lambayeque presenta aguas templadas, con temperaturas promedio de 19 a 20 °C, debido al afloramiento costero de aguas sub superficiales frente al litoral y son transportadas por la Corriente Costera Peruana. El mar de Lambayeque presenta una amplia variedad de especies marinas y está constituido por peces pequeños (anchoveta), medianos y grandes, conchas de abanico, choros, caracoles, entre otras especies. El litoral de Lambayeque, la isla Lobos de Tierra y las islas Lobos de Afuera presentan una alta biodiversidad en peces (126 especies), moluscos (75 especies), crustáceos (43 especies) (ver Tabla N° 1).

También existen pequeñas islas y algunas puntas en el litoral, con una alta población de aves guaneras (Carbajal, Castro, Galán, Ramírez, & De La Cruz, 2005).

Tabla N° 1: Número de especies, litoral Lambayeque, I. L. de Tierra e Islas Lobos de Afuera.

Biodiversidad	N° - Especies Litoral Lambayeque	N° - Especies Islas L. de Afuera	N° - Especies Isla L. de Tierra
<b>Peces</b>	126	62	50
<b>Moluscos</b>	75	46	58
<b>Crustáceos</b>	43	19	31
<b>Mamíferos</b>	5	5	5
<b>Reptiles</b>	4	4	4
<b>Aves</b>	16	7	7
<b>Equinodermos</b>	12	7	7
<b>Algas</b>	6	2	3

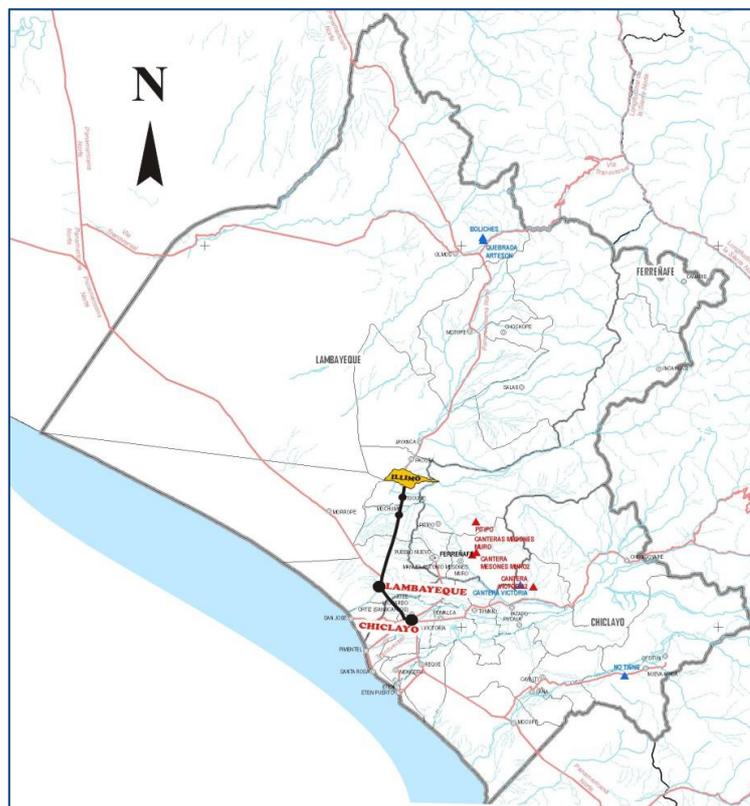
Fuente: <http://www.imarpe.gob.pe/chiclayo/laboratorio/laboratorio.htm>

### 1.7.5. Hidrografía

El sistema fluvial pertenece en su totalidad a la vertiente hidrográfica del pacífico; se caracteriza por mantener un régimen irregular con grandes crecientes en los meses de verano (diciembre - abril) y una disminución de su

caudal en el invierno hasta casi desaparecer. Los principales ríos del Departamento de Lambayeque mencionados de sur a norte son: Zaña, Chancay (Reque, Lambayeque y Taymi), La Leche, Motupe, Olmos y Cascajal. Todos estos ríos y sus tributarios pertenecen a la vertiente del Pacífico. En conjunto presentan un escurrimiento promedio anual de 43.98 m<sup>3</sup>/s y una masa media anual de 1,697 m<sup>3</sup>; son de corto recorrido y de fuertes pendientes en las partes altas y medias, por lo que la eficiencia en la utilización de sus aguas es muy reducida (Carbajal, Castro, Galán, Ramírez, & De La Cruz, 2005).

Figura N° 3: Mapa hidrográfico de Lambayeque



Fuente: <http://www.lambayeque.net/lambayeque/illimo/mapas-y-planos/>

# **CAPÍTULO II**

## **MARCO TEÓRICO**



---

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la Investigación

Regla Duthit Somoza, Ronald Buss Souza, Milton Kampel presentaron en el XIII Simposio Brasileño de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil 2007, el trabajo de investigación **“Variabilidad de la Temperatura Superficial del Mar en las aguas adyacentes a Cuba y su relación con las pesquerías de langosta (*Panulirus argus*)”**, en el cual concluyeron que hay una estacionalidad anual bien definida por dos patrones de comportamientos de la Temperatura Superficial del Mar (TSM), para el área, en el período invernal (Noviembre-Abril) puede apreciarse el dinamismo de las aguas a través de los frentes térmicos formados en los límites de la circulación, mientras que durante el verano (Mayo-October) no se define. Las anomalías de la TSM, tienen un comportamiento similar para todas las regiones tanto de la plataforma como en las aguas adyacentes con un coeficiente de correlación de 0,98 entre estas masas de agua y los valores extremos máximos positivos para el año 1998; los máximos negativos se registran el 2001. Otra conclusión a la que llegaron es a la baja correlación entre las ATSM y las capturas registradas para cada zona de pesca que varían desde -0,1 a 0,48; obteniéndose las máximas correlaciones (0,48) con un desfase de 4 años para la región occidental del país.

Carlos Santamaría y David Correa, 2010, presentaron ante el Congreso de Ciencias del Mar (II CONCIMAR 2010), el estudio de investigación titulado **“Variación Climatológica e Interanual de la Temperatura Superficial del Mar Frente a la Costa de Lambayeque”**, llegando a determinar la climatología anual y mensual de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) frente a las costas de la Región Lambayeque, la cual varía en un rango de 17 a 24°C; así mismo determinaron que existe aproximadamente 2°C de diferencia térmica entre la zona costera y oceánica durante los meses del año a excepción de Julio y Noviembre; las temperaturas más bajas fueron registradas entre las costas de San José y

Chérrepe que presentan aguas más frías (producto del afloramiento costero de aguas superficiales más frías en una franja de 83 km hacia afuera de la costa).

La Fundación Manuel J. Bustamante De La Fuente, 2010, publicó el resultado de la investigación **“Cambio Climático en el Perú, Costa Norte”**, investigación que encargó a la Universidad de Piura, al Centro de Estudios Tecnológicos de la Amazonía y al Centro de Investigaciones Labor, en la cual se determinó que la variabilidad climática se ha acentuado por el cambio climático, que se refleja con observaciones de valores extremos en la temperatura y cambios en el patrón del régimen pluviométrico, generando nuevos escenarios de riesgo climático asociados a eventos meteorológicos extremos como heladas y bajas temperaturas, períodos secos o “veranillos” y lluvias intensas.

Roberto Quesquén Fernández, 2011, presentó el proyecto de investigación **“Evaluación de la Temperatura y su efecto en los recursos pesqueros de la zona del Callao”** a partir de los datos obtenidos de imágenes satelitales proporcionadas por el IMARPE y los datos obtenidos en el muelle artesanal del Callao, determinando que la variación de la Temperatura Superficial del Mar durante el periodo julio 2010 a febrero del 2011 mantuvo valores bajos de temperatura entre 13,94°C a 15,10°C con tendencia a aumentar y como esta variación influye directamente en la pesca de especies marinas.

## 2.2. Definición de términos

- **TSM:** Temperatura Superficial del Mar
- **Zona Costera:** Zona de interrelación entre los factores marinos, terrestres, atmosféricos y la acción del hombre, es un área espacial, de límites variables, cuya importancia está dada por los recursos valiosos que posee. Se extiende a lo largo de dos ejes: uno paralelo a la orilla denominado “eje litoral” y otro perpendicular a la orilla denominado “eje tierra altamar”. El límite de la zona

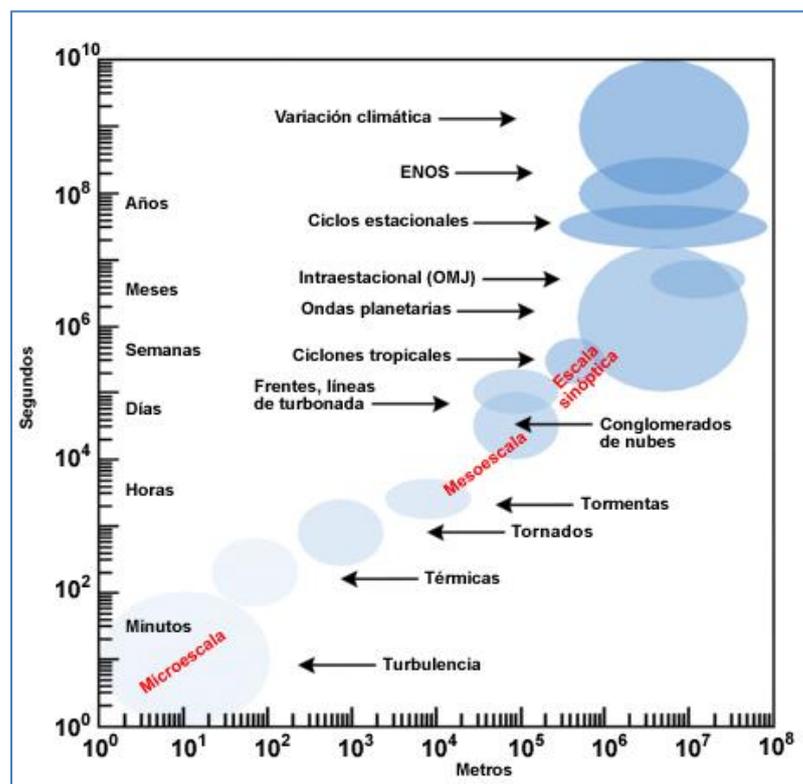
costera hacia el mar es el borde de la plataforma insular del territorio, regularmente a profundidades en 100 y 200 metros.

- **Zona Oceánica:** La zona oceánica se inicia en la zona de la costa donde el agua alcanza una profundidad de 200 metros o más. Es la región de mar abierto más allá del borde de la plataforma continental, menos ricas en nutrientes e incluye el 65% de los océanos de aguas completamente abiertas.
- **Gradiente Térmico:** se denomina a la variación de temperatura por unidad de distancia. La unidad del gradiente térmico es °C/Kilómetro, la existencia de un gradiente térmico provoca una transferencia de calor
- **Variación Estacional:** es la variación periódica y predecible de una serie temporal en un periodo inferior o igual a un año.
- **Clima:** en sentido estricto y según (OMM, 2011), se entiende por clima las condiciones meteorológicas normales correspondientes a un lugar y período de tiempo determinados. El clima puede explicarse mediante descripciones estadísticas de las tendencias y la variabilidad principal de elementos pertinentes, como la temperatura, la precipitación, la presión atmosférica, la humedad y los vientos, o mediante combinaciones de elementos, tales como tipos y fenómenos meteorológicos, que son característicos de un lugar o región, o del mundo en su conjunto, durante cualquier período de tiempo.
- **Tiempo:** El tiempo se define como el estado de la atmósfera en un determinado momento. Se toman en cuenta la humedad, la temperatura, la presión, precipitación, vientos, etc. en un determinado lugar y momento. El comportamiento del tiempo atmosférico cambia con el paso de las horas y los días, pero tienden a repetirse tipos de tiempo atmosférico similares en ciclos anuales y en las mismas fechas aproximadamente. (Inzunza, 2012, pág. 37).
- **Climatología:** Es la ciencia que estudia los climas de la Tierra y las relaciones entre ellos. En otras palabras, se puede decir que es una parte de la Física

que estudia los fenómenos que se producen en la atmósfera terrestre. No sólo abarca el estudio predictivo del tiempo, sino que trata de averiguar cuáles son las causas que desencadenan estos fenómenos, tratando de establecer modelos que permitan predecirlo y prevenir sus posibles consecuencias adversas para la humanidad. (Inzunza, 2012, pág. 35).

- **Escala Espacial y Temporal de los Procesos:** en la atmósfera, los movimientos y la transferencia de momento se producen simultáneamente en varias escalas.

Figura N° 4: Escalas espacial y temporal de los procesos.



Fuente: [www.meted.ucar.edu/resources\\_es.php](http://www.meted.ucar.edu/resources_es.php)

Las inestabilidades en la atmósfera y los océanos son producto de los gradientes de temperatura, vientos, humedad y TSM. Los fenómenos meteorológicos y climáticos constituyen la respuesta a dichas inestabilidades.

Las escalas de movimiento atmosférico van desde las escalas de tiempo y

longitud reducidas de la fricción y el movimiento turbulento hasta las circulaciones decenales y de escala planetaria. Por ejemplo, los ciclones tropicales comprenden numerosas tormentas; sin embargo, los ciclones tropicales pueden engendrarse en el interior de la oscilación Madden – Julian (OMJ) intra-estacional y ambos fenómenos son modulados por el fenómeno interanual de ENOS.

- **Temperatura de los océanos:** La temperatura en los océanos varía con la profundidad y la latitud (latitudes bajas presentan aguas cálidas mientras que latitudes altas aguas frías). En las latitudes medias y bajas es típica la presencia de 3 capas en profundidad con diferentes características térmicas:
  - **Capa superficial o epilimnion:** afectada por la temperatura exterior y la radiación solar, tiene una profundidad de unos 200 metros, la temperatura (de 12 a 30 °C según latitud) suele ser bastante uniforme gracias también a la mezcla que produce el oleaje.
  - **Capa de transición o termoclina:** situado debajo de la anterior capa cálida, aquí se produce un descenso brusco de la temperatura con la profundidad, el límite es muy variable, según la latitud y estación del año, pudiendo llegar a 1.000 metros de profundidad. Esta agua fría (más densa) situada debajo de la cálida (menos densa) impide la mezcla del agua cálida con las aguas profundas.
  - **Capa profunda o hipolimnion:** presenta temperaturas frías (0 a 5 °C) y constantes (con poca o nula variación térmica, aunque en algunos casos disminuye la temperatura muy lentamente con la profundidad), ya que la termoclina impide la mezcla con las aguas cálidas superficiales, por lo que también disminuye e incluso puede desaparecer el oxígeno disuelto.

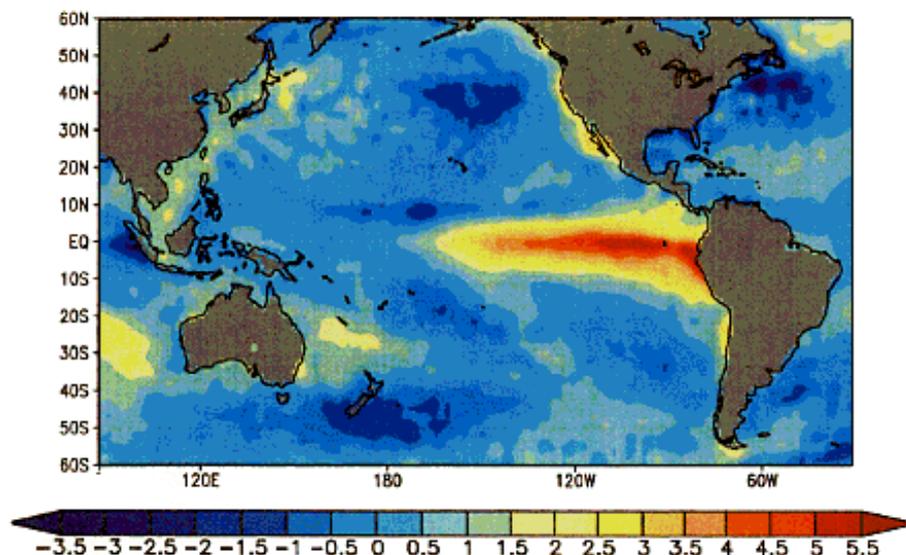
### 2.3. Evento “El Niño”

Según algunos autores, El Niño es un comportamiento anormal del clima del Pacífico que ha puesto en alerta a los científicos de todo el mundo.

Se trata de una anomalía en el sistema Atmósfera-Océano en el Pacífico subtropical, que provoca consecuencias en la meteorología mundial como inmensas precipitaciones en algunas áreas y de sequías en otras. De este modo años lluviosos se alternan con años secos, a la vez que años fríos con calurosos.

Se conoce con el nombre de "El Niño", no solamente a la aparición de corrientes oceánicas cálidas en la costa de América del sur, sino a la alteración del sistema global océano-atmósfera que se origina en el Océano Pacífico Ecuatorial (es decir, en una franja oceánica cercana al Ecuador), generalmente durante un periodo comprendido entre diciembre y marzo (Figura N° 5)

Figura N° 5: Evento “El Niño” con temperaturas anómalas de la superficie oceánica.



Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/El\\_Ni%C3%B1o\\_\(fen%C3%B3meno\)](https://es.wikipedia.org/wiki/El_Ni%C3%B1o_(fen%C3%B3meno))

### **2.3.1. Como se produce el evento “El Niño”**

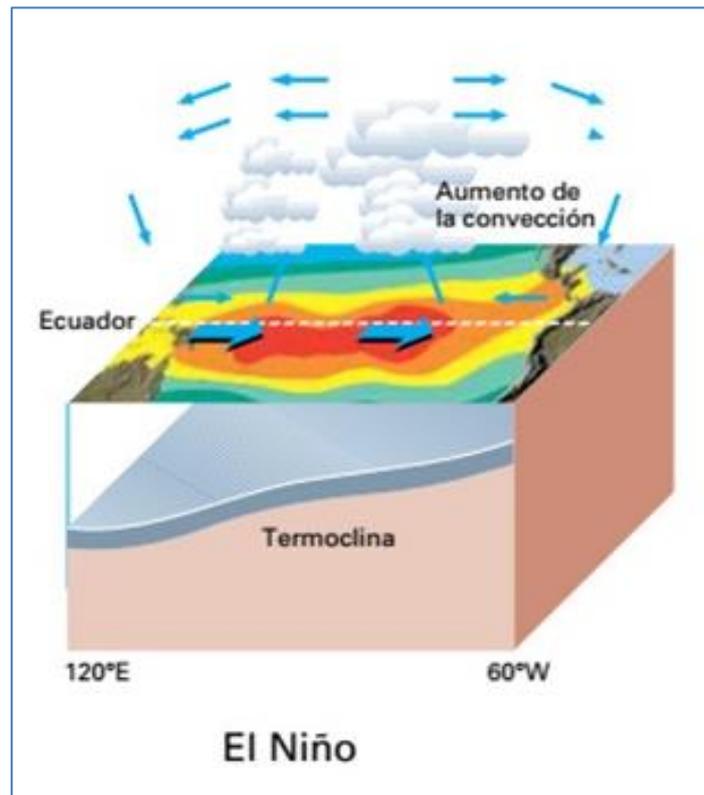
Los vientos alisios (del sureste en el hemisferio Sur y del noreste en el hemisferio Norte), que soplan sobre el Pacífico tropical, convergen en el oeste del mismo (norte de Australia y sureste de Asia) cargados de humedad en una zona donde la superficie del mar está relativamente caliente (temperaturas por encima de 28°C), lo que provoca que se dé en esa zona una intensa convección (zona de lluvias).

Los vientos alisios empujan a las corrientes oceánicas superficiales que fluyen hacia el oeste y provocan un afloramiento de aguas profundas cerca de la costa este del Pacífico. Como resultado, el nivel del mar está como promedio 40 cm más alto en el oeste y la termoclina (superficie por debajo de la cual el agua del mar se considera a una temperatura constante) está en esa zona a unos 200 m de profundidad, mientras que en el este está a unos 50 m (ver Figura N° 6) (SENAMHI, 2016).

Cuando comienza una situación de El Niño los vientos alisios se debilitan, cesa el afloramiento de aguas profundas, las temperaturas del agua del mar empiezan a subir en el este del Pacífico tropical y aparecen las primeras anomalías positivas (temperaturas por encima de la media climatológica). Por otra parte, se da una advección de aguas cálidas desde el oeste hacia el este.

Como consecuencia, la zona convectiva del oeste del Pacífico empieza a trasladarse hacia el este y los vientos del oeste a extenderse hacia el Pacífico tropical central. Esta es la fase cálida del evento conocido entre los científicos como ENSO, denominación que corresponde a las iniciales de El Niño y Southern Oscillation (Oscilación Sur).

Figura N° 6: Desarrollo del evento “El Niño” con temperaturas anómalas de la superficie oceánica.



Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/El\\_Ni%C3%B1o\\_\(fen%C3%B3meno\)](https://es.wikipedia.org/wiki/El_Ni%C3%B1o_(fen%C3%B3meno))

Durante los últimos 40 años se han producido varios episodios de El Niño y de La Niña. En los casos de episodios débiles las temperaturas del agua del mar en la superficie varían entre 0.5°C y 1°C respecto a la media, y las repercusiones son pequeñas y difíciles de detectar. En los casos de episodios fuertes las anomalías sobrepasan 1°C y los efectos se manifiestan en toda la Tierra.

### 2.3.2. El Evento “El Niño” en la Historia del Perú

En los últimos cinco siglos han habido por lo menos 120 episodios El Niño, según las investigaciones históricas recopiladas por Quinn W., Neal V., y Antúnez de Mayolo S. (1986, 1987; IMARPE, 1999; INDECI, 2002). Diversas publicaciones dan cuenta de testimonios en relación a la ocurrencia de

este evento, por ejemplo, los boletines de la Sociedad Geográfica de Lima publicados en diciembre de 1897, muestran manuscritos de Antonio Raimondi sobre la oceanografía y climatología de nuestro litoral, que reportan de la ocurrencia de eventos extremos asociados al calentamiento marino-costero en el norte del país (cultura moche 200 – 700 años d.C.), que indica que durante las primeras décadas del siglo VII de nuestra era, esta próspera civilización sufrió los estragos de un prolongado e implacable episodio El Niño.

Durante el siglo XX y hasta antes de El Niño extraordinario de 1997/98, ocurrieron unos 25 episodios El Niño de diferente intensidad; los eventos El Niño de 1891 y 1925, fueron eventos de intensidad comparable a los de 1982/83 y 1997/98 (Ambiente, 2016)

### **2.3.3. Consecuencias de “El Niño” en el Perú.**

Para el doctor en ciencias físicas Antonio Mabres (2015), un aspecto a no perder de vista es que los diversos episodios del evento El Niño son muy distintos, no solo en intensidad (magnitud del calentamiento del mar), sino también en algunos de sus efectos. En 1983 llovió muy intensamente en la costa pero en la sierra fue un año más seco de lo usual.

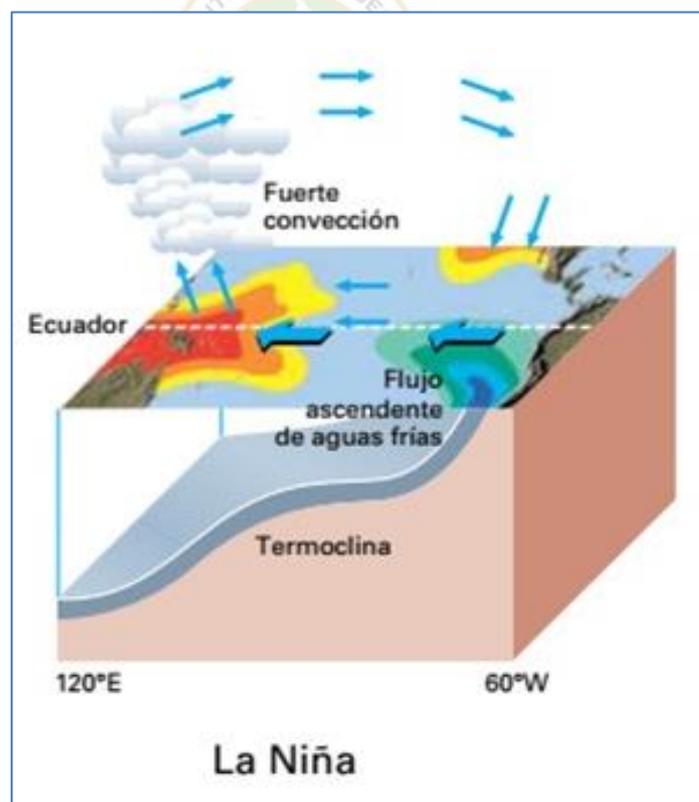
En cambio, en el 98 llovió mucho en la costa y también en la sierra (y los daños por las avenidas de los ríos fueron mayores). En ambos casos hubo desbordes y huaicos en la vertiente occidental de Los Andes, a lo largo de toda la costa. Siempre que han habido episodios El Niño muy fuertes, como los dos anteriores citados, las alteraciones no han sido solo en la zona de influencia directa (las regiones costeras de Perú y Ecuador), sino que han llegado a lugares lejanos, por todo el mundo, en particular, han dado lugar a anomalías climáticas en el sur andino, que está fuera del ámbito de influencia directa de El Niño.

En 1983 hubo una gran sequía en los Andes sur y, en cambio, el 98, otras manifestaciones.

## 2.4. Evento “La Niña”

Está caracterizada por inusuales temperaturas bajas en el océano Pacífico Ecuatorial. El "ENOS fase fría" ("La Niña") por lo general se presenta inmediatamente después del "ENOS–fase caliente" ("El Niño"). El calor incrementado durante la fase caliente es liberado hacia la atmósfera principalmente en la forma de incremento de la evaporación, enfriándose el océano y retornando a sus temperaturas normales (Ver Figura N° 7). Por lo tanto Cálido / El Niño y Frio / La Niña, cuando finaliza un evento El Niño, no necesariamente se debe esperar que se desarrolle un episodio de La Niña, sin embargo en la mayoría de las veces esta transición tiene lugar (Geo-Historia, 2012).

Figura N° 7: Desarrollo del Evento “La Niña”



Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/El\\_Ni%C3%B1o\\_\(fen%C3%B3meno\)](https://es.wikipedia.org/wiki/El_Ni%C3%B1o_(fen%C3%B3meno))

En general la ocurrencia de un evento “La Niña” está asociada a la presencia de las siguientes condiciones anómalas:

- ✓ Disminución de la presión a nivel del mar en la región de Oceanía y aumento de la misma en el Pacífico tropical y subtropical junto a las costas de América del Sur y América Central.
- ✓ El aumento de la diferencia de presión entre la costa de América del Sur y Oceanía hace que los vientos alisios se intensifiquen, lo cual a su vez aumenta la eficiencia del proceso de surgencia de aguas profundas relativamente más frías a lo largo del Pacífico ecuatorial.
- ✓ Los vientos alisios anormalmente intensos ejercen un mayor efecto de arrastre sobre la superficie del océano aumentando la diferencia de nivel del mar entre ambos extremos del Pacífico ecuatorial. De este modo el nivel del mar disminuye en las costas de Colombia, Ecuador, Perú y norte de Chile y aumenta en Oceanía.
- ✓ Como resultado de la intensificación de la surgencia de aguas relativamente frías a lo largo del Ecuador, la temperatura superficial del mar disminuye por debajo del valor medio climatológico. La presencia de aguas relativamente más frías en este sector constituye la evidencia más directa de la presencia del evento La Niña. En general las máximas anomalías térmicas negativas son de una magnitud inferior a las que se registran durante los episodios El Niño.
- ✓ Durante los eventos La Niña las aguas calientes en el Pacífico ecuatorial se concentran en la región junto a Oceanía y es sobre esta región donde se desarrolla la nubosidad y la precipitación más intensa.

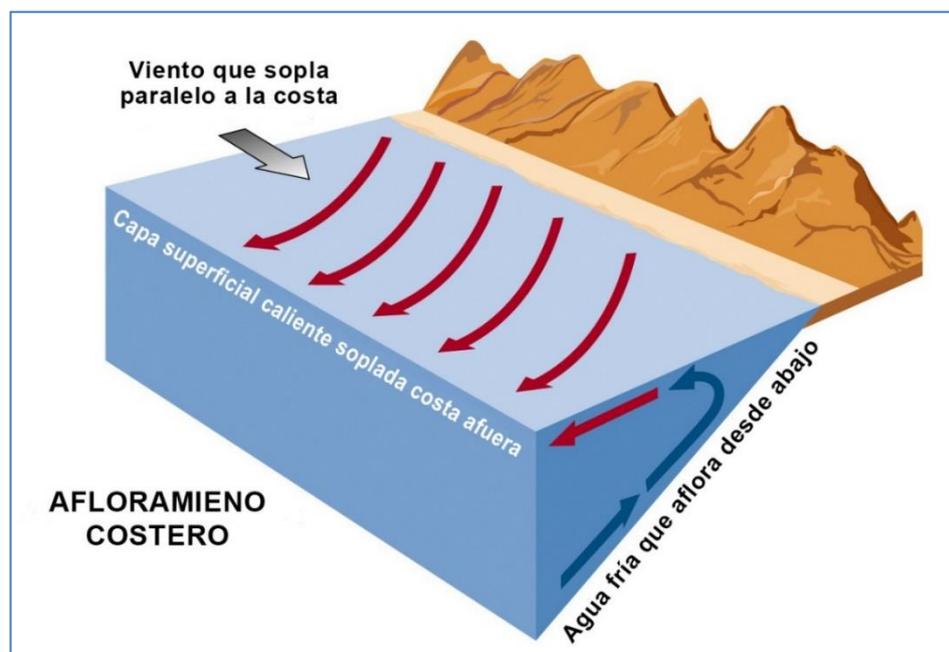
## 2.5. Fenómeno de Afloramiento

El fenómeno de Afloramiento es un desplazamiento ascendente de aguas marinas. Por el efecto de la fuerza de Coriolis, originada en la rotación de la Tierra,

una columna de agua en movimiento experimenta una rotación de  $90^\circ$  con relación a la dirección del viento que la causó y que sopla a lo largo de la costa, este efecto se denomina transporte de Ekman.

De esta manera un viento que sopla sobre la costa puede provocar un desplazamiento de aguas superficiales hacia mar adentro, compensado por un lento movimiento ascendente de aguas profundas en dirección a la costa, llamado surgencia o afloramiento de aguas (ver Figura N° 8).

Figura N° 8: Factores que intervienen en el Afloramiento Costero.



Fuente: [www.sonoma.edu/users/f/freidel/global/372lec2images.htm](http://www.sonoma.edu/users/f/freidel/global/372lec2images.htm)

Estas aguas de surgencia son de baja temperatura y sumamente ricas en nutrientes, resultantes de la remineralización por bacterias de los restos orgánicos que se van acumulando en las capas más profundas de la columna de agua.

Al ponerse en contacto estas sales minerales con los organismos fotosintetizadores que habitan la capa superficial del mar, resulta una enorme productividad primaria, lo que se traduce, a través de la cadena alimentaria en una mayor biomasa pesquera. (Valentín, 1996, págs. 41-48).

El ejemplo más ilustrativo de este fenómeno es la surgencia del Perú, responsable de que existiera allí la pesquería más importante del mundo sobre una única especie, la anchoveta (*Engraulis ringens*) y que en 1972 se llegaron a pescar 12 millones de toneladas, que en ese entonces representaba el 22% de la pesca mundial.

La sobre-explotación, unida a alteraciones en las condiciones ambientales por el evento El Niño (ocurre cuando una corriente de agua ecuatorial caliente impide el afloramiento de aguas profundas frente a la costa del Perú) hicieron que la producción de anchoveta decline drásticamente.

## 2.6. Percepción Remota o Teledetección

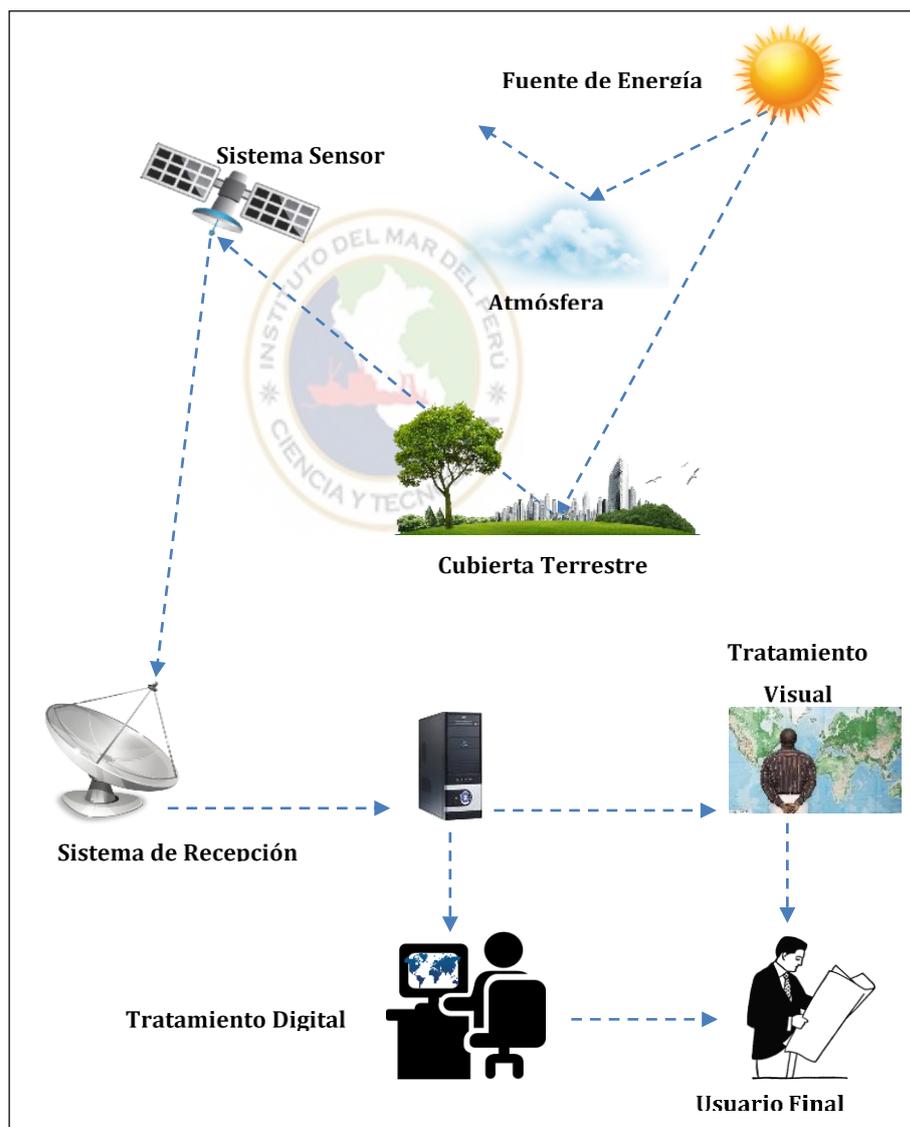
La percepción remota (Remote Sensing) o teledetección puede definirse como la ciencia y arte de obtener información de un objeto analizando los datos adquiridos mediante algún dispositivo que no está en contacto físico con dicho objeto, incluyendo todo el trabajo realizado a posteriori con estos datos, es decir, su procesamiento e interpretación, esto es posible gracias a la relación sensor-cobertura, en la cual en el caso de los barredores multiespectrales se expresa a través de la llamada radiación electromagnética. Esta relación se puede presentar en tres formas: Emisión, reflexión y Emisión-Reflexión, el flujo de energía que se produce por alguna de estas formas va a estar en función de la transmisión de energía térmica (Martínez Muñoz & Díaz Ponce, 2005).

Según (Chuviego, 1995) los elementos que intervienen en la teledetección son:

- **Fuente de energía:** Que supone el origen del flujo energético detectado por el sensor. La energía más importante, obviamente es la energía solar.
- **Cubierta terrestre:** Formada por distintas masas de vegetación, suelo, agua, construcciones humanas que reciben la energía del sol y la refleja o emiten.
- **Sistema sensor:** Capta la energía procedente de las cubiertas terrestres para codificarla y grabarla o enviarla al sistema de recepción.

- **Sistema de recepción-comercialización:** Donde se recibe la información transmitida por la plataforma.
- **Intérprete:** Que analiza esa información, normalmente en forma de imágenes, convirtiéndola en una clave temática o cuantitativa orientada a facilitar la evaluación del problema en estudio.
- **Usuario final:** encargado de analizar el documento fruto de la interpretación, así como de dictaminar sobre las consecuencias que de él se deriven.

*Figura N° 9: Obtención y Tratamiento de Imágenes Satelitales.*



*Fuente: Imagen adaptada del libro Fundamentos de Teledetección*

## 2.7. Plataforma de Teledetección TIROS – NOAA

Esta familia de satélites, constituyen uno de los múltiples programas diseñados para enviar información meteorológica a la superficie terrestre. Para ello, la NOAA opera tres tipos de sistemas de satélite, aquellos que orbitan alrededor de la Tierra (órbita polar), los que se quedan concentrados en una región de la Tierra (geoestacionario) y un satélite espacial profunda, que se encuentra a un millón de millas de la Tierra (Ver Figura N° 10).

Para la predicción del tiempo a corto plazo, utiliza los satélites en órbita geoestacionaria, GOES (Geoestacionary Operational Environmental Satellites), mientras que para predicciones a más largo plazo utiliza los satélites en órbita polar, los POES (Polar orbiting Operational Environmental Satellites) (Ver Tabla N° 2).

Figura N° 10: Barrido de los satélite de órbita polar.



Fuente: <https://fcw.com/articles/2013/04/12/polar-satellite-retired.aspx>

Teniendo en cuenta que el principal objetivo de este programa es facilitar información sobre el estado presente de la atmósfera, el satélite NOAA se diseñó para ofrecer un ciclo de cobertura muy corto: una imagen cada doce horas, en nuestras latitudes. Este ciclo se mejora a seis horas gracias a la sincronización entre dos satélites que operan simultáneamente. La serie de satélites NOAA que operan en órbitas helio sincronas o polares situadas a una altura orbital entre 833 y 870 km, cubren en una imagen un área aproximada de 3000 km de lado.

Estos satélites funcionan en pareja, es decir, existen dos satélites que operan en órbitas complementarias, de forma que uno de ellos cruza el ecuador aproximadamente a las 7:30 y 19:30 horas (satélite de número par) y el otro a las 2:30 y 14:30 horas (satélite de número impar). Convencionalmente los satélites de número par cubren la órbita de la mañana y los de número impar los de la tarde (Sobrino, 2001).



Tabla N° 2: Programa de satélites asociados POES 4ta y 5ta Generación.

<b>Programa de satélites asociados</b>	
<b>POES - NOAA 4<sup>ta</sup> Generación</b>	<b>POES - NOAA 5<sup>ta</sup> Generación</b>
NOAA-7 (1981 – 1986)	NOAA-15 (1998 - 2016)
NOAA-8 (1983 - 1985)	NOAA-16 (2000 - 2014)
NOAA-9 (1984 - 1998)	NOAA-17 (2002 - 2013)
NOAA-10 (1986 - 2001)	NOAA-18 (2005 - 2016)
NOAA-11 (1988 - 2004)	NOAA-19 (2009 - 2016)
NOAA-12 (1991 - 2007)	
NOAA-13 (1993 - 1993)	
NOAA-14 (1994 - 2007)	

Fuente: Observing Systems Capability Analysis and Review Tool (OSCAR).

Tabla N° 3: Instrumentos conocidos a borde de la serie NOAA 4<sup>ta</sup> Generación.

Acrónimo	Nombre Completo
<b>ARGOS</b>	Argos Data Collection System
<b>AVHRR – AVHRR/2</b>	Advanced Very High Resolution Radiometer / 2
<b>HIRS/2</b>	High-resolution Infra-Red Sounder / 2
<b>MSU</b>	Microwave Sounding Unit
<b>S&amp;RSAT</b>	Search & Rescue Satellite-Aided Tracking System
<b>SBUV/2</b>	Solar Backscatter Ultraviolet / 2
<b>SSU</b>	Stratospheric Sounding Unit
<b>SEM/MEPED</b>	SEM / Medium energy proton detector
<b>SEM/TED</b>	SEM / Total Energy Detector

Fuente: *Observing Systems Capability Analysis and Review Tool (OSCAR)*.

Tabla N° 4: Instrumentos conocidos a borde de la serie NOAA 5<sup>ta</sup> Generación.

Acrónimo	Nombre Completo
<b>AMSU-A</b>	Advanced Microwave Sounding Unit – A
<b>AMSU-B</b>	Advanced Microwave Sounding Unit – B
<b>AVHRR/3</b>	Advanced Very High Resolution Radiometer / 3
<b>HIRS/3</b>	High-resolution Infra-Red Sounder / 3
<b>S&amp;RSAT</b>	Search & Rescue Satellite-Aided Tracking System
<b>DCS/2</b>	Data Collection System / 2 (also called "Argos-2")
<b>SEM/MEPED</b>	SEM / Medium energy proton detector
<b>SEM/TED</b>	SEM / Total Energy Detector

Fuente: *Observing Systems Capability Analysis and Review Tool (OSCAR)*

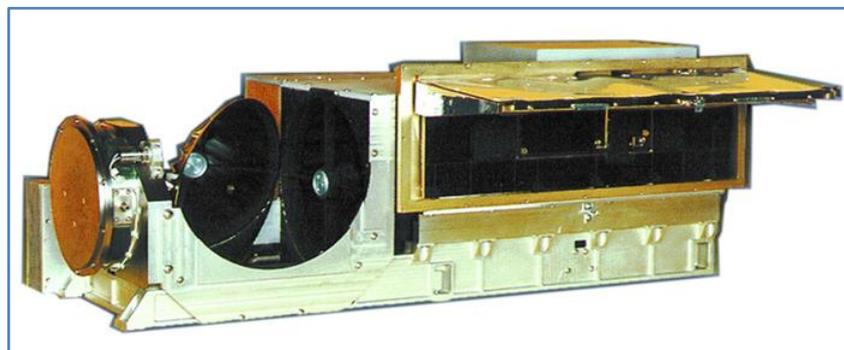
### 2.7.1. Radiómetro Avanzado de *Muy Alta Resolución (AVHRR)*

El radiómetro AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) fue diseñado para la observación meteorológica (determinación de cobertura de nubes y temperatura de la superficie del mar), pero posteriormente los datos que suministra han encontrado numerosas aplicaciones en el campo de la observación de la Tierra, lo que ha llevado a convertir al sensor AVHRR en una de las fuentes

de datos de teledetección más utilizadas. Su escáner tiene un barrido de banda ancha capaz de medir radiación en diferentes zonas del espectro electromagnético. Al obtener una misma imagen en diferentes longitudes de onda se puede hacer un análisis multiespectral para definir con gran precisión parámetros hidrológicos, oceanográficos y meteorológicos. Se distinguen varios modelos de este instrumento: El AVHRR/1, el AVHRR/2 y el AVHRR/3. Este último es el que portan los satélites de la serie KLM (Ver Figura N° 11).

El instrumento AVHRR proporciona datos en distintos intervalos dentro del rango visible, infrarrojo cercano e infrarrojo térmico del espectro electromagnético. Las observaciones en los canales correspondientes al visible y el infrarrojo cercano permiten observar vegetación, nubes, lagos, costas, nieve y hielo. Los otros tres canales, que operan dentro de la zona del infrarrojo térmico, permiten obtener la temperatura de la Tierra, temperatura de la superficie del agua y las nubes. El canal adicional del modelo AVHRR/3, llamado 3A, mejora la capacidad de discriminación entre nieve, hielo y nubes (Ver Tabla N° 5).

Figura N° 11: Radiómetro AVHRR/3



Fuente: [www.poes.gsfc.nasa.gov/avhrr3.html](http://www.poes.gsfc.nasa.gov/avhrr3.html)

Hay tres tipos de transmisión de datos AVHRR desde el satélite a la Tierra, HRPT (High Resolution Picture Transmisión), LAC (Local Area Coverage) y GAC (Global Area Coverage). La transmisión de datos HRPT se realiza de forma continua y se trata de datos de alta resolución. Los datos LAC también son de alta

resolución, pero se almacenan a bordo y se envían a tierra posteriormente. Los datos GAC se obtienen a partir de los LAC promediando valores muestreados (Vera Mella, 2005).

**Características:**

- Resolución espacial de 1.1 km. En el nadir de la observación.
- Resolución espectral de 6 bandas.
- Resolución radiométrica de 10 bits (1023 niveles distintos)
- Resolución temporal de un mínimo de dos imágenes diarias por cada satélite.
- Anchura de las imágenes 3000 km. Aproximadamente
- Píxeles por línea 2048
- Ángulo de barrido: 55.4° a cada lado del nadir
- El canal 3A se ha incorporado a partir del satélite NOAA-15 y en horas diurnas sustituye al canal 3B.

Tabla N° 5: Características de las bandas espectrales del AVHRR/3

Banda	Longitud de Onda (um)	Rango Espectral	Uso
1	0.58 – 0.68	Visible	Mapeo diurno de nubes y mapeo de superficie.
2	0.725 – 1.00	Infrarrojo Cercano	Límite tierra – agua.
3A	1.58 – 1.64	Infrarrojo Medio	Detección de hielo, nieve y nubes.
3B	3.55 – 3.93	Infrarrojo Térmico	Mapeo nocturno de nubes, temperatura superficial del mar, detección de hielo y nieve y detección de fuego.
4	10.3 – 11.3	Infrarrojo Térmico	Mapeo nocturno de nubes y temperatura superficial del mar.
5	11.5 – 12.5	Infrarrojo Térmico	Temperatura superficial del mar.

Fuente: <http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/avhrr.html>

### **2.7.2. Resolución Espacial**

Este concepto designa al objeto más pequeño que se puede distinguir en la imagen. Está determinada por el tamaño del píxel, medido en metros sobre el terreno, esto depende de la altura del sensor con respecto a la Tierra, el ángulo de visión, la velocidad de escaneado y las características ópticas del sensor.

### **2.7.3. Resolución Temporal**

Es la frecuencia de paso del satélite por un mismo punto de la superficie terrestre. Es decir cada cuanto tiempo pasa el satélite por la misma zona de la Tierra. Este tipo de resolución depende básicamente de las características de la órbita.

Con los satélites de la serie NOAA es posible observar toda la Tierra en 14,5 días, obteniendo una imagen cada 12 horas.

### **2.7.4. Los diversos niveles del producto**

#### **Nivel 0:**

Son datos de telemetría no procesados recibidos desde la plataforma de observación con exclusión de las impurezas de la comunicación (por ejemplo, la sincronización de las tramas, los encabezados de comunicación) de los artefactos de comunicación introducidas por el sistema de tierra. Estos datos se proveen sólo para algunas de las misiones de apoyo.

#### **Nivel 1A:**

El Producto son datos de telemetría que se han extraído pero no desmutados desde el nivel 0 y formateado en conjuntos de datos ordenados por el tiempo, de procesamiento más fácil.

Los formatos nivel 1A son formatos internos de la NOAA y sólo se utilizan para el procesamiento de la NOAA. Sólo existen brevemente con el fin de crear las bases de datos de nivel 1B.

### **Nivel 1B:**

Son conjuntos de datos discretos, específicos de los instrumentos derivados del nivel 1A que contiene los datos sin procesar a la máxima resolución, el tiempo-referenciado, y anotado con información auxiliar que incluye indicadores de calidad de datos, coeficientes de calibración y los parámetros de georreferenciación.

Utilizando la información de geolocalización, cada pixel individual es geolocalizado, ya sea después de la interpolación lineal o de interpolación de Lagrange. Los mismos esquemas de interpolación se utilizan para estimar los ángulos de satélite, cenital solar y de acimut para cada pixel. Esta información también se incluye en el producto nivel 1B AVHRR.

### **Nivel 2**

Consisten en variables geofísicas derivadas a la misma resolución y lugar como los datos de origen de nivel 1. Estas variables se agrupan en unas suites de productos.

### **Nivel 3**

Datos de nivel 3 son variables geofísicas derivadas que han sido agregadas/proyectadas sobre un mallado espacial bien definido durante un período de tiempo bien definido. Se archivan dos tipos de datos de nivel 3:

#### **Agrupado**

Cada producto de datos agrupados nivel 3 consiste en los datos acumulados de todos los productos nivel 2 en una suite de productos, para el instrumento y la resolución especificada, que corresponde a un período de tiempo (por ejemplo, todos los días, 8 días, mensual, etc.).

---

## Mapeado

Los productos de nivel 3, imagen mapeada estándar (Standard Mapped Image - SMI), se crean a partir de los correspondientes productos de nivel 3 agrupadas. Cada archivo SMI contiene una placa Carrée, rejilla de píxeles registrados de valores de punto flotante de un solo parámetro geofísico. También se proporciona una tabla de búsqueda de color en cada archivo que se puede utilizar para generar una imagen de los datos.

### ***Nivel 4.***

Los datos son el resultado del modelo o de los resultados del análisis de los datos de nivel inferior (por ejemplo, variables derivadas de múltiples mediciones). La productividad primaria del océano es un buen ejemplo de un producto de nivel 4.



# **CAPÍTULO III**

## **MATERIALES**



### 3. MATERIALES

#### 3.1. Imagen Satelital

Las imágenes satelitales de TSM, son imágenes a resolución espacial de 25 km obtenidas del Group for High Resolution Sea Surface Temperature (GHRSSST).

Estas imágenes de temperatura global de la superficie del mar son de nivel 4 y son producidas diariamente en una cuadrícula de 0,25 grados en la National Climatic Data Center de la NOAA (Ver Figura N° 12).

Este producto utiliza la interpolación óptima (OI) utilizando datos de 4 km del Radiómetro Avanzado de Muy Alta Resolución (AVHRR) de la serie Pathfinder versión 5 y observaciones in-situ de buques y boyas (cuando esté disponible, de lo contrario se utilizan los datos operativos de NOAA-AVHRR) (NOAA, 2016)

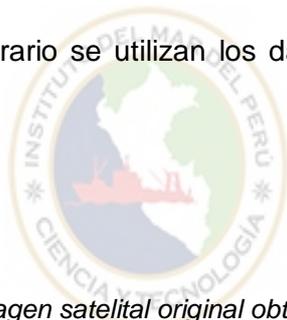
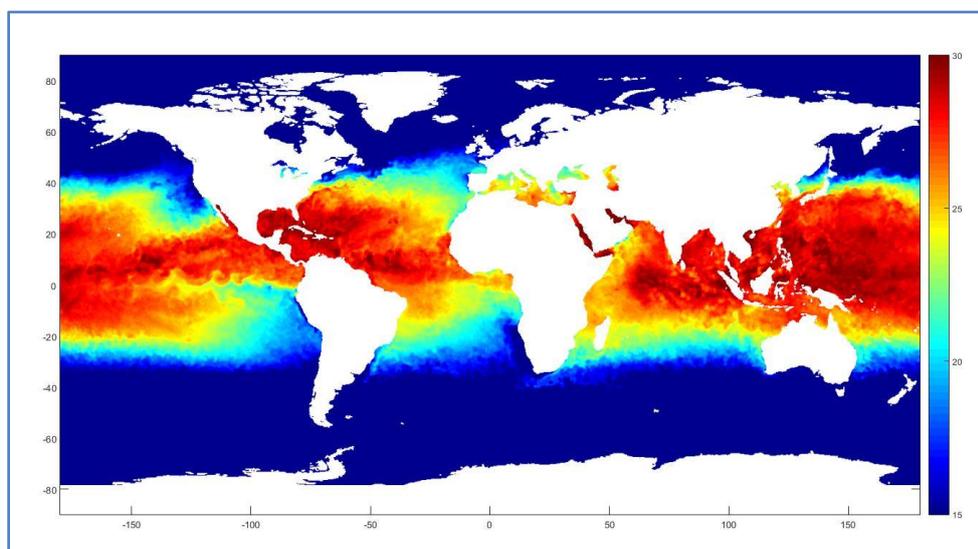


Figura N° 12: Imagen satelital original obtenida con el radiómetro AVHRR



Fuente: [www.nodc.noaa.gov/satellitedata/pathfinder4km53/](http://www.nodc.noaa.gov/satellitedata/pathfinder4km53/)

Tabla N° 6: Características generales de las imágenes satelitales utilizadas.

Denominación	Alcance
Región	Internacional
Latitud más al norte	90 grados
Latitud más al sur	-90 grados
Longitud más occidental	-180 grados
Longitud más oriental	180 grados
Resolución espacial	0.25 grados (latitud) x 0,25 grados (longitud)
Resolución temporal	1 Día

Fuente: [www.nodc.noaa.gov](http://www.nodc.noaa.gov)

Tabla N° 7: Características específicas de las imágenes satelitales utilizadas

	Denominación	Tamaño en píxeles	Tipo de dato	Eje	Unidades
Variables	Latitud	720	Único	Y	Segundos
	Longitud	1440	Único	X	
	Tiempo	1x1			
TSM Analizada		1440x720x1			Kelvin

Fuente: [www.nodc.noaa.gov](http://www.nodc.noaa.gov)

### 3.2. Temperatura superficial del mar recolectada in-situ en Lambayeque

Para el presente trabajo de investigación y para validar los resultados obtenidos de la TSM satelital se han recolectados datos de TSM in-situ en un punto con coordenadas geográficas 79° 58' 24.04" O y 6° 46' 6.61" S (Figura N° 13) cercano a la caleta San José (Distrito de San José, Provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque). La data de TSM in-situ abarca desde el año

1991 hasta la actualidad, dichos datos han sido medidos y registrados por el Técnico Pesquero David Sarmiento Barturén.

Figura N° 13: Punto de referencia de donde se obtienen los datos in-situ de la TSM.



Fuente: Google Earth - 2016

### 3.2.1. Materiales utilizados

- Termómetro de superficie, escala -10 a 50 °C
- Balde plástico de 4 ltrs.

Figura N° 14: Termómetro y balde de plástico para la toma de datos de TSM in-situ.



Fuente: Fotografía de los autores.

### **3.2.2. Procedimiento**

Los datos de TSM in-situ son tomados en la orilla de la playa en el punto arriba mencionado, a tres intervalos diarios 8, 13 y 17-18 horas.

1. La toma de medida de la temperatura comienza con el desplazamiento hacia el punto arriba descrito.
2. En dicho punto se introduce el termómetro en el mar repetidas veces a manera de calibrarlo luego se procede a sacar agua de mar con el balde de plástico (esto se hace por motivos del oleaje) introduciéndose instantáneamente el termómetro dentro del balde.
3. Se deja unos minutos reposar mientras el termómetro registra la temperatura del agua al mismo tiempo que se recoge agua en unos frascos de plástico para estudios de salinidad.
4. Las medidas registradas por el termómetro en las tres tomas por día son anotadas y promediadas en una hoja de cálculo de Excel y enviadas al laboratorio de IMARPE.

Cabe mencionar que al ser en la orilla de la playa el punto de medición hay fluctuaciones en la temperatura, la medida registrada en la mañana se incrementa al medio día y en la tarde o baja, en una o dos décimas o se mantiene igual, esta fluctuación según el técnico se debe, además del viento al empozamiento del agua cuando el mar está en llena o en seca.

Figura N° 15: Trayecto hacia el punto de toma de datos in-situ, medición y registro de la TSM.



Fuente: Fotografías de los autores

# **CAPÍTULO IV**

## **MÉTODOS**



## 4. MÉTODOS

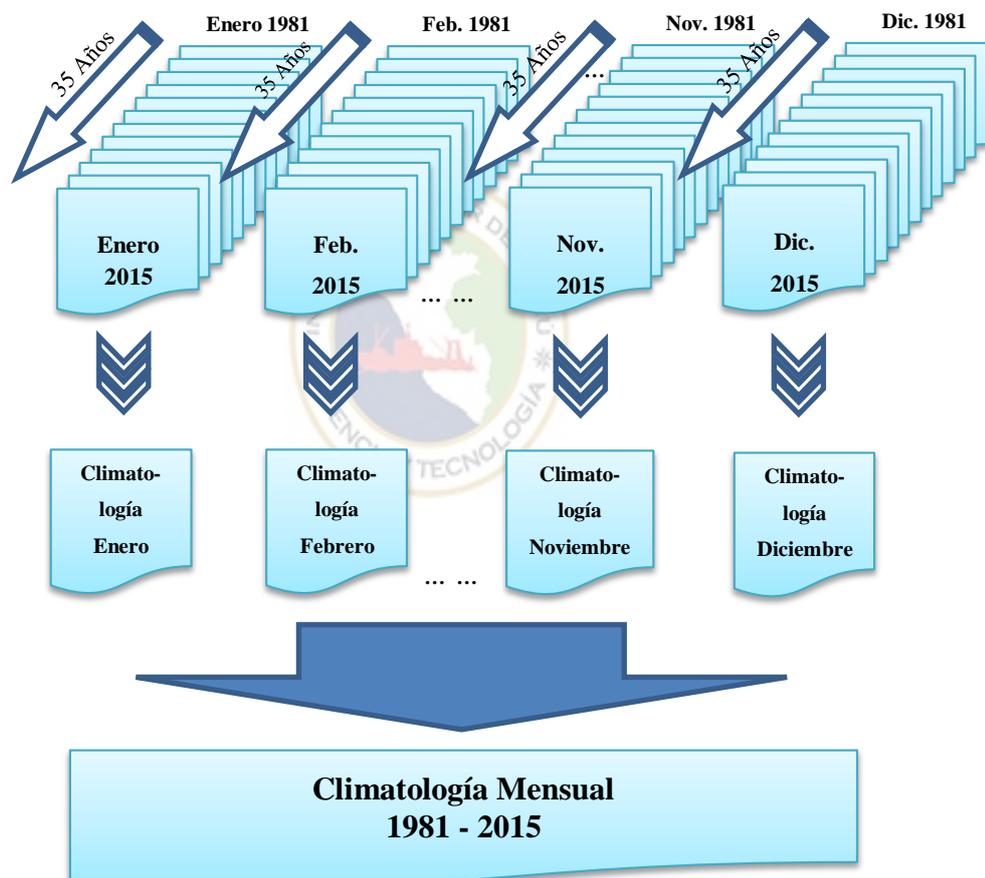
### 4.1. Metodologías de análisis de información

#### 4.1.1. Climatología Mensual

La climatología mensual se obtiene al promediar temporalmente todas las imágenes diarias de un determinado mes y de todos los años, Figura N° 16

Se obtienen doce (12) imágenes del promedio mensual de la TSM, las cuales nos permitirán calcular las anomalías de la TSM.

Figura N° 16: Proceso para la Obtención de la Climatología Mensual de la TSM.



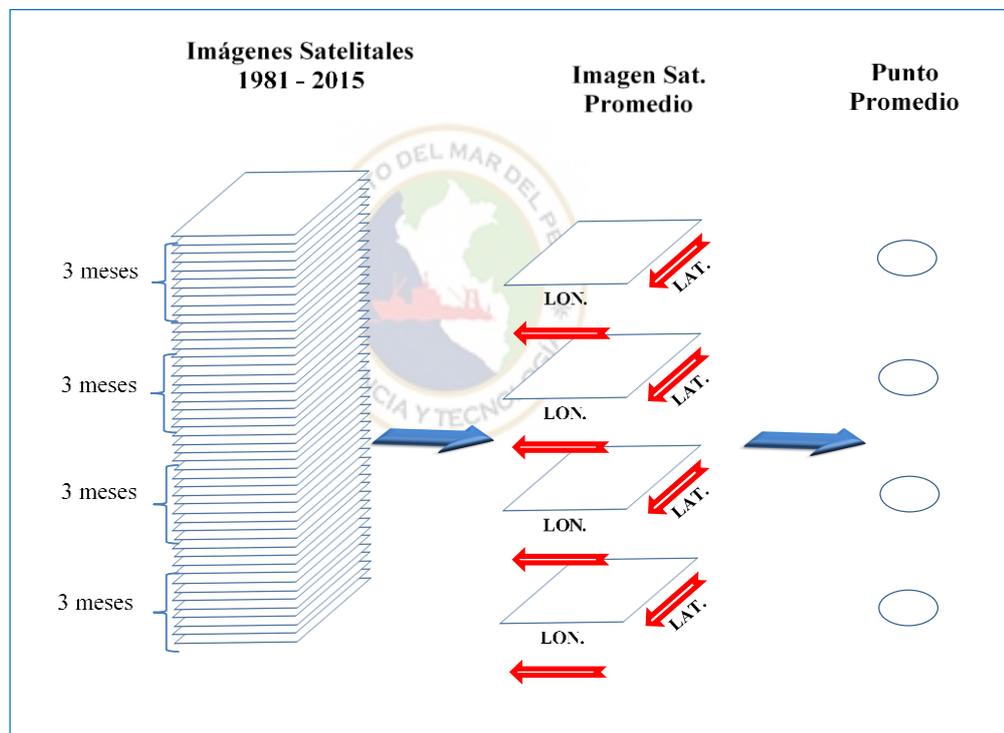
Fuente: Elaboración propia de los autores.

#### 4.1.2. Climatología Estacional

Para obtener una climatología estacional previamente se hace una selección de imágenes que pertenecen a una determinada estación del año, independientemente del año, para luego promediarlas en el tiempo, llegando a obtener la climatología estacional (cuatro mapas 2D) de TSM (Ver Figura N° 17).

A partir de estos mapas 2D de la climatología estacional, es posible extraer series de tiempo de climatología estacional para diversas localizaciones o integrar toda el área frente a Lambayeque.

Figura N° 17: Proceso para la obtención de la climatología estacional de la TSM



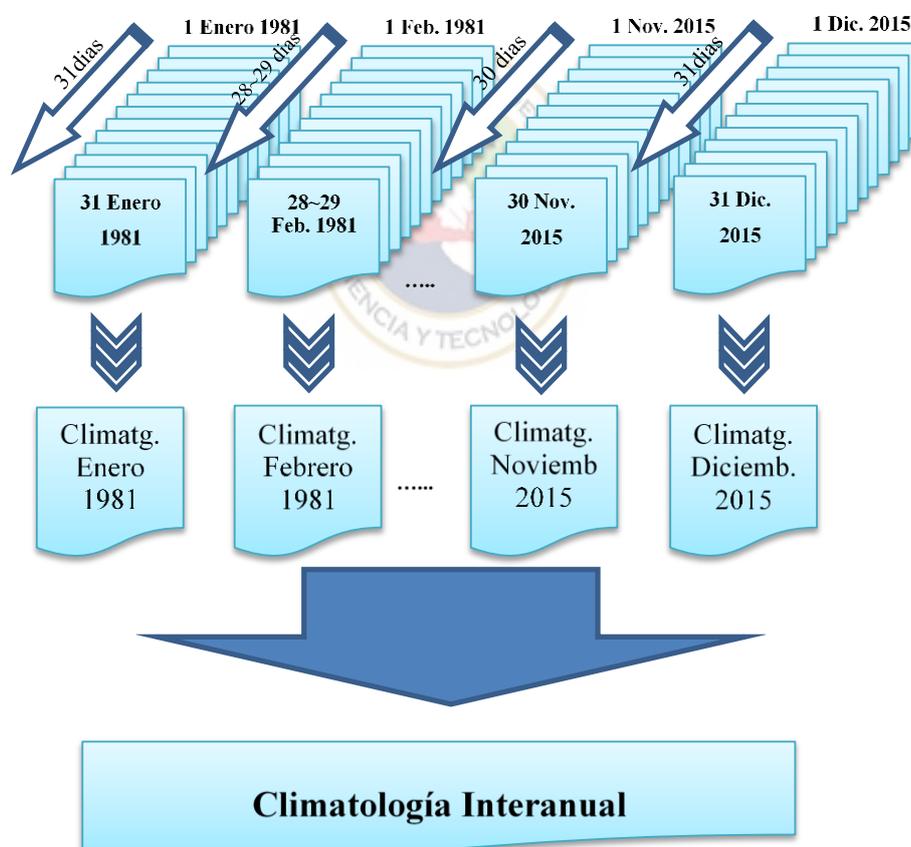
Fuente: Elaboración propia de los autores.

### 4.1.3. Climatología Interanual

Para obtener la climatología interanual, primero se promedian en función del tiempo las imágenes satelitales obtenidas de forma diaria durante un determinado mes, obteniéndose una imagen que luego se promedia en función de su longitud y latitud, mostrándose el resultado en una serie de tiempo. De esta manera se obtiene un valor de temperatura para cada mes de los años 1981 a 2015 (Ver Figura N° 18).

Este promedio mensual es almacenado para su posterior utilización en la obtención de las anomalías de TSM.

Figura N° 18: Proceso para obtener la Climatología Interanual de la TSM

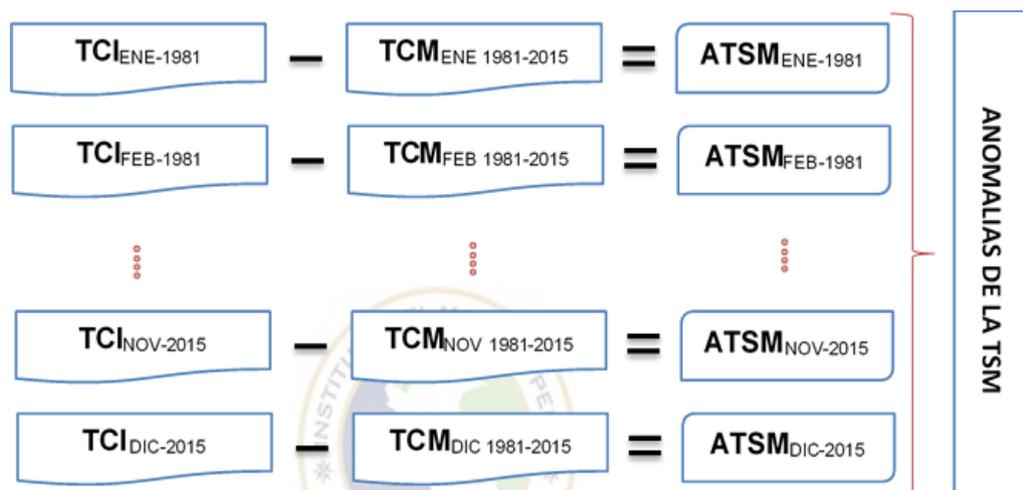


Fuente: Elaboración propia de los autores.

#### 4.1.4. Cálculo de la anomalía de la TSM

De la climatología interanual se obtiene un promedio general de cada mes para toda el área de estudio, de igual manera se hará para la climatología mensual; la diferencia entre el promedio del mes de la climatología interanual y el promedio del mes de la climatología mensual, se le denomina anomalía de la TSM, el cual puede ser positivo o negativo.

Figura N° 19: Proceso para la obtención de las Anomalías de la TSM

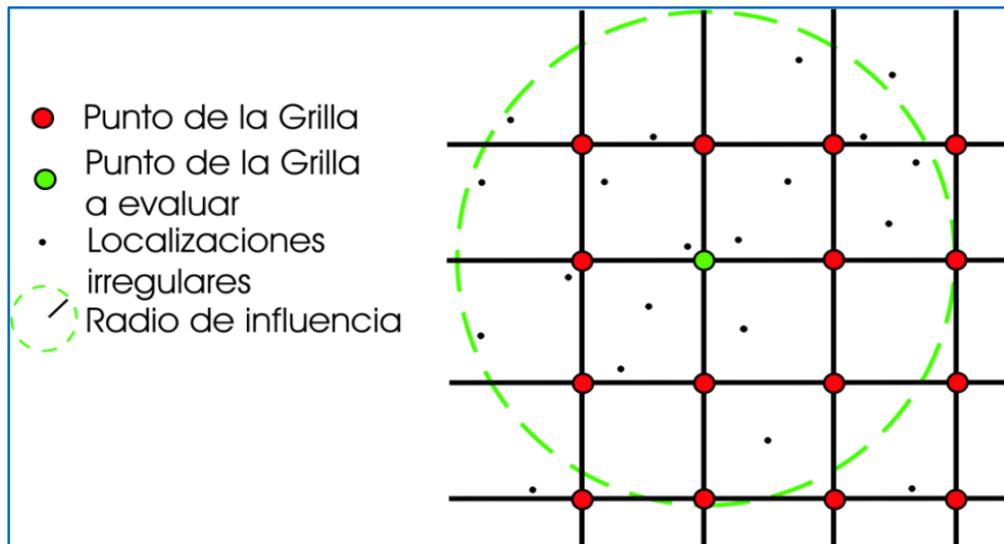


Fuente: Elaboración propia de los autores.

#### 4.1.5. Interpolación de Análisis Objetivo sobre la TSM

Este método reduce al mínimo la diferencia del valor estimado y el verdadero valor observado a su alrededor (Satelital) y permite calcular la TSM en un pixel faltante a partir de los datos de TSM que están dentro de un radio de influencia, cada uno de los datos de TSM contribuye al valor esperado con un peso proporcional a la distancia que los separa del pixel a calcular (Ver Figura N° 20).

Figura N° 20: Método de Interpolación



Fuente: Variación Climatológica e Interanual de la Temperatura Superficial del Mar Frente a las Costa de Lambayeque (Santamaría y Correa 2010)

$$f_{x,y} = \sum (k = 1 \dots n) (f_k * \exp(-w_k)) / \sum (k = 1 \dots n) w_k$$

$f_{x,y}$  = valor calculado

$f_k$  = valor dentro del radio

$w_k$  = peso proporcional a la distancia

$a$  = radio de influencia en  $w_k$

#### 4.1.6. Cálculo de la frecuencia de la variación de anomalías de la TSM

El resultado de este cálculo expresa el porcentaje de eventos positivos (calientes), negativos (fríos) y neutros de las anomalías de la TSM. Para ello se delimita los valores de las anomalías en tres intervalos y se procede a obtener las frecuencias porcentuales.

$$f_r \% = \frac{f_i}{n} \times 100$$

$f_r \%$  = frecuencia porcentual

$f_i$  = frecuencia absoluta

$n$  = número total de datos

#### 4.1.7. Promedio o media muestral

El promedio, es la tendencia central de la distribución, es considerado el primer momento respecto de al origen de la distribución de la muestra. Se obtiene a partir de la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos. Cuando el conjunto es una muestra aleatoria recibe el nombre de media muestral siendo uno de los principales estadísticos muestral.

Dado  $n$  números  $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ , la media muestral se define como:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$$

#### 4.1.8. Desviación estándar

La desviación estándar o desviación típica (denotada con el símbolo  $\sigma$  o  $s$ , dependiendo de la procedencia del conjunto de datos) es una medida de dispersión. Para conocer con detalle un conjunto de datos, no basta con conocer la medida de tendencia central (promedio), sino que también necesitamos conocer la desviación estándar, que presentan los datos en su distribución respecto de la media de la distribución. La desviación estándar equivale a la raíz cuadrada de la varianza.

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

#### 4.1.9. Gradiente Térmico

La temperatura es una magnitud intensiva que adopta un valor distinto para cada punto del espacio, por lo que puede ser descrito como un campo escalar:

$$T = T(x, y)$$

En el que “x” y “y” son las coordenadas espaciales de la superficie del mar en el área de estudio.

Asumiendo que el valor de la temperatura viene dado por una función continua y diferenciable, el gradiente térmico  $\nabla T$  se define como la variación de temperatura por unidad de distancia (se determina como la derivada parcial de la temperatura).

$$\nabla T = \left( \frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y} \right)$$



# **CAPÍTULO V**

## **RESULTADOS**



## 5. RESULTADOS

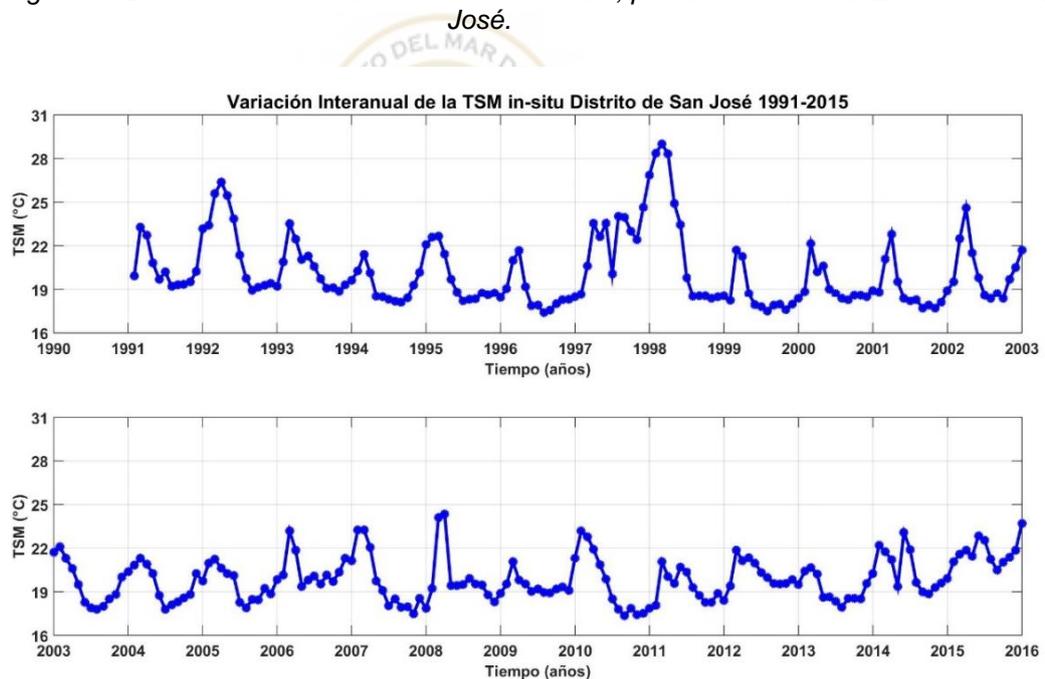
### 5.1. Análisis de la TSM in-situ y satelital

#### 5.1.1. Variación de la TSM in-situ punto Distrito de San José.

La Figura N° 21 nos muestra la variación de la TSM in-situ entre los años 1991-2015, con una temperatura máxima de 29 °C en el mes de febrero de 1998 (esto debido a la ocurrencia del evento de “El Niño” 1997-1998), y una temperatura mínima de 17.33 °C en el mes de agosto de 2010 (ver tabla en anexo 8.2)

De los datos in-situ, el promedio general para el periodo 1991 – 2015 es de 20.04 °C.

Figura N° 21: Variación interanual de la TSM in-situ, punto ubicado en el Distrito de San José.



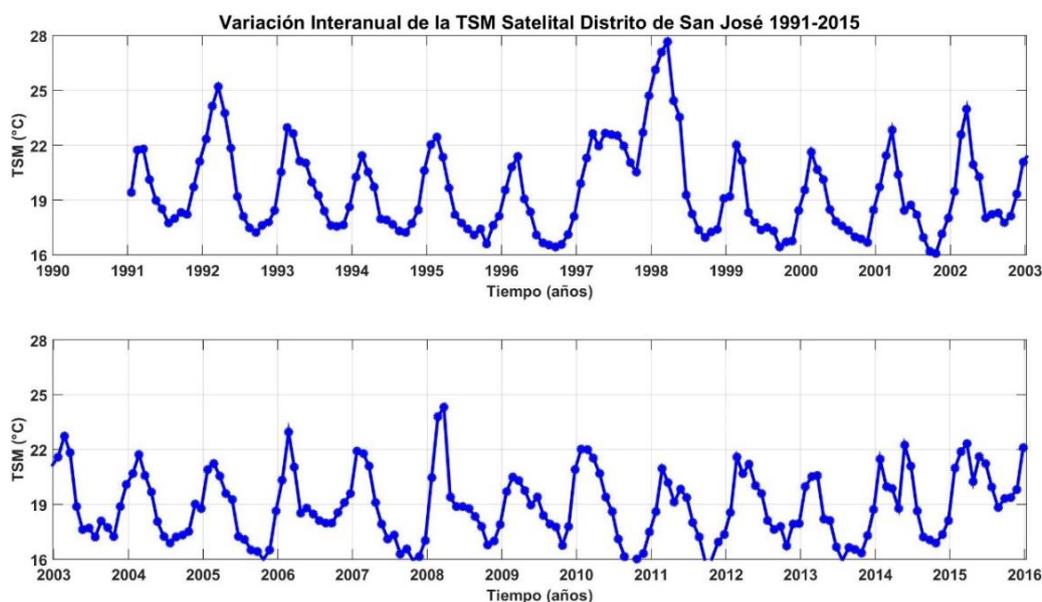
Fuente: Elaboración propia de los autores.

### 5.1.2. Variación de la TSM satelital punto Distrito de San José.

La Figura N° 22, nos muestra la variación de la TSM satelital de un pixel cercano al punto de extracción de datos de TSM in-situ del distrito de San José, entre los años 1991-2015, con una temperatura máxima de 27.67 °C en marzo de 1998 (Niño 1997-1998), y una temperatura mínima de 15.57 °C en setiembre de 2010 (Ver Tabla N° 8).

De los datos in-situ, el promedio general para el periodo 1991 – 2015 es de 19.16 °C.

Figura N° 22: Variación interanual de la TSM satelital, punto ubicado en el Distrito de San José; período 1991 a 2015.



Fuente: Elaboración propia de los autores

*Tabla N° 8: Valores de la variación interanual de la TSM satelital para el punto cercano al Distrito de San José.*

Mes Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1991	19.41	21.73	21.79	20.13	18.99	18.50	17.75	18.00	18.33	18.22	19.71	21.11
1992	22.33	24.14	25.20	23.76	21.84	19.21	18.09	17.48	17.21	17.60	17.79	18.42
1993	20.54	22.97	22.63	21.15	21.03	19.99	19.24	18.39	17.61	17.55	17.64	18.61
1994	20.25	21.43	20.53	19.72	17.96	17.91	17.66	17.30	17.22	17.72	18.45	20.61
1995	22.04	22.46	21.35	19.66	18.17	17.73	17.42	17.09	17.41	16.61	17.60	18.12
1996	19.54	20.80	21.37	19.05	18.35	17.09	16.66	16.54	16.43	16.57	17.11	18.10
1997	19.89	21.28	22.64	21.96	22.67	22.58	22.53	21.95	21.04	20.54	22.69	24.71
1998	26.12	27.09	27.67	24.43	23.54	19.26	18.24	17.37	16.94	17.26	17.40	19.07
1999	19.20	22.00	21.16	18.32	17.79	17.36	17.49	17.31	16.44	16.72	16.75	18.42
2000	19.55	21.63	20.67	20.13	18.47	17.82	17.58	17.33	16.99	16.88	16.68	18.44
2001	19.72	21.42	22.83	20.40	18.43	18.73	18.18	16.97	16.19	16.08	17.14	18.02
2002	19.46	22.59	23.99	20.94	20.27	18.02	18.21	18.28	17.77	18.14	19.34	21.08
2003	21.58	22.74	21.82	18.88	17.62	17.70	17.21	18.08	17.72	17.23	18.88	20.07
2004	20.67	21.73	20.58	19.68	18.05	17.23	16.89	17.22	17.33	17.51	19.01	18.77
2005	20.90	21.23	20.55	19.59	19.26	17.24	17.08	16.51	16.43	15.99	16.51	18.64
2006	20.31	22.95	21.03	18.52	18.80	18.48	18.13	17.98	17.96	18.54	19.10	19.58
2007	21.92	21.78	21.08	19.10	17.92	17.11	17.33	16.29	16.57	15.95	16.15	17.02
2008	20.47	23.80	24.32	19.39	18.87	18.86	18.76	18.33	17.80	16.76	17.00	17.88
2009	19.70	20.49	20.29	19.75	18.95	19.39	18.40	17.92	17.76	16.76	17.78	20.89
2010	22.01	21.99	21.54	20.68	19.39	18.62	17.09	16.15	15.57	16.02	16.30	17.50
2011	18.60	20.96	20.20	19.13	19.83	19.36	18.02	17.20	15.79	16.00	16.93	17.36
2012	18.56	21.59	20.67	21.20	20.04	19.59	18.11	17.62	17.79	16.72	17.93	17.94
2013	19.98	20.51	20.57	18.20	18.11	16.66	15.94	16.64	16.54	16.33	17.29	18.72
2014	21.47	19.96	19.87	18.78	22.23	21.08	18.63	17.20	17.04	16.89	17.34	18.11
2015	20.98	21.88	22.32	20.24	21.62	21.24	19.94	18.81	19.31	19.37	19.80	22.10

*Fuente: Elaboración propia de los autores*

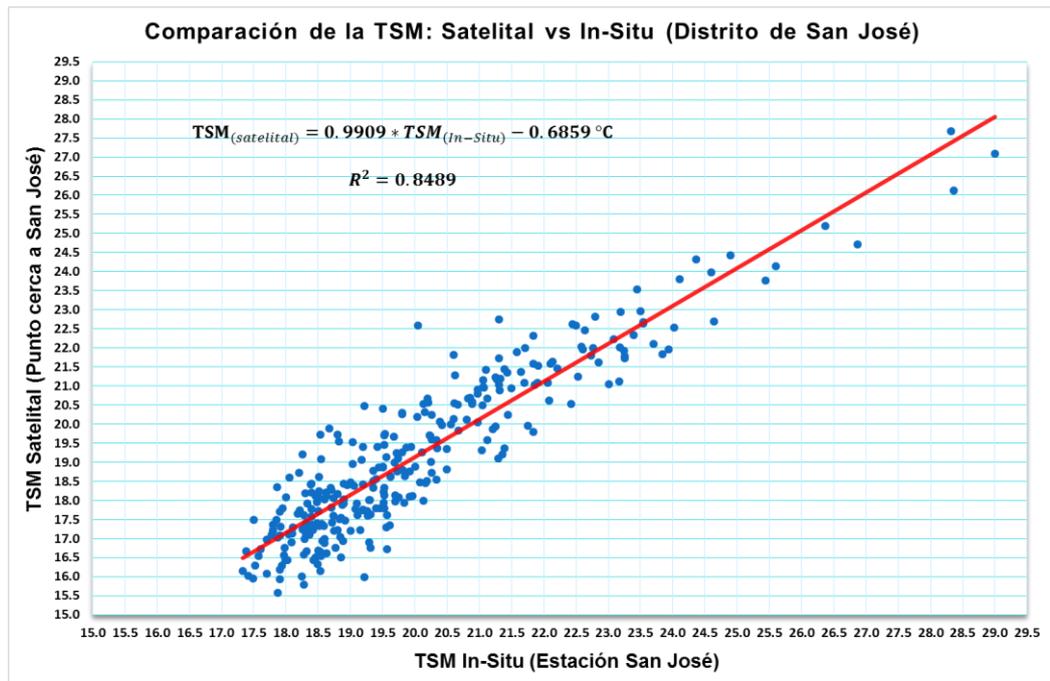
### **5.1.3. Comparación y validación de la TSM satelital vs in-situ**

La validación de datos garantiza la corrección y precisión de todos los valores de datos de TSM satelital utilizados en este proyecto de investigación.

La Figura N° 23, nos muestra la correlación positiva entre los datos de la TSM satelital (data del sensor AVHRR) y la TSM in-situ (data proporcionada por el IMARPE – sede Santa Rosa), para el punto cercano al Distrito de San José periodo 1991 - 2015, obteniendo un coeficiente de correlación de 0.8489 que es >0.5, lo cual indica la similitud entre ambas bases de datos.

Finalmente, luego de todo el análisis y la concluyente correspondencia numérica y espacial, los datos de TSM satelitales pueden ser validados como equivalentes a los datos terrestres in-situ.

Figura N° 23: Gráfico de correlación entre la TSM satelital y la TSM in-situ, punto cercano al Distrito de San José 1991 – 2015.



Fueznte: Elaboración propia de los autores

## 5.2. Recuperación de información de la TSM satelital por efectos de cobertura de nubes.

El cálculo de la temperatura superficial del mar presenta su mayor limitación en la presencia de nubes. Las grandes nubes son masas de vapor de agua y se detectan con facilidad. Sin embargo, la presencia de nubes de tamaño menor que un pixel o bien nubes bajas con temperatura ligeramente inferior que la TSM, da lugar a que la temperatura detectada sea mezcla de la temperatura de la nube y de la TSM. (Keiyy, 1985, McClain, 1985; Sauflders y Kriebel, 1988).

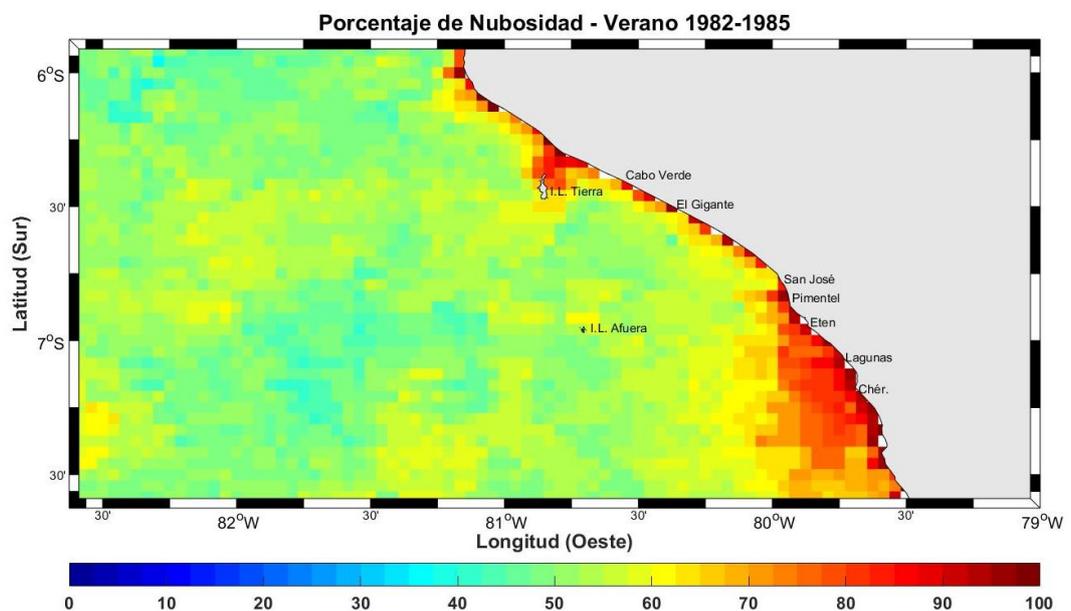
En esta sección se muestra el porcentaje de nubosidad para las estaciones de verano (enero, febrero y marzo); otoño (abril, mayo y junio); invierno (julio, agosto y setiembre) y primavera (octubre, noviembre y diciembre). Cabe mencionar que tanto para el porcentaje estacional de nubosidad y el método de interpolación de análisis objetivo se ha usado una base de datos de imágenes satelitales con resolución espacial de 4 km.

### 5.2.1. Porcentaje Estacional de nubosidad

El cálculo del porcentaje estacional de nubosidad se obtuvo con el siguiente procedimiento: se promedió las imágenes diarias que presenta esta base de datos para un periodo estacional, las nuevas imágenes diarias promedio obtenidas las superponemos, al superponer estas imágenes se formaran columnas de píxeles y de esta columna se ubican los pixeles que no tienen datos, (no hay datos por la cobertura de nubes), contando en esta columna los píxeles que no tengan dato, el resultado se le multiplica por cien y se divide entre el número de imágenes, obteniendo el porcentaje estacional de nubosidad.

La Figura N° 24, nos muestra el porcentaje de nubes para la estación de verano, obtenida al procesar 361 imágenes, en donde se aprecia que cerca de la costa, entre Pimentel y Cabo verde presenta una cobertura de nubes  $> 60\%$ ; en la zona oceánica y fuera de los 20 km de la costa, la cobertura de nubes es  $< 50\%$ . La cobertura de nubes es mayor entre San José y Chérrepe, con extensión aproximadamente 40 km.

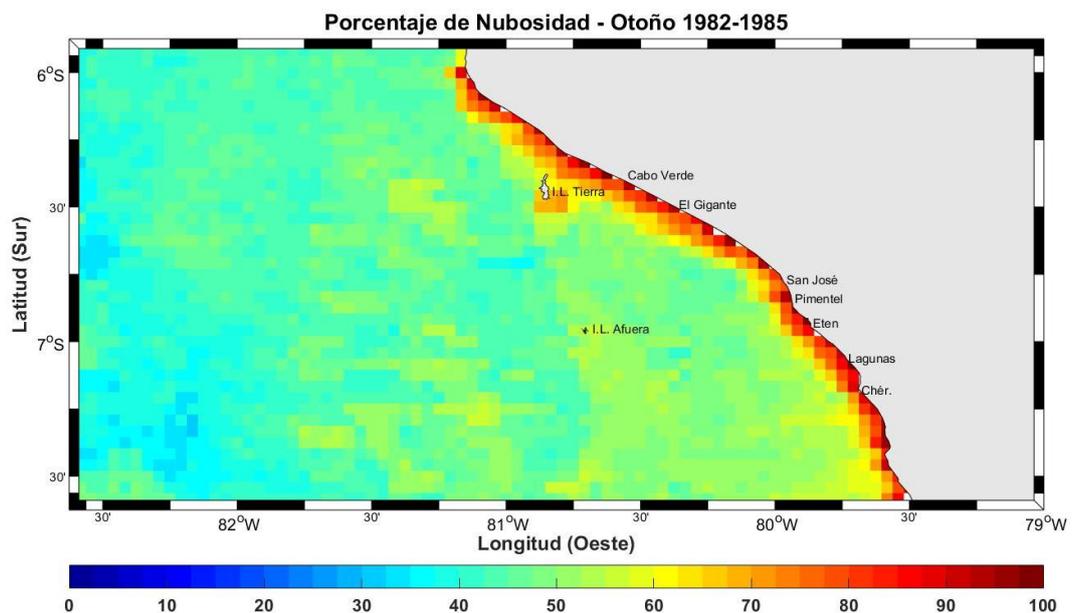
Figura N° 24: Porcentaje estacional de nubosidad en las imágenes satelitales de la TSM frente a Lambayeque, verano 1982-1985



Fuente: Elaboración propia de los autores.

La Figura N° 25, nos muestra el porcentaje de nubes para la estación de otoño, obtenida al procesar 364 imágenes, en la cual se muestra que a lo largo de todo el litoral costero de Lambayeque y 20 km hacia afuera presenta una cobertura de nubes > 60%; en la zona oceánica y fuera de los 20 km de la costa, la cobertura de nubes es < 50 %.

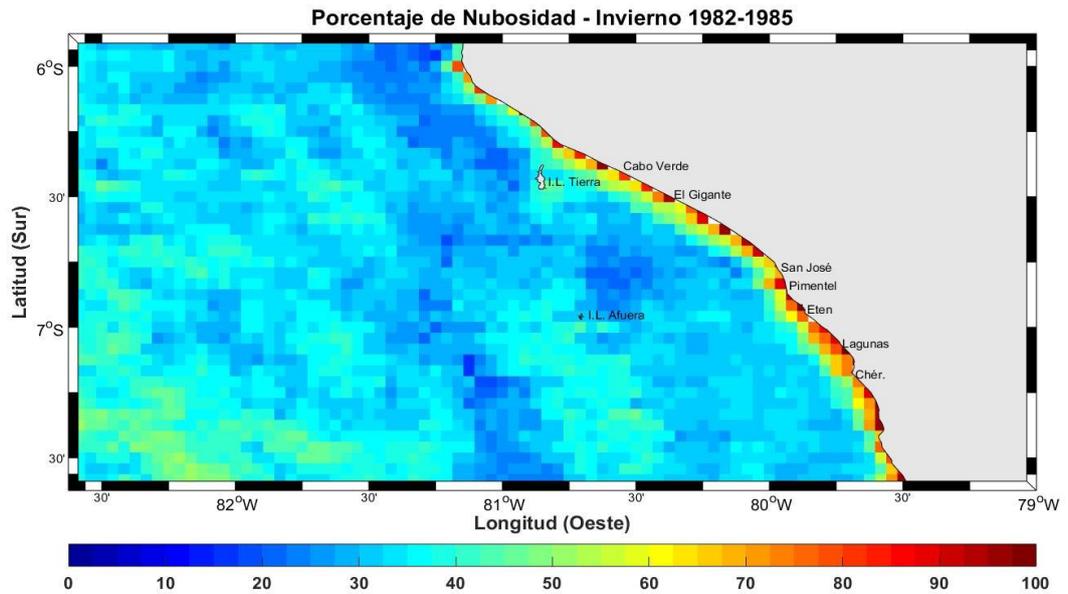
*Figura N° 25: Porcentaje estacional de la nubosidad de las imágenes satelitales de la TSM frente a Lambayeque, otoño 1982-1985*



*Fuente: Elaboración propia de los autores*

La Figura N° 26, nos muestra el porcentaje de nubes para la estación de invierno, obtenida al procesar 368 imágenes, como se puede apreciar a lo largo de todo el litoral costero de Lambayeque y 12 km hacia afuera presenta una cobertura de nubes > 60%; la zona oceánica y fuera de los 12 km de la costa, la cobertura de nubes es < 40 %. Cabe mencionar también que esta imagen nos muestra que en la estación de invierno hay un menor porcentaje de nubes en comparación con las otras estaciones.

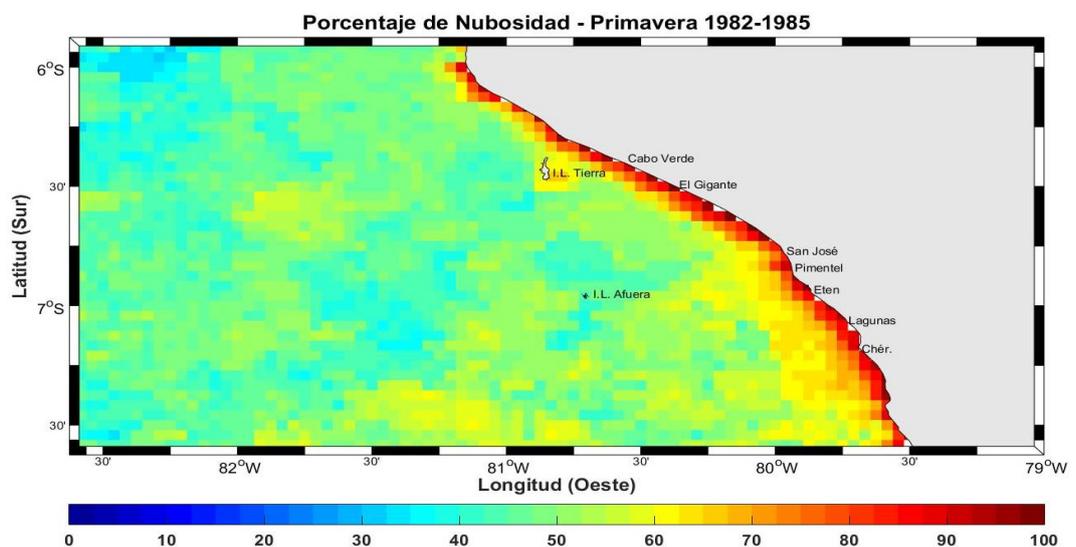
Figura N° 26: Porcentaje estacional de nubosidad de las imágenes satelitales de la TSM frente a Lambayeque, invierno 1982-1985



Fuente: Elaboración propia de los autores

La Figura N° 27, nos muestra el porcentaje de nubes para la estación de primavera, obtenida al procesar 368 imágenes, y nos muestra que a lo largo de todo el litoral costero de Lambayeque y 20 km hacia afuera presenta una cobertura de nubes > 60%; en la zona oceánica y fuera de los 20 km de la costa, la cobertura de nubes es < 45 %.

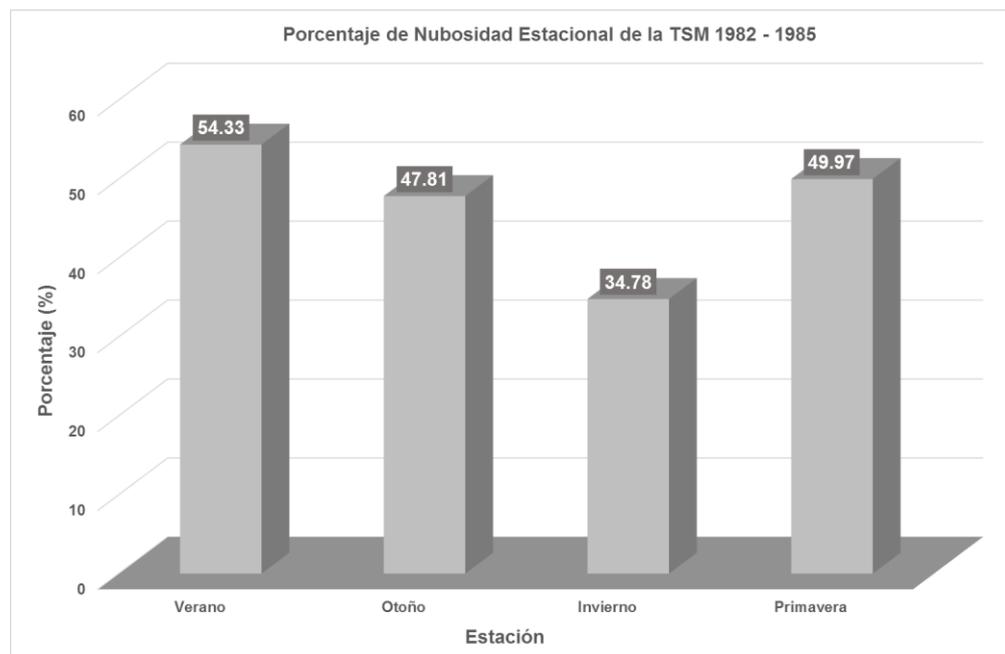
Figura N° 27: Porcentaje estacional de la nubosidad de las imágenes satelitales de la TSM frente a Lambayeque, primavera 1982-1984



Fuente: Elaboración propia de los autores

La Figura N° 28, nos muestra la comparación del porcentaje estacional de nubes de las imágenes satelitales de la TSM, frente a la costa de la región Lambayeque, entre los años 1982-1985, con porcentajes de nubosidad entre 54.32% en la estación de verano y 34.78 % en la estación de invierno.

*Figura N° 28: Porcentajes estacionales de nubosidad de las imágenes satelitales de la TSM frente a Lambayeque 1982-1985*

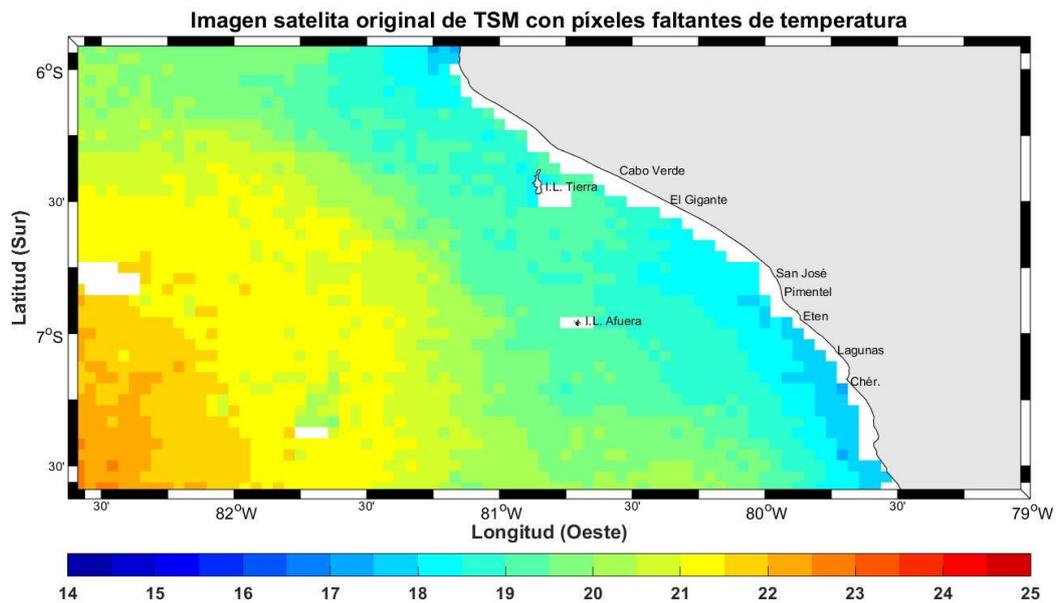


*Fuente: Elaboración propia de los autores*

### 5.2.2. Aplicación del método de Interpolación de Análisis Objetivo

La Figura N° 29, muestra la imagen satelital original de la TSM frente a la costa de la región Lambayeque, del 4 de mayo de 1982, en donde se aprecia que faltan datos de temperatura en algunos pixeles por cobertura de nubes, los cuales aparecen de color blanco.

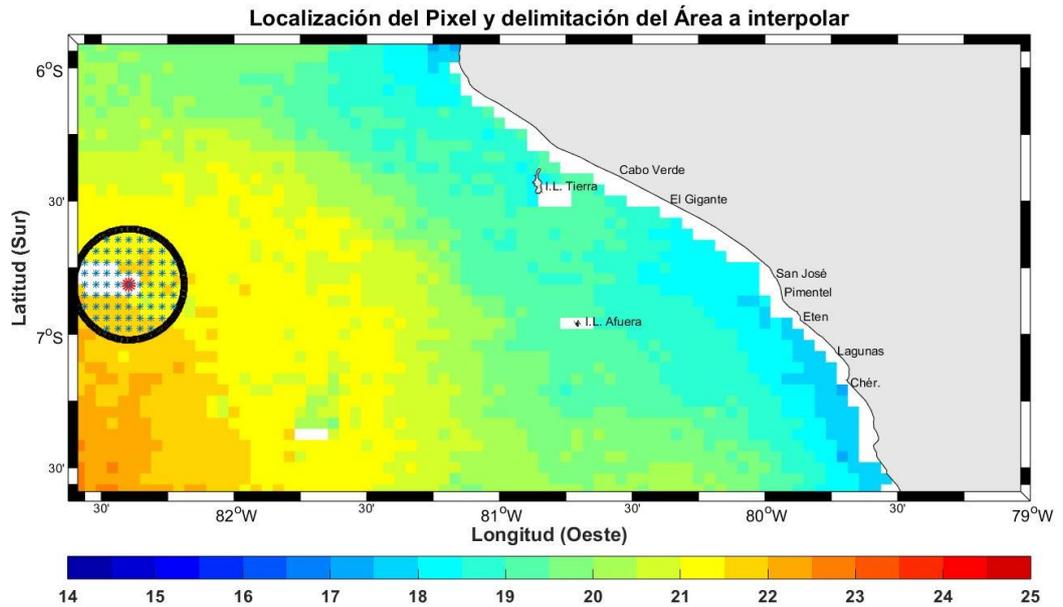
Figura N° 29: Imagen satelital original de la TSM frente a Lambayeque.



Fuente: Elaboración propia de los autores

En la Figura N° 30, se muestra la imagen satelital original de la TSM frente a la costa de la región Lambayeque, del 4 de mayo de 1982. En donde se ha localizado un pixel faltante (punto de color rojo), luego se ha trazado un radio de influencia de 20 km, con la finalidad de delimitar un área, donde se puede apreciar la existencia de varios datos de temperatura (3 son los datos mínimos de temperatura para interpolar), con los datos de temperatura dentro del radio de influencia se procederá a implementar el método de interpolación objetiva para recuperar el dato faltante.

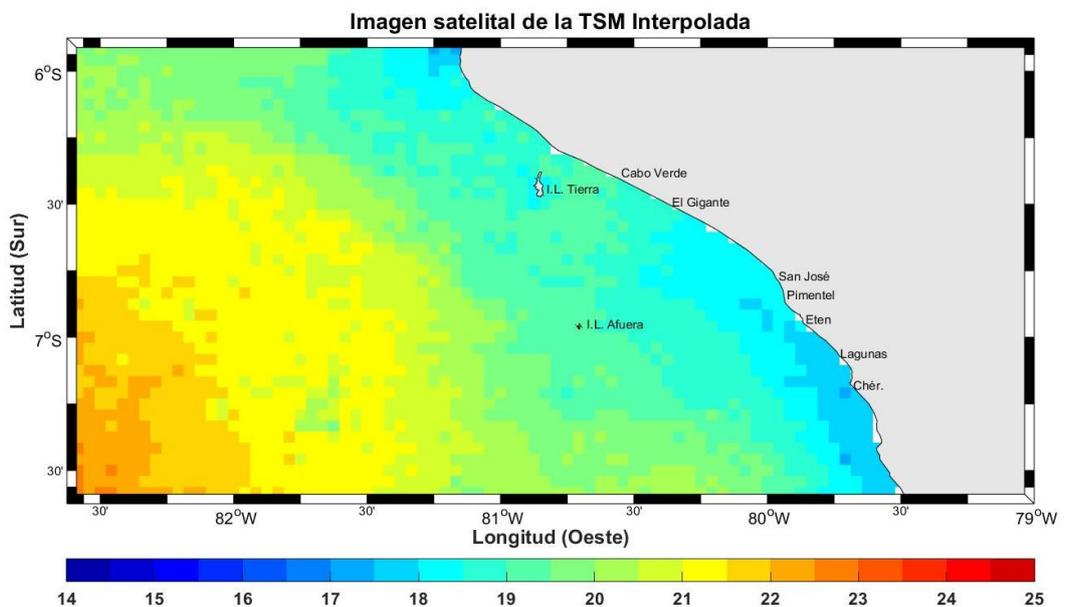
Figura N° 30: Imagen satelital de la TSM frente a Lambayeque con localización y delimitación de un pixel a interpolar.



Fuente: Elaboración propia de los autores

La Figura N° 31, nos muestra la imagen satelital interpolada de la TSM frente a la costa de la región Lambayeque, del 4 de mayo de 1982. Donde se aprecia que los pixeles de los datos faltantes de temperatura se han completado utilizando el método de interpolación de análisis objetivo.

Figura N° 31: Imagen satelital de la TSM frente a Lambayeque interpolada.



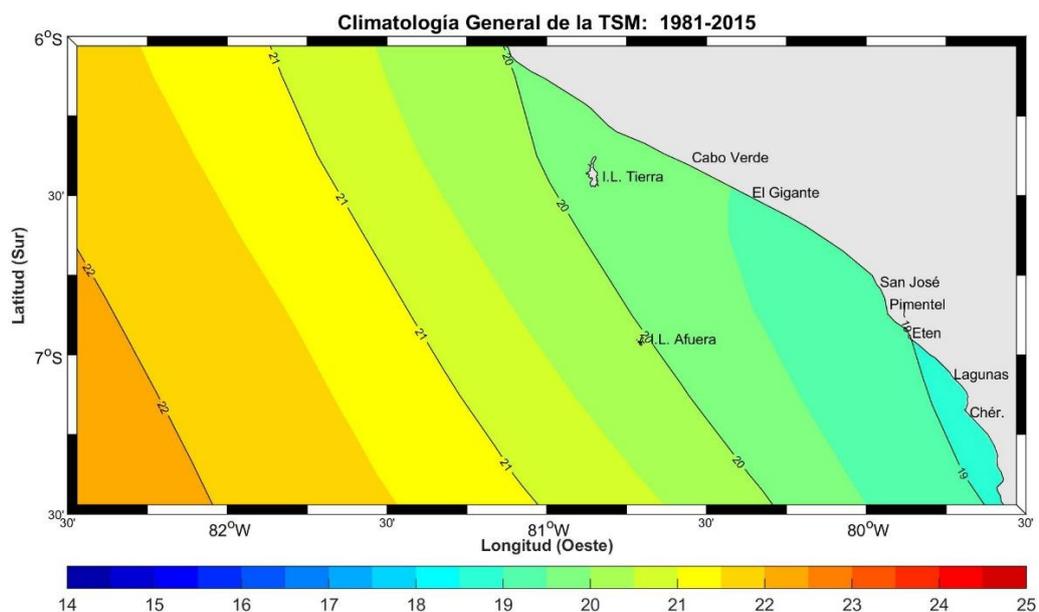
Fuente: Elaboración propia de los autores

### 5.3. Climatología de la TSM frente a Lambayeque entre 1981 y 2015

#### 5.3.1. Climatología General de la TSM frente a Lambayeque 1981-2015

La Figura N° 32, nos muestra la climatología General de la TSM frente a la costa de la región Lambayeque, que ha sido calculada a partir de 12,452 mapas diarios de TSM, correspondiente a 35 años (1981-2015), se calculó el promedio temporal para cada pixel del área de estudio que cubre desde la costa hasta la zona oceánica. La climatología general muestra que la TSM frente a la costa de Lambayeque varía en un rango de 18.5 °C a 22.5 °C; en la zona costera se observan temperaturas de 18.5°C a 20°C, la zona oceánica presenta temperaturas de 20°C - 22.5 °C paralelo a la costa; la zona entre Eten y Chérrepe tiene la temperatura más baja de 18.5 °C, esto debido al afloramiento costero permanente que se extiende en una franja costera de aproximadamente 83 km hacia fuera de la costa.

Figura N° 32: Climatología General de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque 1981-2015.



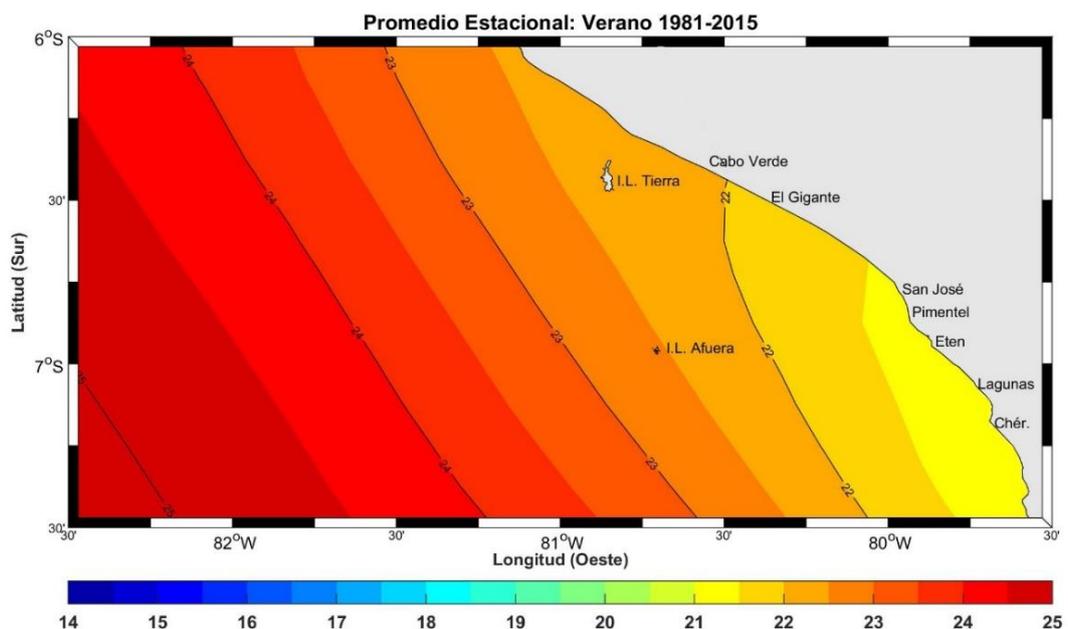
Fuente: Elaboración propia de los autores

### 5.3.2. Climatología Estacional de la TSM frente a Lambayeque 1981 – 2015

La Figura N° 33, podemos apreciar la climatología Estacional del verano (enero, febrero y marzo) de la TSM frente a la costa de la Región Lambayeque, que fue calculada a partir de 3,068 mapas diarios de TSM, correspondiente a 35 años (1981-2015), se calculó el promedio estacional para cada pixel del área de estudio que cubre desde la costa hasta la zona oceánica.

La climatología estacional del verano muestra que la TSM frente a Lambayeque varía en un rango de 21 a 25°C; en la zona costera se observan temperaturas de 21 a 22 °C; la zona oceánica presenta un aumento gradual de 23 a 25°C paralelo a la costa.

Figura N° 33: Climatología Estacional de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: verano 1981-2015.

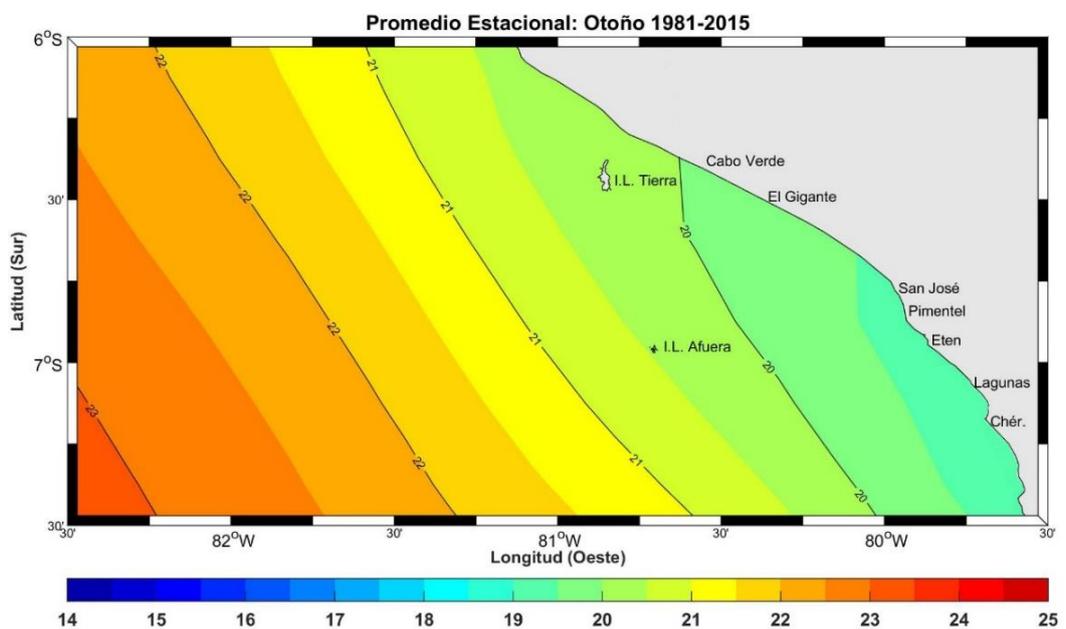


Fuente: Elaboración propia de los autores

La Figura N° 34, muestra la climatología estacional de Otoño (Abril, Mayo, Junio) de la TSM frente a la costa de la Región Lambayeque, que fue calculada a partir de 3,094 mapas diarios de TSM.

Se calculó el promedio mensual para cada pixel del área de estudio que cubre desde la costa hasta la zona oceánica. La climatología estacional de otoño muestra que la TSM varía en un rango de 19°C a 23.5°C; en el litoral costero se observan temperaturas de 19°C a 20°C; la zona oceánica presenta un aumento gradual de 21°C a 23.5°C paralelo a la costa.

Figura N° 34: Climatología Estacional de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: otoño 1981-2015.



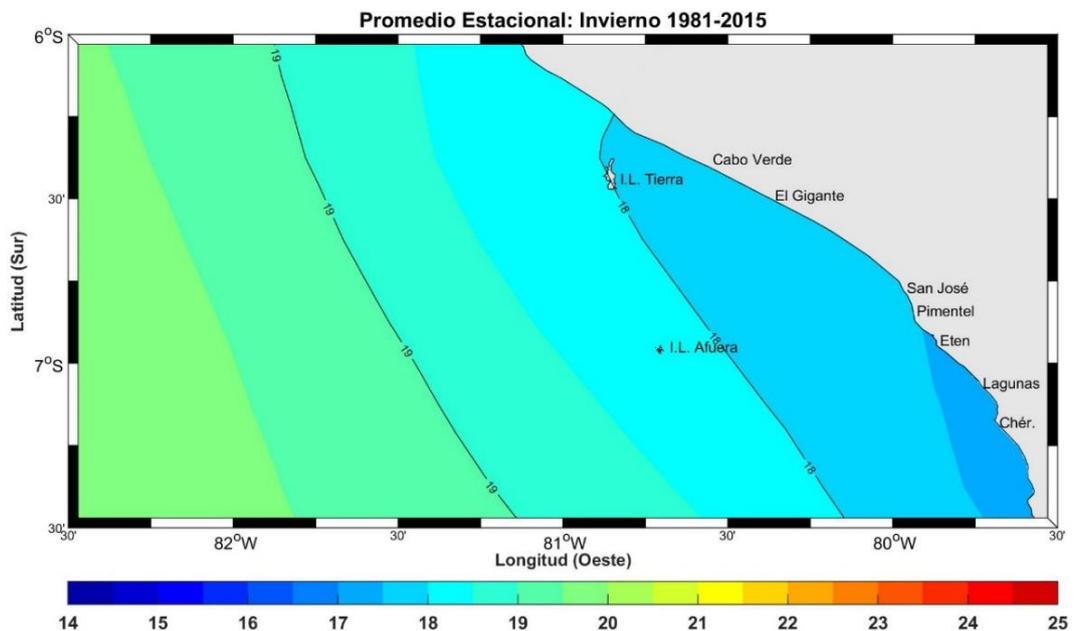
Fuente: Elaboración propia de los autores

La Figura N° 35, nos muestra la climatología estacional de invierno (Julio, Agosto, Setiembre) de la TSM frente a la costa de la Región de Lambayeque, fue calculada a partir de 3,128 mapas diarios de TSM.

La climatología estacional de invierno muestra que la TSM frente a Lambayeque varía en un rango de 17°C a 20°C; en el litoral costero se

observan temperaturas de 17°C a 18 °C; la zona oceánica presenta un aumento gradual de 19°C a 20°C paralelo a la costa.

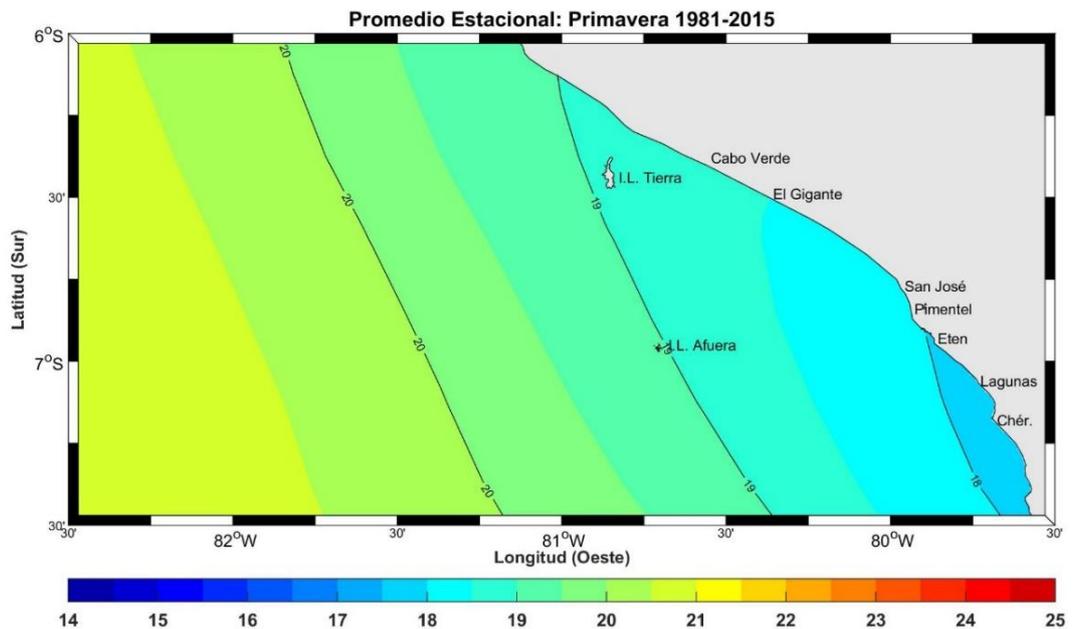
Figura N° 35: Climatología Estacional de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: invierno 1981-2015.



Fuente: Elaboración propia de los autores

La Figura N° 36, nos muestra la climatología estacional de primavera (octubre, noviembre, diciembre) de la TSM frente a la costa de la Región Lambayeque, fue calculada a partir de 3,162 mapas diarios de TSM, correspondiente a 35 años (1981-2015). La climatología estacional de invierno muestra que la TSM frente a Lambayeque varía en un rango de 17°C a 21°C; en el litoral costero se observan temperaturas de 17°C a 19°C; la zona oceánica presenta un aumento gradual de 19°C a 21°C paralelo a la costa.

Figura N° 36: Climatología Estacional de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: primavera 1981-2015.



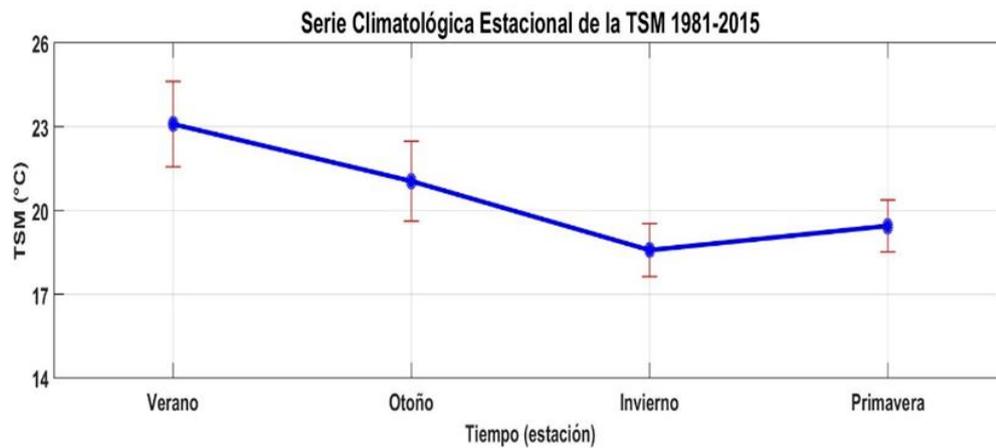
Fuente: Elaboración propia de los autores

La Figura N° 37, nos muestra la serie climatológica estacional de la TSM satelital calculada en base del promedio de todos los datos del área de estudio por cada estación, además se muestra la respectiva desviación estándar del promedio de la TSM.

La serie climatológica muestra una variación periódica que oscila entre 18.58°C a 23.09 °C (ver Tabla N° 9) durante un año climatológico para todo el dominio (1981-2015).

La serie climatológica mensual de TSM, presenta desviaciones estándar entre 0.93°C a 1.52°C (ver tabla N°9), siendo la estación de invierno la que presenta el menor valor y la estación de verano el mayor valor.

Figura N° 37: Serie Climatológica Estacional de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque 1981-2015.



Fuente: Elaboración propia de los autores

Tabla N° 9: Promedio y desviación estándar de la serie climatológica estacional de la TSM frente a Lambayeque 1981 – 2015.

Estación	Promedio TSM (°C)	Desviación Estándar (°C)
<b>Verano</b>	23.09	1.53
<b>Otoño</b>	21.05	1.43
<b>Invierno</b>	18.58	0.95
<b>Primavera</b>	19.44	0.93

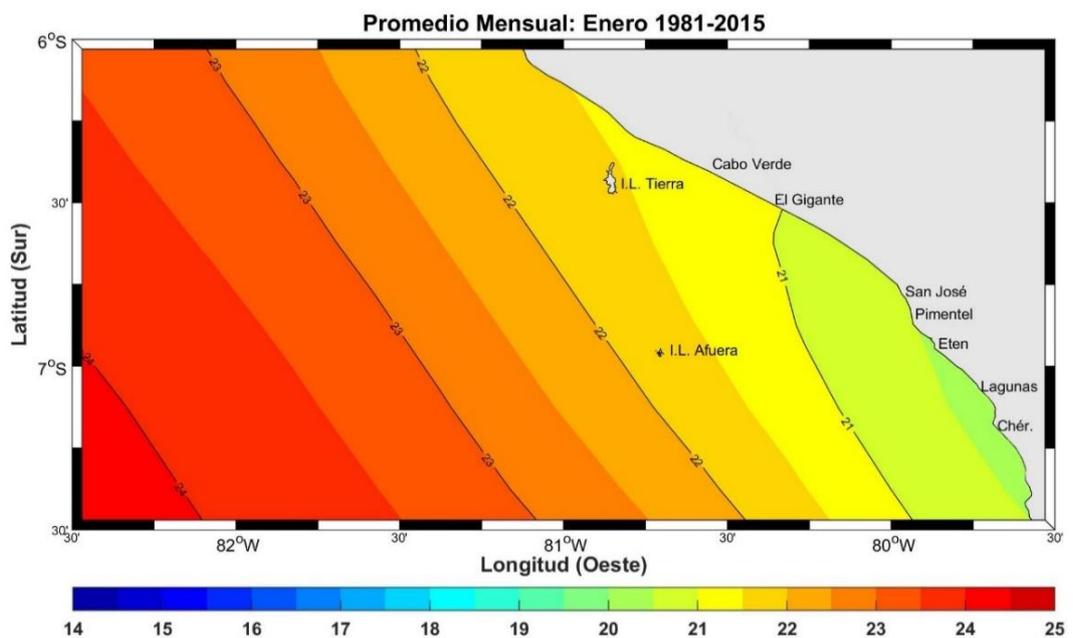
Fuente: Elaboración propia de los autores

### 5.3.3. Climatología mensual de la TSM frente a Lambayeque 1981-2015

La Figura N° 38, nos muestra la climatología mensual de enero de la TSM frente a la costa de la Región Lambayeque, calculada a partir de 2,054 mapas diarios de TSM, correspondiente a 35 meses de enero entre los años 1981-2015, se calculó el promedio temporal para cada pixel del área de estudio que cubre desde la costa hasta la zona oceánica.

La climatología mensual de enero muestra que la TSM frente a Lambayeque en promedio es de 22.25°C con una desviación estándar de 1.48°C (ver tabla N°10) para toda el área de estudio, y que varía en un rango de 20°C a 24.5°C; en el litoral costero se observan temperaturas de 20°C a 22°C; la zona oceánica presenta un aumento gradual de 22°C a 24.5°C paralelo a la costa.

Figura N° 38: Climatología Mensual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: Enero 1981-2015.

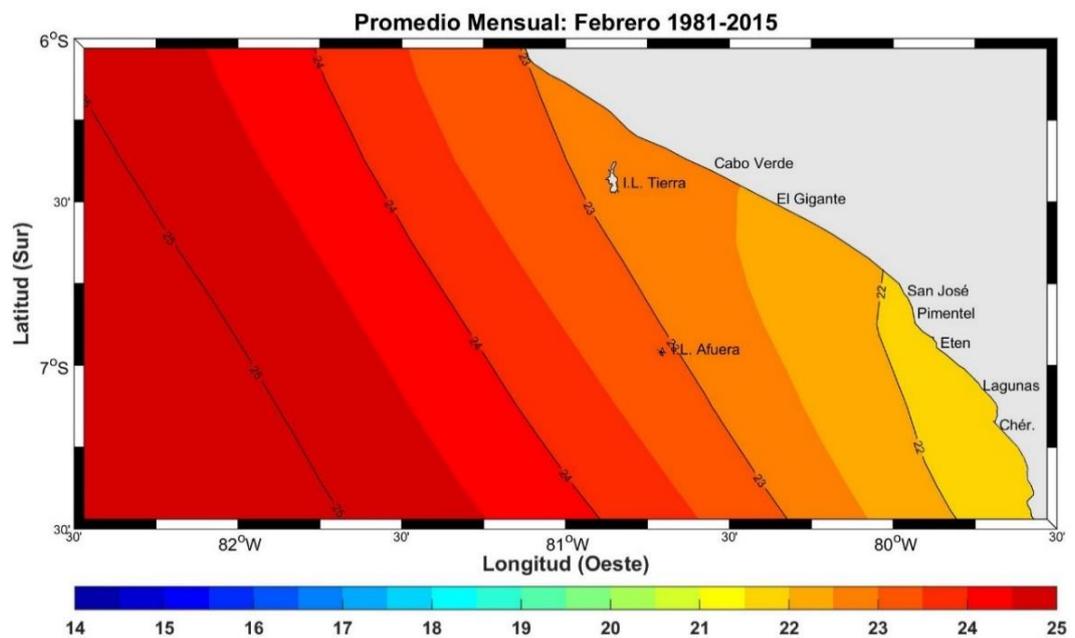


Fuente: Elaboración propia de los autores

La Figura N° 39, nos muestra la climatología mensual de febrero de la TSM frente a la costa de la Región Lambayeque, que fue calculada a partir de 960 mapas diarios de TSM, correspondiente a 35 meses de febrero entre los años 1981-2015.

La climatología mensual de febrero muestra que la TSM frente a Lambayeque en promedio es de 23.60°C con una desviación estándar de 1.46°C (ver tabla N°10) para toda el área de estudio, y que varía en un rango de 21.5°C a 25.5°C; en el litoral costero se observan temperaturas de 21.5°C a 23°C; la zona oceánica presenta un aumento gradual de 23°C a 25.5°C paralelo a la costa.

Figura N° 39: Climatología Mensual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: Febrero 1981-2015.

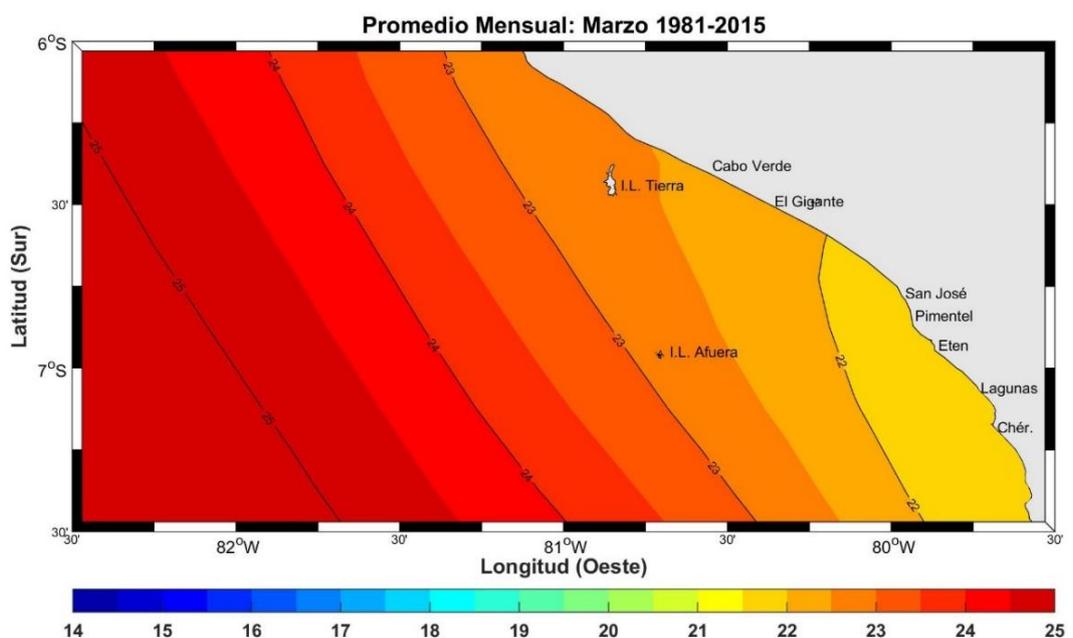


Fuente: Elaboración propia de los autores

La Figura N° 40, nos muestra la climatología mensual de marzo de la TSM frente a la costa de la Región Lambayeque, fue calculada a partir de 1,054 mapas diarios de TSM, correspondiente a 35 meses de marzo entre los años 1981-2015.

Se calculó el promedio temporal para cada pixel del área de estudio que cubre desde la costa hasta la zona oceánica: La climatología mensual de marzo muestra que la TSM frente a Lambayeque en promedio es de 23.46°C con una desviación estándar de 1.67°C (ver tabla N°10) para toda el área de estudio, y que varía en un rango de 21.5°C a 25.5°C; en el litoral costero se observan temperaturas de 21.5°C a 23°C; la zona oceánica presenta un aumento gradual de 23°C a 25.5°C paralelo a la costa.

Figura N° 40: Climatología Mensual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: Marzo 1981-2015.

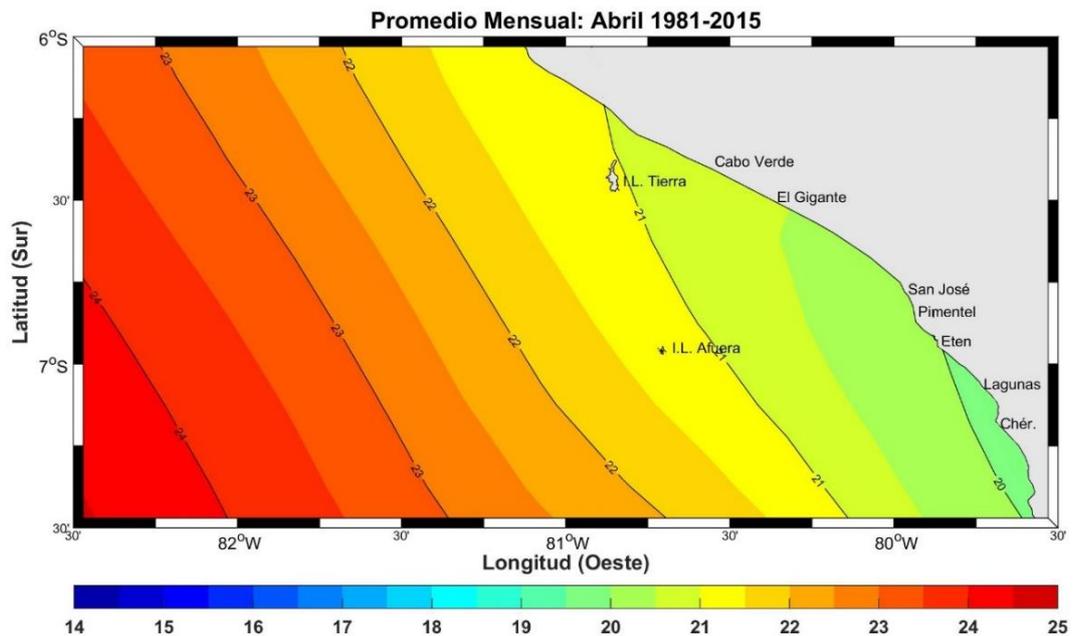


Fuente: Elaboración propia de los autores

La Figura N° 41, La climatología mensual de abril de la TSM frente a la costa de Lambayeque, fue calculada a partir de 1,020 mapas diarios de TSM, correspondiente a 35 meses de abril de los años 1981-2015.

La climatología mensual de abril muestra que la TSM frente a Lambayeque en promedio es de  $21.94^{\circ}\text{C}$  con una desviación estándar de  $1.56^{\circ}\text{C}$  (ver tabla N°10) para toda el área de estudio, y que varía en un rango de  $19.5^{\circ}\text{C}$  a  $24.5^{\circ}\text{C}$ ; en el litoral costero se observan temperaturas de  $19.5^{\circ}\text{C}$  a  $21.5^{\circ}\text{C}$ ; la zona oceánica presenta un aumento gradual de  $21.5^{\circ}\text{C}$  a  $24.5^{\circ}\text{C}$  paralelo a la costa.

Figura N° 41: Climatología Mensual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: Abril 1981-2015.

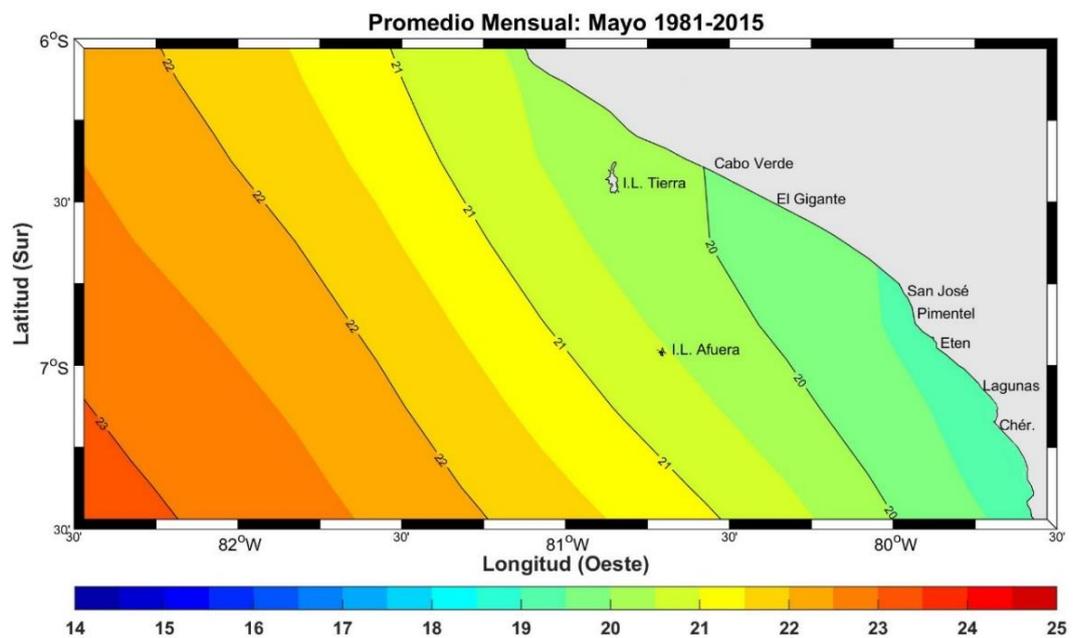


*Fuente: Elaboración propia de los autores*

La Figura N° 42, nos muestra la climatología mensual de mayo de la TSM frente a la costa de la Región Lambayeque, fue calculada a partir de 1,054 mapas diarios de TSM, correspondiente a 35 meses de mayo de los años 1981-2015.

La climatología mensual de mayo muestra que la TSM frente a Lambayeque en promedio es de  $21.10^{\circ}\text{C}$  con una desviación estándar de  $1.43^{\circ}\text{C}$  (ver tabla N°10) para toda el área de estudio, y que varía en un rango de  $19^{\circ}\text{C}$  a  $23.5^{\circ}\text{C}$ ; en el litoral costero se observan temperaturas de  $19^{\circ}\text{C}$  a  $20.5^{\circ}\text{C}$ , y  $20.5^{\circ}\text{C}$  al norte de la Isla Lobos de Tierra; la zona oceánica presenta un aumento gradual de  $20.5^{\circ}\text{C}$  a  $23.5^{\circ}\text{C}$  paralelo a la costa.

Figura N° 42: Climatología Mensual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: Mayo 1981-2015.

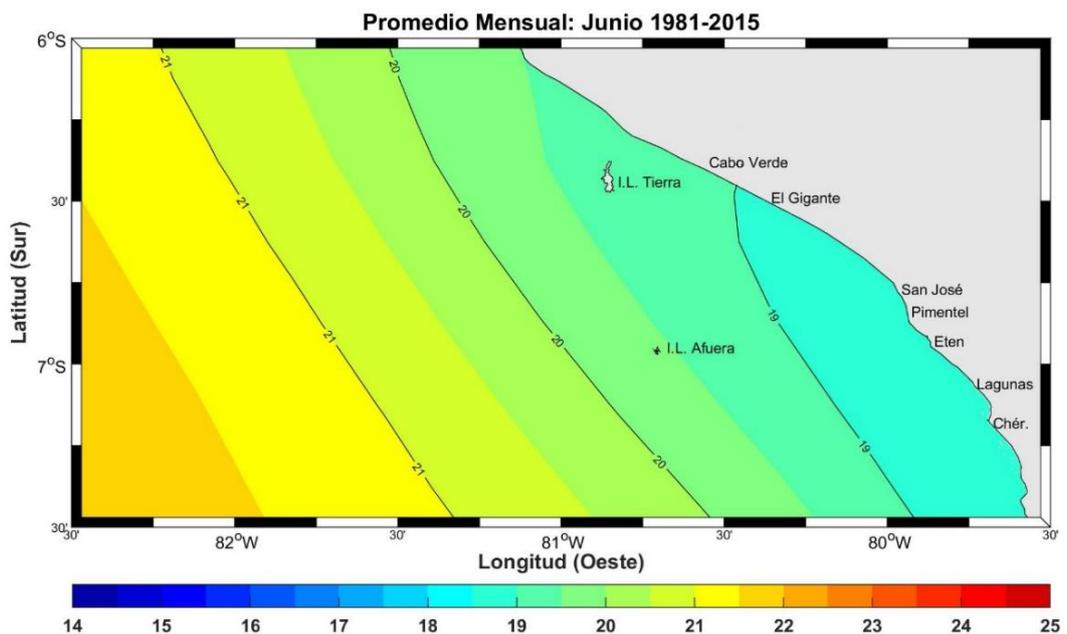


*Fuente: Elaboración propia de los autores*

La Figura N° 43, nos muestra la climatología mensual de junio de la TSM, fue calculada a partir de 1,020 mapas diarios de TSM, correspondiente a 35 meses de junio entre los años 1981-2015.

Se calculó el promedio temporal para cada pixel del área de estudio que cubre desde las costas hasta la zona oceánica. La climatología mensual de junio muestra que la TSM frente a Lambayeque en promedio es de 20.10°C con una desviación estándar de 1.42°C (ver tabla N°10) para toda el área de estudio, y que varía en un rango de 18.5 a 23°C; en el litoral costero se observan temperaturas de 18.5°C a 19.5°C; la zona oceánica presenta un aumento gradual de 19.5°C a 23°C paralelo a la costa.

Figura N° 43: Climatología Mensual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: Junio 1981-2015.

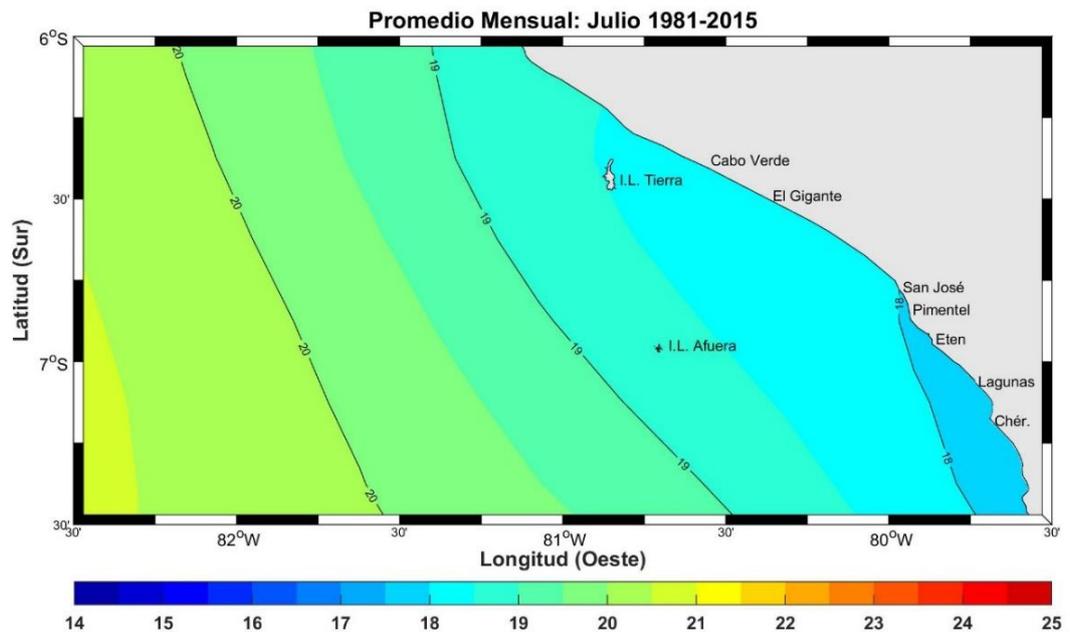


Fuente: Elaboración propia de los autores

La Figura N° 44, nos muestra la climatología mensual de julio de la TSM frente a la costa de la Región Lambayeque, fue calculada a partir de 1,054 mapas diarios de TSM, correspondiente a 35 meses de julio entre los años 1981-2015.

La climatología mensual de julio muestra que la TSM frente a Lambayeque en promedio es de 19.17°C con una desviación estándar de 1.481.18°C (ver tabla N°10) para toda el área de estudio, y que varía en un rango de 18.5°C a 21°C; en el litoral costero se observan temperaturas de 17.5°C a 19°C; la zona oceánica presenta un aumento gradual de 19°C a 21°C paralelo a la costa.

*Figura N° 44: Climatología Mensual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: Julio 1981-2015.*

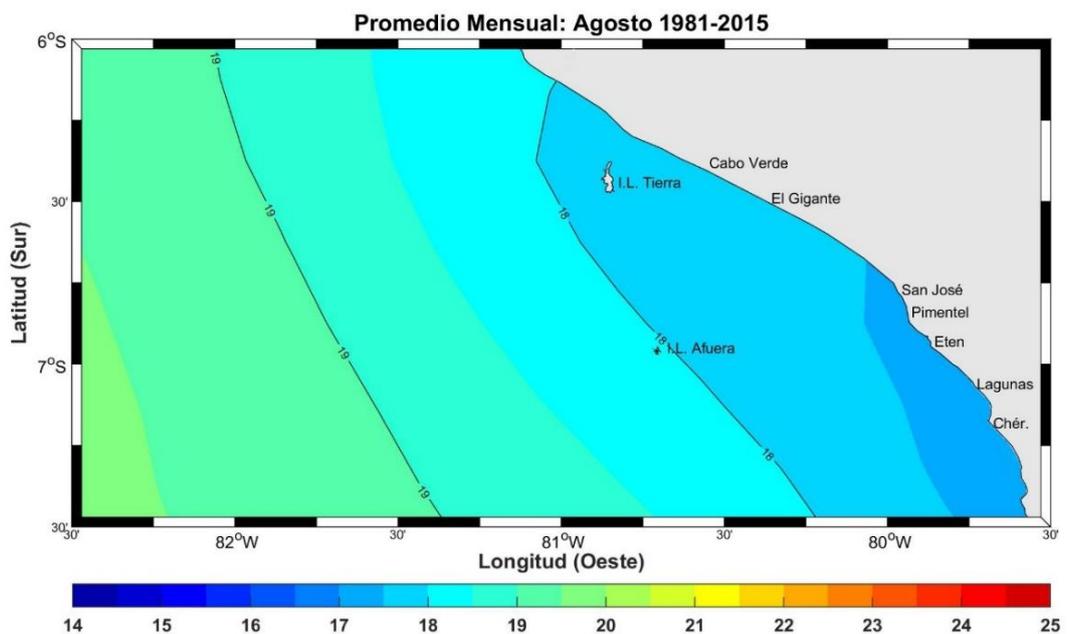


*Fuente: Elaboración propia de los autores*

La Figura N° 45, nos muestra la climatología mensual de agosto de la TSM frente a la costa de la Región Lambayeque, fue calculada a partir de 1,054 mapas diarios de TSM, correspondiente a 35 meses de agosto entre los años 1981-2015.

Se calculó el promedio temporal para cada pixel del área de estudio que cubre desde la costa hasta la zona oceánica: La climatología mensual de agosto muestra que la TSM frente a Lambayeque en promedio es de  $18.42^{\circ}\text{C}$  con una desviación estándar de  $0.95^{\circ}\text{C}$  (ver tabla N°10) para toda el área de estudio, y que varía en un rango de  $17^{\circ}\text{C}$  a  $20^{\circ}\text{C}$ ; en el litoral costero se observan temperaturas de  $17^{\circ}\text{C}$  a  $18^{\circ}\text{C}$ ; la zona oceánica presenta un aumento gradual de  $18^{\circ}\text{C}$  a  $20^{\circ}\text{C}$  paralelo a la costa.

Figura N° 45: Climatología Mensual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: Agosto 1981-2015.

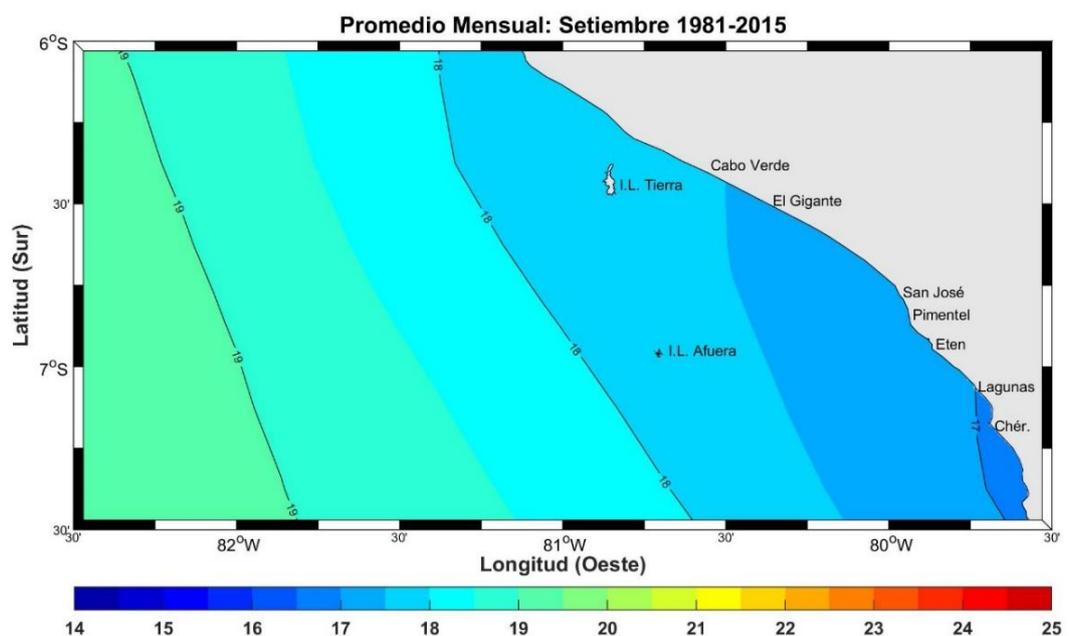


Fuente: Elaboración propia de los autores

La Figura N° 46, nos muestra la climatología mensual de setiembre de la TSM frente a la costa de la región Lambayeque, fue calculada a partir de 1,020 mapas diarios de TSM, correspondiente a 35 meses de setiembre entre los años 1981-2015, se calculó el promedio temporal para cada pixel del área de estudio que cubre desde la costa hasta la zona oceánica.

La climatología mensual de setiembre muestra que la TSM frente a Lambayeque en promedio es de  $18.13^{\circ}\text{C}$  con una desviación estándar de  $0.77^{\circ}\text{C}$  (ver tabla N°10) para toda el área de estudio, y que varía en un rango de  $16.5^{\circ}\text{C}$  a  $19.5^{\circ}\text{C}$ ; en el litoral costero se observan temperaturas de  $16.5^{\circ}\text{C}$  a  $18^{\circ}\text{C}$ ; la zona oceánica presenta un aumento gradual de  $18^{\circ}\text{C}$  a  $19.5^{\circ}\text{C}$  paralelo a la costa.

Figura N° 46: Climatología Mensual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: Setiembre 1981-2015.

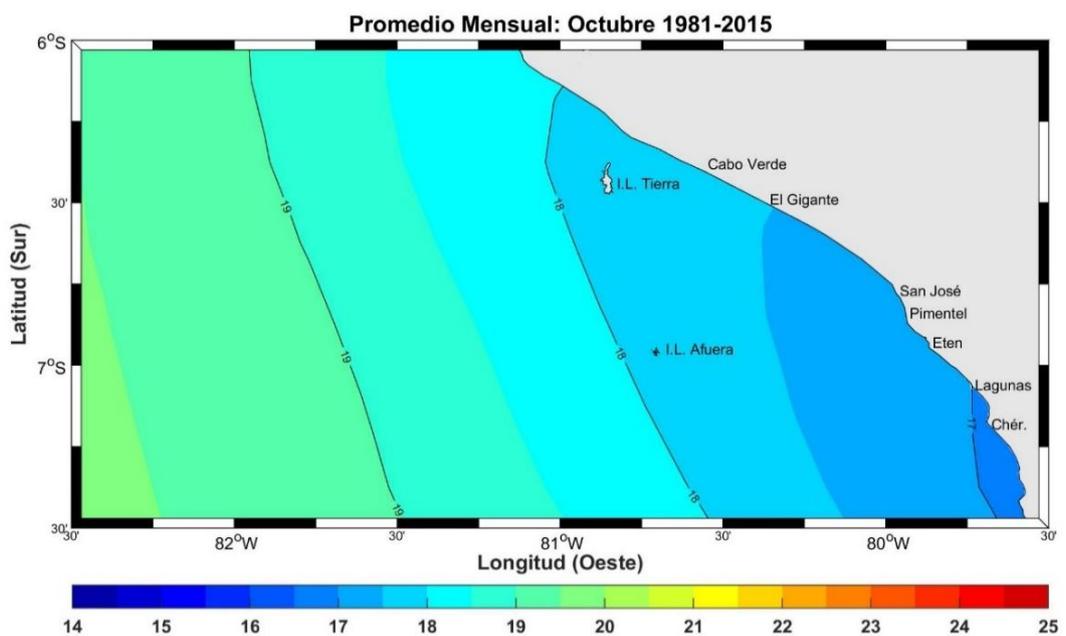


Fuente: Elaboración propia de los autores

La Figura N° 47, muestra la climatología mensual de octubre de la TSM frente a la costa de la Región Lambayeque, fue calculada a partir de 1,054 mapas diarios de TSM, correspondiente a 35 meses de octubre entre los años 1981-2015, se calculó el promedio temporal para cada pixel del área de estudio que cubre desde la costa hasta la zona oceánica.

La climatología mensual de octubre muestra que la TSM frente a Lambayeque en promedio es de  $18.20^{\circ}\text{C}$  con una desviación estándar de  $0.68^{\circ}\text{C}$  (ver tabla N°10) para toda el área de estudio, y que varía en un rango de  $16.5^{\circ}\text{C}$  a  $20^{\circ}\text{C}$ ; en el litoral costero se observan temperaturas de  $16.5^{\circ}\text{C}$  a  $18^{\circ}\text{C}$ ; la zona oceánica presenta un aumento gradual de  $18^{\circ}\text{C}$  a  $19^{\circ}\text{C}$  paralelo a la costa.

Figura N° 47: Climatología Mensual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: Octubre 1981-2015.

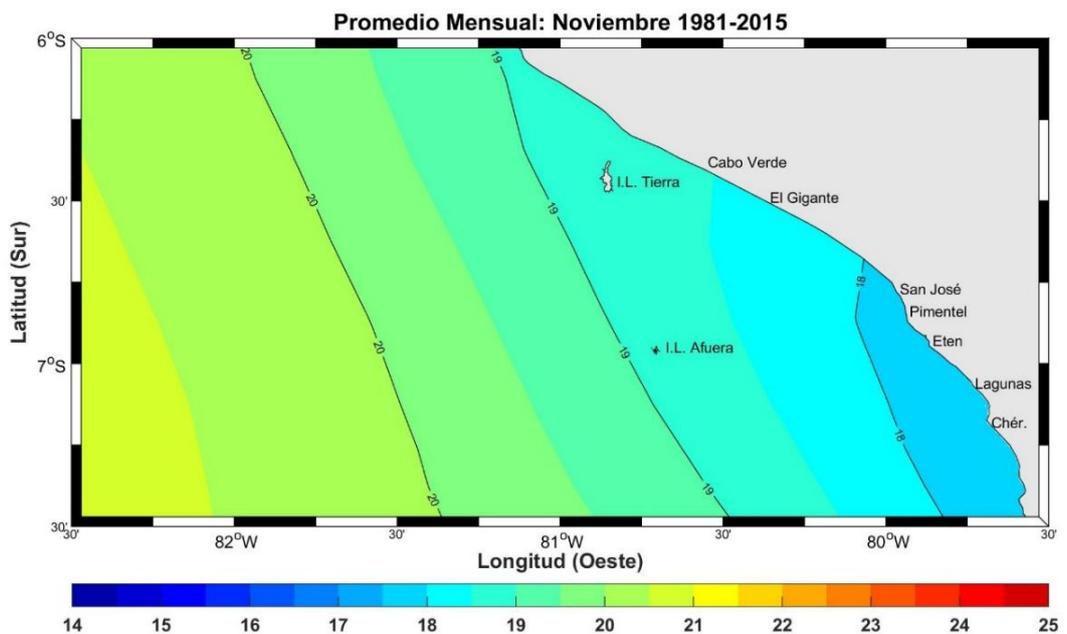


Fuente: Elaboración propia de los autores

La Figura N° 48, nos muestra la climatología mensual de noviembre de la TSM frente a la costa de la región Lambayeque, fue calculada a partir de 1,020 mapas diarios de TSM, correspondiente a 35 meses de noviembre de los años 1981-2015, se calculó el promedio temporal para cada pixel del área de estudio que cubre desde la costa hasta la zona oceánica.

La climatología mensual de noviembre muestra que la TSM frente a Lambayeque en promedio es de  $19.27^{\circ}\text{C}$  con una desviación estándar de  $0.91^{\circ}\text{C}$  (ver tabla N°10) para toda el área de estudio, y que varía en un rango de  $17.5^{\circ}\text{C}$  a  $21^{\circ}\text{C}$ ; en el litoral costero se observan temperaturas de  $17.5^{\circ}\text{C}$  a  $19^{\circ}\text{C}$ ; la zona oceánica presenta un aumento gradual de  $19^{\circ}\text{C}$  a  $21^{\circ}\text{C}$  paralelo a la costa.

Figura N° 48: Climatología Mensual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: Noviembre 1981-2015.

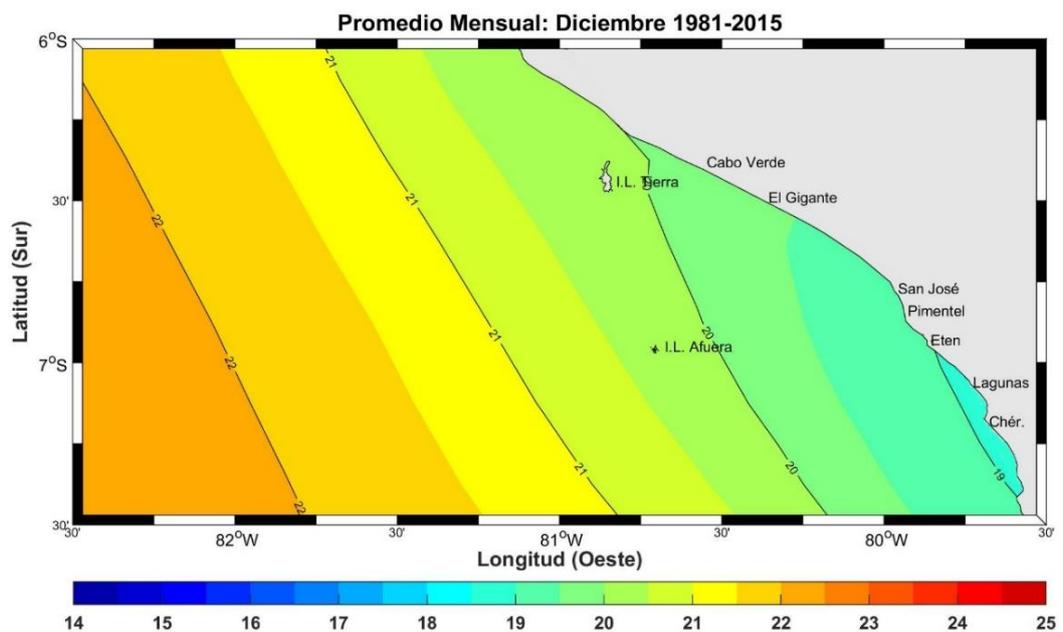


Fuente: Elaboración propia de los autores

La Figura N° 49, muestra la climatología mensual de diciembre de la TSM frente a la costa de la región Lambayeque, fue calculada a partir de 1,088 mapas diarios de TSM, correspondiente a 35 meses de diciembre entre los años 1981-2015, se calculó el promedio temporal para cada pixel del área de estudio que cubre desde la costa hasta la zona oceánica.

La climatología mensual de diciembre muestra que la TSM frente a Lambayeque en promedio es de  $20.72^{\circ}\text{C}$  con una desviación estándar de  $1.24^{\circ}\text{C}$  (ver tabla N°10) para toda el área de estudio, y que varía en un rango de  $19.5^{\circ}\text{C}$  a  $22.5^{\circ}\text{C}$ ; en el litoral costero se observan temperaturas de  $19.5^{\circ}\text{C}$  a  $20.5^{\circ}\text{C}$ ; la zona oceánica presenta un aumento gradual de  $19.5^{\circ}\text{C}$  a  $22.5^{\circ}\text{C}$  paralelo a la costa.

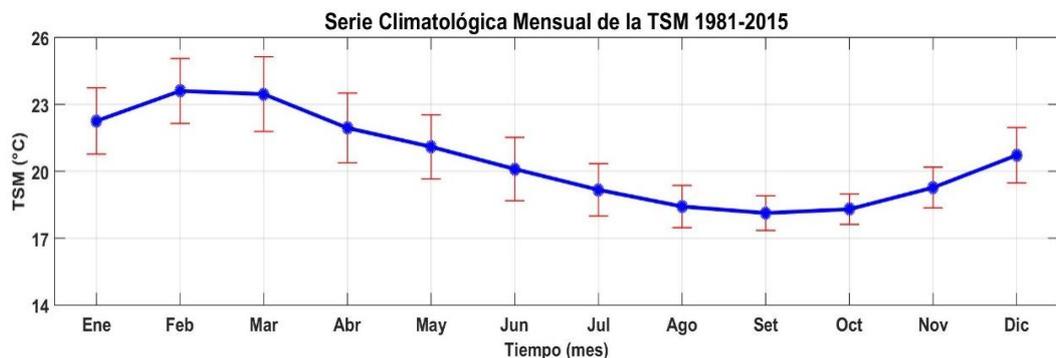
Figura N° 49: Climatología Mensual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque: Diciembre 1981-2015.



Fuente: Elaboración propia de los autores

La Figura N° 50, nos muestra la serie climatológica mensual, calculada en base del promedio de todos los datos del área de estudio por cada mes, además se muestra la respectiva desviación estándar. La climatología mensual muestra una variación periódica que oscila entre 18.13 °C (setiembre) a 23.6 °C (febrero) durante un año climatológico para todo el dominio. La serie climatológica mensual de TSM, presenta desviaciones estándar entre 0.68 °C (octubre) a 1.67°C (marzo) (ver Tabla N° 10).

Figura N° 50: Serie Climatológica Mensual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque 1981-2015.



Fuente: Elaboración propia de los autores

Tabla N° 10: Promedio y desviación estándar de la serie climatológica mensual de la TSM 1981 – 2015.

Mes	Promedio TSM (°C)	Desviación Estándar (°C)
<b>Enero</b>	22.25	1.48
<b>Febrero</b>	23.60	1.46
<b>Marzo</b>	23.46	1.67
<b>Abril</b>	21.94	1.56
<b>Mayo</b>	21.10	1.43
<b>Junio</b>	20.10	1.42
<b>Julio</b>	19.17	1.18
<b>Agosto</b>	18.42	0.95
<b>Setiembre</b>	18.13	0.77
<b>Octubre</b>	18.20	0.68
<b>Noviembre</b>	19.27	0.91
<b>Diciembre</b>	20.72	1.24

Fuente: Elaboración propia de los autores.

### 5.3.4. Climatología Interanual de TSM satelital.

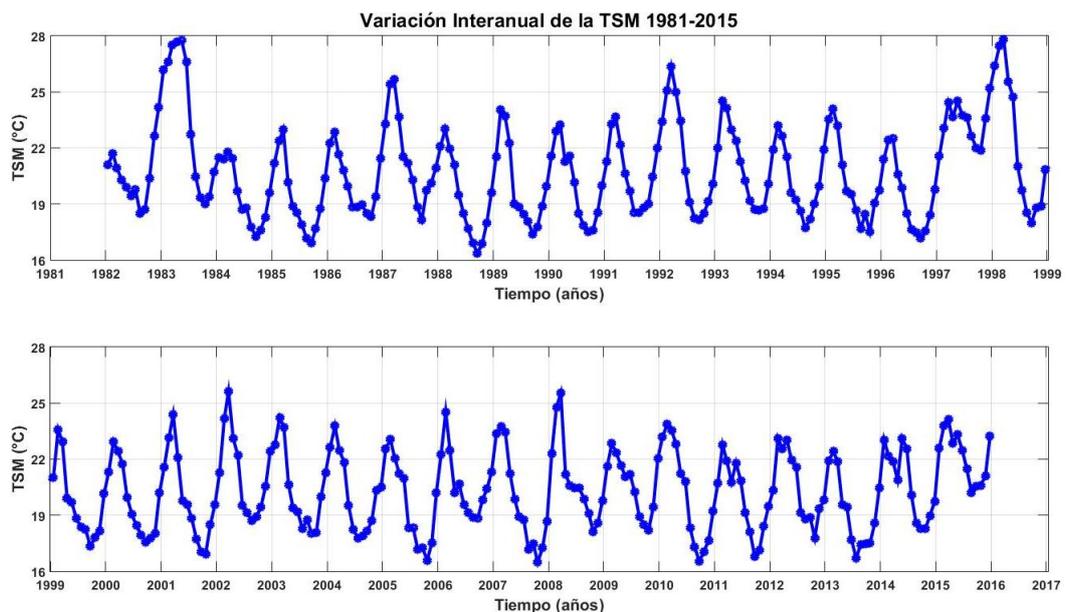
En la Figura N° 51, nos muestra la variación interanual de las imágenes satelitales de la TSM frente a la costa de la Región Lambayeque, entre los años 1981-2015.

Esta imagen nos muestra el comportamiento de la TSM de cada año y también de cada mes, un punto de esta imagen indica el promedio de un determinado mes. El promedio de la climatología interanual de la TSM satelital más alta es de 27.82 °C en marzo de 1998 (el niño 1997-1998), la más baja es de 16.38 °C en setiembre de 1988 (ver Tabla N° 11).

Los picos de TSM satelital más altos corresponden a los niños 1982-1983 y al niño 1997-1998.



Figura N° 51: Variación interanual de la TSM satelital frente Lambayeque, 1981-2015.



Fuente: Elaboración propia de los autores

Tabla N° 11: Variación de la climatología interanual de la TSM satelital 1981 – 2015.

Mes Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1982	21.09	21.71	20.92	20.30	19.93	19.46	19.76	18.49	18.70	20.37	22.63	24.18
1983	26.17	26.60	27.51	27.68	27.75	26.62	22.74	20.48	19.34	19.00	19.39	20.72
1984	21.50	21.41	21.80	21.44	19.71	18.72	18.80	17.76	17.27	17.60	18.28	19.61
1985	21.18	22.36	22.97	20.17	18.88	18.52	17.92	17.18	16.90	17.67	18.74	20.36
1986	22.27	22.84	21.66	20.81	19.97	18.85	18.83	18.95	18.51	18.31	19.42	21.45
1987	23.28	25.42	25.67	23.66	21.54	21.18	20.27	18.83	18.16	19.73	20.13	20.93
1988	22.07	23.01	21.94	21.11	19.49	18.48	17.67	16.92	16.38	16.86	17.98	19.59
1989	21.51	24.06	23.70	22.24	19.00	18.82	18.46	18.06	17.37	17.79	18.90	19.95
1990	21.57	22.89	23.24	21.25	21.57	20.18	18.48	17.87	17.50	17.60	18.54	19.98
1991	21.27	23.29	23.65	22.18	20.64	19.68	18.56	18.54	18.81	18.99	20.48	22.00
1992	23.43	25.09	26.35	24.98	23.47	20.77	19.11	18.26	18.14	18.51	19.12	20.07
1993	22.01	24.53	24.14	22.98	22.38	21.28	20.26	19.20	18.71	18.68	18.75	20.07
1994	21.93	23.21	22.66	21.55	19.62	19.22	18.63	17.71	18.20	19.03	19.97	21.90
1995	23.56	24.09	23.19	21.09	19.68	19.54	18.69	17.69	18.45	17.52	19.06	19.73
1996	21.40	22.42	22.51	20.59	19.86	18.48	17.62	17.46	17.19	17.54	18.41	19.79
1997	21.57	23.06	24.43	23.66	24.50	23.75	23.63	22.63	22.01	21.89	23.60	25.19
1998	26.38	27.45	27.82	25.54	24.73	21.00	19.72	18.54	18.00	18.81	18.88	20.84
1999	21.03	23.59	22.92	19.90	19.71	18.82	18.37	18.26	17.33	17.81	18.16	20.14
2000	21.32	22.95	22.42	21.75	19.96	19.06	18.44	17.96	17.55	17.76	18.03	20.21
2001	21.59	23.16	24.39	22.07	19.76	19.57	18.83	17.74	17.04	16.93	18.48	19.55
2002	21.26	24.17	25.62	23.09	22.22	19.52	19.14	18.72	18.92	19.45	20.56	22.42
2003	22.77	24.24	23.71	20.63	19.38	19.17	18.29	18.76	18.03	18.06	19.98	21.27
2004	22.64	23.78	22.48	21.84	19.52	18.26	17.77	17.89	18.14	18.72	20.35	20.49
2005	22.57	23.06	22.06	21.24	20.99	18.34	18.31	17.16	17.25	16.59	17.50	20.20
2006	22.24	24.54	22.45	20.20	20.66	19.57	19.12	18.87	18.86	19.82	20.43	21.34
2007	23.37	23.73	23.44	21.24	19.87	18.93	18.75	17.16	17.49	16.47	17.25	18.69
2008	22.30	24.78	25.53	21.19	20.60	20.46	20.47	19.87	19.08	18.13	18.60	19.80
2009	21.62	22.84	22.35	21.68	21.07	21.19	20.25	18.91	18.51	18.19	19.43	22.05
2010	23.18	23.86	23.55	22.81	21.22	20.81	18.34	17.31	16.52	17.06	17.66	19.22
2011	20.70	22.76	21.93	20.78	21.81	20.85	19.13	18.13	16.78	17.11	18.42	19.46
2012	20.34	23.12	22.57	23.03	21.94	21.58	19.16	18.82	18.90	17.79	19.34	19.80
2013	21.91	22.41	21.88	19.56	19.45	17.69	16.69	17.44	17.46	17.51	18.57	20.47
2014	23.05	22.18	21.89	20.89	23.13	22.55	20.07	18.58	18.30	18.29	18.99	19.73
2015	22.59	23.80	24.14	22.84	23.31	22.49	21.49	20.23	20.54	20.61	21.11	23.22

Fuente: Elaboración propia de los autores

## 5.4. Análisis de las Anomalías de la TSM frente a Lambayeque 1981 – 2015

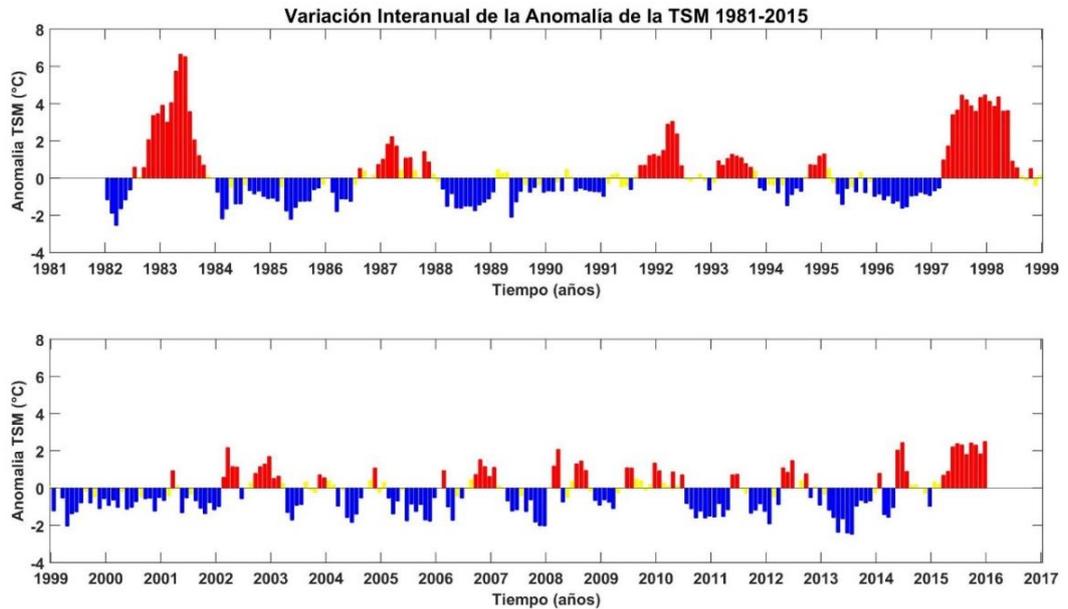
### 5.4.1. Anomalía Interanual de la TSM

En la Figura N° 52, se muestra la anomalía interanual de las imágenes satelitales de la TSM frente a la costa de la región Lambayeque, entre los años 1981-2015.

Esta figura nos muestra la anomalía de la TSM por año, las barras de color rojo indica anomalías positivas mayores a 0.5°C, las barras de color azul indica anomalías negativas menores a -0.5°C, las barras de color amarillo indica anomalías neutras entre -0.5°C y 0.5°C.

La anomalía de la TSM más alta es de 6.65 °C en mayo de 1983 (el niño 1982-1983), la más baja es de -2.54 °C en marzo de 1982 (ver Tabla N° 12).

Figura N° 52: Anomalía Interanual de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque 1981-2015.



Fuente: Elaboración propia de los autores

Tabla N° 12: Valores de las anomalías interanuales de la TSM.

Mes Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1982	-1.16	-1.89	-2.54	-1.64	-1.17	-0.64	0.59	0.07	0.57	2.07	3.37	3.46
1983	3.92	3.00	4.06	5.74	6.65	6.52	3.57	2.06	1.21	0.70	0.12	0.00
1984	-0.76	-2.19	-1.66	-0.50	-1.39	-1.38	-0.37	-0.66	-0.85	-0.70	-0.98	-1.10
1985	-1.08	-1.23	-0.48	-1.77	-2.22	-1.58	-1.25	-1.24	-1.23	-0.63	-0.53	-0.36
1986	0.02	-0.76	-1.80	-1.13	-1.13	-1.25	-0.34	0.53	0.38	0.01	0.15	0.73
1987	1.02	1.82	2.22	1.72	0.44	1.08	1.10	0.41	0.04	1.43	0.87	0.22
1988	-0.19	-0.59	-1.52	-0.84	-1.61	-1.62	-1.50	-1.51	-1.75	-1.44	-1.29	-1.13
1989	-0.74	0.46	0.25	0.30	-2.10	-1.28	-0.71	-0.37	-0.76	-0.51	-0.37	-0.77
1990	-0.69	-0.71	-0.22	-0.69	0.48	0.08	-0.69	-0.55	-0.63	-0.70	-0.73	-0.74
1991	-0.99	-0.30	0.20	0.24	-0.46	-0.42	-0.61	0.12	0.68	0.69	1.21	1.28
1992	1.18	1.49	2.89	3.04	2.37	0.67	-0.06	-0.16	0.01	0.21	-0.15	-0.65
1993	-0.25	0.93	0.69	1.04	1.28	1.18	1.09	0.77	0.59	0.38	-0.52	-0.65
1994	-0.33	-0.39	-0.79	-0.39	-1.48	-0.88	-0.54	-0.71	0.07	0.73	0.70	1.18
1995	1.30	0.49	-0.27	-0.85	-1.42	-0.56	-0.48	-0.74	0.32	-0.78	-0.21	-0.99
1996	-0.86	-1.17	-0.95	-1.35	-1.24	-1.62	-1.54	-0.96	-0.94	-0.76	-0.85	-0.93
1997	-0.68	-0.54	0.98	1.72	3.40	3.65	4.46	4.20	3.88	3.59	4.33	4.47
1998	4.13	3.86	4.36	3.60	3.63	0.90	0.55	0.12	-0.13	0.51	-0.39	0.13
1999	-1.22	-0.01	-0.53	-2.04	-1.39	-1.28	-0.80	-0.17	-0.80	-0.49	-1.10	-0.57
2000	-0.93	-0.65	-1.04	-0.19	-1.13	-1.04	-0.73	-0.46	-0.58	-0.54	-1.24	-0.51
2001	-0.67	-0.44	0.94	0.12	-1.33	-0.53	-0.34	-0.68	-1.08	-1.37	-0.78	-1.16
2002	-0.99	0.57	2.17	1.15	1.12	-0.58	-0.03	0.29	0.79	1.15	1.29	1.70
2003	0.52	0.64	0.25	-1.32	-1.72	-0.93	-0.88	0.33	-0.10	-0.24	0.71	0.55
2004	0.38	0.18	-0.97	-0.10	-1.58	-1.84	-1.40	-0.53	0.01	0.42	1.08	-0.23
2005	0.31	-0.54	-1.39	-0.70	-0.11	-1.76	-0.86	-1.26	-0.88	-1.71	-1.77	-0.52
2006	-0.01	0.94	-1.00	-1.74	-0.44	-0.53	-0.05	0.45	0.73	1.52	1.16	0.62
2007	1.11	0.13	-0.02	-0.70	-1.23	-1.17	-0.42	-1.26	-0.63	-1.83	-2.02	-2.03
2008	0.04	1.18	2.08	-0.75	-0.50	0.36	1.30	1.45	0.95	-0.17	-0.66	-0.92
2009	-0.63	-0.76	-1.10	-0.27	-0.02	1.09	1.08	0.49	0.38	-0.11	0.16	1.33
2010	0.93	0.27	0.10	0.87	0.12	0.71	-0.83	-1.12	-1.61	-1.24	-1.61	-1.50
2011	-1.55	-0.83	-1.53	-1.17	0.71	0.75	-0.04	-0.30	-1.35	-1.19	-0.85	-1.26
2012	-1.92	-0.48	-0.88	1.09	0.84	1.48	-0.01	0.40	0.77	-0.51	0.08	-0.91
2013	-0.34	-1.19	-1.58	-2.38	-1.64	-2.41	-2.48	-0.98	-0.66	-0.79	-0.70	-0.25
2014	0.79	-1.42	-1.57	-1.05	2.03	2.44	0.90	0.15	0.17	-0.01	-0.28	-0.98
2015	0.34	0.20	0.69	0.90	2.21	2.39	2.32	1.80	2.42	2.31	1.84	2.50

Fuente: Elaboración propia de los autores.

#### 5.4.2. Análisis de las Anomalías de TSM en Eventos El Niño Frente a Lambayeque

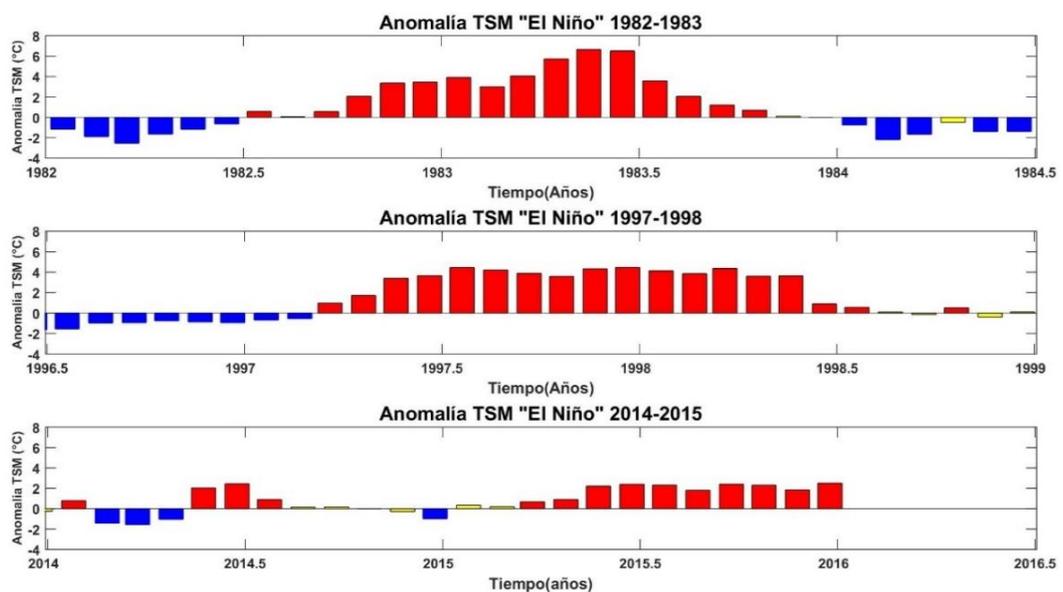
En la Figura N° 53, nos muestra las anomalías de la TSM frente a la costa de Lambayeque promediadas mes a mes, principalmente nos centraremos en los eventos El Niño de mayor intensidad, observando que cada evento tuvo una evolución diferente.

Se observa que el evento El Niño 1982-1983 presentó mayor intensidad (alcanzó un pico de anomalías de  $\sim 7^{\circ}\text{C}$ ) a comparación del evento El Niño 1997-1998 que alcanzó  $\sim 5^{\circ}\text{C}$ , el evento del 1997-1998, presentó un periodo amplio con anomalías altas, lo cual produjo una alta precipitación, que llegó a afectar a

todas las actividades socio económicas y la formación de un extenso espejo de agua (Laguna La Niña) en Mórrope, Departamento de Lambayeque.

El evento del 2014-2015, presento un periodo amplio con anomalías  $\sim 4^{\circ}\text{C}$ , pero sin efectos catastróficos como el evento el niño de 1997-1998.

Figura N° 53: Comparación de los eventos: (superior) El Niño 1982-1983, (medio) El Niño 1997-1998, (inferior) El Niño 2014-2015, frente a Lambayeque



Fuente: Elaboración propia de los autores

### 5.4.3. Frecuencia de las Anomalías de la TSM frente a Lambayeque entre 1981 – 2015

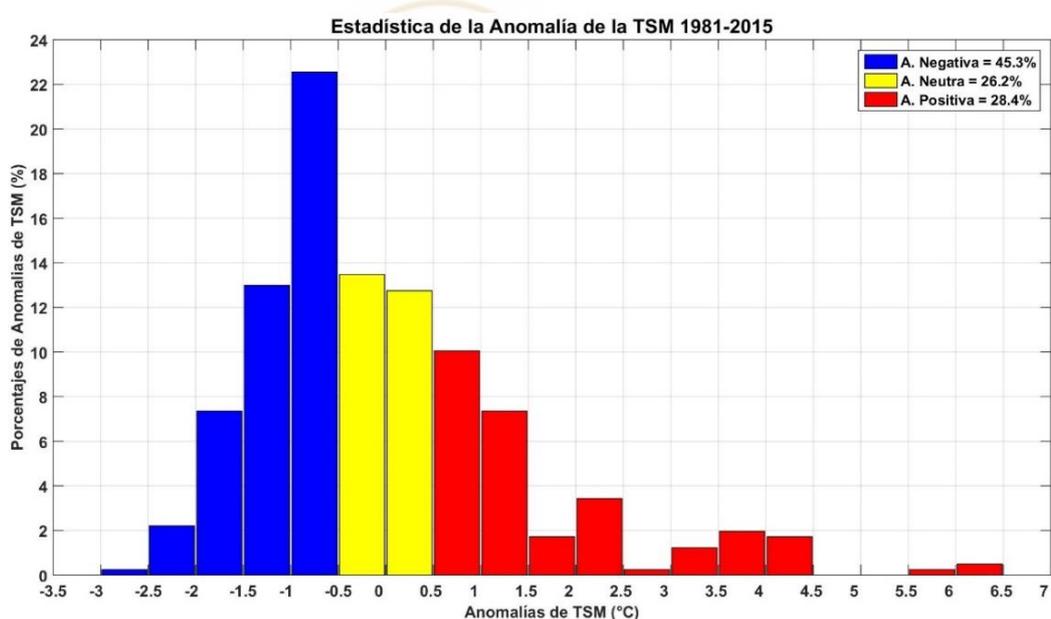
En la Figura N° 54, se muestra el histograma de porcentajes de anomalías de TSM; frente a la costa de la Región Lambayeque, para el periodo 1981 – 2015, se considera anomalía negativa cuando es menor a  $-0.5^{\circ}\text{C}$ , anomalía neutra cuando varía entre  $-0.5$  a  $0.5^{\circ}\text{C}$  y anomalía positiva cuando es mayor a  $0.5^{\circ}\text{C}$ .

El análisis de las anomalías de TSM (Figura N° 54), permite determinar que existen 45.3% de anomalías de TSM negativas (barras de color azul), que estarían relacionadas con periodos fríos (eventos La Niña), así mismo existen un

26.2% de anomalías de TSM neutras (barras amarillas), y existe un 28.4% de anomalías positivas (barras de color rojo), que estaría relacionado con eventos El Niño.

Por otro lado, se determinó que las anomalías de TSM negativas frente a Lambayeque, variaron desde  $-3.0^{\circ}$  a  $-0.5^{\circ}\text{C}$  (en un rango de  $2.5^{\circ}\text{C}$ ) y las anomalías de TSM positivas variaron entre  $+0.5^{\circ}$  a  $+6.5^{\circ}\text{C}$  (con un rango de variación de aproximadamente  $6^{\circ}\text{C}$ ), lo que indica que la TSM en la Región Lambayeque es fría.

Figura N° 54: Histograma de Frecuencia de las Anomalías específicas de la TSM a partir de imágenes satelitales frente a Lambayeque.



Fuente: Elaboración propia de los autores

## 5.5. Variación del gradiente térmico frente a Lambayeque entre 1981-2015

Para determinar el gradiente térmico de la TSM tanto general, estacional, mensual e interanual se tomaron dos pares de puntos entre la Zona Costera y la Zona Oceánica, el gradiente tendrá una dirección perpendicular al litoral costero y sentido que va desde los puntos de la zona costera hacia los puntos de la zona oceánica, los puntos tienen las siguientes ubicaciones geográficas (ver Figura N° 55 y Tabla N° 13).

Figura N° 55: Ubicación de puntos para el cálculo del Gradiente Térmico de la TSM satelital, entre la Zona Costera y Zona Oceánica, frente a Lambayeque



Fuente: Elaboración propia de los autores

Tabla N° 13: Ubicación geográfica de la Zona Costera 1 y 2 y Zona Oceánica 1 y 2.

Denominación	Ubicación Geográfica		
	Longitud (Oeste)	Latitud (sur)	Distancia (km)
Z. Costera (1)	80°54'59"	6°22'30"	158
Z. Oceánica (1)	82°22'30"	6°52'30"	
Z. Costera (2)	80°07'30"	6°52'30"	191
Z. Oceánica (2)	81°52'30"	7°37'30"	

Fuente: Elaboración propia de los autores

### 5.5.1. Variación general del gradiente térmico

La variación general del gradiente térmico para el periodo 1981-2015, fue calculado promediando la TSM en cada punto ubicados de ambas zonas, con las distancias mencionadas para todo el periodo (ver tabla N°13); los resultados se muestran a continuación (ver tabla N°14).

Tabla N° 14: Gradiente Térmico general entre la TSM costera y oceánica frente a Lambayeque, entre los años 1985 y-2015.

Punto	Zona Oceánica (°C)	Zona Costera (°C).	Gradiente (°C/km)
1	21.98	19.80	$1.38 \times 10^{-2}$
2	21.90	19.18	$1.42 \times 10^{-2}$

Fuente: Elaboración propia de los autores

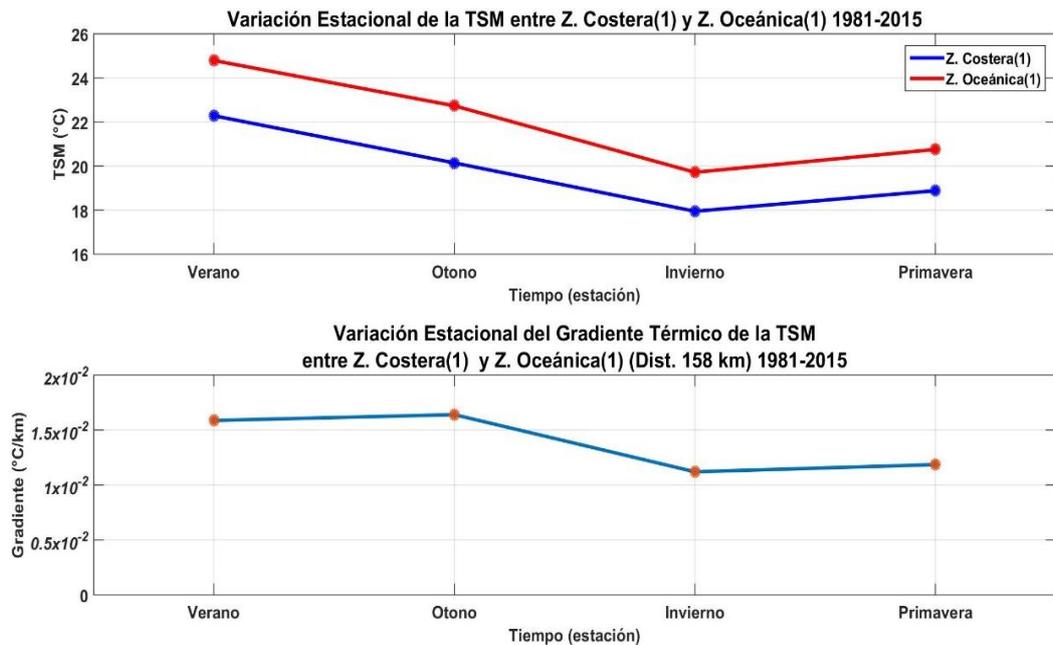
### 5.5.2. Variación estacional del gradiente térmico

La Figura N° 56, nos muestra la serie de la variación de la TSM (superior) y del Gradiente térmico de la TSM estacional (inferior) para los puntos Zona Costera (1) y Zona Oceánica (1).

La variación de la TSM satelital para la Zona Costera (1) es de 22.28°C (verano) y 17.95 °C (invierno), para la Zona Oceánica (1) es de 24.79 °C (verano) y 20.62 °C (invierno) durante un año climatológico para todo el dominio 1981-2015.

El Gradiente térmico de la TSM tomado entre Zona Costera (1) y Zona Oceánica (1), oscila entre  $1.64 \times 10^{-2}$  °C/km (otoño) y  $1.12 \times 10^{-2}$  °C/km (invierno) (ver Tabla N° 15).

Figura N° 56: Variación estacional de la TSM entre la Z. Costera (1) y Z. Oceánica (1) (superior); gradiente térmico estacional entre ambas zonas (inferior); 1981-2015



Fuente: Elaboración propia de los autores

Tabla N° 15: Gradiente Térmico promedio estacional entre la TSM costera y oceánica frente a Lambayeque, entre los años 1985 y-2015..

Estación	Z. Costera (1) (°C)	Z. Oceánica (1) (°C)	Gradiente (°C/km)
Verano	22.28	24.79	$1.59 \times 10^{-2}$
Otoño	20.14	22.73	$1.64 \times 10^{-2}$
Invierno	17.95	19.72	$1.12 \times 10^{-2}$
Primavera	18.88	20.76	$1.19 \times 10^{-2}$

Fuente: Elaboración propia de los autores

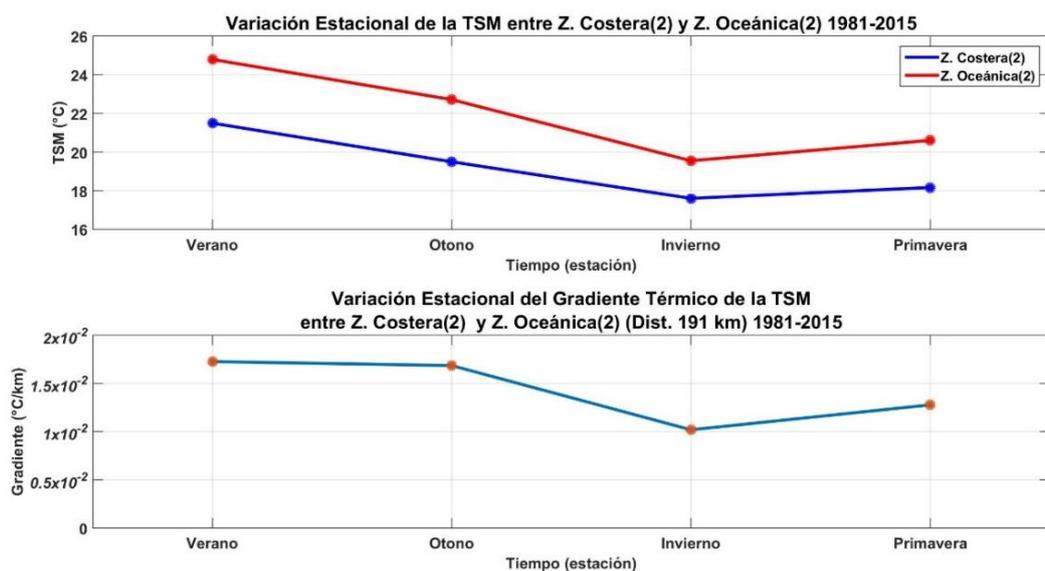
La Figura N° 57, nos muestra la serie de la variación de la TSM (superior) y del Gradiente de la TSM estacional (inferior) para los puntos, Zona Costera (2) y Zona Oceánica (2).

La variación de temperatura máxima para la Zona Costera (2) es de 21.50 °C (verano) y mínima de 17.60 °C (invierno), para la Zona Oceánica (2) la

temperatura máxima es de 24.79 °C (verano) y mínima 19.55 °C (invierno) durante un año climatológico para todo el dominio 1981-2015.

El Gradiente térmico de la TSM tomado entre Zona Costera (2) y Zona Oceánica (2) oscila entre  $1.73 \times 10^{-2}$  °C/km (verano) y  $1.02 \times 10^{-2}$  °C/km (invierno) (ver Tabla N° 16).

Figura N° 57: Variación estacional de la TSM entre la Z. Costera (2) y Z. Oceánica (2) (superior), gradiente térmico estacional entre ambas zonas (inferior); 1981-2015



Fuente: Elaboración propia de los autores

Tabla N° 16: Variación estacional del gradiente térmico entre la Z. Costera (2) y la Z. Oceánica (2).

Estación	Z. Costera (2) (°C)	Z. Oceánica (2) (°C)	Gradiente (°C/km)
<b>Verano</b>	21.50	24.79	$1.73 \times 10^{-2}$
<b>Otoño</b>	19.50	22.71	$1.69 \times 10^{-2}$
<b>Invierno</b>	17.60	19.55	$1.02 \times 10^{-2}$
<b>Primavera</b>	18.17	20.61	$1.28 \times 10^{-2}$

Fuente: Elaboración propia de los autores

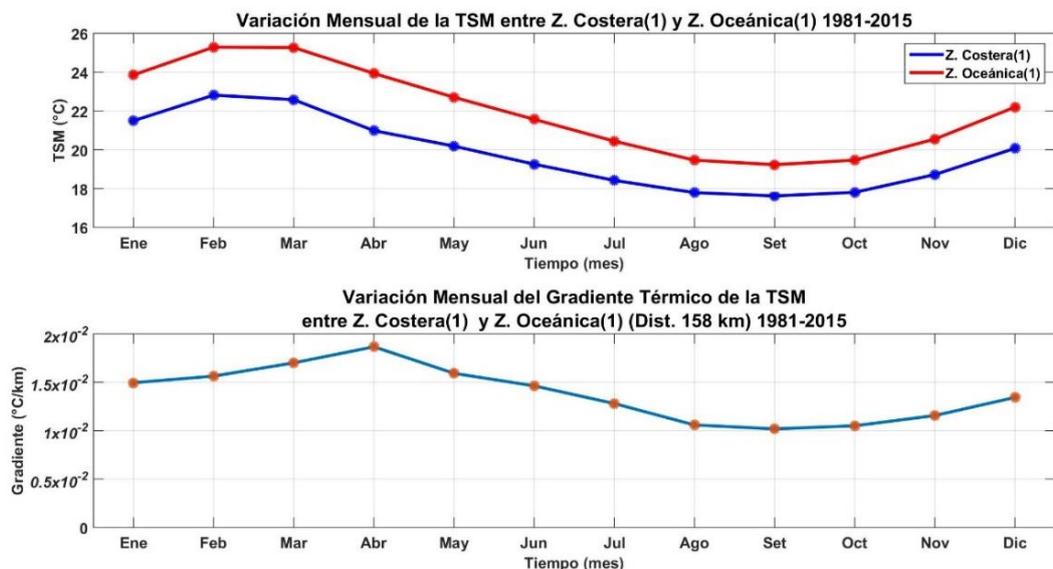
### 5.5.3. Variación Mensual del Gradiente Térmico

La Figura N° 58, nos muestra la serie de la variación de la TSM y del Gradiente de la TSM mensual, para los puntos Zona Costera (1) y Zona Oceánica (1).

La variación de TSM máxima para la Zona Costera (1) es de 22.82°C (febrero) y mínima de 17.62°C (setiembre), para la Zona Oceánica (1) la temperatura máxima es de 25.29 °C (febrero) y mínima 19.23 °C (setiembre) durante un año climatológico para todo el periodo 1981-2015.

El Gradiente térmico de la TSM tomado entre la Zona Costera (1) y Zona Oceánica (1) varía entre  $1.87 \times 10^{-2}$  °C/km (abril) y  $1.02 \times 10^{-2}$  °C/km (setiembre) (ver Tabla N° 17).

Figura N° 58: Variación mensual de la TSM entre la Z. Costera (1) y Zona Oceánica (1) (superior), gradiente térmico mensual de la TSM entre ambas zonas (inferior), 1981-2015.



Fuente: Elaboración propia de los autores

Tabla N° 17: Variación mensual del gradiente térmico entre la Z. Costera (1) y la Z. Oceánica (1) para el periodo 1981 – 2015.

Mes	Z. Costera (1) (°C)	Z. Oceánica (1) (°C)	Gradiente (°C/km)
<b>Enero</b>	21.50	23.86	$1.49 \times 10^{-2}$
<b>Febrero</b>	22.82	25.29	$1.56 \times 10^{-2}$
<b>Marzo</b>	22.58	25.27	$1.70 \times 10^{-2}$
<b>Abril</b>	20.98	23.93	$1.87 \times 10^{-2}$
<b>Mayo</b>	20.19	22.70	$1.59 \times 10^{-2}$
<b>Junio</b>	19.26	21.57	$1.46 \times 10^{-2}$
<b>Julio</b>	18.42	20.44	$1.28 \times 10^{-2}$
<b>Agosto</b>	17.79	19.46	$1.06 \times 10^{-2}$
<b>Setiembre</b>	17.62	19.23	$1.02 \times 10^{-2}$
<b>Octubre</b>	17.81	19.47	$1.05 \times 10^{-2}$
<b>Noviembre</b>	18.72	20.55	$1.16 \times 10^{-2}$
<b>Diciembre</b>	20.08	22.20	$1.34 \times 10^{-2}$

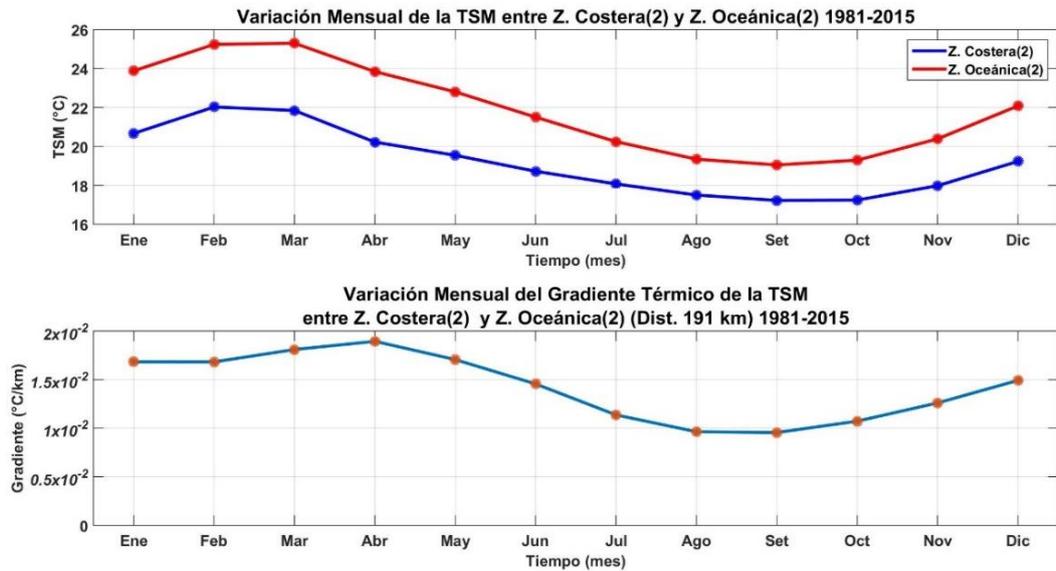
Fuente: Elaboración propia de los autores

La Figura N° 59, muestra la serie de la variación de la TSM (superior) y del Gradiente de la TSM mensual (inferior), para los puntos Zona Costera (2) y Zona Oceánica (2).

La variación de la TSM para la Zona Costera (2) oscila entre una máxima de 22.03 °C (febrero) y una mínima de 17.22°C (setiembre), para la Zona Oceánica (2) la temperatura máxima es de 25.30°C (marzo) y mínima de 19.05°C (setiembre) para el periodo 1981-2015.

El Gradiente térmico de la TSM tomado entre la Zona Costera (2) y Zona Oceánica (2) presenta una oscilación entre  $1.89 \times 10^{-2}$  °C/km (abril) y  $0.95 \times 10^{-2}$  °C/km (setiembre) (ver Tabla N° 18).

Figura N° 59: Variación mensual de la TSM entre la Z. Costera (2) y Z. Oceánica (2) (superior), gradiente térmico estacional entre ambas zonas (inferior); 1981-2015



Fuente: Elaboración propia de los autores

Tabla N° 18: Variación mensual del gradiente térmico entre la Z. Costera (2) y la Z. Oceánica (2) para el periodo 1981 – 2015.

Mes	Z. Costera (2) (°C)	Z. Oceánica (2) (°C)	Gradiente (°C/km)
<b>Enero</b>	20.67	23.88	1.68 × 10 <sup>-2</sup>
<b>Febrero</b>	22.03	25.24	1.68 × 10 <sup>-2</sup>
<b>Marzo</b>	21.48	25.30	1.81 × 10 <sup>-2</sup>
<b>Abril</b>	20.22	23.84	1.89 × 10 <sup>-2</sup>
<b>Mayo</b>	19.54	22.80	1.71 × 10 <sup>-2</sup>
<b>Junio</b>	18.72	21.50	1.45 × 10 <sup>-2</sup>
<b>Julio</b>	18.07	20.24	1.14 × 10 <sup>-2</sup>
<b>Agosto</b>	17.50	19.34	0.96 × 10 <sup>-2</sup>
<b>Setiembre</b>	17.22	19.05	0.95 × 10 <sup>-2</sup>
<b>Octubre</b>	17.24	19.29	1.07 × 10 <sup>-2</sup>
<b>Noviembre</b>	17.98	20.39	1.26 × 10 <sup>-2</sup>
<b>Diciembre</b>	19.23	22.08	1.49 × 10 <sup>-2</sup>

Fuente: Elaboración propia de los autores

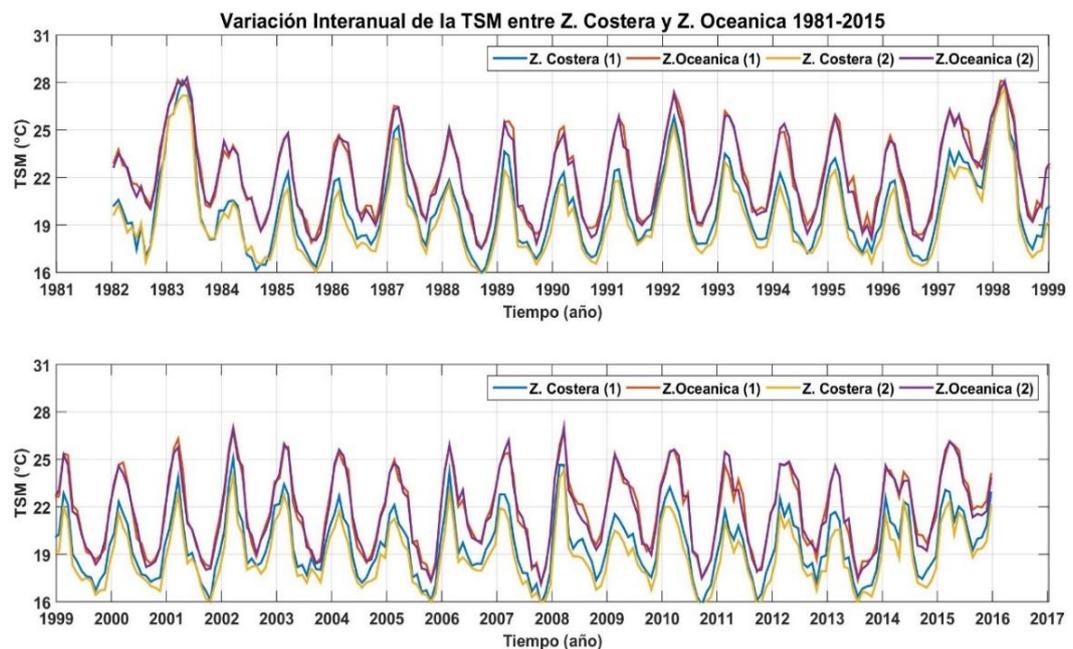
### 5.5.4. Variación Interanual del Gradiente Térmico

La Figura N° 60, nos muestra la serie de la variación de la TSM interanual 1981-2015, para los puntos Zona Costera (1) y Zona Oceánica (1), Zona Costera (2) y Zona Oceánica (2).

Como se puede observar el recorrido de la línea de la variación de TSM es parecida entre la Zona Costera (1) y Zona Costera (2), así como para la Zona Oceánica (1) y la Zona Oceánica (2).

Los picos de temperaturas altos que se muestran en la figura corresponden a los eventos climatológicos El Niño 1982-1983 y El Niño 1997-1998 donde las temperaturas entre la zona costera y la zona oceánica son aproximadamente iguales.

Figura N° 60: Serie interanual de la TSM frente Lambayeque, entre la Z. Costera (1) y Z. Oceánica (1); Z. Costera (2) y Z. Oceánica (2); 1981 a 2015.

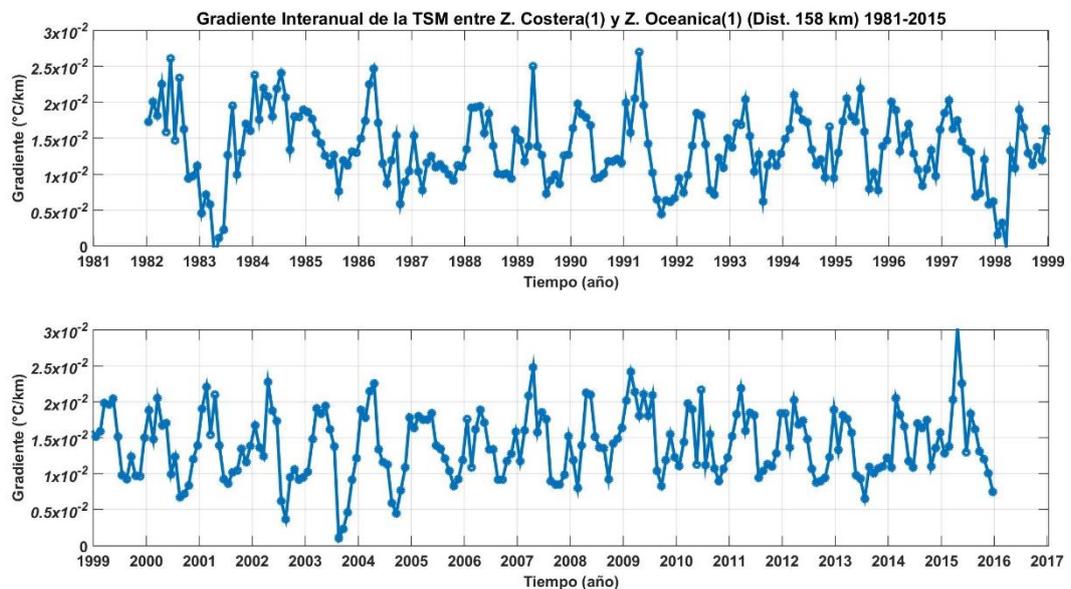


Fuente: Elaboración propia de los autores

La Figura N° 61, nos muestra la serie del Gradiente térmico de la TSM interanual 1981-2015, para los puntos Zona Costera (1) y Zona Oceánica (1).

El Gradiente de la TSM es tomado entre los puntos antes mencionados con una distancia de 158 km entre ellos; la figura nos muestra que en los eventos el niño 1982-1983 y el niño 1997-1998 el gradiente térmico de la TSM es  $\sim 0$  (aproximadamente cero), y los descensos del gradiente térmico de la TSM que están por debajo de  $0.5 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}/\text{km}$  son de eventos El Niño de baja o mediana intensidad que se registraron durante esos años.

Figura N° 61: Gradiente térmico interanual de la TSM frente a Lambayeque, entre la Z. Costera (1) y Z. Oceánica (1), distancia de 158 km entre ambas zonas 1981 a 2015.



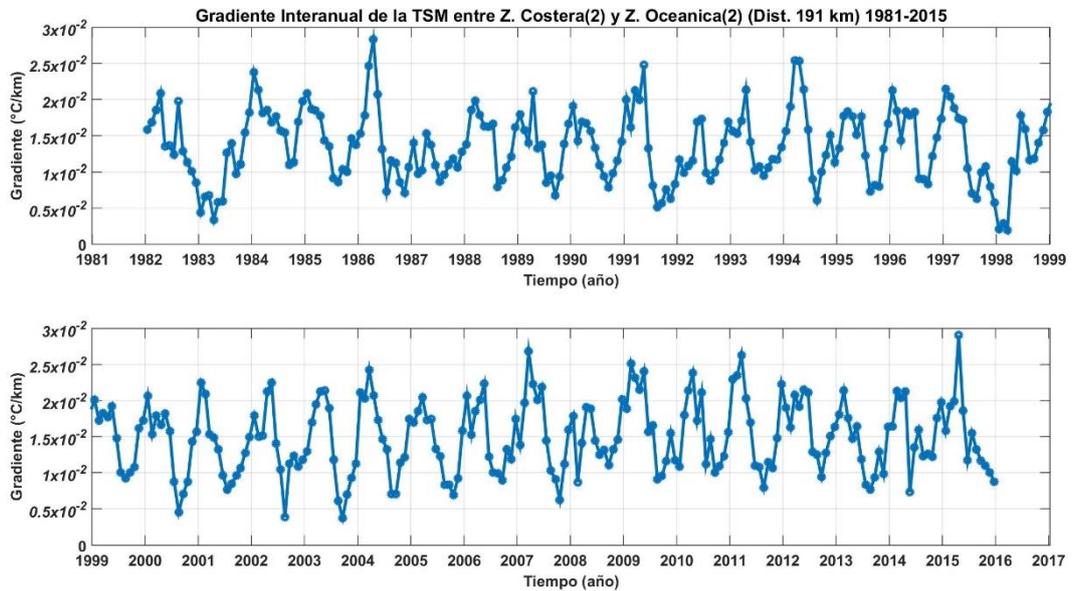
Fuente: Elaboración propia de los autores

La Figura N° 62, nos muestra la serie del Gradiente térmico de la TSM interanual 1981-2015, para los puntos Zona Costera (2) y Zona Oceánica (2).

El Gradiente térmico de la TSM es tomado entre los puntos antes mencionados con una distancia de 191 km entre ellos; nos muestra también que en los eventos El Niño 1982-1983 y El Niño 1997-1998 el gradiente térmico es

-0 (aproximadamente cero), y los descensos del gradiente térmico de TSM que están por debajo de  $0.5 \times 10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$  son de eventos El Niño de baja o mediana intensidad que se registraron durante esos años.

Figura N° 62: Gradiente térmico interanual de la TSM frente a Lambayeque, entre Z. Costera (2) y Z. Oceánica (2), distancia de 191 km entre ambas zonas; 1981 a 2015.



Fuente: Elaboración propia de los autores

# **CAPÍTULO VI**

## **CONCLUSIONES, DISCUSIONES Y**

### **RECOMENDACIONES**



---

## 6. CONCLUSIONES, DISCUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 6.1. Conclusiones

En el presente trabajo de investigación se concluye que:

- ✓ Se realizó la validación de la información satelital de la TSM de la ubicación más cercana a la caleta San José, respecto a la información registrada en la estación de monitoreo del IMARPE playa San José, para el periodo comprendido entre el año 1991 a 2015, llegando a determinarse que en promedio la TSM satelital corresponde a la TSM In-situ con coeficiente de correlación  $R^2 = 0.8489$ .
- ✓ Se realizó el análisis estacional de la TSM satelital para determinar el porcentaje de información faltante a causa de la presencia de nubes, llegándose a determinar que a nivel general, la nubosidad afecta o dificulta el registro de la TSM (en un porcentaje mayor a 65%) en los 12 km de la franja costera frente a Lambayeque, con un área de mayor cobertura de nubes frente a San José y Chérrepe. Estacionalmente el porcentaje de nubes varia, presentándose 54.3 % para verano, y 34.8% para invierno.
- ✓ Se logró implementar el método de interpolación de análisis objetivo y aplicarlo a las imágenes que presentan problemas de nubosidad, llegando a determinar la TSM faltante de la zona marino costera dentro de los primeros 20 km frente a la costa.
- ✓ Se determinó el promedio general de la climatología frente a Lambayeque, presentando un valor de TSM promedio de 20.50°C, con un rango de variación entre 18.5 - 22.5 °C. La climatología estacional, muestra que en verano la TSM frente a Lambayeque varía entre 21 a 25 °C; en otoño entre 19 a 23.5 °C; en invierno varía en un rango entre 17 a 20°C; y en primavera varía entre 17 a 21°C.
- ✓ La climatología mensual de la TSM presenta una temperatura máxima de 23.6°C en el mes de Febrero y una mínima de 18.13°C en el mes de Setiembre, especialmente las TSM más bajas se registraron entre las costas de San José y

Chérrepe, zona que presenta temperatura entre 16.5 a 21.5 °C, a lo largo del año.

- ✓ En el análisis interanual de la TSM a través de las anomalías de temperatura, muestra que los eventos extraordinarios “El Niño” 82-83, 97-98 y 2014-2015, presentaron diferencias en su evolución temporal, tanto en las fechas de inicio y culminación, así como la máxima anomalía de TSM alcanzada, por el evento El Niño de 1982-83, que presentó una anomalía máxima de +6.65, el evento El Niño 1997-98 alcanzo una anomalía máxima de +4.47 y los eventos cálidos de 2014-2015 alcanzaron una anomalía de +2.50.
- ✓ El análisis comparativo de los eventos El Niño entre los años 1981 a 2015, permite demostrar que durante El Niño 1997-98 se presentó un mayor tiempo con anomalías positivas a comparación de El Niño 1982-83, que produjo la formación de la laguna La Niña, adicionalmente, se determinó que el 45.3% de anomalías de TSM corresponden a anomalías negativas, un 26.2% a anomalías neutras y un 28.4% a anomalías positivas.
- ✓ Se determinó que, a nivel general, entre la zona marino costera y oceánica frente a Lambayeque existe un gradiente térmico de  $1.38 \times 10^{-2}$  °C/km (1.38°C por 100 km); a nivel estacional, el gradiente térmico varia en un rango entre  $1.12 \times 10^{-2}$  °C/km (1.12°C por 100 km) en invierno, a  $1.64 \times 10^{-2}$  °C/km (1.64°C por 100km) en otoño, mensualmente varía en un rango de  $1.02 \times 10^{-2}$  °C/km (1.02°C por 100 km) en setiembre, a  $1.87 \times 10^{-2}$  °C/km (1.87°C por 100km) en abril.
- ✓ En los eventos El Niño 1982-83 y 1997-98, se determinó que el gradiente térmico se aproxima a 0°C/km (0°C por 100 km), lo cual estaría asociado al acercamiento de aguas oceánica hacia la zona costera.
- ✓ Al ser la TSM menor entre San José y Chérrepe como se muestra en la climatología general, estacional, mensual e interanual; se determinó que el gradiente térmico para la zona 2 (general, estacional, mensual e interanual) es mayor que el gradiente térmico obtenido en la zona 1.

## 6.2. Discusiones.

En comparación al trabajo de investigación “Variación Climatológica e Interanual de la Temperatura Superficial del Mar Frente a la Costa de Lambayeque” realizado durante el 2010 por Santa María y David Correa para los años 1982-2008, se tiene que:

La climatología general: para el periodo 1982-2008 varia en un rango de 17 - 24°C, para el periodo 1981-2015 varia en un rango de 18.5 - 22.5°C; la climatología mensual: periodo 1982-2008 las TSM más altas se dieron en el mes de febrero con un rango de 22 – 27°C, y las TSM más bajas se dieron entre los meses de agosto a octubre con un rango de 15 – 19°C; para el periodo 1981-2015 las TSM más altas se dieron en el mes de febrero con un rango de 21.5 – 25.5°C, y las TSM más bajas se dieron entre los meses de agosto a octubre con un rango de 16.5– 20°C.

Respecto al porcentaje de las anomalías entre ambas investigaciones la variación es: para anomalías negativas la diferencia entre ambas investigaciones es de 6.8% más elevado para el periodo 1981-2015, anomalías neutras 7.3% más bajo para el periodo 1981-2015, y anomalías positivas 0.4% más elevado para el periodo 1981-2015.

Esto nos da a entender que durante los últimos 7 años se han producido más eventos negativos, pero se ha mantenido casi constante los eventos positivos.

Como se puede apreciar los resultados son semejantes, y las diferencias se deben a que en esta investigación se han procesado 12,452 imágenes (35 años), 12,128 imágenes más que las utilizadas en el trabajo de Santamaría y Correa (324 imágenes - 27 años).

Se concluye que ambos trabajos de investigación de la TSM frente a Lambayeque tienen la misma validez para ser tomados como patrones a futuras investigaciones.

### 6.3. Recomendaciones

Como resultado de este trabajo han surgido nuevas interrogantes e hipótesis que pueden servir de base para futuros trabajos de investigación, por tanto, recomendamos lo siguiente:

- ✓ Analizar la TSM registrada frente a Lambayeque a través de otros medios satelitales, que usan sensores micro-ondas, sensores infra-rojos, y a distintas resoluciones espaciales, a fin de determinar las diferencias que existen entre diversos medios de registro.
- ✓ Hacer una validación de la TSM satelital con otras o nuevas series de información de TSM In-situ que se estén registrando en la costa de Lambayeque y de ser posible hacer una verificación con información de TSM de mar adentro, como la registrada en los monitoreos de IMARPE.
- ✓ Analizar la variabilidad temporal y espacial del frente térmico frente a la costa de Lambayeque, debido a que está asociado con la delimitación de condiciones adecuadas a ciertos recursos pelágicos como la anchoveta.
- ✓ Para la recuperación de información faltante de las imágenes satelitales, se podría probar la misma metodología de análisis objetivo, pero variando el radio de influencia a fin de determinar la influencia de la amplitud del radio sobre la TSM obtenida, por otro lado, se podría usar otras metodologías de interpolación o modelos estadísticos multivariados.
- ✓ Analizar la información de TSM respecto a los parámetros atmosféricos como temperatura del aire, vientos, radiación, radiación y presión a fin de proponer indicadores de la interacción océano – atmosfera.
- ✓ Se recomienda, cada diez años realizar una actualización de las climatologías de TSM, e incluir la mayor cantidad de información posible.

# **CAPÍTULO VII**

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**



## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### 7.1. Bibliografía

- Carbajal, W., Castro, J., Galán, J., Ramírez, P., & De La Cruz, J. (2005). *Diagnóstico Ambiental de la zona costera de Lambayeque, 2004*. Instituto del Mar del Perú - Sede Santa Rosa (Chiclayo).
- Chuviego, E. (1995). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Madrid: Rialp S.A.
- Correa, D., & Santamaría, C. (2010). *Variación Climatológica e Interanual de la Temperatura Superficial del Mar frente a la costa de Lambayeque*. Lambayeque.
- Cuba, F., & Itan, N. (2010). *Guía Climática Turística del Perú*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).
- Duthit Somoza, R., Buss Souza, R., & Kampel, M. (2007). *Variabilidad de la temperatura superficial del mar en las aguas adyacentes a Cuba y su relación con las pesquerías de langosta (Panulirus argus)*. Florianópolis: XIII Simposio Brasileiro de Sensoramiento Remoto.
- Fundación Manuel J. Bustamante. (2010). *Cambio Climático en el Perú, Costa Norte*. Lima: Apus Graph Ediciones.
- Inzunza, J. (2012). Meteorología Descriptiva. En J. Inzunza, *Meteorología Descriptiva* (pág. 35).
- Martínez Muñoz, J., & Díaz Ponce, A. (2005). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Autoridad Nacional del Agua, Subgerencia de Informática y Sistema Geográfico del Agua, Distrito Federal.
- NOAA. (15 de Enero de 2016). NOAA. Obtenido de <http://www.nodc.noaa.gov>
- OMM. (2011). Guía de Prácticas Climatológicas. *Guía de Prácticas Climatológicas*, 1-2.
- Sobrino, J. (2001). *Teledetección*. Valencia: Servicio de publicaciones - Universidad de Valencia.
- Stucchi, M., & Figueroa, J. (2006). *Reporte de Investigación N° 2*. Lima.
- Valentín, J. L. (1996). Aguas de Surgencia. *Ciencia Hoy*, 6(34), 41-48.
- Vera Mella, N. (2005). *Atlas climático de irradiación solar a partir de imágenes del satélite NOAA. Aplicación a la Península Ibérica*. Barcelona.

## 7.2. Hemerografía

- ✓ Duthit R., Buss R., Kempel M. (2007), “Variabilidad de la Temperatura Superficial del Mar en las aguas adyacentes a Cuba y su relación con las pesquerías de langosta (*Panulirus argus*)” el trabajo de investigación presentado en el XIII Simposio Brasileño de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil
- ✓ Quesquén R. (2011), “Evaluación de la Temperatura y su efecto en los recursos pesqueros de la zona del Callao”, proyecto de investigación para optar el título de Licenciado en Física, Universidad Nacional del Callao.
- ✓ Chapoñan J. (2016), “Caracterización temporal del viento registrado en el borde costero de la ciudad de Santa Rosa y en la Islas Lobos de Afuera, durante los años 2005 al 2012”, proyecto de investigación para optar el título de Licenciado en Física, Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo.

## 7.3. Lincografía

- ✓ <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cms/products>
- ✓ [https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced\\_very-high-resolution\\_radiometer](https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_very-high-resolution_radiometer)
- ✓ <https://podaac.jpl.nasa.gov/AVHRR-Pathfinder>
- ✓ <https://podaac.jpl.nasa.gov/datasetlist?ids=TemporalResolution&values=Weekly&search=Pathfinder&view=list>
- ✓ [https://es.wikipedia.org/wiki/El\\_Ni%C3%B1o\\_\(fen%C3%B3meno\)](https://es.wikipedia.org/wiki/El_Ni%C3%B1o_(fen%C3%B3meno))
- ✓ [https://es.wikipedia.org/wiki/La\\_Ni%C3%B1a\\_\(clima\)](https://es.wikipedia.org/wiki/La_Ni%C3%B1a_(clima))
- ✓ <http://crepadweb.cec.inta.es/es/plataformas/avhrr.html>

# **CAPÍTULO VIII**

## **ANEXOS**



## 8. ANEXOS

### 8.1. Programas

En esta sección se presentan una serie de programas computacionales (script y funciones) desarrollados en el software de programación y visualización gráfica Matlab.

#### 8.1.1. Programa para determinar climatología estacional

**Programa\_003\_promedio\_estacional.m**

```
clear all, clc, close all
anho_01 = 1981;
anho_02 = 2015;
%% % No modificar
lonmin=-82.625;
lonmax=-79;
latmin=-7.625;
latmax=-5.875;
ruta = 'Datos_AVHRR/';

SST= [];
TIME = [];
for nt = anho_01:anho_02
    fname = ['ncdcOisst2_', num2str(nt), '_', num2str(nt), '.mat'];
    disp(fname)
    Fname = [ruta, fname];
    load(Fname)

    lat = double(squeeze(ncdcOisst2Agg.latitude));
    lon = double(squeeze(ncdcOisst2Agg.longitude)) - 360;

    ila = find(and(lat<=latmax, lat>=latmin));
    ilo = find(and(lon<=lonmax, lon>=lonmin));

    sst = double(squeeze(ncdcOisst2Agg.sst));

    time = squeeze(ncdcOisst2Agg.time)/(24*3600) +
            datenum(1969,12,31);

    SST = [SST;sst(:,ila,ilo)];
    TIME = [TIME;time];
end
[LON,LAT] = meshgrid(lon(ilo),lat(ila));
for est = 1:4;
    switch est
        case 1
            mes1 = 1; mes2 = 3;
        case 2
            mes1 = 4; mes2 = 6;
        case 3
            mes1 = 7; mes2 = 9;
        case 4
            mes1 = 10; mes2 = 12;
    end

    ind = find(and(month(TIME) >= mes1,month(TIME) <= mes2));
```

```

TSST = squeeze(nanmean(SST(ind, :, :), 1));
%promedio imagen estacional
MPSST(est) = nanmean(nanmean(TSST));
%desviacion standar
MDSST(est) = nanstd(nanstd(TSST))*10;

switch est
    case 1, est_1 = 'Verano';
    case 2, est_1 = 'Otoño';
    case 3, est_1 = 'Invierno';
    case 4, est_1 = 'Primavera';
end
graficar(LON,LAT,lon,lat,ilo,ila,TSST)
titulo=title(['Promedio Estacional: ', est_1, ' ', '1981', '-',
num2str(anho_02)]);
xl=xlabel('Longitud (Oeste)');
yl=ylabel('Latitud (Sur)');
set(titulo, 'FontSize', 18, 'FontW', 'Bold')
set(xl, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
set(yl, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
set(gcf, 'PaperPositionMode', 'auto')
print('djpeg', ['Promedio_estacional_', est_1, '_', '1981', '_',
num2str(anho_02), '.jpg'])
end

estaciones = {'Verano', 'Otoño', 'Invierno', 'Primavera'};
figure('position', [1 1 1900 1080])
subplot(2,1,1)
x = MPSST;
err = MDSST;
errorbar(x, err, 'r', 'MarkerSize', 10, 'LineWidth', 1);
hold on
plot(MPSST, 'ob', 'LineWidth', 10)
hold on
plot(MPSST, '-b', 'LineWidth', 3)
grid on
box on
set(gca, 'XTick', 1:4, 'XTicklabel', estaciones, 'FontSize', 15,
'FontW', 'Bold')
set(gca, 'YTick', 14:3:28, 'FontSize', 15)
xlim([0.5 4.5])
ylim([14 26])
xla=xlabel('Tiempo (estación)');
yla=ylabel('TSM (°C)');
ti=title('Serie Climatológica Estacional de la TSM 1981-2015');
set(ti, 'FontSize', 18, 'FontW', 'Bold')
set(xla, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
set(yla, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
set(gcf, 'PaperPositionMode', 'auto')
print('-djpeg', ['Serie_estacional', '_', '1981', '_', '2015', '.jpg'])

```

## 8.1.2. Programa para determinar la climatología mensual

Programa\_004\_promedio\_mensual.m

```
clear all, clc, close all

anho_01 = 1981;
anho_02 = 2015;
%% % No modificar
lonmin=-82.625;
lonmax=-79;
latmin=-7.625;
latmax=-5.875;
ruta = 'Datos_AVHRR/';

SST= [];
TIME = [];
for nt = anho_01:anho_02
    fname = ['ncdcOisst2_', num2str(nt), '_', num2str(nt), '.mat'];
    disp(fname)
    Fname = [ruta, fname];
    load(Fname)

    lat = double(squeeze(ncdcOisst2Agg.latitude));
    lon = double(squeeze(ncdcOisst2Agg.longitude)) - 360;

    ila = find(and(lat<=latmax, lat>=latmin));
    ilo = find(and(lon<=lonmax, lon>=lonmin));

    sst = double(squeeze(ncdcOisst2Agg.sst));

    time = squeeze(ncdcOisst2Agg.time)/(24*3600) +
        datenum(1969, 12, 31);

    SST = [SST; sst(:, ila, ilo)];
    TIME = [TIME; time];
end
[LON, LAT] = meshgrid(lon(ilo), lat(ila));
close all
for mes = 1:12;
    ind = find((month(TIME)==mes));
    TSST = squeeze(nanmean(SST(ind, :, :), 1));
    %promedio mensual
    MPSST(mes) = squeeze(nanmean(nanmean(TSST)));
    %desviacion standar
    MDSST(mes) = (squeeze(nanstd(nanstd(TSST))))*10;
    switch mes
        case 1, mes_1 = 'Enero';
        case 2, mes_1 = 'Febrero';
        case 3, mes_1 = 'Marzo';
        case 4, mes_1 = 'Abril';
        case 5, mes_1 = 'Mayo';
        case 6, mes_1 = 'Junio';
        case 7, mes_1 = 'Julio';
        case 8, mes_1 = 'Agosto';
        case 9, mes_1 = 'Setiembre';
        case 10, mes_1 = 'Octubre';
        case 11, mes_1 = 'Noviembre';
        case 12, mes_1 = 'Diciembre';
    end
end
```

```

graficar(LON,LAT,lon,lat,ilo,ila,TSST)
titulo=title(['Promedio Mensual: ', mes_1, ' ', '1981', '-',
num2str(anho_02)]);
xl=xlabel('Longitud (Oeste)');
yl=ylabel('Latitud (Sur)');
set(titulo,'FontSize',20,'FontW','Bold')
set(xl,'FontSize',18,'FontW','Bold')
set(yl,'FontSize',18,'FontW','Bold')
set(gcf,'PaperPositionMode','auto')
print('djpeg',['Promedio_new_',mes_1,'_', '1981','_',
num2str(anho_02),'.jpg'])
end
meses = {'Ene','Feb','Mar','Abr','May','Jun','Jul','Ago',...
'Set','Oct','Nov','Dic'};

figure('position',[1 1 1900 1080])
subplot(2,1,1)
x = MPSST;
err = MDSST;
errorbar(x,err,'r','MarkerSize',10,'LineWidth',1);
hold on
plot(MPSST,'ob','LineWidth',10)
hold on
plot(MPSST,'-b','LineWidth',3)
grid on
box on
set(gca,'XTick',1:12,'XTicklabel',meses,'YTick',14:3:28,'FontSize',12,
'FontW','Bold')
set(gca,'YTick',14:3:28,'FontSize',12,'FontW','Bold')
xlim([0.5 12.5])
ylim([14 26])
xla=xlabel('Tiempo (mes)');
yla=ylabel('TSM (°C)');
ti=title('Serie Climatológica Mensual de la TSM 1981-2015');
set(gca,'FontSize',15,'FontW','Bold')
set(ti,'FontSize',18,'FontW','Bold')
set(xla,'FontSize',15,'FontW','Bold')
set(yla,'FontSize',15,'FontW','Bold')
set(gcf,'PaperPositionMode','auto')
print('-djpeg',['Serie_mensual','_', '1981','_', '2015','.jpg'])

```

### 8.1.3. Programa para determinar la climatología interanual

Programa\_008\_promedio\_serie\_tiempo\_interanual.m

```

clear all, clc, close all
anho_01 = 1981;
anho_02 = 2015;
%% % No modificar
lonmin=-82.625;
lonmax=-79;
latmin=-7.625;
latmax=-5.875;

ruta = 'Datos_AVHRR/';
nm = 1;
for nt = anho_01:anho_02;
    fname = ['ncdcOisst2_', num2str(nt), '_', num2str(nt), '.mat'];
    disp(fname)
    Fname = [ruta, fname];
    load(Fname)

    lat = double(squeeze(ncdcOisst2Agg.latitude));
    lon = double(squeeze(ncdcOisst2Agg.longitude)) - 360;

    ila = find(and(lat<=latmax, lat>=latmin));
    ilo = find(and(lon<=lonmax, lon>=lonmin));

    sst = double(squeeze(ncdcOisst2Agg.sst));

    time = squeeze(ncdcOisst2Agg.time)/(24*3600) +
    datenum(1969,12,31);

    for mes=1:12;
        ind2= find((month(time)==mes));
        temp1 = squeeze(nanmean(sst(ind2,ila,ilo),1));
        temp2 = squeeze(nanmean(nanmean(temp1)));
        TMA(nm) = temp2;
        TIME(nm) = datenum(nt,mes,15);
        nm = nm + 1;
    end
end

%%
anhos =
{'1976','1977','1978','1979','1980','1981','1982','1983','1984','1985'
,'1986','1987','1988','1989','1990','1991','1992','1993','1994',... '199
5','1996','1997','1998','1999','2000','2001','2002','2003',...
'2004','2005','2006','2007','2008','2009','2010','2011','2012',...
'2013','2014','2015','2016','2017','2018','2019','2020','2021',...
'2022'};

dat1=datenum(1976,1,1);
dat2=datenum(2022,1,1);

figure('position',[1 1 1900 1080])
subplot(211)
%años 1980-1999

```

```

plot(TIME,TMA,'o-b','LineWidth',3)
datetick('x','yy')
grid on
box on
set(gca,'xtick',dat1:365:dat2,'XTicklabel',anhos,'ytick',16:3:30,...
'FontSize',12,'FontW','Bold')
xlim([datenum(1980,12,30) datenum(1999,1,1)])
ylim([16 28])
xl=xlabel('Tiempo (años)');
yl=ylabel('TSM (°C)');
ti=title(['Variación Interanual de la TSM',' ','1981','- ',
num2str(anho_02)]);
set(ti,'FontSize',18,'FontW','Bold')
set(xl,'FontSize',15,'FontW','Bold')
set(yl,'FontSize',15,'FontW','Bold')

%años 1999-2015
subplot(212)
plot(TIME,TMA,'o-b','LineWidth',3)
datetick('x','yy')
grid on
box on
set(gca,'xtick',dat1:365:dat2,'XTicklabel',anhos,'ytick',16:3:30,...
'FontSize',12,'FontW','Bold')
xlim([datenum(1998,12,25) datenum(2017,1,1)])
ylim([16 28])
xl=xlabel('Tiempo (años)');
yl=ylabel('TSM (°C)');
set(xl,'FontSize',15,'FontW','Bold')
set(yl,'FontSize',15,'FontW','Bold')
set(gcf,'PaperPositionMode','auto')
print('-djpeg',['Serie_interanual','_','1981','_','2015','.jpg'])

```

### 8.1.4. Programa para determinar las anomalías de TSM

Programa\_005\_promedio\_anomalias.m

```
clear all, clc, close all

anho_01 = 1981;
anho_02 = 2015;
%% No modificar
lonmin=-82.625;
lonmax=-79;
latmin=-7.625;
latmax=-5.875;

ruta = 'Datos_AVHRR/';

SST= [];
TIME1= [];
load('promedio_mensual_climatologia.mat') % Contiene 'MPSST','MDSST'
nm = 1;
for nt = anho_01:anho_02;
    fname = ['ncdcOisst2_', num2str(nt), '_', num2str(nt), '.mat'];
    disp(fname)
    Fname = [ruta, fname];
    load(Fname)

    lat = double(squeeze(ncdcOisst2Agg.latitude));
    lon = double(squeeze(ncdcOisst2Agg.longitude)) - 360;
    ila = find(and(lat<=latmax, lat>=latmin));
    ilo = find(and(lon<=lonmax, lon>=lonmin));
    sst = double(squeeze(ncdcOisst2Agg.sst));
    time = squeeze(ncdcOisst2Agg.time)/(24*3600) +
           datenum(1969,12,31);

    for mes=1:12;
        ind2= find((month(time)==mes));
        temp1 = squeeze(nanmean(sst(ind2,ila,ilo),1));
        temp2 = squeeze(nanmean(nanmean(temp1)));
        TMA(nm) = temp2;
        ATMA(nm) = temp2 - MPSST(mes);
        VATMA=ATMA';
        TIME(nm) = datenum(nt,mes,15);
        nm = nm + 1;
    end
end

is1 = find(ATMA<-0.5);
is2 = find(and(ATMA>=-0.5, ATMA<=0.5));
is3 = find(ATMA>0.5);

dat1=datenum(1976,1,1);
dat2=datenum(2022,1,1);
anhos =
{'1976', '1977', '1978', '1979', '1980', '1981', '1982', '1983', '1984', ...
'1985', '1986', '1987', '1988', '1989', '1990', '1991', '1992', '1993', ...
'1994', '1995', '1996', '1997', '1998', '1999', '2000', '2001', '2002', ...
'2003', '2004', '2005', '2006', '2007', '2008', '2009', '2010', '2011', ...
'2012', '2013', '2014', '2015', '2016', '2017', '2018', '2019', '2020', ...
'2021', '2022'};
```

```

%%ANOMALIA 1981-2015
figure('position',[1 1 1900 1080])
subplot(211)
bar(TIME(is1),ATMA(is1),'b','EdgeColor','r')
hold on
bar(TIME(is2),ATMA(is2),'y','EdgeColor','y')
hold on
bar(TIME(is3),ATMA(is3),'r','EdgeColor','r')
%colorbar(jet)
datetick('x','yy')
set(gca,'xtick',dat1:365:dat2,'XTicklabel',anhos,'ytick',-4:2:10,...
'FontSize',15,'FontW','Bold')
xlim([datenum(1980,12,30) datenum(1999,1,1)])
ylim([-4 8])
xl=xlabel('Tiempo (años)');
yl=ylabel('Anomalia TSM (°C)');
titulo=title(['Variación Interanual de la Anomalia de la TSM',
' ','1981','- ', num2str(anho_02)]);
set(titulo,'FontSize',18,'FontW','Bold')
set(xl,'FontSize',15,'FontW','Bold')
set(yl,'FontSize',15,'FontW','Bold')

subplot(212)
bar(TIME(is1),ATMA(is1),'b','EdgeColor','r')
hold on
bar(TIME(is2),ATMA(is2),'y','EdgeColor','y')
hold on
bar(TIME(is3),ATMA(is3),'r','EdgeColor','r')
datetick('x','yy')
set(gca,'xtick',dat1:365:dat2,'XTicklabel',anhos,'ytick',-4:2:10,...
'FontSize',15,'FontW','Bold')
xlim([datenum(1998,12,20) datenum(2017,1,1)])
ylim([-4 8])
xl=xlabel('Tiempo (años)');
yl=ylabel('Anomalia TSM (°C)');
set(xl,'FontSize',15,'FontW','Bold')
set(yl,'FontSize',15,'FontW','Bold')
set(gcf,'PaperPositionMode','auto')
print('-
djpeg',['Serie_anomalia_detallada','_','1981','_','2015','.jpg'])

%anomalia detallada el niño
figure('position',[1 1 1900 1080])
subplot(311)
bar(TIME(is1),ATMA(is1),'b')
hold on
bar(TIME(is2),ATMA(is2),'y')
hold on
bar(TIME(is3),ATMA(is3),'r')
datetick('x','yyyy')
set(gca,'xtick',dat1:182.5:dat2,'XTicklabel',1976:0.5:2016, ...
'ytick',-4:2:10,'FontSize',13,'FontW','Bold')
xlim([datenum(1981,12,30) datenum(1984,7,1)])
ylim([-4 8])
xl=xlabel('Tiempo (Años)');
yl=ylabel('Anomalia TSM (°C)');
titulo=title(['Anomalia TSM "El Niño" 1982-1983']);
set(titulo,'FontSize',18,'FontW','Bold')
set(xl,'FontSize',15,'FontW','Bold')
set(yl,'FontSize',12,'FontW','Bold')

```

```

subplot(312)
bar(TIME(is1),ATMA(is1),'b')
hold on
bar(TIME(is2),ATMA(is2),'y')
hold on
bar(TIME(is3),ATMA(is3),'r')
datetick('x','yyyy')
set(gca,'xtick',dat1:182.5:dat2,'XTicklabel',1976:0.5:2016,...
        'ytick',-4:2:10,'FontSize',13,'FontW','Bold')
xlim([datenum(1996,6,25) datenum(1998,12,28)])
ylim([-4 8])
xl=xlabel('Tiempo (Años)');
yl=ylabel('Anomalia TSM (°C)');
titulo=title(['Anomalía TSM "El Niño" 1997-1998']);
set(titulo,'FontSize',18,'FontW','Bold')
set(xl,'FontSize',15,'FontW','Bold')
set(yl,'FontSize',12,'FontW','Bold')

subplot(313)
bar(TIME(is1),ATMA(is1),'b')
hold on
bar(TIME(is2),ATMA(is2),'y')
hold on
bar(TIME(is3),ATMA(is3),'r')
datetick('x','yyyy')
set(gca,'xtick',dat1:182.5:dat2,'XTicklabel',1976:0.5:2017, ...
        'ytick',-4:2:10,'FontSize',13,'FontW','Bold')
xlim([datenum(2013,12,20) datenum(2016,6,23)])
ylim([-4 8])
xl=xlabel('Tiempo (años)');
yl=ylabel('Anomalia TSM (°C)');
titulo=title(['Anomalía TSM "El Niño" 2014-2015']);
set(titulo,'FontSize',18,'FontW','Bold')
set(xl,'FontSize',15,'FontW','Bold')
set(yl,'FontSize',12,'FontW','Bold')
set(gcf,'PaperPositionMode','auto')
print('-djpeg',['Serie_niño','_','1981','_','2015','.jpg'])

%histograma de anomalias
[cant,at] = hist(ATMA,[-6.25:0.5:6.25]);
pro_cant = 100*cant/sum(cant);
id1 = find(at<-0.5);
id2 = find(and(at>=-0.5,at<=0.5));
id3 = find(at>0.5);

figure('position',[1 1 1900 1080])
bar(at(id1),pro_cant(id1),0.95,'b')
hold on
bar(at(id2),pro_cant(id2),0.95,'y')
hold on
bar(at(id3),pro_cant(id3),0.95,'r')

set(gca,'xtick',-4:0.5:8,'xticklabel',-
4:0.5:8,'ytick',0:2:24,'FontSize',15,'FontW','Bold')
box on
grid on
xlim([-3.5 7])
ylim([0 24])
titulo=title(['Estadística de la Anomalía de la TSM 1981-2015']);

```

```
set(titulo, 'FontSize', 18, 'FontW', 'Bold')
xla=xlabel('Anomalías de TSM (°C)');
yla=ylabel('Porcentajes de Anomalías de TSM (%)');
set(xla, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
set(yla, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')

v1 = round(10*sum(pro_cant(id1)))/10;
v2 = round(10*sum(pro_cant(id2)))/10;
v3 = round(10*sum(pro_cant(id3)))/10;

legend(['A. Negativa = ', num2str(v1), '%'], ...
       ['A. Neutra = ', num2str(v2), '%'], ...
       ['A. Positiva = ', num2str(v3), '%'])

set(gcf, 'PaperPositionMode', 'auto')
print('-djpeg', ['Histograma', '_', '1981', '_', '2015', '.jpg'])
```



### 8.1.5. Programa gradiente térmico estacional de la TSM

Programa\_007\_gradiente\_Estacional.m

```
clear all, clc, close all
anho_01 = 1981;
anho_02 = 2015;

%% No modificar
%punto 1 superior
longitud1 = -80.875;
latitud1 = -6.375;
longitud2 = -82.375;
latitud2 = -6.875;

%punto 2 inferior
longitud3 = -80.125;
latitud3 = -6.875;
longitud4 = -81.875;
latitud4 = -7.625;

lonmin=-82.625;
lonmax=-79;
latmin=-7.625;
latmax=-5.875;

ruta = 'Datos_AVHRR/';

SST1= [];
SST2= [];
SST3= [];
SST4= [];
TIME = [];

for nt = anho_01:anho_02
    fname = ['ncdcOisst2_', num2str(nt), '_', num2str(nt), '.mat'];
    disp(fname)
    Fname = [ruta, fname];
    load(Fname)

    lat = double(squeeze(ncdcOisst2Agg.latitude));
    lon = double(squeeze(ncdcOisst2Agg.longitude)) - 360;

    %punto 1
    ila1 = find(lat == latitud1);
    ilo1 = find(lon == longitud1);
    ila2 = find(lat == latitud2);
    ilo2 = find(lon == longitud2);

    %punto 2
    ila3 = find(lat == latitud3);
    ilo3 = find(lon == longitud3);
    ila4 = find(lat == latitud4);
    ilo4 = find(lon == longitud4);

    sst = double(squeeze(ncdcOisst2Agg.sst));
    time = squeeze(ncdcOisst2Agg.time) / (24*3600) +
        datenum(1969, 12, 31);
    %SST punto 1
```



```

SST1 = [SST1;sst(:,ila1,ilo1)];
SST2 = [SST2;sst(:,ila2,ilo2)];
%SST punto 2
SST3 = [SST3;sst(:,ila3,ilo3)];
SST4 = [SST4;sst(:,ila4,ilo4)];

TIME = [TIME;time];
end

for est = 1:4;

    switch est
    case 1
        mes1 = 1; mes2 = 3;
    case 2
        mes1 = 4; mes2 = 6;
    case 3
        mes1 = 7; mes2 = 9;
    case 4
        mes1 = 10; mes2 = 12;
    end

    ind = find(and(month(TIME) >= mes1,month(TIME) <= mes2));

    %punto 1
    PTSST1 = squeeze(nanmean(SST1(ind,:,:),1));
    PPTSST1(est)=PTSST1;
    PTSST2 = squeeze(nanmean(SST2(ind,:,:),1));
    PPTSST2(est)=PTSST2;
    GTSM1(est)=(PTSST2-PTSST1)/158;

    %punto 2
    PTSST3 = squeeze(nanmean(SST3(ind,:,:),1));
    PPTSST3(est)=PTSST3;
    PTSST4 = squeeze(nanmean(SST4(ind,:,:),1));
    PPTSST4(est)=PTSST4;
    GTSM2(est)=(PTSST4-PTSST3)/191;

    switch est
    case 1, est_1 = 'Verano';
    case 2, est_1 = 'Otoño';
    case 3, est_1 = 'Invierno';
    case 4, est_1 = 'Primavera';
    end

end

estacion = {'Verano','Otono','Invierno','Primavera'};
grad={'0','\it0.5x10^{-2}','\it1x10^{-2}','\it1.5x10^{-2}','\it2x10^{-2}','\it2.5x10^{-2}','\it3x10^{-2}',...
'\it3.5x10^{-2}','\it4x10^{-2}}';

%punto 1
figure('position',[1 1 1900 1080])
subplot(211)
plot(PPTSST1,'-b','LineWidth',3);
hold on
plot(PPTSST2,'-r','LineWidth',3);
hold on

```

```

plot(PPTSST1, 'ob', 'LineWidth', 10);
grid on
plot(PPTSST2, 'or', 'LineWidth', 10);
box on
set(gca, 'XTick', 1:4, 'XTicklabel', estacion, 'YTick', 14:2:28, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
xlim([0.5 4.5])
ylim([16 26])
legend(['Z. Costera(1)'], ['Z. Oceánica(1)'])
ti=title('Variación Estacional de la TSM entre Z. Costera(1) y Z. Oceánica(1) 1981-2015');
xla=xlabel('Tiempo (estación)');
yla=ylabel('TSM (°C)');
set(ti, 'FontSize', 18, 'FontW', 'Bold')
set(xla, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
set(yla, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')

subplot(212)
plot(GTSM1, '-', 'LineWidth', 3)
hold on
plot(GTSM1, 'o', 'LineWidth', 10)
grid on
box on
set(gca, 'XTick', 1:12, 'XTicklabel', estacion, 'YTick', 0:0.005:0.04, 'YTickLabel', grad, ...
'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
xlim([0.5 4.5])
ylim([0 0.02])
ti=title({'Variación Estacional del Gradiente Térmico de la TSM';
'entre Z. Costera(1) y Z. Oceánica(1) (Dist. 158 km) 1981-2015'});
xla=xlabel('Tiempo (estación)');
yla=ylabel('Gradiente (°C/km)');
set(ti, 'FontSize', 18, 'FontW', 'Bold')
set(xla, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
set(yla, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
set(gcf, 'PaperPositionMode', 'auto')
print('-
djpeg', ['gradientel_estacional', '_', '1981', '_', '2015', '.jpg'])

%punto 2
figure('position', [1 1 1900 1080])
subplot(211)
plot(PPTSST3, '-b', 'LineWidth', 3);
hold on
plot(PPTSST4, '-r', 'LineWidth', 3);
hold on
plot(PPTSST3, 'ob', 'LineWidth', 10);
hold on
plot(PPTSST4, 'or', 'LineWidth', 10);
grid on
box on
set(gca, 'XTick', 1:4, 'XTicklabel', estacion, 'YTick', 14:2:28, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
xlim([0.5 4.5])
ylim([16 26])
legend(['Z. Costera(2)'], ['Z. Oceánica(2)'])
ti=title('Variación Estacional de la TSM entre Z. Costera(2) y Z. Oceánica(2) 1981-2015');
xla=xlabel('Tiempo (estación)');
yla=ylabel('TSM (°C)');

```

```

set(ti, 'FontSize', 18, 'FontW', 'Bold')
set(xla, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
set(yla, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')

subplot(212)
plot(GTSM2, '-', 'LineWidth', 3)
hold on
plot(GTSM2, 'o', 'LineWidth', 10)
grid on
box on
set(gca, 'XTick', 1:4, 'XTicklabel', estacion, 'YTick', 0:0.005:0.04, ...
    'YTicklabel', grad, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
xlim([0.5 4.5])
ylim([0 0.02])
ti=title({'Variación Estacional del Gradiente Térmico de la TSM';
    'entre Z. Costera(2) y Z. Oceánica(2) (Dist. 191 km) 1981-
    2015'});
xla=xlabel('Tiempo (estación)');
yla=ylabel('Gradiente (°C/km)');
set(ti, 'FontSize', 18, 'FontW', 'Bold')
set(xla, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
set(yla, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
set(gcf, 'PaperPositionMode', 'auto')
print('djpeg', ['gradente2_estacional', '_', '1981', '_', '2015', '.jpg'])

```



### 8.1.6. Programa gradiente térmico mensual de la TSM

Programa\_007\_gradiente\_mensual.m

```
clear all, clc, close all

anho_01 = 1981;
anho_02 = 2015;

%% % No modificar
%punto 1 superior
longitud1 = -80.875;
latitud1 = -6.375;
longitud2 = -82.375;
latitud2 = -6.875;

%punto 2 inferior
longitud3 = -80.125;
latitud3 = -6.875;
longitud4 = -81.875;
latitud4 = -7.625;

lonmin=-82.625;
lonmax=-79;
latmin=-7.625;
latmax=-5.875;

ruta = 'Datos_AVHRR/';

SST1= [];
SST2= [];
SST3= [];
SST4= [];
TIME = [];

for nt = anho_01:anho_02
    fname = ['ncdcOisst2_', num2str(nt), '_', num2str(nt), '.mat'];
    disp(fname)
    Fname = [ruta, fname];
    load(Fname)

    lat = double(squeeze(ncdcOisst2Agg.latitude));
    lon = double(squeeze(ncdcOisst2Agg.longitude)) - 360;

    %punto 1
    ila1 = find(lat == latitud1);
    ilo1 = find(lon == longitud1);
    ila2 = find(lat == latitud2);
    ilo2 = find(lon == longitud2);

    %punto 2
    ila3 = find(lat == latitud3);
    ilo3 = find(lon == longitud3);
    ila4 = find(lat == latitud4);
    ilo4 = find(lon == longitud4);

    sst = double(squeeze(ncdcOisst2Agg.sst));
    time = squeeze(ncdcOisst2Agg.time) / (24*3600) +
        datenum(1969, 12, 31);
```



```

%SST punto 1
SST1 = [SST1;sst(:,ila1,ilo1)];
SST2 = [SST2;sst(:,ila2,ilo2)];
%SST punto 2
SST3 = [SST3;sst(:,ila3,ilo3)];
SST4 = [SST4;sst(:,ila4,ilo4)];

TIME = [TIME;time];
end
close all

for mes = 1:12;
ind = find((month(TIME)==mes));
%punto 1
PTSST1 = squeeze(nanmean(SST1(ind, :, :), 1));
PPTSST1(mes)=PTSST1;
PTSST2 = squeeze(nanmean(SST2(ind, :, :), 1));
PPTSST2(mes)=PTSST2;
GTSM1(mes)=(PTSST2-PTSST1)/158;
%punto 2
PTSST3 = squeeze(nanmean(SST3(ind, :, :), 1));
PPTSST3(mes)=PTSST3;
PTSST4 = squeeze(nanmean(SST4(ind, :, :), 1));
PPTSST4(mes)=PTSST4;
GTSM2(mes)=(PTSST4-PTSST3)/191;
end

%%
meses ={'Ene', 'Feb', 'Mar', 'Abr', 'May', 'Jun', 'Jul', 'Ago', 'Set', ...
'Oct', 'Nov', 'Dic'};
grad={'0', '\it0.5x10^{-2}', '\it1x10^{-2}', '\it1.5x10^{-2}', ...
'\it2x10^{-2}', '\it2.5x10^{-2}', '\it3x10^{-2}', ...
'\it3.5x10^{-2}', '\it4x10^{-2}'};
%punto 1
figure('position',[1 1 1900 1080])
subplot(211)
plot(PPTSST1, '-b', 'LineWidth', 3);
hold on
plot(PPTSST2, '-r', 'LineWidth', 3);
hold on
plot(PPTSST1, 'ob', 'LineWidth', 10);
hold on
plot(PPTSST2, 'or', 'LineWidth', 10);
grid on
box on
set(gca, 'XTick', 1:12, 'XTicklabel', meses, 'YTick', 14:2:28, ...
'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
xlim([0.5 12.5])
ylim([16 26])
legend(['Z. Costera(1)'], ['Z. Oceánica(1)'])
ti=title('Variación Mensual de la TSM entre Z. Costera(1) y Z.
Oceánica(1) 1981-2015');
xla=xlabel('Tiempo (mes)');
yla=ylabel('TSM (°C)');
set(ti, 'FontSize', 18, 'FontW', 'Bold')
set(xla, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
set(yla, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')

%gradiente

```

```

subplot(212)
plot(GTSM1, '-', 'LineWidth', 3)
hold
plot(GTSM1, 'o', 'LineWidth', 10)
grid on
box on
set(gca, 'XTick', 1:12, 'XTicklabel', meses, 'YTick', 0:0.005:0.04, 'yTicklabel', grad, ...
    'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
xlim([0.5 12.5])
ylim([0 0.02])
%legend(['Gradiente; Dis. 150 KM'])
ti=title({'Variación Mensual del Gradiente Térmico de la TSM';
    'entre Z. Costera(1) y Z. Oceánica(1) (Dist. 158 km) 1981-
    2015'});
xla=xlabel('Tiempo (mes)');
yla=ylabel('Gradiente (°C/km)');
set(ti, 'FontSize', 18, 'FontW', 'Bold')
set(xla, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
set(yla, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
set(gcf, 'PaperPositionMode', 'auto')
print('-djpeg', ['gradientel_mensual', '_', '1981', '_', '2015', '.jpg'])

%punto 2
figure('position', [1 1 1900 1080])
subplot(211)
plot(PPTSST3, '-b', 'LineWidth', 3);
hold on
plot(PPTSST4, '-r', 'LineWidth', 3);
hold on
plot(PPTSST3, 'ob', 'LineWidth', 10);
hold on
plot(PPTSST4, 'or', 'LineWidth', 10);
grid on
box on
set(gca, 'XTick', 1:12, 'XTicklabel', meses, 'YTick', 14:2:28, ...
    'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
xlim([0.5 12.5])
ylim([16 26])
legend(['Z. Costera(2)'], ['Z. Oceánica(2)'])
ti=title('Variación Mensual de la TSM entre Z. Costera(2) y Z.
    Oceánica(2) 1981-2015');
xla=xlabel('Tiempo (mes)');
yla=ylabel('TSM (°C)');
set(ti, 'FontSize', 18, 'FontW', 'Bold')
set(xla, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
set(yla, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')

subplot(212)
plot(GTSM2, '-', 'LineWidth', 3)
hold on
plot(GTSM2, 'o', 'LineWidth', 10)
grid on
box on
set(gca, 'XTick', 1:12, 'XTicklabel', meses, 'YTick', 0:0.005:0.04, 'yTicklabel', grad, ...
    'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
xlim([0.5 12.5])
ylim([0 0.02])
ti=title({'Variación Mensual del Gradiente Térmico de la TSM';
    'entre Z. Costera(2) y Z. Oceánica(2) (Dist. 191 km)

```

```
1981-2015'});  
xla=xlabel('Tiempo (mes)');  
yla=ylabel('Gradiente (°C/km)');  
set(ti,'FontSize',18,'FontW','Bold')  
set(xla,'FontSize',15,'FontW','Bold')  
set(yla,'FontSize',15,'FontW','Bold')  
set(gcf,'PaperPositionMode','auto')  
print('-djpeg',['gradiente2_mensual','_','1981','_','2015','.jpg'])
```



### 8.1.7. Programa gradiente térmico interanual de la TSM

Programa\_007\_gradiente\_mensual\_interanual.m

```
clear all, clc, close all

anho_01 = 1981;
anho_02 = 2015;
%% % No modificar
%punto 1 superior
longitud1 = -80.875;
latitud1 = -6.375;
longitud2 = -82.375;
latitud2 = -6.875;

%punto 2 inferior
longitud3 = -80.125;
latitud3 = -6.875;
longitud4 = -81.875;
latitud4 = -7.625;

lonmin=-82.625;
lonmax=-79;
latmin=-7.625;
latmax=-5.875;

ruta = 'Datos_AVHRR/';
nm = 1;

for nt = anho_01:anho_02;
    fname = ['ncdcOisst2_', num2str(nt), '_', num2str(nt), '.mat'];
    disp(fname)
    Fname = [ruta, fname];
    load(Fname)

    lat = double(squeeze(ncdcOisst2Agg.latitude));
    lon = double(squeeze(ncdcOisst2Agg.longitude)) - 360;

    %punto 1
    ila1 = find(lat == latitud1);
    ilo1 = find(lon == longitud1);

    ila2 = find(lat == latitud2);
    ilo2 = find(lon == longitud2);

    %punto 2
    ila3 = find(lat == latitud3);
    ilo3 = find(lon == longitud3);

    ila4 = find(lat == latitud4);
    ilo4 = find(lon == longitud4);

    sst = double(squeeze(ncdcOisst2Agg.sst));
    time = squeeze(ncdcOisst2Agg.time)/(24*3600) +
        datenum(1969,12,31);
```

```

for mes=1:12;
    ind2= find((month(time)==mes));
    %temperatura Z. Costera1
    temp1 = squeeze(nanmean(sst(ind2,ila1,ilo1),1));
    TMA1(nm) = temp1;
    %temperatura Z. Oceanical
    temp2 = squeeze(nanmean(sst(ind2,ila2,ilo2),1));
    TMA2(nm) = temp2;
    %temperatura Z. Costera2
    temp3 = squeeze(nanmean(sst(ind2,ila3,ilo3),1));
    TMA3(nm) = temp3;
    %temperatura Z. Oceanica2
    temp4 = squeeze(nanmean(sst(ind2,ila4,ilo4),1));
    TMA4(nm) = temp4;

    GTSM2(nm) = (temp2 - temp1)/158;

    GTSM3(nm) = (temp4 - temp3)/191;

    TIME(nm) = datenum(nt,mes,15);
    nm = nm + 1;
end
end

dat1=datenum(1981,1,1);
dat2=datenum(2017,1,1);
anhos =
{'1981','1982','1983','1984','1985','1986','1987','1988','1989',...
'1990','1991','1992','1993','1994','1995','1996','1997','1998',...
'1999','2000','2001','2002','2003','2004','2005','2006','2007',...
'2008','2009','2010','2011','2012','2013','2014','2015','2016',...
'2017','2018','2019','2020','2021','2022'};

grad={'0','\it0.5x10^{-2}','\it1x10^{-2}','\it1.5x10^{-2}',...
'\it2x10^{-2}','\it2.5x10^{-2}','\it3x10^{-2}', ...
'\it3.5x10^{-2}','\it4x10^{-2}}';

%Imagen Serie TSM en el punto Z. costera1 y el punto Z. Oceánica1

%figura 1
figure('position',[1 1 1900 1080])
subplot(211)
plot(TIME,TMA1,'-','LineWidth',2)
hold on
plot(TIME,TMA2,'-','LineWidth',2)
hold on
plot(TIME,TMA3,'-','LineWidth',2)
hold on
plot(TIME,TMA4,'-','LineWidth',2)
datetick('x','yy')
grid on
box on
set(gca,'xtick',dat1:365:dat2,'XTicklabel',anhos,'ytick',16:3:31,...
'FontSize',15,'FontW','Bold')
xlim([datenum(1980,12,30) datenum(1999,1,1)])
ylim([16 31])
xl=xlabel('Tiempo (año)');
yl=ylabel('TSM (°C)');
titulo=title({'Variación Interanual de la TSM entre Z. Costera y

```

```

        Z. Oceanica 1981-2015'}});
set(titulo, 'FontSize', 17, 'FontW', 'Bold')
set(xl, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
set(yl, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')

legend(['Z. Costera (1)'], ['Z.Oceanica (1)'], ...
       ['Z. Costera (2)'], ['Z.Oceanica (2)'], ...
       'Orientation', 'horizontal')

%figura 2
%figure('position', [1 1 1900 1080])
subplot(212)
plot(TIME, TMA1, '-', 'LineWidth', 2)
hold on
plot(TIME, TMA2, '-', 'LineWidth', 2)
hold on
plot(TIME, TMA3, '-', 'LineWidth', 2)
hold on
plot(TIME, TMA4, '-', 'LineWidth', 2)
datetick('x', 'yy')
grid on
box on
set(gca, 'xtick', dat1:365:dat2, 'XTicklabel', años, 'ytick', 16:3:31, ...
       'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
xlim([datenum(1998, 12, 28) datenum(2017, 1, 1)])
ylim([16 31])
xl=xlabel('Tiempo (año)');
yl=ylabel('TSM (°C)');
set(titulo, 'FontSize', 18, 'FontW', 'Bold')
set(xl, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
set(yl, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
set(gcf, 'PaperPositionMode', 'auto')
print('-djpeg', ['Tem1_grad1_men_intera', '_', '1981', '_', '2015', '.jpg'])
legend(['Z. Costera (1)'], ['Z.Oceanica (1)'], ...
       ['Z. Costera (2)'], ['Z.Oceanica (2)'], ...
       'Orientation', 'horizontal')
set(gcf, 'PaperPositionMode', 'auto')
print('djpeg', ['Tem1_grad1_men_intera', '_', '1981', '_', '2015', '.jpg'])

%Imagen Serie Gradiente TSM en el punto Z. costera1 y el punto Z.
Oceánica
figure('position', [1 1 1900 1080])
subplot(211)
plot(TIME, GTSM2, 'o-', 'LineWidth', 3)
datetick('x', 'yy')
grid on
box on
set(gca, 'xtick', dat1:365:dat2, 'XTicklabel', años, 'ytick', 0:0.005:0.04,
       ...
       'yTicklabel', grad, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
xlim([datenum(1980, 12, 30) datenum(1999, 1, 1)])
ylim([0 0.03])
xl=xlabel('Tiempo (año)');
yl=ylabel('TSM (°C)');
titulo=title({'Gradiente Interanual de la TSM entre Z. Costera(1) y Z.
Oceanica(1) (Dist. 158 km) 1981-2015'}});
set(titulo, 'FontSize', 17, 'FontW', 'Bold')
set(xl, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')
set(yl, 'FontSize', 15, 'FontW', 'Bold')

subplot(212)

```

```

plot(TIME,GTSM2,'o-','LineWidth',3)
datetick('x','yy')
grid on
box on
set(gca,'xtick',dat1:365:dat2,'XTicklabel',anhos,'ytick', ...
    0:0.005:0.04,'yTicklabel',grad,'FontSize',15,'FontW','Bold')
xlim([datenum(1998,12,28) datenum(2017,1,1)])
ylim([0 0.03])
xl=xlabel('Tiempo (año)');
yl=ylabel('TSM (°C)');
set(xl,'FontSize',15,'FontW','Bold')
set(yl,'FontSize',15,'FontW','Bold')
set(gcf,'PaperPositionMode','auto')
print('-
djpeg',['gradiente1_2_mensual_intera','_','1981','_','2015','.jpg'])

%Imagen Serie Gradiente TSM en el punto Z. costera2 y el punto
Z. Oceánica2
figure('position',[1 1 1900 1080])
subplot(211)
plot(TIME,GTSM3,'o-','LineWidth',3)
datetick('x','yy')
grid on
box on
set(gca,'xtick',dat1:365:dat2,'XTicklabel',anhos,'ytick', ...
    0:0.005:0.04,'yTicklabel',grad,'FontSize',15,'FontW','Bold')
xlim([datenum(1980,12,30) datenum(1999,1,1)])
ylim([0 0.03])
xl=xlabel('Tiempo (año)');
yl=ylabel('TSM (°C)');
titulo=title({'Gradiente Interanual de la TSM entre Z. Costera(2) y Z.
Oceanica(2) (Dist. 191 km)*1981-2015'});*
set(titulo,'FontSize',17,'FontW','Bold')
set(xl,'FontSize',15,'FontW','Bold')
set(yl,'FontSize',15,'FontW','Bold')

subplot(212)
plot(TIME,GTSM3,'o-','LineWidth',3)
datetick('x','yy')
box on
grid on
set(gca,'xtick',dat1:365:dat2,'XTicklabel',anhos,'ytick', ...
    0:0.005:0.04,'yTicklabel',grad,'FontSize',15,'FontW','Bold')
xlim([datenum(1998,12,28) datenum(2017,1,1)])
ylim([0 0.03])
xl=xlabel('Tiempo (año)');
yl=ylabel('TSM (°C)');
set(xl,'FontSize',15,'FontW','Bold')
set(yl,'FontSize',15,'FontW','Bold')
set(gcf,'PaperPositionMode','auto')
print('djpeg',['gradiente2_mensual_entera','_','1981','_','2015',
'.jpg'])

```

## 8.1.8. Función que permite superponer mapa del Perú

### Graficar.m

```
function graficar(LON,LAT,lon,lat,ilo,ila,TSST)

fpuertos = 'Puertos_Lambayeque.dat';
coastfile = 'costa_peru.mat';

nlon = lon(ilo);
nlat = lat(ila);
inc = 60;

[NLON,NLAT] =
meshgrid([nlon(1):1/inc:nlon(end)], [nlat(1):1/inc:nlat(end)]);
tsm = TSST;
in = find(~isnan(tsm));

NSST = griddata(LON(in),LAT(in),tsm(in),NLON,NLAT);
lonmin=-82.5;
lonmax=-79.5;
latmin=-7.5;
latmax=-6;

figure('position',[1 1 1900 1080])
m_proj('MILLER','long',[lonmin lonmax],'lat',[latmin latmax]);
colormap(jet(22))
m_pcolor(NLON+0.05,NLAT,NSST)
shading interp
hold on
[h,c]=m_contour(NLON+0.05,NLAT,NSST,(15:28),'k');
clabel(h,c,'FontSize',15)
hold on
add_towns(fpuertos,13,lonmin,lonmax,latmin,latmax);
set(gca,'FontW','Bold')
hold on
add_costa('costa_peru.mat')
set(findobj('tag','m_grid_color'),'facecolor','white')
m_grid('box','fancy','xtick',8,'ytick',4,'tickdir','in','FontS',...
15,'FontName','Arial','FontW','Bold','linestyle','none');
caxis([14 25])
cb=colorbar('Location','southoutside');
set(cb,'FontSize',16,'FontW','Bold')
set(gcf,'PaperPositionMode','auto')
```

### 8.1.9. Programa Interpolación de Análisis Objetivo

programa\_003\_interpolacion\_tsm\_4k.m

```
clear all,clc,close all
tic
load mascara.mat
lst = ls(['DATA/*day*.nc']);

ruta='data_4k_1982/';
fname = '19820504215209-NODC-L3C_GHRSSST-SSTskin-AVHRR_Pathfinder-
PFV5.2_NOAA07_G_1982124_day-v02.0-fv01.0.nc';

Fname = [fname];

%% No modificar %%%
lonmin=-82.625;
lonmax=-79;
latmin=-7.625;
latmax=-5.875;

%%
lon = double(ncread(Fname, 'lon'));
lat = double(ncread(Fname, 'lat'));
time = double(ncread(Fname, 'time')) / (3600*24) + datenum(1981,1,1);
sst = double(ncread(Fname, 'sea_surface_temperature')) - 273.15;
% clear Fname
ila = find(and(lat<=latmax, lat>=latmin));
ilo = find(and(lon<=lonmax, lon>=lonmin));

Lon = lon(ilo);
Lat = lat(ila);
SST = sst(ilo,ila);
NSST = SST;

[LAT,LON] = meshgrid(Lat,Lon);

dlt = 0.042;
rad = 5*dlt;

id = find(and(isnan(SST),Mask==1));

for n = 1:length(id)

ptox = LON(id(n));
ptoy = LAT(id(n));

Cx = ptox + rad*cosd(0:360);
Cy = ptoy + rad*sind(0:360);

Dist = sqrt((LON-ptox).^2 + (LAT-ptoy).^2);

ind2 = find(Dist<=rad);

figure(1)
pcolor(LON,LAT,SST)
shading interp
hold on
```

```
plot(Cx,Cy,'ko')
hold on
plot(ptox,ptoy,'or')
hold on
plot(LON(ind2),LAT(ind2),'*')%,Dist(ind2))
shading interp

olat = LAT(ind2);
olon = LON(ind2);
osst = SST(ind2);

[tsm,nn]= analisis_Obj(olon,olat,osst,ptox,ptoy,rad,n);

NSST(id(n)) = tsm;
id1 = find(isnan(NSST),Mask==1);
pause(0.1)
clear ind2
end

interpolacion(LON,LAT,SST,NSST)
```



## 8.2. Datos in-situ punto cercano Distrito de San José, 1991 - 2015



"DECENIO DE LAS PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN EL PERÚ"  
"AÑO DE LA CONSOLIDACIÓN DEL MAR DE GRAU"

DATOS MENSUALES DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL AGUA DE MAR  
(TSM °C)

LABORATORIO REGIONAL DE SAN JOSE (06°46'15"S; 79°58'00"W)

Medias Mensuales de la Temperatura Superficial del Mar (°C)

AÑO \ MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1991	19.94	23.6	22.73	20.8	19.69	20.19	19.2	19.3	19.35	19.51	20.23	23.17
1992	23.39	25.6	26.37	25.44	23.84	21.36	19.75	18.92	19.15	19.27	19.4	19.19
1993	20.89	23.5	22.45	21.06	21.3	20.56	19.72	19.06	19.11	18.85	19.31	19.62
1994	20.26	21.39	20.13	18.53	18.48	18.33	18.18	18.11	18.42	19.26	20.16	22.08
1995	22.58	22.64	21.43	19.67	18.8	18.21	18.32	18.36	18.72	18.63	18.74	18.46
1996	19.04	20.98	21.65	19.17	17.86	17.9	17.38	17.58	18.02	18.28	18.31	18.5
1997	18.67	20.62	23.54	22.61	23.54	24.05	24.02	23.94	23.01	22.42	24.64	26.87
1998	28.36	29	28.32	24.9	23.45	19.8	18.51	18.56	18.57	18.4	18.48	18.55
1999	18.26	21.71	21.27	18.69	17.95	17.8	17.5	17.92	17.99	17.61	17.98	18.39
2000	18.82	22.14	20.2	20.6	19	18.7	18.4	18.3	18.6	18.6	18.5	18.9
2001	18.8	21.1	22.8	19.5	18.4	18.2	18.3	17.7	17.9	17.7	18.1	18.9
2002	19.52	22.5	24.6	21.5	19.8	18.6	18.4	18.7	18.4	19.7	20.5	21.7
2003	22.1	21.3	20.6	19.5	18.28	17.9	17.8	18	18.5	18.8	20	20.39
2004	20.83	21.31	20.89	20.24	18.74	17.8	18.09	18.31	18.59	18.83	20.25	19.73
2005	20.97	21.25	20.61	20.26	20.11	18.26	17.9	18.46	18.43	19.22	18.85	19.84
2006	20.15	23.19	21.86	19.36	19.81	20.08	19.52	20.13	19.7	20.34	21.29	21.12
2007	23.25	23.26	22.06	19.74	19.1	18.04	18.51	17.94	17.97	17.49	18.53	17.87
2008	19.22	24.11	24.36	19.42	19.44	19.5	19.92	19.52	19.46	18.77	18.29	18.88
2009	19.53	21.05	19.8	19.54	19.03	19.19	18.95	18.9	19.2	19.31	19.08	21.32
2010	23.18	22.77	21.91	20.86	19.87	18.51	17.78	17.33	17.87	17.42	17.52	17.85
2011	18.05	21.07	20.04	19.56	20.68	20.35	19.29	18.75	18.28	18.25	18.89	18.41
2012	19.4	21.84	21.12	21.33	20.98	20.33	19.96	19.57	19.53	19.57	19.83	19.51
2013	20.42	20.67	20.21	18.62	18.63	18.32	17.91	18.53	18.54	18.49	19.56	20.26
2014	22.21	21.75	21.21	19.35	23.08	21.9	19.62	19	18.84	19.29	19.61	19.92
2015	21.06	21.58	21.84	21.44	22.85	22.53	21.25	20.49	21.04	21.39	21.84	23.7
2016	23.58	23.65	23.42	21.98	20.49	19.38	19.18					



www.imarpe.gob.pe

Esquina Gamarra y General Valle s/n  
Chucuito, Callao 22, Perú  
T: (511) 208-8650

### 8.3. Documentación IMARPE –Santa Rosa

#### 8.3.1. Oficio de entrega de datos de TSM satelital emitido por IMARPE – Santa Rosa



"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"  
"Año de la consolidación del Mar de Grau"

OFICIO n.º 046-2016-OGA/IMARPE/PRODUCE

Callao, 12 de febrero de 2016

Señor  
**Cornetero Suybate Javier Antonio**  
Presente.-

Asunto: Solicitud de Acceso a la Información Pública (SITRADOC 1217)

Referencia: Ley N° 27806.- Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública y Decreto Supremo N° 043-2009-PCM

Me dirijo, en relación al asunto, de acuerdo a lo solicitado en mérito a las normas legales enunciadas en la referencia, para remitirle la documentación solicitada según CD adjunto (2).

En tal sentido, sírvase apersonarse al Área Funcional de Tesorería (2do. Piso IMARPE), a recabar el citado documento para lo cual previamente deberá abonar la suma de S/. 6.00 soles.

Atentamente,

  
CPC. MARIELA DEGREGORI LUZA  
Jefe de la Oficina General de Administración  
IMARPE

8.3.2. Solicitud de datos de TSM in – situ a IMARPE – Santa Rosa

 <b>PERÚ</b> Ministerio de la Producción		 <b>IMARPE</b> Instituto del Mar del Perú Área de Trámite Documentario	
		11 AGO 2016 SITRADO N° 10181 Recibido: <i>Cruz</i> Hora: 12.03 CONSULTAS Tel: 511 208 8650 Anexo: 43	
 <b>SOLICITUD DE ACCESO A LA INFORMACIÓN PÚBLICA</b> (Texto Único Ordenado de la Ley N°27806 - Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo N°043-2003-PCM)		<b>N° DE REGISTRO</b>	
<b>PROCEDIMIENTO N°2</b> <b>FORMULARIO N°001</b>			
<b>I. FUNCIONARIO RESPONSABLE DE ENTREGAR LA INFORMACIÓN: (*)</b> JEFA DE LA OFICINA GENERAL DE ADMINISTRACION			
<b>II. DATOS DEL SOLICITANTE</b>			
<b>APELLIDOS Y NOMBRES / RAZÓN SOCIAL (*)</b> Cornetero Suybate Javier Antonio		<b>DOCUMENTO DE IDENTIDAD (*)</b> D.N.I. / L.M. / C.E. / OTRO 42922863	
<b>DOMICILIO</b>			
<b>AV/CALLE/JR/PSJ (*)</b> Av. Tacna	<b>N°/DPTO/INT (*)</b> 220	<b>DISTRITO (*)</b> Ferreñafe	<b>URBANIZACIÓN</b>
<b>PROVINCIA (*)</b> Ferreñafe	<b>DEPARTAMENTO (*)</b> Lambayeque	<b>CORREO ELECTRÓNICO</b> janico85@hotmail.com	<b>TELÉFONO</b> 942464006
<b>III. INFORMACIÓN SOLICITADA (Breve y precisa):</b> Datos in situ de la Temperatura Superficial del Mar (San José), periodo 1981-2015			
<b>IV. DEPENDENCIA DE LA CUAL SE REQUIERE LA INFORMACIÓN:</b> Laboratorio Costero de Santa Rosa. - Lambayeque.			
<b>V. FORMA DE ENTREGA DE LA INFORMACIÓN (MARCAR CON UNA "X") (*)</b>			
COPIA SIMPLE <input type="checkbox"/>	CD <input checked="" type="checkbox"/>	CORREO ELECTRONICO <input type="checkbox"/>	OTRO <input type="checkbox"/>
<b>FIRMA DEL SOLICITANTE O HUELLA DIGITAL</b> 		<b>FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN</b>	

**NOTAS:**

- (\*) Datos o campos obligatorios
- Presentar solicitud en original y copia
- El solicitante se compromete a cancelar el costo total de la reproducción de la información solicitada, de acuerdo al costo por página establecido en el TUPA del IMARPE, en caso no sea correo electrónico.
- Cuando el solicitante incumpla con cancelar el costo de la reproducción o habiendo cancelado dicho monto, no requiera su entrega, dentro del plazo de treinta (30) días calendario contados a partir de la puesta a disposición de la liquidación o de la información, según corresponda, su solicitud será archivada.

OBSERVACIONES: -----  
-----

www.imarpe.gob.pe | Esquina Gamarra y General Valle s/n  
Chucuito, Callao 22, Perú  
T: (511) 208-8650

**8.3.3. Carta de entrega de datos de TSM in – situ emitido por IMARPE – Sta. Rosa**



PERÚ

Ministerio  
de la Producción

Instituto del Mar del Perú

Oficina General de  
Administración

"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"  
"Año de la consolidación del Mar de Grau"

**CARTA n.º 029-2016-IMARPE/OGA**

Callao, 17 de agosto de 2016

Señor  
**CORNETERO SUYBATE JAVIER ANTONIO**  
Presente

Asunto : Solicitud de Acceso a la Información Pública (SITRADO 10181)

Referencia: Ley N° 27806.- Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública y Decreto Supremo N° 043-2009-PCM

Me dirijo, en relación al asunto, de acuerdo a lo solicitado en mérito a las normas legales enunciadas en la referencia, para remitirle la documentación solicitada.

En tal sentido, estimaré se sirva apersonarse al Área Funcional de Tesorería (2do. Piso IMARPE), a recabar el citado documento para lo cual previamente deberá abonar la suma de S/ 0.18 soles.

Sin otro particular, hacemos propicia la oportunidad para renovarle los sentimientos de nuestra especial consideración y estima.

Atentamente,

.....  
CPC. **MARIELA DEGREGORI LUZA**  
Jefe de la Oficina General de Administración  
**IMARPE**