



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN GEOGRAFÍA**

**GEOMÁTICA**

**Análisis espacial de la pesca de sardina y camarón en el  
Golfo de California utilizando imágenes satelitales**

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRA EN GEOGRAFÍA**

PRESENTA:

**PAULINA CIPRÉS HERNÁNDEZ**

DIRECTOR DE TESIS

**DR. RAÚL AGUIRRE GÓMEZ**

INVESTIGADOR UNAM, INSTITUTO DE GEOGRAFÍA

CIUDAD DE MÉXICO.  
JUNIO 2020



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**Comité tutorial:**

---

**Dr. Raúl Aguirre Gómez**

**Dra. Olivia Salmerón García**

**Dra. Leticia Gómez Mendoza**

**Dra. Mary Frances Rodríguez Van Gort**

**M. en C. Ranulfo Rodríguez Sobreya**

## **Agradecimientos y dedicatoria**

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), al Instituto de Geografía, y a la Facultad de Filosofía y Letras, por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de seguir formándome profesionalmente, así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico que me permitió realizar la maestría.

A mi tutor de tesis, el Dr. Raúl Aguirre Gómez, por todo su apoyo, tiempo y conocimiento brindado durante toda esta etapa del posgrado.

A los integrantes del comité tutorial: Dra. Olivia Salmerón García, al M. en C. Ranulfo Rodríguez Sobreyra, a la Dra. Leticia Gómez Mendoza y la Dra. Mary Frances Rodríguez Van Gort, por su tiempo, comentarios y sugerencias para mejorar y terminar este proyecto.

A mis profesores del posgrado, en particular a Rutilio Castro Miguel por su apoyo y disposición para ayudar y compartir su conocimiento. A Yesenia por su amistad y apoyo en este proceso.

Al Dr. Miguel Ángel Cisneros Mata, Dr. Concepción Enciso, Dr. Víctor Cruz, Dr. Rolando, Mtro. Guillermo Ismael Padilla, Sonia Campos, Adolfo López Reséndiz, Alejo López Reséndiz, por todo su apoyo e información que me brindaron para realizar este trabajo de investigación.

Especialmente a mis padres, Carmen y Evaristo, por ser los maravillosos seres humanos que son, siempre ayudando y sumando a crear un mejor entorno, por ser el ejemplo de trabajo y constancia. Gracias por creer en mí, por todo su apoyo incondicional y cariño.

A mis hermanas Mariana y Adriana, por ser mis compañeras de vida, que me motivan y apoyan en cualquier proyecto, y a mis sobrinos Renata y Lucio, por todo su amor, y compartir conmigo toda esa energía y luz que proyectan.

A todos ellos, muchas gracias.

## Resumen

El Golfo de California soporta importantes pesquerías a nivel nacional. Particularmente la de sardina y el camarón. Por esto, el presente trabajo tiene el objetivo de analizar la captura de estas dos especies y su relación con el ambiente. Se analizó el peso vivo capturado, de cada especie, con las variables ambientales: temperatura superficial del mar (TSM) para sardina, temperatura superficial del mar nocturna (TSMN) para camarón, y concentración de Clorofila\_a [Clo\_a] para ambas especies, variables medidas a través de imágenes MODIS. En el periodo de 2005-2018.

Se delimitaron las zonas de pesca para cada una de las especies, de acuerdo a INAPESCA y tomando en cuenta características físicas del sitio, reglamentación política, así como de características biológicas de cada especie. Obteniendo tres zonas para la sardina (Guaymas, Yavaros y Mazatlán) y cuatro para el camarón (Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa). El análisis fue espacial y temporal. Encontrando espacialmente que la [Clo\_a] es mayor en la región costera (principalmente la costa de Sonora y Sinaloa), Alto Golfo y la región de las grandes islas, mientras que la TSM varía de sur a norte, presentándose los primeros cambios de temperatura, en la entrada del Golfo. Temporalmente se encontró que el mes de enero es el mes con TSM más baja, y el mes de agosto el más cálido. La [Clo\_a] presenta su mayor pico en el mes de marzo, y en agosto su mes más bajo.

La especie con mejor respuesta a las variables fue la sardina. La relación promedio de las tres zonas de sardina, con la [Clo\_a] fue de  $r=0.659$ , y con la TSM de  $r=-0.582$ , lo que indica una relación inversa con la TSM, a mayor temperatura, menor captura de sardina.

El camarón presentó relación significativa con la TSMN, con una  $r=0.857$  a nivel general de las zonas de captura, mientras que para [Clo\_a], la relación no es significativa con una  $r=0.114$ .

La costa de Sonora y Sinaloa, son las regiones con mayor [Clo\_a], lo que favorece la captura de sardina. Y si bien el camarón no mostro relación con la clorofila, se desarrolla igualmente en esta costa, principalmente en la de Sinaloa, región con mayor [Clo\_a], al encontrarse importantes sistemas lagunares, sitios donde se desarrolla el camarón.

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b>	<b>8</b>
1.1 Importancia del Tema	9
1.2 Objetivos	11
1.3 Hipótesis	11
<b>CAPÍTULO 2: ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>12</b>
2.1 Batimetría y Topografía	14
2.2 Características Oceanográficas	15
2.3 Características Físicas y Químicas	18
2.4 Características Biológicas	19
2.5 Población	20
2.6 Actividad Económica Pesquera	21
2.7 Equipamiento Pesquerías	22
2.8 Sardina	24
2.9 Camarón	28
<b>CAPITULO 3: MARCO TEÓRICO</b>	<b>35</b>
3.1 Geografía Regional	35
3.2 Regionalizaciones Marinas en México	36
3.3 Análisis Espacial	38
3.4 Percepción Remota	38
3.5 Fundamentos Físicos	39
3.6 Radiación Electromagnética	40
3.7 La Atmósfera	44
3.8 Firmas Espectrales	45
3.9 Temperatura Superficial Del Mar (TSM)	47
3.10 Concentración de Clorofila <sub>a</sub> [Clo <sub>a</sub> ]	48
3.11 Especificaciones del Sensor MODIS	49
3.12 La Percepción Remota en la Actividad Pesquera	52
3.13 Aplicaciones de Imágenes MODIS	52
3.14 Estudios a Escala Global	53
3.15 Estudios a Escala Nacional	54
<b>CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA</b>	<b>56</b>
4.1 Imágenes Satelitales	56
4.2 Datos Captura Sardina y Camarón	57
4.3 Análisis General del Golfo de California, Temperatura Superficial del Mar y Concentración de Clorofila <sub>a</sub>	57
4.4 Zonas de Pesca de Sardina	59
4.5 Zonas de Pesca de Camarón	60
4.6 Extracción de Datos de Concentración Clorofila <sub>a</sub> ([Clo <sub>a</sub> ]), Temperatura	62

	Superficial del Mar (TSM) y Temperatura Superficial del Mar Nocturna (TSMN)	
4.7	Análisis de Relación entre las Variables	64
4.8	Correlación Cruzada	64
4.9	Correlación Lineal	66
4.1	Regresión Lineal	67
<b>CAPÍTULO 5: RESULTADOS</b>		<b>69</b>
<b>a. IMÁGENES SATELITALES</b>		<b>69</b>
5.1	Temperatura Superficial Del Mar (TSM)	69
5.2	Concentración de Clorofila_a [Clo_a]	74
<b>b. ZONAS DE PESCA</b>		<b>77</b>
<b>5.3</b>	<b>SARDINA</b>	<b>77</b>
5.3.1	Zonas de Pesca	77
5.3.2	Temperatura Superficial del Mar (TSM)	78
5.3.3	Concentración de Clorofila_a [Clo_a]	82
5.3.4	Relación Temperatura Superficial del Mar (TSM) y Concentración de Clorofila_a [Clo_a]	87
5.3.5	Datos Estadísticos de Captura	94
5.3.6	Correlación Temperatura Superficial del Mar (TSM), Concentración de Clorofila_a [Clo_a] y pesca de Sardina	98
	5.3.6.1 Zona Guaymas	101
	5.3.6.2 Zona Yavaros	102
	5.3.6.3 Zona Mazatlán	103
<b>5.4</b>	<b>CAMARÓN</b>	<b>104</b>
5.4.1	Zonas de Pesca	104
5.4.2	Temperatura Superficial del Mar Nocturna (TSMN)	105
5.4.3	Concentración de Clorofila_a [Clo_a]	108
5.4.4	Relación Temperatura Superficial del Mar (TSM) y Concentración de Clorofila_a [Clo_a]	113
5.4.5	Datos Estadísticos de Captura	117
5.4.6	Correlación Temperatura Superficial del Mar (TSM) Concentración de Clorofila_a [Clo_a] y pesca de Camarón	121
	5.4.6.1 Zona Baja California	124
	5.4.6.2 Zona Baja California Sur	125
	5.4.6.3 Zona Sonora	126
	5.4.6.4 Zona Sinaloa	127
<b>CONCLUSIONES</b>		<b>131</b>
	Referencias Bibliográficas	134
	Anexo	143

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b> Área de estudio.	<b>13</b>
<b>Figura 2.</b> Geomorfología marina.	<b>15</b>
<b>Figura 3.</b> Circulación oceanográfica.	<b>18</b>
<b>Figura 4.</b> Población 2015 por municipio de la región de estudio.	<b>20</b>
<b>Figura 5.</b> Población en 2015 de municipios costeros de la zona de estudio.	<b>21</b>
<b>Figura 6.</b> Producción de la pesca de sardina por estado y por especie en el Golfo de California	<b>26</b>
<b>Figura 7.</b> Sardina Monterrey ( <i>Sardinops sagax caeruleus</i> ).	<b>28</b>
<b>Figura 8.</b> Actividad pesquera del camarón en el Pacífico Mexicano.	<b>29</b>
<b>Figura 9.</b> Estadísticas de la captura del camarón en el Pacífico Mexicano.	<b>30</b>
<b>Figura 10.</b> Camarón azul ( <i>Penaeus stylirostris</i> ).	<b>32</b>
<b>Figura 11.</b> Componentes de la percepción remota.	<b>39</b>
<b>Figura 12.</b> Onda electromagnética.	<b>42</b>
<b>Figura 13.</b> Espectro electromagnético.	<b>42</b>
<b>Figura 14.</b> Regiones del espectro electromagnético.	<b>43</b>
<b>Figura 15.</b> Ventanas atmosféricas.	<b>44</b>
<b>Figura 16.</b> Transformación de la energía incidente.	<b>46</b>
<b>Figura 17.</b> Firmas espectrales.	<b>47</b>
<b>Figura 18.</b> Descarga y recorte de imágenes.	<b>56</b>
<b>Figura 19.</b> Operación pixel a pixel.	<b>58</b>
<b>Figura 20.</b> Áreas de pesca de sardina en el Golfo de California.	<b>59</b>
<b>Figura 21.</b> Zonas de pesca Camarón.	<b>61</b>
<b>Figura 22.</b> Metodología general.	<b>63</b>
<b>Figura 23.</b> Condiciones promedio mensuales del periodo 2005-2013 de la TSM, en el GC, 1 km resolución espacial.	<b>70</b>
<b>Figura 24.</b> Condiciones promedio mensuales del periodo 2014-2018 de la TSM, en el GC, 4 km resolución espacial.	<b>73</b>
<b>Figura 25.</b> Condiciones promedio mensuales de [Clo <sub>a</sub> ], periodo 2005-2013 en el GC, 1 km resolución espacial.	<b>75</b>
<b>Figura 26.</b> Condiciones promedio mensuales de [Clo <sub>a</sub> ], periodo 2014-2018 en el GC, 4 km resolución espacial.	<b>76</b>
<b>Figura 27.</b> Zonificación áreas de pesca sardina.	<b>78</b>
<b>Figura 28.</b> Temperatura Superficial del Mar por zonas de pesca de sardina, a lo largo del tiempo.	<b>80</b>
<b>Figura 29.</b> Temperatura Superficial del Mar, promedio de las zonas de sardina, 2005-2018.	<b>81</b>
<b>Figura 30.</b> Patrón mensual promedio de la TSM, de las zonas de pesca de sardina, 2005-20018.	<b>82</b>



<b>Figura 31.</b> Concentración de Clorofila_a por zonas de pesca de sardina, a lo largo del tiempo.	<b>83</b>
<b>Figura 32.</b> Concentración de Clorofila_a en el periodo 2005-2018. Promedio de las zonas de sardina.	<b>84</b>
<b>Figura 33.</b> Patrón mensual promedio de la [Clo_a], de las zonas de pesca de sardina, 2005-20018.	<b>85</b>
<b>Figura 34.</b> Anomalías TSM y [Clo_a] del promedio de las zonas de pesca de sardina.	<b>86</b>
<b>Figura 35.</b> Resultados correlación cruzada TSM-[Clo_a].	<b>88</b>
<b>Figura 36.</b> TSM y [Clo_a] por zonas de pesca de sardina, a lo largo del tiempo.	<b>90</b>
<b>Figura 37.</b> Relación TSM-[Clo_a].	<b>91</b>
<b>Figura 38.</b> Patrón mensual de TSM y [Clo_a] espacialmente.	<b>93</b>
<b>Figura 39.</b> Patrón mensual de TSM y [Clo_a], Promedio de las tres zonas	<b>93</b>
<b>Figura 40.</b> Peso vivo de las sardinas por puerto en el Golfo de California, periodo 2005-2018 (peso vivo t).	<b>94</b>
<b>Figura 41.</b> Peso vivo de las sardinas por puerto en el Golfo de California (peso vivo t).	<b>95</b>
<b>Figura 42.</b> Peso vivo Pelágicos Menores Golfo de California (peso vivo t).	<b>96</b>
<b>Figura 43.</b> Peso vivo de ls sardinas, y Pelágicos Menores Golfo de California (peso vivo t).	<b>96</b>
<b>Figura 44.</b> Peso vivo de las sardinas por puerto en el Golfo de California (peso vivo t).	<b>97</b>
<b>Figura 45.</b> Peso vivo de las sardinas por mes, durante el periodo de análisis.	<b>98</b>
<b>Figura 46.</b> Relación de variables con la pesca de sardina, a nivel general (todas las zonas de pesca).	<b>100</b>
<b>Figura 47.</b> Zonificación áreas de pesca camarón.	<b>104</b>
<b>Figura 48.</b> Temperatura Superficial del Mar Nocturna por zonas de pesca de camarón, a lo largo del tiempo.	<b>106</b>
<b>Figura 49.</b> Temperatura Superficial del Mar Nocturna 2005-2018. Promedio de las zonas camarón.	<b>107</b>
<b>Figura 50.</b> Patrón mensual promedio de la TSM, de las zonas de pesca de camarón, 2005-2018.	<b>108</b>
<b>Figura 51.</b> Concentración de Clorofila_a por zonas de pesca de camarón, a lo largo del tiempo.	<b>109</b>
<b>Figura 52.</b> Promedios mensuales de [Clo_a] del periodo 2005-2018. Promedio zonas camarón.	<b>110</b>
<b>Figura 53.</b> Patrón mensual promedio de la [Clo_a], de las zonas de pesca de camarón, 2005-2018.	<b>111</b>
<b>Figura 54.</b> Anomalías TSM4 y [Clo_a] del promedio de las zonas de pesca de camarón.	<b>112</b>
<b>Figura 55.</b> Resultados correlación cruzada TSMN-[Clo_a].	<b>114</b>
<b>Figura 56.</b> TSM y [Clo_a] por zonas de pesca de camarón, a lo largo del tiempo.	<b>115</b>
<b>Figura 57.</b> Relación TSM-[Clo_a], zonas camarón.	<b>116</b>

<b>Figura 58.</b> Porcentaje de captura (en toneladas) por estado en el Golfo de California 2005-2018.	<b>117</b>
<b>Figura 59.</b> Captura de camarón (peso vivo t), por estado en el Golfo de California 2005-2018.	<b>118</b>
<b>Figura 60.</b> Captura de camarón (peso vivo por especie en toneladas en el Golfo de California.	<b>119</b>
<b>Figura 61.</b> Peso vivo por especie de camarón en el Golfo de California (peso vivo t), dinámica mensual.	<b>120</b>
<b>Figura 62.</b> Peso vivo del camarón periodo 2005-2018.	<b>120</b>
<b>Figura 63.</b> Relación entre la TSM y [Clo_a], con la pesca de camarón.	<b>123</b>

<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>Página</b>
<b>Tabla 1.</b> Número de cooperativas pesqueras.	<b>23</b>
<b>Tabla 2.</b> Número de embarcaciones.	<b>24</b>
<b>Tabla 3.</b> Especies del grupo pelágicos menores.	<b>26</b>
<b>Tabla 4.</b> Especies capturadas de camarón.	<b>30</b>
<b>Tabla 5.</b> Características embarcaciones camaroneras.	<b>31</b>
<b>Tabla 6.</b> Distribución camarón.	<b>33</b>
<b>Tabla 7.</b> Ciclo de vida del camarón.	<b>34</b>
<b>Tabla 8.</b> Regionalizaciones Golfo de California.	<b>36</b>
<b>Tabla 9.</b> Características de las bandas espectrales de MODIS.	<b>51</b>
<b>Tabla 10.</b> Relación de correlación cruzada.	<b>66</b>
<b>Tabla 11.</b> Resultados de correlación entre [Clo_a] y TSM, para 1 y 4 km de resolución.	<b>87</b>
<b>Tabla 12.</b> Resultados de la correlación Pearson, TSM-[Clo_a]	<b>89</b>
<b>Tabla 13.</b> Participación de los sitios de desembarque en la pesca de la sardina (peso vivo t).	<b>94</b>
<b>Tabla 14.</b> Tabla de resultados de la correlación Pearson, TSM-[Clo_a]-Pesca sardina.	<b>99</b>
<b>Tabla 15.</b> Resultados de correlación cruzada TSM-[Clo_a]-Pesca Sardina. Zona Guaymas.	<b>101</b>
<b>Tabla 16.</b> Resultados de correlación cruzada TSM-[Clo_a]-Pesca Sardina. Zona Yavaros.	<b>102</b>
<b>Tabla 17.</b> Resultados de correlación cruzada TSM-[Clo_a]-Pesca Sardina. Zona Mazatlán.	<b>103</b>
<b>Tabla 18.</b> Resultados de correlación entre [Clo_a] y TSMN, para 1 y 4 km de resolución. Zonas camarón.	<b>113</b>
<b>Tabla 19.</b> Tabla de resultados Generales de la correlación Pearson, TSMN-[Clo_a]-Pesca camarón.	<b>121</b>
<b>Tabla 20.</b> Resultados de correlación cruzada TSM4-[Clo_a]-Pesca camarón. Zona BC.	<b>124</b>
<b>Tabla 21.</b> Resultados de correlación cruzada TSMN-[Clo_a]-Pesca camarón. Zona BCS.	<b>125</b>
<b>Tabla 22.</b> Resultados de correlación cruzada TSMN-[Clo_a]-Pesca camarón. Zona Sonora.	<b>126</b>
<b>Tabla 23.</b> Resultados de correlación cruzada TSMN-[Clo_a]-Pesca camarón. Zona Sinaloa.	<b>127</b>
<b>Tabla 24.</b> Resultados generales sardina	<b>129</b>
<b>Tabla 25.</b> Resultados generales camarón	<b>130</b>

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

---

El Golfo de California (GC) es un mar semicerrado que se caracteriza por su alta productividad, debido sus atributos fisiográficos y oceanográficos (Wilkinson *et al.*, 2009; Cisneros, 2010; Erisman *et al.*, 2011). Es considerado uno de los ecosistemas oceánicos más productivos a nivel mundial (Álvarez-Borrego, 2010; Escalante-Almazán, 2013; Ezcurra, 2014; Arreguín-Sánchez *et al.*, 2017) con una variación estacional e interanual en su productividad primaria (Álvarez-Borrego, 2010), presentando especialmente alta producción primaria durante invierno-primavera (Gaxiola *et al.*, 1995).

Las características del GC han permitido que se desarrolle la pesquería como una importante actividad económica a nivel nacional. El GC está rodeado por cuatro estados: Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa. Estos dos últimos estados tienen la mayor producción pesquera del país, aportando, en el 2014, el 48% a nivel Nacional, 28.9 y 19.4% respectivamente. Esto, representa el 4.74% al PIB Nacional (Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca [CONAPESCA], 2014), lo que conforma una fuente de empleo para muchas personas de forma directa o indirecta, sobre todo en los puertos, en dónde es procesado el recurso (Nevárez-Martínez *et al.*, 2006).

El principal recurso pesquero capturado en la región es la sardina, mientras que el de mayor valor comercial es el camarón (CONAPESCA, 2014). Ambas especies son importantes desde el punto de vista económico y ecológico.

La pesca de la sardina genera 5 mil empleos directos y más de 17 mil 500 indirectos, sólo en los estados de Sonora y Sinaloa (Cámara Nacional de la Industria Pesquera y Acuícola [CANAINPESCA], 2018). La sardina pertenece al grupo de los pelágicos menores, grupo con un importante papel en el ambiente marino, estas especies forman cardúmenes que se alimentan de plancton, y son un eslabón importante en la cadena trófica, ya que son, a su vez, alimento de carnívoros y aves marinas (Nevárez-Martínez *et al.*, 2000; Nevárez-Martínez *et al.*, 2006).

Por otra parte, el camarón ha generado cerca de 2 400 empleos directos y 12 000 empleos indirectos en Guaymas, uno de los puertos más importantes en el noroeste de México (INP, 2004). De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (por sus siglas en inglés: FAO, 2010), México es uno de los diez países productores

de camarón más importantes a nivel mundial. Durante el ciclo de vida del camarón pasa por diferentes estadios dependiendo de la especie. En particular, para los camarones de género *Penaeus*, se identifican 11 estadios sucesivos. Los primeros estados post-larvarios son planctónicos, lo que indica que se encuentran suspendidos en la columna de agua y se alimentan de fitoplancton y zooplancton y, al igual que la sardina, juegan un papel importante en la cadena trófica (FAO, 1992).

### **1.1 Importancia del tema**

Dentro del área de estudio, los dos recursos pesqueros más importantes a nivel regional y nacional, es el camarón, por su valor económico; y la sardina, por su volumen capturado. No obstante a finales de la década de los años 80's, la pesquería de la sardina en el GC tuvo una disminución muy marcada, provocando una grave crisis económica en la pesca local (Cisneros-Mata *et al.*, 1995; Nevárez-Martínez, 2001). En cuanto a la pesca de camarón, enfrenta problemas como: una sobrecapacidad de las flotas camaroneras, falta de ordenamiento entre pesca de alta mar, de bahía y de estuario, y problemas en el lecho marino, asociadas al uso de la pesca de arrastre (FAO, 2010).

Por eso es importante analizar la captura de sardina y camarón, de forma integral, que incluya el estudio de las características del medio marino, que es el ambiente en donde habitan.

Incluyendo los cuatro estados, la actividad pesquera dentro del GC representa alrededor del 76.6% de la producción total del país, considerando principalmente pelágicos menores, (CONAPESCA, 2014). No obstante, el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INAPESCA, 2006) menciona que “la demanda excesiva de los recursos ha generado un esfuerzo pesquero y tasas de aprovechamiento generalmente superiores a las que los recursos pesqueros pueden soportar”. Tomemos en cuenta que la actividad económica de la pesca y acuicultura tienen una gran importancia en términos culturales, sociales, económicos y ambientales (Ramírez y Hernández, 2010). Por consiguiente es necesario generar planes de manejo y ordenamiento que contribuyan a un manejo sustentable de los recursos pesqueros, así como el estudio de las condiciones ambientales que pueden estar modificando su distribución y abundancia. Estos planes de manejo deben ser integrales y deben tomar en cuenta las condiciones que varían en tiempo y espacio. Las imágenes satelitales han servido para observar procesos oceanográficos

de gran escala y alta resolución temporal de gran utilidad en el análisis pesquero (Robinson *et al.*, 2013; Escalante *et al.*, 2013; Ortega-García *et al.*, 2015; Waga *et al.*, 2017). Dada esta situación, es necesario analizar espacialmente, la relación entre la variación de la temperatura superficial del mar (TSM) y la concentración de clorofila\_a [Clo\_a] con la producción pesquera de la sardina y camarón en el Golfo de California, que es el objetivo general de este trabajo.

Para el análisis espacial se consideran las variaciones de la TSM y [Clo\_a] y su relación con la productividad pesquera (peso vivo) del camarón y la sardina. De las variaciones de estos parámetros ambientales (TSM y [Clo\_a]) dependen los patrones de producción y captura (de Young *et al.*, 2004; Lanz *et al.*, 2009; Morales-Bojórquez, 2009; Vallarta-Zárate, 2012), por lo que es importante analizar en conjunto la producción pesquera con las características ambientales que afectan directamente al recurso.

Las especies de sardinas que se toman en cuenta son: crinuda (*Opisthonema libertate*), bocona (*Cetengraulis mysticetus*), Monterrey (*Sardinops sagax*) y japonesa (*Etrumeus teres*), especies capturadas de mayor importancia en el Golfo de California (Nevárez-Martínez *et al.*, 2000). En cuanto al camarón, las especies capturadas en el GC, son: café (*Farfantepenaeus californiensis*), azul (*Litopenaeus stylirostris*) y blanco (*Litopenaeus vannamei*), que son los más importantes capturados en el Pacífico Mexicano (Aranceta-Garza, 2016).

Debido a la naturaleza de los datos espacio-temporal de pesca, así como su manejo y accesibilidad, es complicado contar con datos espaciales de los puntos de captura, no obstante, las características de las especies permiten definir el área de captura, utilizando los datos oficiales de los anuarios de pesca, por parte de la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA). Así mismo, es importante hacer uso de herramientas como la percepción remota, que permiten hacer un análisis espacio-temporal de la superficie del mar.

## 1.2 Objetivos

### General:

Realizar el análisis espacio-temporal de la relación entre la variación de la TSM, TSMN y [Clo\_a] con la producción pesquera de la sardina y camarón en el GC, en el periodo de 2005-2018.

### Particulares:

- Describir, de forma general, las condiciones temporales de TSM y [Clo\_a] del GC.
- Identificar la relación entre la TSM y [Clo\_a].
- Analizar la relación de la producción pesquera de la sardina y camarón, de las regiones de estudio definidas por INAPESCA, con las variables de TSM, TSMN y [Clo\_a], según corresponda.

## 1.3 Hipótesis

La producción pesquera de la sardina y el camarón en el Golfo de California en el periodo de 2005-2018 presenta una correlación con las variables ambientales de la TSM, TSMN y [Clo\_a].

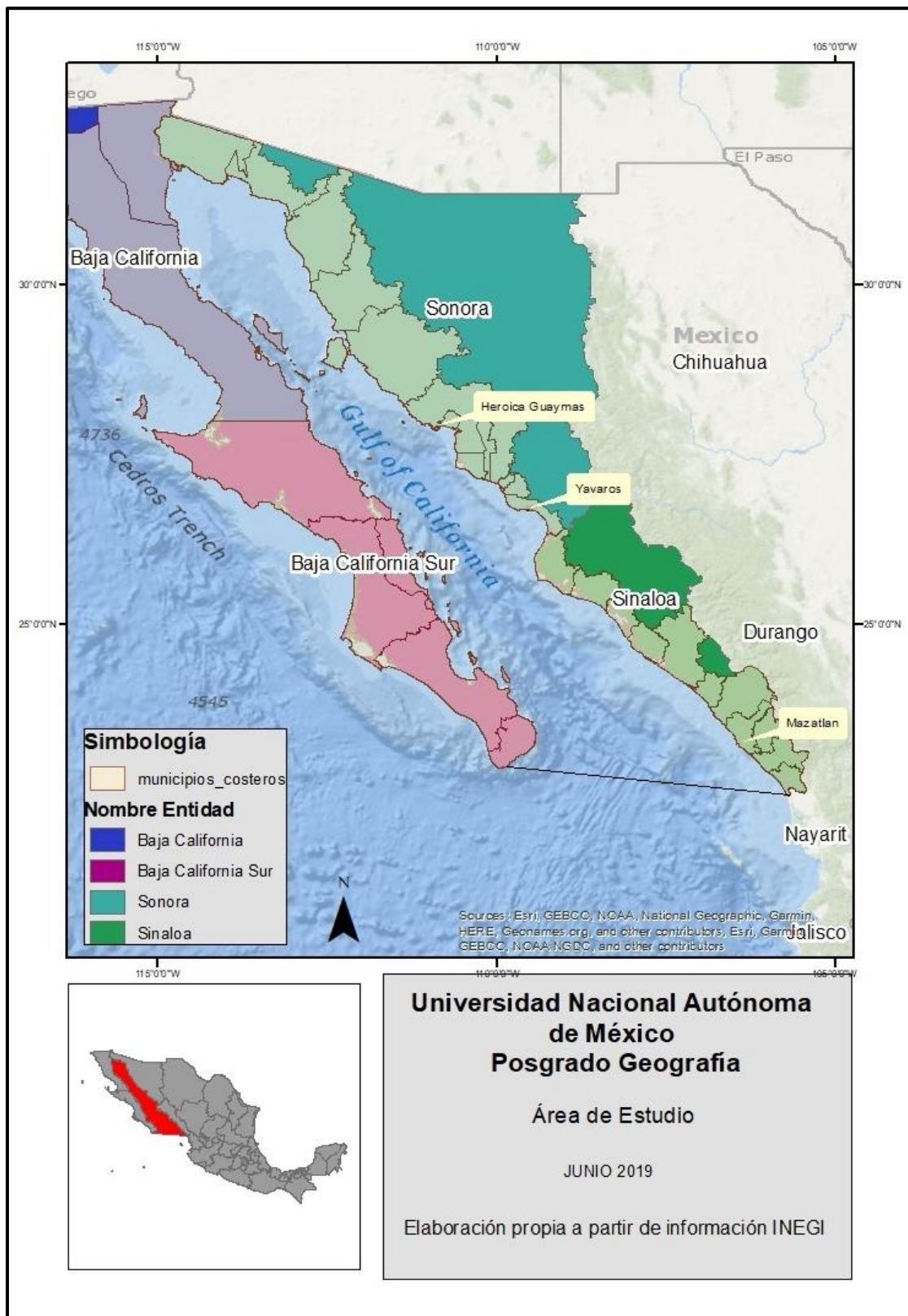
## CAPÍTULO 2: DEFINICIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

---

El área de estudio se observa en la Figura 1. Corresponde al GC, extensión del Océano Pacífico ubicada entre la Península de Baja California y el noroeste de México (Aguilar *et al.*, 2007), rodeado por los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa. Delimitando, la parte marina, al sur, por una línea imaginaria de Cabo San Lucas, hacia el límite político-administrativo del sur del estado de Sinaloa. Cuenta con una longitud aproximada de 1 000 km (Wilkinson *et al.*, 2009) y alrededor de 220 km de ancho, en la entrada del GC (Emilson y Alatorre, 1997).

Es una región de alta importancia ecológica y económica, es hábitat de numerosas especies y brinda importantes servicios ecosistémicos, que a su vez permiten el desarrollo de las pesquerías, tanto así que soporta la concentración más importante de pelágicos pequeños en el mundo: anchovetas y sardina (Jacobson *et al.*, 2001).





**Figura 1.** Área de estudio. Fuente: Datos INEGI, elaboración propia.

## 2.1 Batimetría y Topografía

A diferencia de otras cuencas, la entrada del GC es ancha (220 km) y profunda (2500 m) (Emilson y Alatorre, 1997). El GC está dividido en cuencas y fosas que se hacen más profundas hacia el sur, separadas por cordilleras transversales (Shepard, 1950; Álvarez-Borrego, 2002.). Su profundidad varía a lo largo del Golfo, de forma general en cuatro regiones: la zona norte más somera, que es el extremo norte del Golfo, también conocido como el Alto Golfo, con <30 m de profundidad; el Golfo norte exceptuando la zona somera con <200 m; la zona de las grandes islas con < 1 500 m; y el Golfo central con < 3 500 m, la zona sur, que corresponde con la entrada al GC, es la zona más profunda (Aguilar *et al.*, 2007).

El Alto Golfo está influenciado por una cuenca hidrológica de Estados Unidos, en donde se encuentra el río Colorado, la plataforma continental es bastante amplia, se hace mediana en la parte este, en donde hay abundantes lagunas costeras (Wilkinson *et al.*, 2009). En el oeste, la plataforma es angosta y abundan las islas (Wilkinson *et al.*, 2009), esta zona tiene aproximadamente 1000 islas entre las que destacan dos de las más grandes en el país: Isla Tiburón y Ángel de la Guarda (Aguirre Gómez, 2002; Calmus *et al.*, 2017), como se observa en la Figura 2. Una de las particularidades de esta zona, es que: El Canal de Ballenas tiene una profundidad aproximada de 1 600 m, por lo contrario, la Cuenca Tiburón, que se ubica entre la isla Ángel de la Guarda e Isla Tiburón, tiene una profundidad de aproximadamente de 500m (Shepard, 1950). Otra cuenca es la de Guaymas, que presenta actividad tectónica, en esta región hay ventilas hidrotermales en donde se dan comunidades bióticas que usan el sulfuro de hidrógeno en lugar de luz solar como fuente de energía (Wilkinson *et al.*, 2009).

El relieve submarino de la parte sur del GC presenta fosas abisales de más de 3 km de profundidad, en donde hay un sistema de dorsales o *rifts* en expansión (Wilkinson *et al.*, 2009), que en conjunto con las características del Alto Golfo (somero), provoca oscilaciones de mareas que superan los 9 m (Calmus *et al.*, 2017).

En la parte terrestre se distingue la cadena montañosa de la península con altitudes de entre 700 y 100 m, la cual funciona como barrera para los vientos, lo que disminuye la influencia marina del Océano Pacífico (Aguirre Gómez, 2002) (Figura 2).

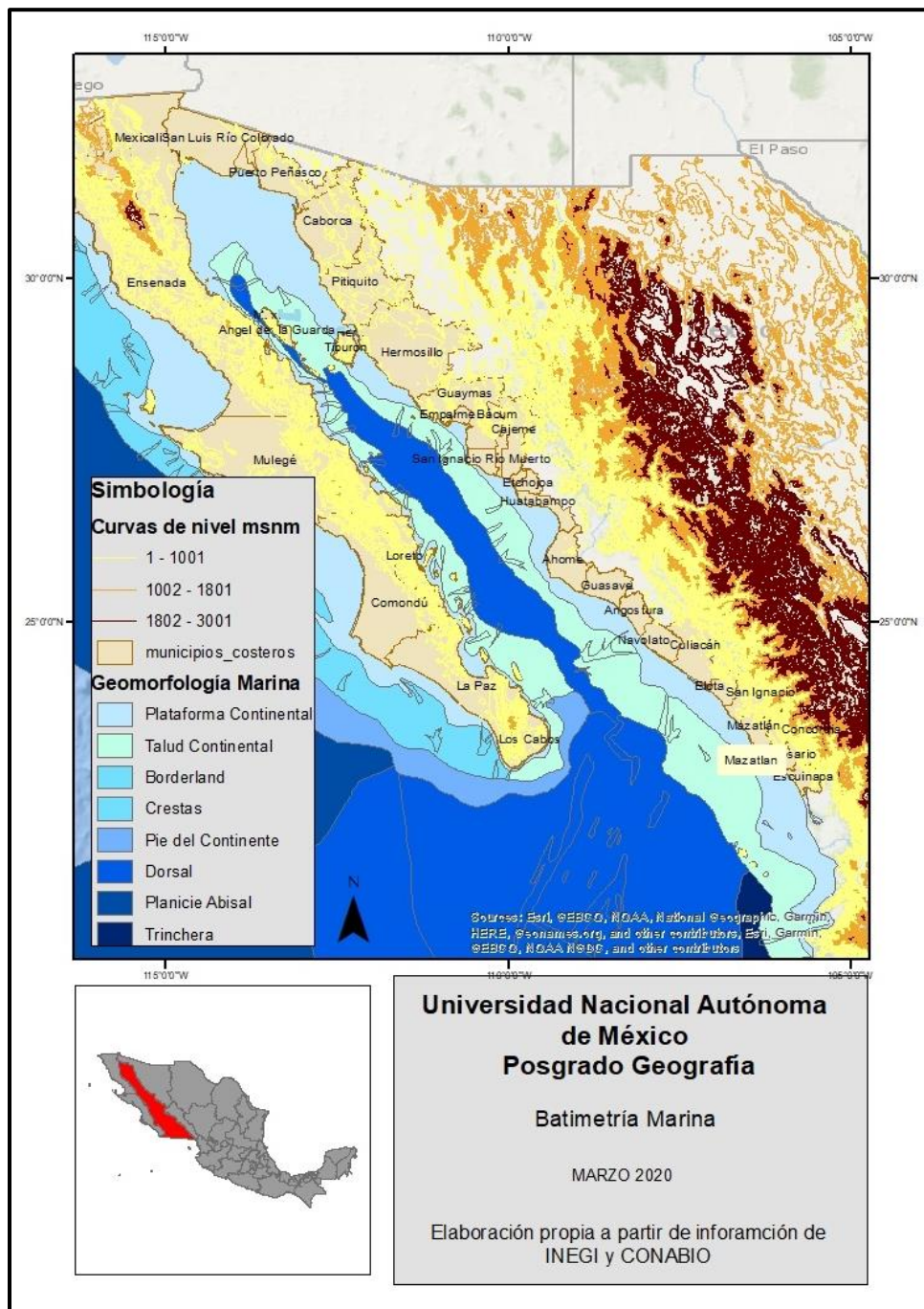


Figura 2. Geomorfología Marina. Fuente: Datos INEGI y CONABIO, elaboración propia.

## 2.2 Características Oceanográficas

Debido a la batimetría del fondo marino, así como la presencia de las grandes islas, la circulación marina es compleja a lo largo del GC y de gran relevancia, ya que estos procesos promueven su elevada productividad biológica, pues su alta energía cinética genera grandes concentraciones de fitoplancton, creando complejas cadenas alimenticias (Aguilar *et al.*, 2007;

Álvarez-Borrego y Lara-Lara., 1991). Identificando tres principales mecanismos de fertilización natural: surgencias por vientos (eólicas), circulación termohalina y mezcla de marea, condiciones que propician la alta productividad primaria y, en consecuencia, una alta actividad pesquera (Álvarez-Borrego, 2002).

El GC es una cuenca de evaporación, ya que el intercambio con el Pacífico abierto es reducido (Wilkinson *et al.*, 2009), sin embargo, Emilson y Alatorre (1997) señalan que el intercambio de agua entre el GC y el Océano Pacífico es uno de los aspectos oceanográficos más importantes, mostrando balances generales de calor y sal.

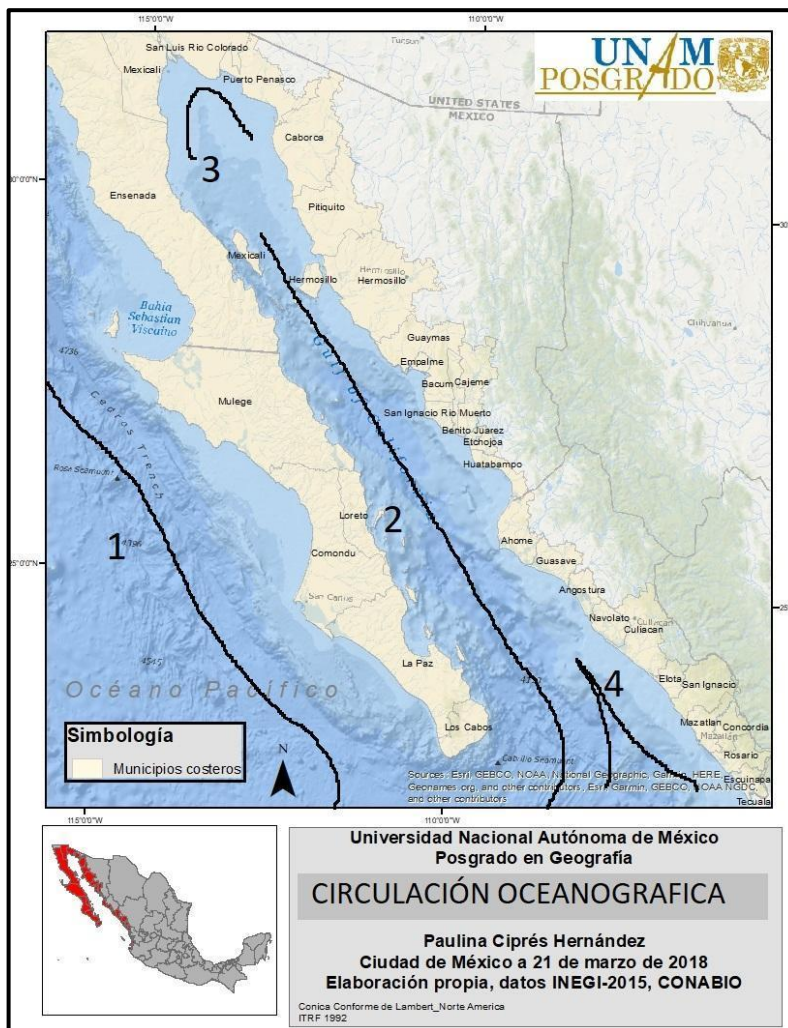
Otro de los procesos oceanográficos que se observan son las surgencias por vientos, se presentan principalmente en la región este del GC durante los meses de diciembre a mayo, y en la costa este de Baja California Sur, en los meses de julio a octubre, generando florecimientos de comunidades fitoplanctónicas (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991), mientras que la circulación termohalina se genera por el promedio anual del flujo de calor neto océano-atmósfera en la columna de agua, ya que requiere que el calor y la concentración de sal salgan del GC para alcanzar el equilibrio y se compense con la entrada de agua profunda, transportando grandes concentraciones de nutrientes que actúan como fertilizantes (Álvarez-Borrego, 2002).

La circulación de las corrientes marinas, son diferentes a lo largo del GC. En la Figura 3, se observan de forma general. Dentro del GC se forma la corriente del Golfo, y entra la Corriente de California (CC), que es la corriente marina que va de norte a sur frente a la costa occidental de la península de Baja California, así como la corriente costera de Costa Rica, que viene de sur a norte. La CC es una corriente fría que llega hasta el sur de la península, girando hacia el oeste y se forma la Nor-Ecuatorial, presentando diferentes alcances tanto espaciales como temporales (De la Lanza Espino, 2004). Esta no tiene importantes aportes de nutrientes de aguas continentales, pero, en conjunto con el viento en dirección sureste, se producen las surgencias (Wilkinson *et al.*, 2009). Por otra parte Álvarez-Borrego y Lara-Lara (1991) identifican dos corrientes superficiales dentro del GC: la CC y la Contra-Corriente Nor-Ecuatorial (CCNE).

Al Norte (de la región de grandes islas, hasta el Alto Golfo), la circulación local está constituida por giros ciclónicos y anticiclónicos, con ascensiones y hundimientos de agua, cerca

de la costa (De la Lanza Espino, 2004). El agua en la región del canal de Ballenas (las grandes islas) es el resultado de la mezcla de aguas superficiales y aguas provenientes de la base de la cordillera, en cambio, las condiciones hidrográficas de la cuenca Tiburón tiene una comunicación más abierta al sur del GC (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991).

En la región media del golfo, las corrientes y mareas son intensas, ocasionando una profunda mezcla en la columna de agua, creando efectos similares a los generados por las surgencias permanentes (Aguilar *et al.*, 2007), lo cual hace que la productividad primaria de esta región sea elevada y sostenga elevadas densidades y diversidades de invertebrados y vertebrados marinos (Álvarez-Borrego, 2002). El sur del GC, que corresponde a la entrada o boca del Golfo, es la zona más profunda y la que está más en contacto con las condiciones del Pacífico Norte, la CC es más evidente. Molina (1984) en su estudio sobre la “evolución oceanográfica de la boca del GC”, define en la entrada del GC la corriente de California, que transporta aguas más frías con temperatura de  $<22^{\circ}\text{C}$  y menos salinas con  $<34.6\text{‰}$  que las aguas adyacentes; la corriente del Pacífico tropical oriental en la parte sureste de la boca, transporta agua más cálida con temperatura de  $> 25^{\circ}\text{C}$  y salinidad media de  $34.9\text{‰}$ , y por último el transporte al sur, agua altamente salina con  $>34.9\text{‰}$  y templada con temperatura de  $<25^{\circ}\text{C}$ , originada en el interior del golfo.



**Figura 3.** Circulación oceanográfica. Fuente: modificado De la Lanza Espino, G. 2004.  
 Nota: 1) Corriente de California, 2) Corriente del Golfo de California, 3) Giros del Alto Golfo, 4) Corriente Costera de Costa Rica (corriente mexicana).

### 2.3 Características Físicas y Químicas

La mayoría de los ríos que desembocan en el GC, son desviados para la agricultura o uso urbano, por lo que el aporte de agua dulce de origen fluvial es relativamente escaso (Santamaría del Ángel *et al.*, 1994). En especial la construcción de represas río arriba y el desvío de aguas del río Colorado ha disminuido considerablemente el aporte de agua dulce, que a su vez ha alterado drásticamente las condiciones ecológicas del Alto Golfo, sistema estuarino para la reproducción de la ictiofauna, registrando una alta salinidad (Wilkinson *et al.*, 2009).

La zona entre las islas Tiburón y Ángel de la Guarda contiene agua superficial relativamente fría, por la mezcla de mareas y transportada por chorros fríos a través del GC (Aguirre Gómez, 2002).

En esta zona se encuentran las mayores concentraciones de nutrientes y dióxido de carbono (Álvarez-Borrego *et al.* 1978). La zona central del GC es la más dinámica a causa de las mareas, vientos, sistema de surgencias y al calentamiento solar (Aguirre Gómez, 2002).

#### **2.4 Características Biológicas**

La productividad primaria de la región es elevada, y es la base de las altas densidades y diversidades de invertebrados y vertebrados marinos (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991; Álvarez-Borrego, 2002).

El Alto Golfo es hábitat para muchas especies marinas endémicas como la totoaba (*Totoaba macdonaldi*), la corvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) y la vaquita marina (*Phocoena sinus*), cetáceo en peligro de extinción, y otras de importancia comercial como grandes poblaciones de sardinas monterrey y crinuda (o arenque de hebra) y anchovetas (géneros *Anchoa*, *Anchovia*, *Cetengraulis*, *Engraulis*) fuente principal de alimento de varias especies predatoras (piscívoras), incluidos calamares, peces, aves marinas, delfines y ballenas (Wilkinson *et al.*, 2009).

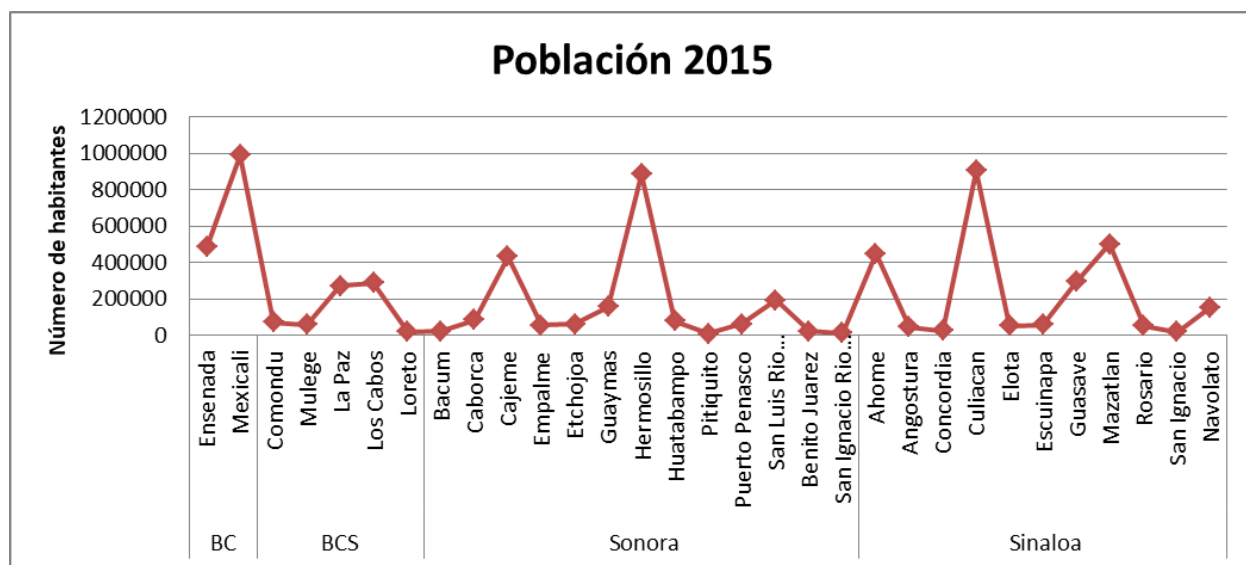
El GC es una región de reproducción para aves y mamíferos marinos. Se encuentran la gaviota ploma, el charrán real, el pelícano pardo, el delfín común de rostro largo y el lobo marino de California, también algunas especies migratorias como la ballena de aleta o rorcual común (Urbán *et al.*, 2005).

El GC sostiene una ictiofauna compuesta de aproximadamente 911 especies: 821 peces óseos y 90 especies de cartilaginosos (Findley, citado en Wilkinson *et al.*, 2009) casi cinco mil especies de macroinvertebrados (Hendrickx *et al.*, 2005), entre los cuales se encuentran moluscos y crustáceos. Los cetáceos, alrededor de 31 especies residentes en forma permanente o estacional, lo cual representa 39 por ciento de la diversidad total mundial de cetáceos (Wilkinson *et al.*, 2009).

## 2.5 Población

El área de estudio está integrada por los municipios con frente de playa definidos de acuerdo a la Política Ambiental Nacional para el Desarrollo Sustentable de Océanos y Costas de México de los Estados que rodean el GC (Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa) con un total de 31 municipios, con una población de 6 841 594 de habitantes para el año 2015, representando el 5.7 % de la población nacional (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2015).

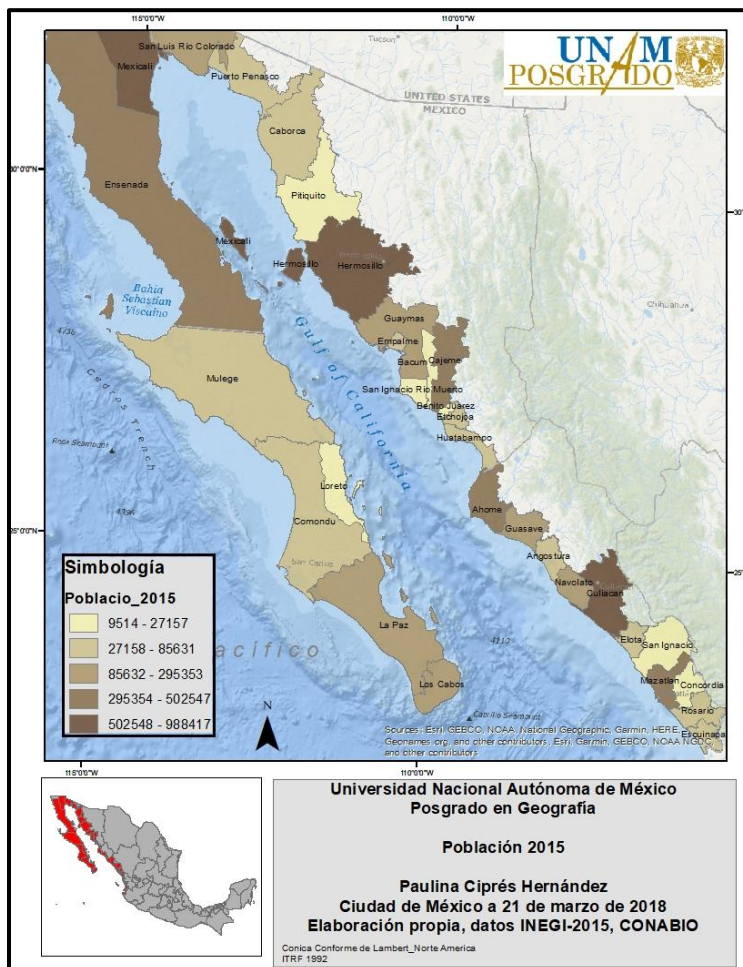
Los municipios con mayor número de habitantes son Mexicali en Baja California, Hermosillo en Sonora, y Culiacán en Sinaloa, con alrededor de 900 000 habitantes por municipio (Fig. 4 y 5).



**Figura 4.** Población 2015 por municipio de la región de estudio.

Fuente: Datos INEGI, 2015, elaboración propia.





**Figura 5.** Poblaci3n en 2015 de municipios costeros de la zona de estudio.  
Fuente: Datos INEGI, elaboraci3n propia.

## 2.6 Actividad Econ3mica Pesquera

Una de las principales actividades econ3micas en las comunidades costeras de la regi3n es la pesca, con una gran importancia no s3lo para las comunidades locales sino para el pa3s en general, no obstante, la intensidad de esta actividad en la actualidad rebasa los niveles sustentables m3ximos para la mayor3a de las pesquer3as de inter3s comercial (Wilkinson *et al.*, 2009).

Algunos de los productos de importancia comercial del GC incluyen camar3n, jaiba, almejas, caracoles, calamar gigante, anchoveta, sardina, mero, baqueta, cabrilla, pargo, corvina, jurel, at3n, entre otros (Wilkinson *et al.*, 2009).

A pesar de que la pesca es una de las principales actividades económicas, diversos estudios (Jefferson y Curry, 1994; Carretta *et al.*, 2003; INAPESCA, 2006; Wilkinson *et al.*, 2009; Pérez-Valencia *et al.*, 2011) mencionan que las artes de pesca, como las redes de enmalle y redes de arrastre, tienen efectos negativos en el ecosistema, por su aumento en la captura incidental, mortalidad incidental y aumento del disturbio del fondo marino, provocando una reducción acelerada de poblaciones, así como un desequilibrio en las especies dominantes.

## **2.7 Equipamiento Pesquerías**

Dentro del área de estudio se emplean embarcaciones mayores y menores para el camarón, y solamente embarcaciones mayores para la sardina.

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SAG/PESC-2018, para regular el aprovechamiento de las especies de peces pelágicos menores, incluyendo el Golfo de California, “Las embarcaciones de altura son la unidad de pesca oceánica con uno o más motores estacionarios y por lo menos una cubierta, de 23 a 35 metros de eslora, con o sin bodega y sistema de refrigeración, equipo electrónico de navegación y apoyo a la pesca (NOM-003-SAG/PESC-2018, pp 2). Y de acuerdo a la (Norma Oficial Mexicana NOM-002-SAG/PESC-2013, para ordenar el aprovechamiento de las especies de camarón, las embarcaciones menores se caracteriza como: “unidad de pesca con motor fuera de borda y con eslora máxima total de 10.5 metros, con o sin sistema de conservación de la captura a base de hielo y con una autonomía de 3 días como máximo” (Norma Oficial Mexicana NOM-002-SAG/PESC-2013, pp 4).

En el área de estudio se emplean cerca de 88 mil trabajadores y han generado la construcción y operación de casi 250 plantas procesadoras de productos marinos (Lluch *et al.*, 2007).

De acuerdo con las estadísticas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en el año 2015, existían 4 801 cooperativas pesqueras en el área de estudio, se clasifican en: camaronicultura, pesca de camarón, pesca de sardina y anchoveta, pesca de túnidos, pesca general y piscicultura y otra acuicultura.

En la Tabla 1, se muestra el número de cooperativas por tipo y desglosadas por Estado.

**Tabla 1.** Número de cooperativas pesqueras.

ENTIDAD	NOMBRE_ACTIVIDAD	Total
<b>BAJA CALIFORNIA</b>	Camaronicultura	10
	Pesca de camarón	13
	Pesca de sardina y anchoveta	9
	Pesca de túnidos	4
	Pesca y captura de peces, crustáceos, moluscos y otras especies	219
	Piscicultura y otra acuicultura, excepto camaronicultura	28
<b>TOTAL BAJA CALIFORNIA</b>		<b>283</b>
<b>BAJA CALIFORNIA SUR</b>	Camaronicultura	7
	Pesca de camarón	43
	Pesca de sardina y anchoveta	5
	Pesca y captura de peces, crustáceos, moluscos y otras especies	643
	Piscicultura y otra acuicultura, excepto camaronicultura	30
<b>TOTAL BAJA CALIFORNIA SUR</b>		<b>728</b>
<b>SINALOA</b>	Camaronicultura	318
	Pesca de camarón	1187
	Pesca de sardina y anchoveta	1
	Pesca de túnidos	6
	Pesca y captura de peces, crustáceos, moluscos y otras especies	627
	Piscicultura y otra acuicultura, excepto camaronicultura	41
<b>TOTAL SINALOA</b>		<b>2180</b>
<b>SONORA</b>	Camaronicultura	94
	Pesca de camarón	374
	Pesca de sardina y anchoveta	10
	Pesca y captura de peces, crustáceos, moluscos y otras especies	212
	Piscicultura y otra acuicultura, excepto camaronicultura	18
<b>TOTAL SONORA</b>		<b>708</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>4801</b>

Fuente: INEGI, 2015.

En cuanto al tipo de cooperativa más predominante en la región es la de pesca y la captura de peces, crustáceos, moluscos y otras especies, le sigue la de pesca de camarón, por lo contrario, el tipo menos predominante, es el de las cooperativas enfocadas a la pesca de túnidos.

Dentro del área de estudio se encuentra un total de 17 523 embarcaciones registradas, se pueden ver los registros en la Tabla 2. La entidad con mayor número de embarcaciones es Sinaloa con 9 691, seguida de Sonora con 3 287. El estado de Baja California es el que menor número de embarcaciones cuenta, con un registro de 1 352.

**Tabla 2.** Número de embarcaciones.

<b>ESTADO</b>	<b>NUMERO DE EMBARCACIONES</b>
<b>BAJA CALIFORNIA</b>	<b>1352</b>
EMB. MAYOR	190
EMB. MENOR	1162
<b>BAJA CALIFORNIA SUR</b>	<b>3193</b>
EMB. MAYOR	38
EMB. MENOR	3155
<b>SINALOA</b>	<b>9691</b>
EMB. MAYOR	799
EMB. MENOR	8892
<b>SONORA</b>	<b>3287</b>
EMB. MAYOR	490
EMB. MENOR	2797
<b>Total general</b>	<b>17 523</b>

Fuente: INEGI, 2015.

## 2.8 Sardina

La sardina pertenece al grupo de los pelágicos menores, en el GC la pesquería de este grupo es una importante actividad socioeconómica, por sus altos volúmenes de captura, que ha llegado a aportar hasta el 40% de la captura nacional total (SAGARPA, 2010). La flota pesquera del GC es la más numerosa en el noroeste mexicano, con puertos de descarga en Guaymas y Yavaros, en Sonora y Mazatlán en Sinaloa (Nevárez Martínez *et al.*, 2015).

Existen diversos estudios sobre la relación entre el ambiente y los pelágicos menores (Nevárez-Martínez *et al.* 2001; Lanz, *et al.*, 2009), por eso se han asociado las fluctuaciones poblacionales con las variaciones ambientales. En el GC la variación más importante es causada por los fenómenos de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y La Niña (Soto-Mardones *et al.*, 1999; Heras Sánchez, 2018), los cuales afectan la distribución y abundancia de la sardina monterrey.

Es una especie nerítica, lo que quiere decir que habita en la zona marina de poca profundidad que bordea la costa. Forma grandes escuelas de hasta 10 millones de individuos y se desarrolla en temperaturas que oscilan entre 16 °- 23 °C en verano, y de 10 °- 18 °C en invierno (Whitehead, 1985). Se alimenta principalmente de crustáceos planctónicos. Los peces jóvenes se alimentan de zooplancton, como copépodos y los adultos de fitoplancton (Matarese, *et al.* 1989). Emplea los modos de alimentación de filtro y partículas en fitoplancton y zooplancton (Whitehead, 1985). Las características de esta especie hacen que dependa del fitoplancton, el cual es clave en el ecosistema pelágico, al ser la principal fuente de alimento para especies como la sardina (Gaxiola-Castro *et al.*, 2010). Una forma de cuantificarlo es por medio de la [Clo\_a], que es producida por la actividad fotosintética del fitoplancton.

También la TSM juega un papel importante en el ciclo de vida de la sardina ya que es una especie que se encuentra principalmente en la superficie marina; y los cambios en esta, influyen en la presencia y por lo tanto en la captura pesquera. Existen varios estudios sobre la relación entre la captura de la sardina y las variables mencionadas (de Young *et al.*, 2004; Lanz *et al.*, 2009; Morales-Bojórquez, 2009; Vallarta-Zárate, 2012).

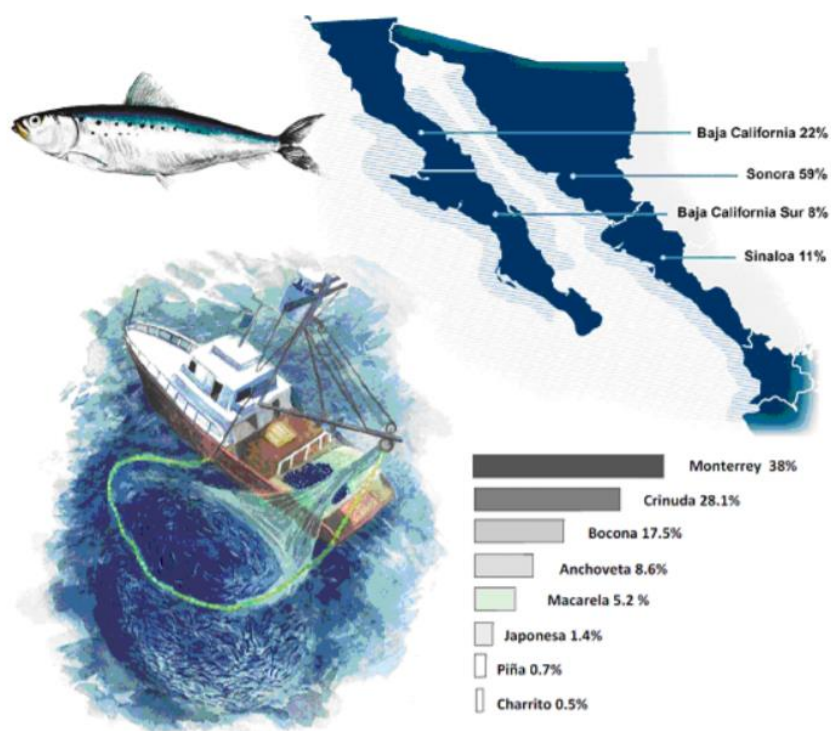
La captura de la sardina está focalizada en el GC desde la zona de las grandes islas hasta la boca del GC. Esta pesquería se realiza durante todo el año, aunque, la industria de la pesca decide de forma voluntaria parar sus actividades durante tres meses de agosto a octubre, como una medida de protección a la comunidad biológica y con fines de mantenimiento a su infraestructura (CANAINPESCA, 2018).

De acuerdo con la Carta Nacional Pesquera (INAPESCA, 2017), las especies que componen el grupo de los pelágicos menores se muestran en la Tabla 3, de las cuales la sardina monterrey es la especie objetivo y sustento principal de la pesquería (Nevárez-Martínez *et al.*, 2009). De acuerdo con la Carta Nacional Pesquera (INAPESCA, 2017), de los pelágicos menores, podemos ver en la figura 6, que la Sardina Monterrey aporta el 38 % de la pesca de los pelágicos menores, y dentro del grupo de las sardinas, aporta el 77.4 %.

**Tabla 3.** Especies del grupo pelágicos menores.

Nombre común	Nombre científico
Sardina monterrey	<i>Sardinops sagax caeruleus</i>
Anchoveta	<i>Engraulis mordax</i>
Sardina crinuda	<i>Opisthonema libertate</i>
Sardina crinuda azul	<i>Opisthonema bulleri</i>
Sardina crinuda machete	<i>Opisthonema medirastre</i>
Macarela	<i>Scomber japonicus</i>
Sardina bocona	<i>Cetengraulis mysticetus</i>
Sardina japonesa	<i>Etrumeus teres</i>
Charrito	<i>Trachurus symmetricus</i>
Sardina piña	<i>Oligoplites refulgens</i>

Fuente: Carta Nacional Pesquera (INAPESCA, 2017).

**Figura 6.** Producción de la pesca de sardina por estado y por especie en el Golfo de California.

Fuente: Tomada de la Carta Nacional Pesquera (INAPESCA, 2017).

**Reglamentación:**

La reglamentación de la pesquería de la sardina está regida por la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SAG/PESC-2018.

Época de captura: Veda espacial de Agosto a Octubre. (Ing. Leon Tissot Plant, Comunicación personal, mayo 2019).

“Talla mínima para sardina monterrey 150 mm de longitud” (INAPESCA, 2017, pp 55)

**Comercialización:**

Para la comercialización de la sardina, alrededor del 15% se destina para conservas y enlatados, algunas de las partes de la sardina como la cabeza o la cola no son consideradas para el enlatado debido a su sabor y no es considerado para consumo humano. El 10% se comercializa de modo fresco o congelado, principalmente para carnada, el 75% restante se convierte en harina y aceite de pescado.

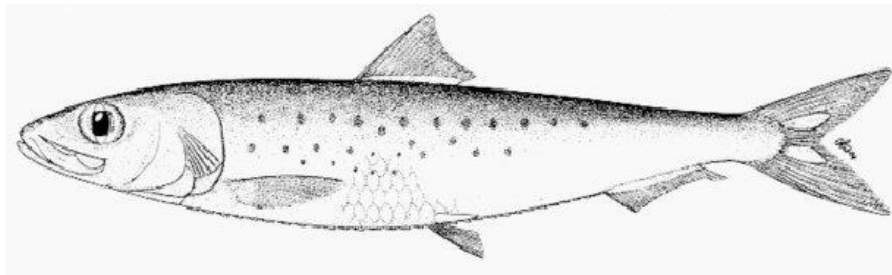
Es importante mencionar que la harina de sardina es un producto procesado para la elaboración de alimentos balanceados y es la base del alimento para muchas especies de maricultura, acuicultura y ganadería, por lo que se considera como sustento fundamental en la soberanía alimentaria de México ya que se consume de manera indirecta, su principal fuente de desembarque es el Pacífico México (CANAINPESCA, 2018).

**Zona de captura:**

La sardina se captura en las aguas de Jurisdicción Federal del Golfo de California, incluyendo la costa Occidental de Baja California (INAPESCA, 2017).

**Arte de pesca:**

Las embarcaciones que se utilizan para capturar a la sardina con capacidad mayor a 10 t de registro bruto, con 25-28 m de eslora, con 140-180 t de capacidad de bodega, con red de cerco de jareta. En la embarcación se emplean máximo diez pescadores (INAPESCA, 2017). En la Figura 7 se muestra una imagen de la sardina Monterrey:



**Figura 7.** Sardina Monterrey (*Sardinops sagax caeruleus*).

Fuente: Froese y Pauly (2007), [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org) (febrero 2019).

### **Características Biología**

“Hábitos: Pelágico migratorio.

Talla máxima: 20.64 cm

Talla promedio: 16.0 cm

Peso promedio: 100 g “(Whitehead, 1985).

### **2.9 Camarón**

La pesca del camarón se tomó en cuenta por varias razones, primero porque ocupa el tercer lugar dentro de la producción pesquera de México por su volumen de captura, pero, primer lugar por su valor económico. Otra razón es que las embarcaciones menores pescan en una zona costero-marina, lo cual permite evaluar una especie más costera (camarón), y una oceánica (sardina), y por último, también se eligió por ser una especie susceptible a cambios climáticos (INAPESCA, 2012), así como cambios en su ambiente, como factores físico-químicos del agua, pueden afectar su metabolismo, crecimiento, muda y supervivencia, incluso pueden presentar alteraciones en sus sistema inmune (Le Moullac y Haffner, 2000).

De acuerdo con diferentes estudios sobre el camarón (Castille y Lawrence, 1981; Salvato *et al.*, 2001), los adultos dependen de las condiciones del ambiente marino para la reproducción, mientras que las postlarvas y juveniles están adaptados para tolerar las variaciones ambientales. Por lo que la captura del camarón se puede ver afectada con los cambios en el ambiente. En un estudio de laboratorio por Re *et al.* (2000), la temperatura óptima para el camarón azul es de 28°C, temperatura dentro de ambiente natural, por lo que se esperaría que cambios en la temperatura en su hábitat, afecten la captura, y que mientras el ambiente reporte temperaturas cercanas a los 28°C, la captura se vea favorecida.



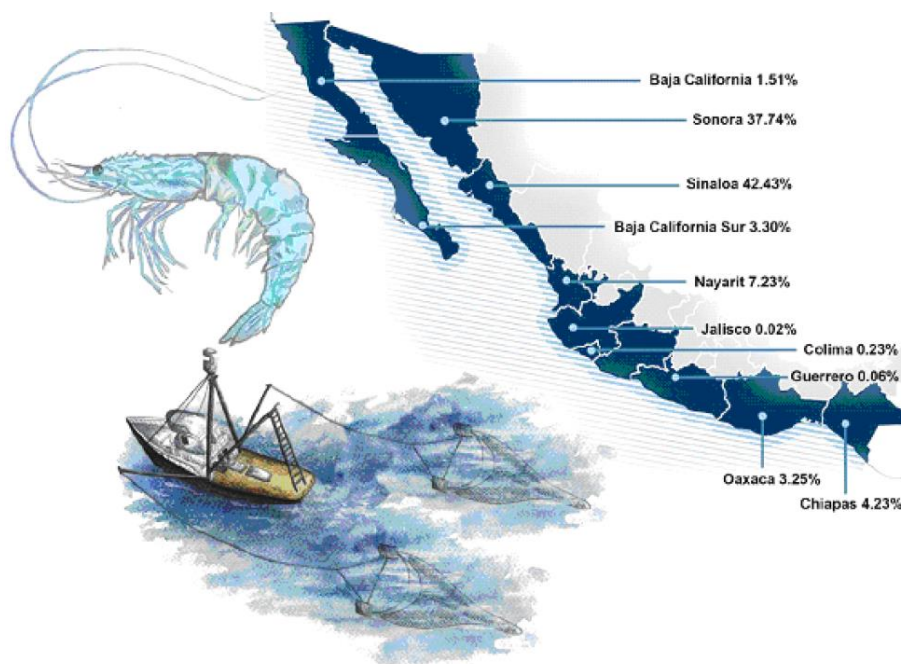
### Reglamentación:

En cuanto a la parte normativa, esta pesquería está regida por la Norma Oficial Mexicana NOM-002-PESC-2013, la cual establece los lineamientos que deben seguir como, épocas y zonas de veda, en la última modificación menciona las especificaciones de los excluidores de tortugas, entre otros lineamientos.

“Época de veda temporal para proteger la reproducción y el crecimiento con fechas variables, generalmente entre marzo y septiembre de cada año, de acuerdo al dictamen técnico del INAPESCA” (INAPESCA, 2017, pp 29).

### Producción

La producción por estado, se muestra en la figura 8, la mayor producción pesquera de este recurso es Sinaloa con el 42%, seguido de Sonora con el 37%, y Baja California Sur aporta un 3%.



**Figura 8.** Actividad pesquera del camarón en el Pacífico Mexicano.

Fuente: Tomado de la Carta Nacional Pesquera (INAPESCA, 2017).

### Zona de captura

La zona de captura a lo largo del litoral del Pacífico mexicano, se divide en aguas protegidas y altamar. La pesca en aguas protegidas se realiza principalmente en sistemas lagunares, estuarios y bahías, en embarcaciones menores, con o sin motor fuera de borda.

## Especies

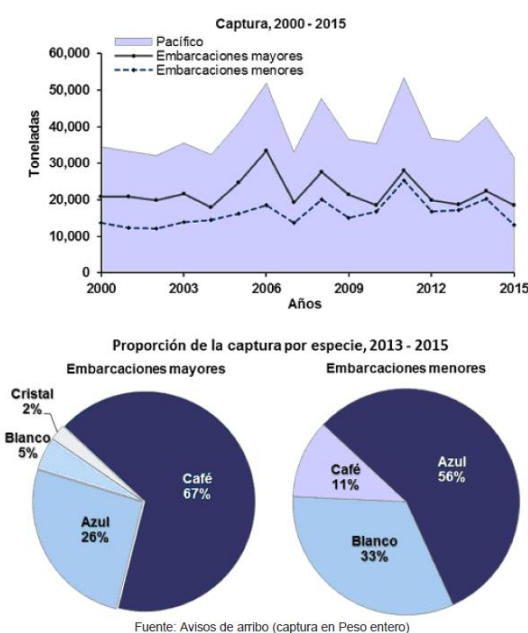
De acuerdo con la Carta Nacional Pesquera (INAPESCA, 2017), la captura de camarón se compone principalmente de cuatro especies, las cuales se enlistan en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Especies capturadas de camarón.

Nombre común	Nombre científico
Camarón azul	<i>Penaeus stylirostris</i>
Camarón Blanco	<i>Penaeus vannamei</i>
Camarón café	<i>Farfantepenaeus californiensis</i>
Camarón cristal	<i>Farfantepenaeus brevisrostris</i>

Fuente: Carta Nacional Pesquera (INAPESCA, 2017).

El camarón café y el azul son los principales recursos. Con un 67% de camarón café en embarcaciones mayores, y el azul con el 56% en embarcaciones menores (INAPESCA, 2017). Esto debido a que el camarón azul y blanco vive la mayor parte del tiempo en zonas con relación a los deltas de ríos, estuarios o lagunas costeras, mientras que el café y cristal se encuentran en el medio marino, sin embargo, se han encontrado camarón café en lagunas costeras (INAPESCA, 2012). En la Figura 9 se muestran algunos datos estadísticos de la captura del camarón en el Pacífico Mexicano.



**Figura 9.** Estadísticas de la captura del camarón en el Pacífico Mexicano.  
Fuente: Tomado de la Carta Nacional Pesquera (INAPESCA, 2017).

### Comercialización:

El camarón se destina al consumo humano directo (preferentemente congelado). Se comercializa a nivel regional, nacional e internacional con Estados Unidos, Japón y Francia. Para su procesamiento se cuenta con 57 plantas registradas, de las cuales el 82% se localizan en Sonora, Sinaloa y Baja California (INAPESCA, 2017).

### Arte de pesca:

Para la captura del camarón se utilizan embarcaciones menores y mayores, a continuación, en la Tabla 5, se muestran las características de cada una de ellas.

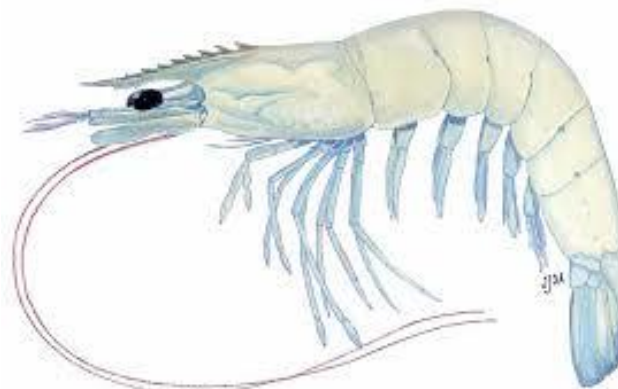
**Tabla 5.** Características embarcaciones camaroneras.

<b>Embarcación menor</b>	<b>Embarcación mayor</b>
<b>Eslora</b> Inferior a 10.5 m	<b>Eslora</b> Superior a 10.5 m
<b>Motor</b> Con o sin motor fuera de borda.	<b>Motor</b> Con motor estacionario.
Con o sin sistema de conservación de la captura a base de hielo.	Cubierta corrida, área de maniobras de pesca, puente de mando con equipo de navegación, comunicación, ecodetección y localización satelital.
<b>Autonomía</b> Máxima de 3 días.	<b>Autonomía</b> Mínima de 20 días.
<b>Número de pescadores empleados</b> Participan 3 pescadores como máximo.	<b>Número de pescadores empleados</b> Participan entre 6 y 8 pescadores.
<b>Redes</b> Atarrayas en lagunas-estuarios, y red suripera en estuarios del centro-norte de Sinaloa y Baja California en Bahía Magdalena. Chinchorro de línea en aguas marinas de Sonora y en sistemas lagunares de Sonora.	<b>Redes</b> Emplea 2 redes de arrastre.

Fuente: Tomado de la Carta Nacional Pesquera (INAPESCA, 2017).

### Biología:

En la Figura 10, se muestra una ilustración del camarón azul.



**Figura 10.** Camarón azul (*Penaeus stylirostris*).

Fuente: OSPESCA. <https://climapesca.org/2018/09/06/litopenaeus-stylirostris/> (febrero, 2019)

### Características:

“Hábitos: Demersal, eurihalino.

Talla máxima: 20 cm

Talla promedio: 15 cm” (INAPESCA, 2012, pp3).

Las tres principales especies de camarón capturado en el GC son: camarón café, azul y blanco, por lo que este proyecto se enfocara a estas. Estas tres especies habitan en la plataforma continental asociados a sustratos blandos (Brusca y Hendrickx, 2008). Se tiene reportado que los camarones se encuentran en distintas profundidades dependiendo la especie y su etapa de crecimiento, por ejemplo los adultos del camarón azul y blanco se encuentran hasta los 72 m de profundidad, con mayor densidad en la franja de 0-18 m; el café habita hasta los 100 m de profundidad y la mayor densidad varía por zona y época (Lluch, 1982). En el caso del Golfo de California de acuerdo con Lluch (1982) se localizan dos regiones: en el norte del GC las poblaciones se localizan entre 0 y 50 m de profundidad, y al sur del GC están entre 18-72 m.

Dependiendo de la fase del ciclo de vida de camarón es en donde se localizan. El camarón azul y blanco depende de los estuarios y lagunas costeras en su fase temprana de vida; el camarón café es considerado mayormente de hábitos marinos (Rodríguez de la Cruz y

Rosales, 1976; Holthuis, 1980), en la tabla 6, se muestra su distribución de acuerdo a la especie de camarón.

**Tabla 6.** Distribución camarón.

	<b>Camarón café</b>	<b>Camarón azul</b>	<b>Camarón blanco</b>
<b>Distribución en el GC</b>	GCN, GCC, GCS, SOB, RB	GCN, GCC, GCS	GCC, GCS
<b>Profundidad más somera</b>	2 m	5 m	5 m
<b>Profundidad más grande</b>	180 m	45 m	72 m
<b>Hábitat general</b>	Litoral bentónico, Lagunas costeras, lagunas con manglares		
<b>Sustrato</b>	Arena y lodo		
<b>Comunidad</b>	Plataforma Continental		

Fuente: Tomado y modificado de Brusca y Hendrickx, 2008

Nota: \*GCN: Golfo de California Norte, GCC: Golfo de California Centro, GCS: Golfo de California Sur, SOB: Región Sur-Oeste de Baja California Sur (de Los Cabos a Bahía Magdalena), RB: Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado.

La estructura trófica de los camarones se ubica en tres niveles a lo largo de su ciclo de vida: 1. Consumidor primario, 2. Consumidor secundario y 3. Detritófago ú omnívoro (Garduño, 1976).

**Tabla 7.**Ciclo de vida del camarón.

<b>Estadio</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Nivel trófico</b>	<b>Alimentación</b>	<b>Depredadores</b>
Huevo	Plancton	NA	NA	Zooplancton y organismos filtradores.
Nauplio	Plancton	Consumidor primario	Nanoplancton, zooplancton, fitoplancton y detritus.	Zooplancton, peces juveniles y filtradores
Protozoa	Plancton	Consumidor Secundario (omnívoro)	Nanoplancton, zooplancton, fitoplancton y detritus.	Zooplancton, peces juveniles y filtradores
Mysis	Plancton	Consumidor Secundario (omnívoro)	Zooplancton y fitoplancton.	Zooplancton, peces juveniles y filtradores
Postlarva	Plancton-Bentos	Consumidor Secundario (omnívoro)	Detritus de plantas vasculares y microalgas de la columna y fondo de las lagunas, anélidos, microorganismos.	Peces, invertebrados.
Juvenil	Bentónico	Detritófago (omnívoro)	Detritus, moluscos, algas, restos de peces y el canibalismo es común.	Peces, invertebrados, aves.
Preadulto	Bentónico	Detritófago (omnívoro).	Detritus, anélidos, moluscos, esponjas, algas, canibalismo.	Peces, invertebrados, aves.
Adulto	Bentónico	Detritófago (omnívoro)	Detritus, anélidos, moluscos, esponjas, algas, otros.	Peces, invertebrados.

Fuente: Tomado de Garduño (1976).

### CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO

---

El presente trabajo de investigación se delimita dentro de un marco teórico y metodológico de la Geografía regional y ambiental, así como de las bases físicas de la percepción remota.

#### **3.1 Geografía Regional**

Dentro de la disciplina de la Geografía existen diferentes conceptos que han contribuido a definir el objeto de estudio, así como instrumentos para el entendimiento de las problemáticas territoriales. En particular la Geografía regional se ha convertido en un instrumento de valor, en sus distintas dimensiones: histórica, cultural, ambiental, económica, política, social y territorial (Delgadillo, 2008 citado en Gasca, 2009), que si bien representa una de las fuentes más importantes de conocimiento y transformación del territorio, no es sino en el uso crítico de todas sus dimensiones, que podrá alcanzar el sentido holístico por el cual ha sido valorada (Delgadillo, 2008 citado en Gasca, 2009).

La Geografía regional tiene diferentes enfoques de acuerdo a los paradigmas que definen el objeto de estudio, el método y los temas de interés de la disciplina (Gasca, 2009). En particular, para este estudio se aborda desde el enfoque de la Geografía ambiental, que toma en cuenta un elemento de la sociedad y variables del medio natural, y analizar sus interacciones (Castree, 2009); así como de un análisis cuantitativo y sistemático para analizar las relaciones funcionales, las estructuras y sistemas de asociación espacial.

Las propuestas de regionalización como concepto geográfico, clasifica un espacio utilizando atributos geomorfológicos permanentes (Cendrero, 1989; Finkl, 2004; Espejel y Bermúdez, 2009). En este trabajo utilizando atributos de la distribución de especies (sardina y camarón), así como variables del medio marino (TSM, [Clo\_a]).

Las regionalizaciones obedecen a diversos objetivos, incluyendo diferentes parámetros, principalmente físicos y biológicos. El objetivo principal de una regionalización o zonificación es establecer un modelo de referencia espacial para la organización de componentes de una base de datos o de información que se requiere caracterizar (Espejel, 2006). El presente trabajo se enfoca a una actividad económica, que es la pesca, y el medio marino, en donde se desarrolla.

### 3.2 Regionalizaciones Marinas en México

Históricamente los mares del mundo han sido regionalizados para estudiarlos y administrarlos (Espejel y Bermúdez, 2009). Existen distintas propuestas a nivel nacional, en las que se considera la parte costero-marina de México, por ejemplo la parte marina se divide en: mar territorial, zona contigua y la zona económica exclusiva, para la parte terrestre o continental, se identifica una región con los municipios costeros, delimitando los 263 municipios costeros, 150 con frente de playa y 113 municipios interiores adyacentes con influencia costera del país (Política Nacional de Mares y Costas de México, 2015).

En particular para la parte marina de México también existen las regiones marinas prioritarias propuestas por la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO), y El ordenamiento Ecológico Marino postulado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), entre otras.

En particular para el GC existen muchas regionalizaciones, a nivel internacional y a nivel local. En la Tabla 8, se muestran algunas de las propuestas que existen para este sitio:

**Tabla 8.** Regionalizaciones Golfo de California.

<b>Investigación</b>	<b>Autor</b>	<b>Año</b>
<b>Plankton diatoms of the Gulf of California obtained by the G. Allan Hancock Expedition of 1936.</b>	Allen, W.E.	<b>1937</b>
<b>The Gulf of California: Preliminary discussion of the cruise of the EW Scripps in February and March 1939</b>	Sverdrup, H.U.	<b>1941</b>
<b>The phytoplankton of the Gulf of California obtained by the "E. W. Scripps" in 1939 and 1940</b>	Gilbert, J. Y. y W. E. Allen.	<b>1943</b>
<b>The distribution and affinities of the marine fish fauna of the Gulf of California</b>	Walker B.W.	<b>1960</b>
<b>The phytoplankton of the Gulf of California, I, Its composition, distribution and contribution to the sediments.</b>	Round, F. E.	<b>1967</b>
<b>Physical oceanography of the Gulf of California</b>	Roden, G. I., y I. Emilsson	<b>1979</b>
<b>Euphausiids in the Gulf of California, the 1957 Cruises</b>	Brinton, E. y A. W. Townsend	<b>1980</b>
<b>Factors determining the distribution of hyperiid Amphipoda in the Gulf of California</b>	Siegel-Causey, D.	<b>1982</b>
<b>Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery.</b>		<b>1994</b>



<b>Spatial distribution of chlorophyll a and primary productivity in relation to winter physical structure in the Gulf of California.</b>	Gaxiola-Castro, G., García - Cordova, J., Valdez-Holguin, J.E., Botello-Ruvalcaba, M.	<b>1995</b>
<b>Global Biogeography</b>	Briggs, J. C.	1995
<b>Regionalización del Golfo de California: una propuesta a partir de concentración de pigmentos fotosintéticos (CZCS).</b>	Arias Arechiga, J.P	<b>1998</b>
<b>Reef fishes of the sea of Cortez: The rocky-shore fishes of the Gulf of California.</b>	Thomson, D.A. & Findley, Lloyd & Kerstitch, A.N	<b>2000</b>
<b>The coast of Mexico: approaches for its management</b>	Rivera-Arriaga, E. y G. Villalobos	<b>2001</b>
<b>Biodiversity of macrocrustaceans in the Gulf of California, Mexico.</b>	Hendrickx, M., Brusca, B., y Germán Ramírez Reséndiz.	<b>2002</b>
<b>An overview of the physical oceanography of the Gulf of California.</b>	Lavín M.F., Marinone S.G	<b>2003</b>
<b>Ocean-color variability in the Gulf of California: scales from days to ENSO.</b>	Kahru, M., Marinone, S. G., Lluch-Cota, S. E., Pares-Sierra, A. y Greg Mitchell, B	<b>2003</b>
<b>Total and new production in the Gulf of California estimated from ocean color data from the satellite sensor SeaWiFS.</b>	Hidalgo-González, R.M. y Álvarez-Borrego, S.	<b>2004</b>
<b>Planeación ecorregional para la conservación marina: Golfo de California y costa occidental de Baja California Sur.</b>	Ulloa, R., Torre, J., Bourillón, L., Alcantar, N	<b>2006</b>
<b>Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California</b>	SEMARNAT	<b>2006</b>
<b>Política de océanos y costas de México</b>	SEMARNAT	<b>2006</b>
<b>Variabilidad interanual de clorofila en el Golfo de California.</b>	Espinosa-Carreón, L., y E. Valdez-Holguin	<b>2007</b>
<b>Regionalizaciones Biogeográficas Marinas. Propuesta Metodológica para la Regionalización de los Mares Mexicanos. En: Ordenamiento ecológico marino</b>	Espejel, I. y Bermudez, R.	<b>2009</b>
<b>Regionalización ecológica de las colonias reproductivas de <i>Zalophus californianus</i>, como herramienta para su conservación en el Golfo de California.</b>	Méndez Ramos, C.	<b>2011</b>
<b>Regionalización del Golfo de California con base en el ciclo anual de la concentración de Clorofila-a</b>	Szteren, D, & Auriolles-Gamboa, D.	<b>2011</b>
<b>Estructura comunitaria y zonación geográfica de peces de arrecifes rocosos del norte del Golfo de</b>	Gonzalez-Cuellar, O.T.	<b>2012</b>

<b>California.</b>		
<b>Variación temporal y espacial de temperatura superficial del mar, clorofila a y productividad primaria en el golfo de California.</b>	Escalante, F., Valdez-Holguín, J.E., Álvarez-Borrego, S., y Lara-Lara, J. R	<b>2013</b>
<b>Propuesta de Zonación del Golfo de California con base en variables oceanográficas y distribución de Macroinvertebrados.</b>	Petatán, D.	<b>2015</b>
<b>Biosimulación de la producción primaria del Golfo de California.</b>	Heras Sánchez, C.	<b>2018</b>

Fuente: Elaboración propia.

Para la parte de regionalización socioeconómica no existen muchas propuestas, el Instituto Nacional de Pesca (1994) propuso su propia regionalización en función de la explotación de los recursos bióticos pesqueros, pero no hace una diferenciación de litoral para la península de Baja California. De las regionalizaciones más citadas son la de Rivera-Arriaga y Villalobos (2001), que ha sido reconocida institucionalmente y es retomada por la Política de océanos y costas de México por la SEMARNAT (2006), la cual también se ajusta a la propuesta por Briggs (1995).

### **3.3 Análisis Espacial**

Para lograr el objetivo de la investigación es necesario plantear un análisis espacial. De acuerdo con Buzai y Baxendale (2006), desde un punto de vista temático, un análisis espacial constituye una serie de técnicas estadísticas y matemáticas aplicadas al estudio de los datos distribuidos sobre el espacio geográfico. Lo cual es aplicable e indispensable para analizar la actividad pesquera, que como dice Santos Preciado (2003) el objetivo del análisis espacial es realizar una descripción cuantitativa de carácter territorial, poniendo énfasis en la distribución, la organización y estructura de los hechos geográficos físicos, económicos y humanos, y en sus respectivas relaciones espaciales en un mismo espacio geográfico de análisis, lo cual implica la modelización espacial, con el objetivo de dar respuesta a una parte de esa gran complejidad.

Por esto, se ha tomado en cuenta para el presente estudio y de esta manera entender la actividad pesquera con su entorno.

### **3.4 Percepción Remota**

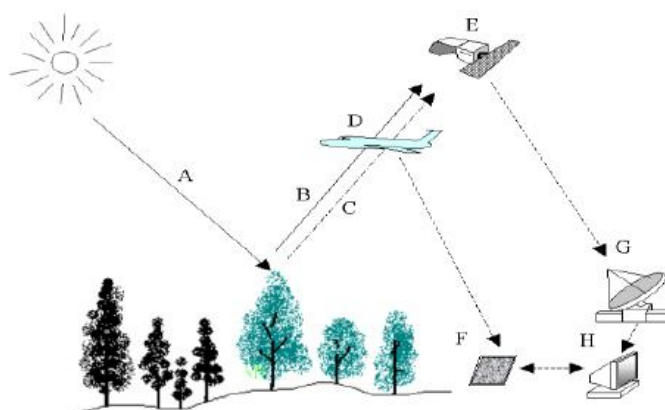
Existen diferentes conceptos de lo que es la “percepción remota”, dentro del área ambiental, la mayoría de estos (Chuvienco, 1996; Mather, 1991; Lillesand y Kiefer, 1994;

Gutiérrez y Muñoz, 2002; Lira, 2003; Hernández, 2011) coinciden en definirla como una técnica de observación a distancia de un sistema físico, que se encarga de obtener, tratar y analizar imágenes de la superficie de la tierra con información descriptiva de fenómenos y objetos, capturadas mediante sensores remotos artificiales.

### 3.5 Fundamentos Físicos

Para entender los fundamentos físicos de la percepción remota, tomemos como ejemplo el funcionamiento de los ojos, que mediante células especializadas funcionan como receptores de la radiación solar correspondiente a la luz visible, captando los tres colores primarios, el azul, verde y rojo, y estos en conjunto, generan una amplia gama de colores. Los tres principales componentes de un sistema de teledetección, son: el ojo como sensor, el objeto observado que puede ser cualquier cosa y el flujo energético que permite detectar el objeto mediante la energía reflejada o emitida, el cual puede ser la luz solar o alguna otra energía emitida (Chuvienco, 1996).

En la Figura 11 se puede observar un diagrama de los componentes que conforman la percepción remota: La radiación emitida del sol que viaja por el espacio y atmósfera y entra en contacto con los objetos de la superficie terrestre y parte de esta radiación es reflejada de acuerdo a las características de los objetos, la cual es captada por el sensor aéreo o espacial y genera una fotografía aérea o una imagen digital que es adquirida mediante una estación receptora (Hernández, 2011).



**Figura 11.** Componentes de la percepción remota.

Nota: **A)** Radiación. **B)** Energía reflejada. **C)** Energía emitida. **D)** Sensor aéreo. **E)** Sensor espacial. **F)** Fotografía aérea. **H)** Imagen digital. **G)** Estación receptora. Fuente: Hernández, 2011.

La radiación puede ser de dos tipos, la que proviene de una fuente externa al objeto y la que el propio objeto emite, que es la que emiten todos los cuerpos que tienen una temperatura mayor al cero absoluto; Ley de Stefan-Boltzmann (Hernández, 2011). Para entender mejor la radiación solar, y en particular su temperatura, se utiliza el concepto de radiación de cuerpo negro, introducido por Gustav Kirchhoff. Un cuerpo negro es un concepto que hace referencia a un objeto que absorbe y emite de la misma forma, es decir que absorbe toda la energía que recibe, y posteriormente la emite, por lo que la emisión y absorción están en balance (Ley de Kirchhoff) y mantiene una temperatura constante (Salmerón García, 2012), por lo que al sol se le considera un cuerpo negro, por su comportamiento. Para medir la radiación en términos de la temperatura de un cuerpo negro, se debe obtener la temperatura de brillo, que es la temperatura aparente de una superficie, tomando en cuenta su máximo de emisividad de 1.

Tomando en cuenta que la temperatura de brillo no corresponde a la temperatura de la superficie terrestre o marina, ya que ha sido modificada por la atmósfera (Salmerón García, 2012).

De forma general se puede decir que la radiación al viajar por el espacio y atmósfera sufre algunas alteraciones e impacta sobre la superficie terrestre, una parte de esta radiación es absorbida y calienta la superficie, otra es reflejada y permite ser observada o captada por el sensor. La porción de radiación reflejada es distinta de acuerdo a las propiedades físicas de la superficie, lo cual nos permite diferenciar ciertas características de los objetos, por ejemplo la vegetación, que tiene un comportamiento específico, ya que su firma espectral presenta una baja reflexión (absorción) en el canal rojo visible que es la energía que transforma por medio de la fotosíntesis en energía (Hernández, 2011). Más adelante se describe a detalle cada uno de estos aspectos.

### **3.6 Radiación Electromagnética**

En el área de la percepción remota se trabaja con la radiación electromagnética, que se desplaza a través de un medio o un vacío, esta se desplaza por medio de ondas, que son perturbaciones generadas por la vibración de las partículas con una temperatura sobre el cero absoluto (Figura 12). En este caso se trabaja con la radiación electromagnética, la cual está formada por dos vectores, el eléctrico y el magnético, perpendiculares entre sí (Hernández,

2011). Las características de este flujo energético puede describirse por dos elementos: la longitud de onda ( $\lambda$ ) y la frecuencia ( $\nu$ ). La primera es la distancia entre los picos o crestas sucesivas de una onda, y la frecuencia, es el número de crestas que pasan por un mismo punto en una unidad de tiempo, ambos elementos están inversamente relacionados: (Lillesand y Kiefer, 1994; Schowengerdt, 1997; Chuvieco, 2002).

$$c = \lambda \nu$$

Dónde:

$c$  = la velocidad de la luz ( $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ )

$\lambda$  = es la longitud de onda (normalmente en micrómetros)

$\nu$  = es la frecuencia (en Hertz, 1 Hz = 1 ciclo por segundo)

Lo que quiere decir que  $c$  es la velocidad de propagación de la luz (una constante), y que a mayor longitud de onda, menor será la frecuencia y viceversa.

Para calcular la cantidad de energía transportada por un fotón, se puede utilizar la siguiente fórmula, mientras se conozca la frecuencia:

$$Q = h \nu$$

Dónde:

$Q$  = es la energía radiante de un fotón en joules (J)

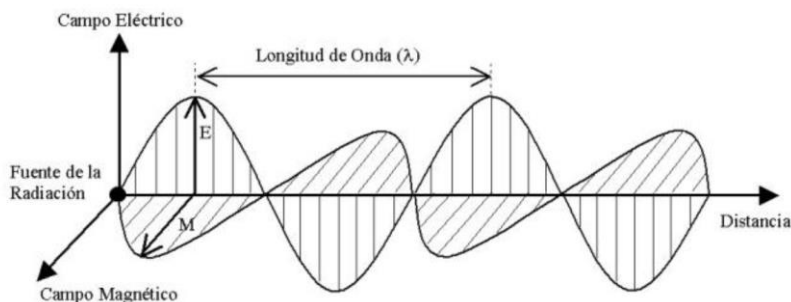
$h$  = la constante de Planck ( $6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{segundo}$ )

$\nu$  = frecuencia

Sustituyendo en la primera podemos expresar:

$$Q = h(c/\lambda)$$

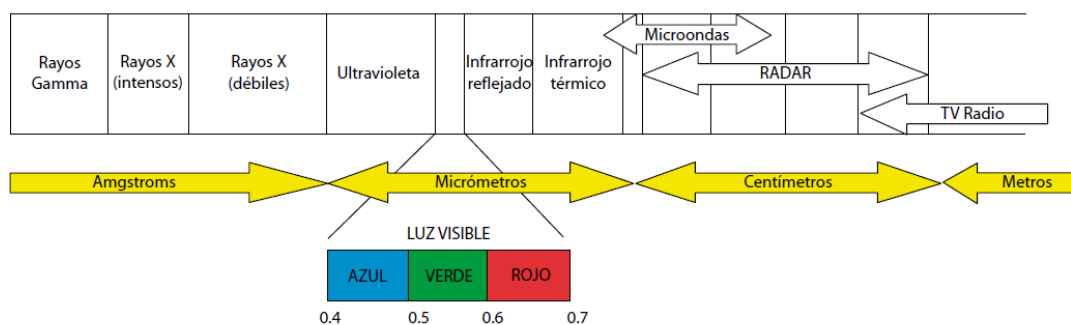
Lo que significa que a mayor longitud de onda o menor frecuencia, la energía radiante será menor o viceversa. Esto quiere decir que la radiación en longitudes de onda largas es más difícil de detectar que aquella proveniente de longitudes cortas, por eso es que las primeras requieren de medios de detección más refinados (Lillesand y Kiefer, 1994; Chuvieco, 2002).



**Figura 12.** Onda electromagnética.

Nota: Vector eléctrico (**E**) y magnético (**M**), la longitud de onda (**λ**) es la distancia entre dos crestas consecutivas. Fuente: Hernández, 2011.

Existen diferentes longitudes de onda de la energía electromagnética y su interacción con la superficie es distinta, así como los medios con los que son detectadas, por ejemplo las longitudes de onda más pequeñas corresponden a los rayos Gamma, y las longitudes más grandes son las de radio. A pesar de que los valores de longitud de onda son continuos, se establecen conjuntos o bandas en donde la radiación electromagnética manifiesta un comportamiento similar. La longitud de onda generalmente esta medida en micras. La organización de estas bandas se denomina espectro electromagnético, se muestra en la Figura 13, el cual comprende desde las longitudes más cortas, hasta las más largas, nos permite identificar el tipo y longitud de onda de la energía (Aguirre Gómez, 2009).



**Figura 13.** Espectro electromagnético.

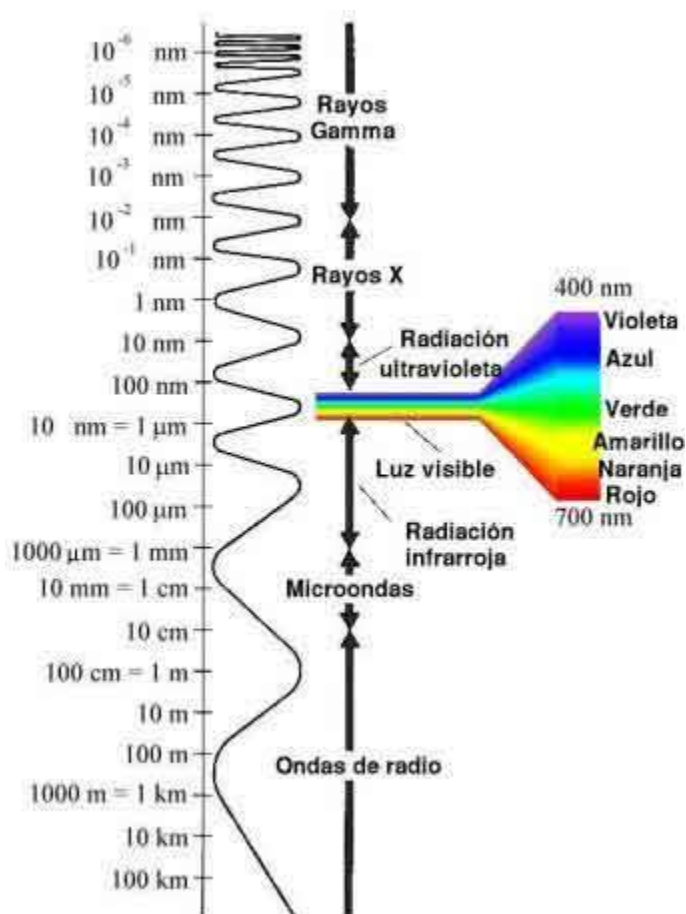
Fuente: Aguirre Gómez, 2009.

Dentro del conjunto de las longitudes de los micrómetros se encuentra la luz visible, en esta, dependiendo de su longitud, se pueden diferenciar los colores primarios, el azul, verde,

amarillo, naranja y rojo, y la combinación de todas estas, en idénticas proporciones, el color blanco. Estas longitudes de onda son las que capta el ojo humano, lo cual permite distinguir información de nuestro entorno. También dentro de los micrómetros se encuentra la radiación infrarroja, que son las ondas con las que se pueden obtener información sobre las propiedades térmicas de las superficies.

Otra longitud de onda utilizada dentro del campo de la percepción remota es la de RADAR, que son ondas con mayor longitud de onda capaces de penetrar partículas de agua como nubes y lluvia.

En la Figura 14 se muestra a detalle las características del espectro electromagnético.



**Figura 14.** Regiones del espectro electromagnético.

Fuente: [https://astrojem.com/imagenes\\_voltaire/ondasemlongitudes.jpg](https://astrojem.com/imagenes_voltaire/ondasemlongitudes.jpg).

### 3.7 La Atmósfera

Como se ha mencionado anteriormente la atmósfera tiene algunas características que permiten o no el paso de ciertas longitudes de onda. Cuando la energía electromagnética entra en contacto con la atmósfera terrestre, sufre algunas alteraciones debido a los gases (nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua, ozono, etc.) y aerosoles atmosféricos pueden alterar su dirección e intensidad de la radiación, la longitud y frecuencia de la onda, así como la distribución espectral de la energía radiante (Aguirre Gómez, 2009; Hernández, 2011). A la capacidad de la atmósfera de permitir el paso de la radiación electromagnética se le conoce como *transmisibilidad*, y esta varía con la longitud de onda de la radiación, ya que los gases de la atmósfera absorben o permiten el paso de la energía dependiendo de la longitud de onda (Aguirre Gómez, 2009).

La energía incidente al viajar a través de la atmósfera sufre algunas alteraciones y llega disminuida a la superficie terrestre. Las áreas de la atmósfera, en donde la radiación es absorbida por los gases atmosféricos se les conoce como "*bandas de absorción*", sin embargo existen regiones en donde la radiación electromagnética pasa sin sufrir cambios significativos, por lo que no tiene mucha interacción con los gases y partículas atmosféricas, a estas regiones se les llama "*ventanas atmosféricas*" (Hernández, 2011; Aguirre Gómez, 2009), podemos encontrar estas ventanas, en la región del visible y en la región infrarroja (Aguirre, 2009), se pueden observar de forma general en la Figura 15.

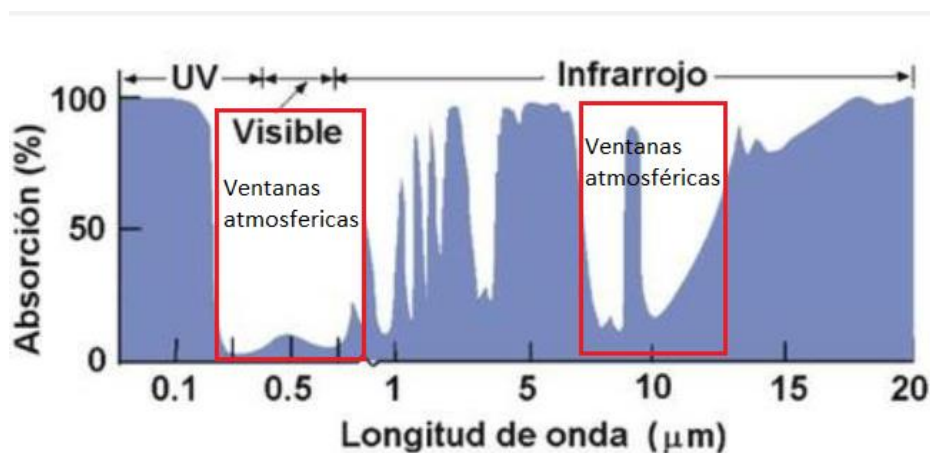


Figura 15. Ventanas atmosféricas. Fuente: <http://meteolab.fis.ucm.es/clima/efecto-invernadero>



Los procesos que generan las alteraciones sobre la energía que entra en contacto con la atmósfera, son *la dispersión, la absorción y la refracción*, dependiendo de su longitud de onda (Hernández, 2011), a continuación se describen cada uno de estos procesos.

Existe una ventana atmosférica en la región de radiación visible, dispersa los colores en intensidad diferente, mayormente en el azul que el resto de las bandas espectrales, por lo que vemos el azul de los cielos. Esto se debe a que son las longitudes de onda más pequeñas y son reflejadas por partículas con diámetros menores a las longitudes de onda involucrados como el nitrógeno, oxígeno y dióxido de carbono (<0.5 micrómetros), a este proceso se le llama *dispersión de Rayleigh* (Hernández, 2011), y la *dispersión de Mie*, es cuando las partículas tienen un tamaño similar a la longitud de onda, lo cual afecta la calidad de las imágenes, como es el efecto de la neblina (Hernández, 2011).

Otro efecto que se puede observar es la dispersión no selectiva, que afecta todas las longitudes de onda de igual manera y la provoca principalmente partículas de polvo, niebla, o nubes con partículas cuyo diámetro son mayores a las longitudes de onda incidente (Hernández, 2011).

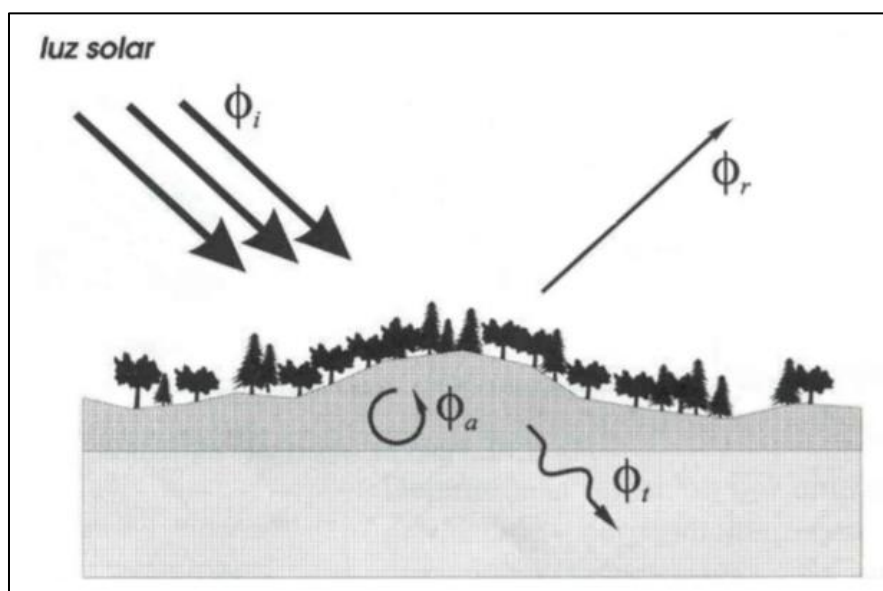
El proceso de absorción es cuando una parte de la energía incidente sobre la partícula se almacena o es retenida por esta y es transformada en calor, que posteriormente es re-emitida en longitudes mayores, en este proceso se identifican principalmente tres gases con la capacidad de absorción de radiación solar: vapor de agua, ozono y dióxido de carbono (Hernández, 2011).

El área del infrarrojo presenta diferentes regiones de interacción, son regiones intermitentes que van desde 0.7 a 2.5; de 3.5 a 4.2; y de 9 a 13 micras (Aguirre Gómez, 2009). Estas características espectrales son importantes, ya que son elementos que se deben tomar en cuenta en el análisis de percepción remota, en cómo alteran el paso de la energía electromagnética y la forma en la que llega e incide sobre la superficie terrestre.

### **3.8 Firmas Espectrales**

Anteriormente se mencionaron los procesos por los que pasa la energía electromagnética, al pasar por la diferente composición de gases de la atmósfera, posteriormente la energía que logró continuar, incide sobre la superficie terrestre y

nuevamente se generan una serie de procesos de acuerdo a los elementos presentes de la superficie.



**Figura 16.** Transformación de la energía incidente.  
Fuente: Sobrino *et al*, 2000.

Podemos ver en la Figura 16, que el flujo de energía incidente puede descomponerse en tres: flujo reflejado ( $\phi_r$ ), flujo absorbido ( $\phi_a$ ), y flujo transmitido ( $\phi_t$ ):

$$\phi_i = \phi_r + \phi_a + \phi_t$$

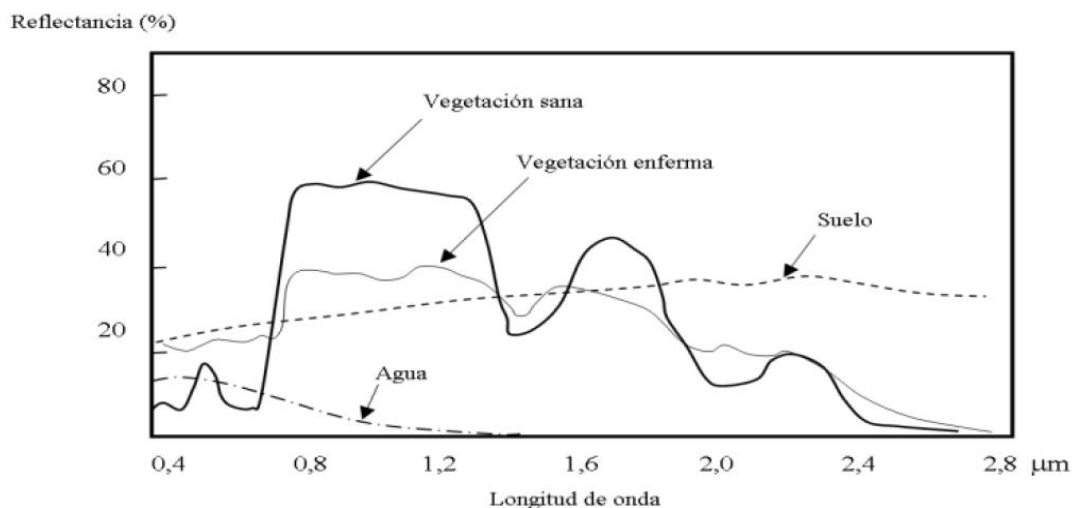
Por lo tanto la suma de la reflectancia ( $\phi_r$ ), absorbancia ( $\phi_a$ ) y transmitancia ( $\phi_t$ ) debe ser igual a la radiación incidente. Por lo general, la fórmula se expresa en unidades relativas, por lo que se divide cada término de la expresión anterior entre la energía incidente:

$$\frac{\phi_i}{\phi_i} = \frac{\phi_r}{\phi_i} + \frac{\phi_a}{\phi_i} + \frac{\phi_t}{\phi_i}$$

$$\phi_i = \phi_i + \phi_i + \phi_i$$

Los diferentes elementos de la superficie terrestre presentan una reflectancia, absorbancia y transmitancia distinta y en diferente proporción, lo cual es llamado respuesta espectral y nos permite identificar elementos particulares, por medio de los sensores remotos. Esta información puede representarse de forma gráfica, los datos de reflectancia (%) en el eje Y, y la longitud de onda en el eje X, lo que muestra una línea continua o curva de reflectancia de los elementos, a lo cual se le conoce como firma espectral (Figura 17).

En general los principales objetos que se pueden identificar fácilmente por sus particulares firmas espectrales son la vegetación, el suelo y los cuerpos de agua, pues su comportamiento espectral es muy particular.



**Figura 17.** Firmas espectrales.  
Fuente: Hernández, J., y Montaner, D., (2009).

Una de las firmas espectrales más particulares es la de la vegetación, por su actividad fotosintética que absorbe o refleja energía. Debido a la actividad de los pigmentos fotosintéticos, absorbe gran cantidad de energía electromagnética de longitudes de onda entre 0,4 – 0,5  $\mu\text{m}$  (azul) y entre 0,6 – 0,7  $\mu\text{m}$  (roja), y refleja una gran cantidad de energía en la banda verde (0,5 – 0,6  $\mu\text{m}$ ), por lo que el ojo humano percibe el color verde de las hojas de la vegetación.

### 3.9 Temperatura Superficial Del Mar (TSM)

La temperatura superficial del mar (TSM) es un parámetro medible a través de sensores remotos. Con base en su temperatura y considerando su comportamiento como cuerpo negro, el agua marina, emite radiación en el infrarrojo térmico, entre las 10-12  $\mu\text{m}$ . En cuanto a su superficie, el agua salada, refleja principalmente en una parte en el visible, principalmente en la banda azul (0,4  $\mu\text{m}$ ) y en la banda verde (0,5  $\mu\text{m}$ ), y emite en el infrarrojo térmico alrededor de las 10  $\mu\text{m}$ , además absorbe casi el 100% desde el infrarrojo cercano 0,8  $\mu\text{m}$ , hasta el infrarrojo térmico 10  $\mu\text{m}$  (Salmerón García, 2012), lo que permite detectar el calor que procede de la superficie, pues la radiancia espectral que recibe el sensor no es el resultado de la reflexión de

la energía solar sobre la superficie, sino de la propia emitancia de esta en función de su temperatura (Chuvienco, 1996).

Si bien mediante los sensores infrarrojos se puede medir la temperatura del océano, se deben tomar en cuenta otras cuestiones, como la atmósfera, presencia de nubes y aerosoles, entre otros. Para calcular la TSM, depende de las características de los sensores, en el caso de MODIS Aqua, se utilizan la diferencia entre la temperatura de brillo en longitudes de onda de 11 y 12  $\mu\text{m}$ , de infrarrojo térmico (Cerdeira-Estrada y López-Saldaña, 2011; Castro, 2017).

Actualmente tanto la TSM, así como la [Clo\_a] son procesados y distribuidos por la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA, por sus siglas en inglés), utilizando el Grupo de Procesamiento de Biología del Océano (OBPG) (Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio [NASA, por sus siglas en inglés], <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>). En particular el algoritmo de TSM, así como su lógica, evaluación de calidad es responsabilidad de la Escuela Rosenstiel de Ciencias Marinas y Atmosféricas (RSMAS) de la Universidad de Miami (NASA, <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>).

Se reconocen dos diferentes productos, la TSM, que se utiliza para estimar la temperatura diurna (TSM); y la Temperatura Superficial del Mar Nocturna TSMN; Anexo 1. Estos dos productos: TSM para la pesca de sardina, por ser una pesca que se lleva a cabo durante el día, y la TSMN se asoció a la pesca del camarón, que se lleva a cabo principalmente de noche.

La temperatura es una variable que está relacionada con la productividad, en particular en el GC permite identificar fenómenos oceánicos como las surgencias, que son afloramientos de agua fría y rica en nutrientes que se desplaza del fondo a la superficie (Libes, 1992; Wilkinson *et al.*, 2009), lo cual se relaciona con regiones biológicamente productivas, además de ser una variable que regula poblaciones.

### **3.10 Concentración de Clorofila\_a [Clo\_a]**

La clorofila\_a es un pigmento fotosintético presente en todos los tipos de vegetación, en particular en el fitoplancton (Salmerón García, 2012), que son microorganismos vegetales que realizan fotosíntesis.

Identificar la [Clo\_a] en la superficie del mar es un buen indicador de la actividad biológica, de la actividad fotosintética del grupo base en la cadena alimenticia, en este caso el fitoplancton.

La NASA, brinda información de diferentes sensores remotos, en este caso uno de sus productos, del sensor MODIS Aqua es la [Clo\_a]. La clorofila se puede estimar por medio de sensores remotos, ya que es el resultado de la actividad fotosintética que se lleva a cabo en la superficie del mar, absorbe energía electromagnética de longitudes de onda entre 0,4 – 0,5  $\mu\text{m}$  (azul) y entre 0,6 – 0,7  $\mu\text{m}$  (roja), y refleja energía en la banda verde (0,5 – 0,6  $\mu\text{m}$ ).

El algoritmo que utiliza la NASA para obtener la [Clo\_a] en  $\text{mg}/\text{m}^3$ , es una relación derivada de mediciones *in situ* de Clorofila\_a y reflectancias de detección remota ( $R_{rs}$ ) en la región de azul y verde del espectro visible, las bandas dependen del sensor utilizado, todos los sensores de color oceánico cumplen con las características para que sea aplicado el algoritmo.

La NASA brinda información de imágenes satelitales con diferente nivel de análisis de datos.

Para el cálculo de la [Clo\_a] en  $\text{mg}/\text{m}^3$ , para imágenes MODIS, se utiliza el siguiente algoritmo de O'Reilly *et al.* (2000), en donde se utiliza la reflectancia de 443, 490 y 555 nm, (Cerdeira-Estrada y López-Saldaña, 2011; Castro, 2017):

$$\log(\text{CHLO}_a) = 0.2830 - 2.753 R_{3M} + 1.457 R_{3M}^2 + 0.659 R_{3M}^3 - 1.403 R_{3M}^4$$

$$R_{3M} = \log_{10} \left[ \frac{\max(R_{rs}(443), R_{rs}(490))}{R_{rs}(555)} \right]$$

### 3.11 Especificaciones del sensor MODIS

Este sensor MODIS se encuentra en los satélites Terra o EOS-AM que fue lanzado en 1999 y el Aqua o EOS-PM lanzado en 2002 (NASA, <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>). La órbita de ambas plataformas es helio sincrónica y cuasi-polar con una inclinación de 98.3° y 98° y una altitud media de 708 y 705 km respectivamente, es propiedad de la NASA, (NASA, MODIS WEB, 2008).

Las imágenes de este sensor tienen una resolución radiométrica de 12 bit, una resolución espectral de 36 bandas, las cuales van desde el espectro visible hasta el infrarrojo térmico (0.4

$\mu\text{m}$ -14.4  $\mu\text{m}$ ) y una resolución espacial de 1 km (8-36 bandas), de 500 m (3-7 bandas), y 250 m (para 1-2 bandas). La resolución temporal de uno a dos días, ya que tiene una franja de visión de 2,330 km cubriendo la superficie de la tierra cada uno a dos días. En la tabla 9, se muestran las características generales de las bandas de MODIS.

**Tabla 9.** Características de las bandas espectrales de MODIS.

<b>Uso principal</b>	<b>Banda</b>	<b>Ancho de banda</b>
<b>Límites de Tierra/Nubes/ aerosoles</b>	1	620-670
	2	841-876
<b>Propiedades de Tierra/Nubes/aerosoles</b>	3	459-479
	4	545-565
	5	1230-1250
	6	1628-1652
	7	2105-2155
<b>Color del océano/fitoplancton/biogeoquímica</b>	8	405-420
	9	438-448
	10	483-493
	11	526-536
	12	546-556
	13	662-672
	14	673-683
	15	743-753
	16	862-877
<b>Vapor de agua atmosférico</b>	17	890-920
	18	931-941
	19	915-965
<b>Temperatura de la superficie/nubes</b>	20	3.660-3.840
<b>Temperatura atmosférica</b>	21	3.929-3.989
	22	3.929-3.989
	23	4.020-4.080
	24	4.433-4.498
<b>Vapor de agua de nubes Cirrus</b>	25	4.482-4.549
	26	1.360-1.390
<b>Propiedades de las nubes</b>	27	6.535-6.895
	28	7.175-7.475
	29	8.400-8.700
<b>Ozono</b>	30	9.580-9.880
<b>Temperatura de la superficie/nubes</b>	31	10.780-11.280
	32	11.770-12.270
<b>Altitud de las nubes</b>	33	13.185-13.485
	34	13.485-13.785
	35	13.785-14.085
	36	14.085-14.385

Nota: Bandas de la 1 a la 19 están en nm; Bandas de la 20 a la 36 en  $\mu\text{m}$ .

Fuente: Modificado de García-Mora y Mas, 2011.

### **3.12 La Percepción Remota en la Actividad Pesquera**

La percepción remota tiene múltiples aplicaciones en la parte ambiental, en el presente trabajo se utiliza para analizar la producción pesquera de la sardina y el camarón en el Golfo de California. Mediante la percepción remota se pueden obtener datos sobre las características de la superficie marina, lo que es de gran ayuda, ya que son grandes extensiones que son difíciles de cubrir con trabajo de campo y sensores que cubran el área de estudio, sumando a esto que deben ser datos históricos para observar cambios significativos.

Las variables que se analizan ([Clo\_a], TSM y TSMN), son datos que se obtienen de sensores meteorológicos, en este caso de MODIS.

A continuación, se describen los antecedentes a esta investigación, del sensor utilizado, así como sus aplicaciones generales y particulares en el tema de TSM y [Clo\_a] a escala global y regional.

### **3.13 Aplicaciones de Imágenes MODIS**

Existen diferentes sensores que captan imágenes de la superficie de la tierra, pero, solo algunos de estos son diseñados para el estudio de la superficie marina, ya que sus características espectrales son distintas a la de la superficie terrestre.

Las principales aplicaciones del sensor MODIS, son para servicios meteorológicos y monitoreo del medio ambiente.

Se han aplicado en detección y monitoreo de incendios en diferentes partes de México (Hinkley, Quayle y Schwind B, 2011; Manzo-Delgado y López García, 2013; Vega-Nieva *et al.*, 2018). También es útil para el análisis de cobertura terrestre (Couturier, 2011; García-Mora, y Mas, 2011). Para el monitoreo del clima, se han complementado los datos de estaciones terrestres con datos satelitales (Rosales-Arriaga y Tapia-Silva, 2011).

En particular, el sensor MODIS ha sido ampliamente utilizado para aplicaciones oceanográficas (Lanz *et al.*, 2009; Escalante-Almazán, 2013; Robinson *et al.*, 2013; Hsu *et al.*, 2016; Waga *et al.*, 2017). En México ha tenido una importante aplicación en el monitoreo oceanográfico (Cerdeira-Estrada y Lopez-Saldaña, 2011) como el Sistema Satelital de Monitoreo Oceánico (SATMO) desarrollado en la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), en donde se monitorea a partir de imágenes MODIS variables como:



TSM, [Clo\_a], coeficiente de atenuación difusa, concentración de material suspendido, fluorescencia de la clorofila, entre otros. Esta información es de mucha importancia para su análisis espacio-temporal y adecuado manejo de los ecosistemas marinos y costeros de México.

### **3.14 Estudios a Escala Global**

Existen diversos estudios sobre la relación entre aspectos oceanográficos y las variaciones en la productividad pesquera, en especial estudios relacionados al grupo de los pelágicos menores por sus hábitos alimenticios y distribución en la columna de agua, McCarthy *et al.*, (2002) dice que las variaciones naturales en los stocks de peces son causadas por un complejo grupo de interacciones físicas, químicas y procesos biológicos en el mar.

El uso de datos satelitales tiene ventajas en cuanto a su cobertura espacial y temporal, lo cual es una gran ventaja para estudiar los océanos y mares por sus características y dimensiones, permitiendo estudiar a nivel global características de la superficie del mar como: [Clo\_a] y TSM. Características que permiten estudiar la producción autotrófica y la identificación de regiones oceánicas con características ecofisiológicas comunes, permitiendo delimitar y caracterizar regiones oceánicas y costeras para su gestión (Salmerón García, 2012).

Algunos de los sensores más utilizados han sido Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS), Coastal Zone Color Scanner (CZCS) y Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) operados por la NASA y Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) operado por la NOAA. Este tipo de satélites están diseñados para recibir la radiación electromagnética desde la superficie del mar (señal IR) y la señal visible del color del océano (Fiedler *et al.*, 1984).

Existen diversos estudios que han corroborado una relación entre las características ambientales y los recursos pesqueros, a continuación, se mencionan algunos ejemplos en diferentes partes del mundo.

En el mar Árabe, Solanki *et al.* (2015) analizan mediante Componentes Principales (PCA), la [Clo\_a], TSM, y relacionan con tres recursos pesqueros marinos (calamar, caballa y bagre) en un periodo de 1998-2004, encontraron alta correlación entre las variables oceánicas.

La caballa y bagre se encuentran en sitios de alta [Clo\_a] y baja temperatura, y el calamar en sitios con baja [Clo\_a], además que las regiones someras son ricas en nutrientes y por lo tanto son áreas para la explotación de recursos pesqueros.

En el océano Índico y Pacífico, Waga *et al.* (2017) evaluaron las diferencias en la velocidad y dirección de cambios entre el tamaño de fitoplancton y la temperatura superficial del mar, en un periodo de 2000-2015.

Siswanto & Tanaka, (2014) con imágenes SeaWiFS (1997-2010) evaluaron la dinámica de biomasa de fitoplancton en el estrecho de Malaca, identificando que las regiones presentan distinto comportamiento en cuanto a la concentración de clorofila por causas, como: el viento, escurrimiento fluvial y con el Niño-Oscilación del Sur (ENOS).

### **3.15 Estudios a Escala Nacional**

En el ámbito nacional existen diversos estudios en donde se evalúa la relación de características ambientales como la TSM y [Clo\_a] de la superficie del mar relacionados con la distribución de especies, y producción pesquera, en especial la de la sardina, que ha sido una de las especies que mayor correlación presenta con estas variables ambientales (Nevárez-Martínez *et al.*, 2001; Lanz *et al.*, 2009; Vallarta-Zarate, 2012; Páez-Barrera, 2002).

Lluch-Cota *et al.* (2010) realizaron un estudio del cambio climático en el Golfo de California, en relación con la producción pesquera de sardina y camarón, encontrando que la temperatura a largo plazo muestra un calentamiento a mediados del siglo 20 y que corresponde con las fluctuaciones en estas pesquerías.

Otro trabajo en el Golfo de California es el de Nevárez-Martínez *et al.* (2001) quienes evaluaron la distribución y abundancia de la sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*) y su relación con el ambiente mediante datos de cruceros, encontrando que sí es un factor causal importante, aunque la falta de datos ambientales limitó el análisis, mientras que Páez-Barrera (2002) evalúa la variabilidad térmica y sus efectos en la distribución de la sardina Monterrey, especie que tiene un amplio intervalo de tolerancia para la temperatura, determinando que su distribución está determinada por factores como la disponibilidad de alimento, temperatura y vientos.

Lanz *et al.* (2009) evaluaron la asociación de la pesca de pelágicos menores con relación a la TSM y la [Clo\_a] mediante imágenes MODIS, encontrando que la relación depende de las

especies que conforman el grupo de los pelágicos, con una  $r^2$  de 0.94 para la [Clo\_a] con la sardina del Pacífico y con el gradiente de TSM una  $r^2$  de 0.70, lo que indica una buena relación entre las variables.

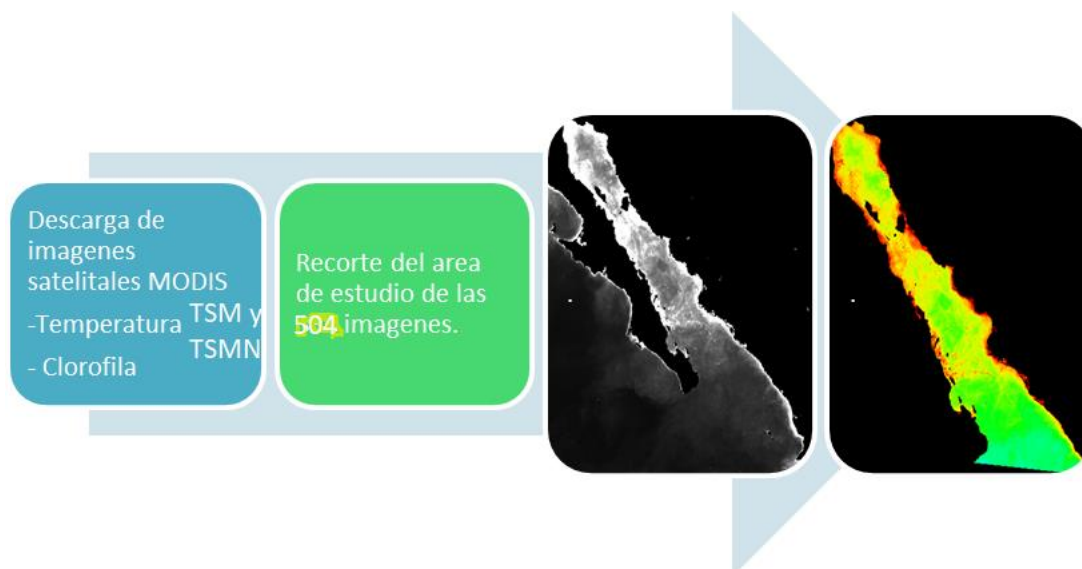
Otro trabajo considerado en esta investigación es el de Salmerón García (2012) que evalúa la TSM y [Clo\_a] con relación a la producción pesquera en el Golfo de México y Mar Caribe, mediante imágenes satelitales, en donde evalúa las condiciones ambientales, y trabaja con dos recursos pesqueros económicamente importantes para el área de estudio, el camarón y el pez Sierra.

## CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA

### 4.1 Imágenes de Satélite

La información de la TSM, TSMN y [Clo\_a] es derivada de imágenes del sensor MODIS, del año 2005-2018 con una resolución espacial de 1 km, y del 2014-2018 con una resolución de 4 km. La resolución temporal de un mes (promedio mensual), con un nivel 3 de procesamiento, lo que quiere decir que son imágenes basadas en compuestos mensuales, proyectados y con paleta de color específica. Estas imágenes en México se obtienen de la estación terrena de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), y se descargaron a través del Portal de Geoinformación (CONABIO, (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>)). De este portal se obtuvieron las imágenes con 1 km de resolución, y las de 4 km, se descargaron directamente del portal de la NASA.

Para el análisis de las imágenes satelitales, se utilizó el software SeaDAS de la NASA y QGIS por ser software especializados en el análisis de las variables que se estudiaron en el presente trabajo de investigación, así como por su accesibilidad y por ser software libre.



**Figura 18.** Descarga y recorte de imágenes.  
Fuente: Elaboración propia.

Se trabajó con 168 imágenes por variable (TSM, TSMN y [Clo\_a]) correspondientes a 12 meses por 14 años, con un total de 504 imágenes (Figura 18).

Se utilizaron imágenes de TSM y TSMN, de acuerdo a las características de cada pesquería. Para la Sardina se utilizó la TSM, ya que se desarrolla principalmente de día y, al estar equipadas las embarcaciones mayores, ya no es necesario pescar de noche. Para evaluar la pesca de camarón se utilizó el producto TSMN, ya que las embarcaciones menores pescan principalmente de noche debido a los hábitos de la especie, es una pesquería que se rige más por cuestiones naturales, toma en cuenta los periodos de bajamar y efecto lunar.

#### **4.2 Datos Captura Sardina y Camarón**

Las estadísticas de captura de la sardina y camarón fueron obtenidas de los anuarios estadísticos de pesca por parte de CONAPESCA, en un periodo de 2005 al 2018. Se utilizó el dato de peso vivo, únicamente de los sitios de desembarque dentro del GC. En el caso de la sardina son datos de embarcaciones mayores, y los de camarón, de embarcaciones menores, esto con la finalidad de analizar datos más cercanos a la costa y de esta manera ver cómo se comporta una especie demersal; camarón y otra pelágica; sardina.

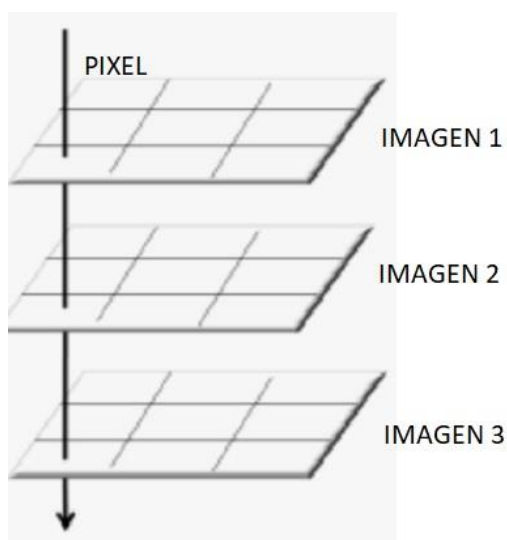
Estos datos se trabajaron para su análisis estadístico y se correlacionaron con los datos de [Clo\_a], TSM y TSMN.

##### **a. IMAGENES**

#### **4.1 Análisis General del Golfo de California, Temperatura Superficial del Mar y Concentración de Clorofila\_a**

Para el análisis general de las imágenes, solo se tomó TSM y [Clo\_a], porque la TSMN no mostró una diferencia significativa con la TSM, y porque se utilizó únicamente por las condiciones de pesca del camarón, que se realizan mayormente de noche.

Con la finalidad de contar con un panorama general de las condiciones del GC, y poder analizar de forma visual las condiciones mensuales de TSM y [Clo\_a], de todo el periodo de análisis, se calculó el promedio mensual del periodo de estudio, sumando todos los meses de enero, dividido en el número total de imágenes, para cada uno de los meses. Estas imágenes se procesaron por separado, de acuerdo a su resolución espacial (1km y 4km), para no generar error al mezclar los datos de diferente resolución, ya que el tamaño del pixel es distinto, y el análisis se realiza de pixel a pixel, como se muestra en la Figura 19:



**Figura 19.** Operación pixel a pixel.  
Fuente: Tomado y modificado de Jaime *et al.*, 2011.

Se calculó el promedio mensual de [Clo\_a] y TSMN, por periodo de estudio, 2005-2013 y 2014-2018, de cada mes, a continuación se muestra el ejemplo del mes de enero para el periodo 2005-2013:

$$(ENERO\_PROMEDIO) = \frac{enero2005+enero2006+enero2007+\dots+enero2013}{9}$$

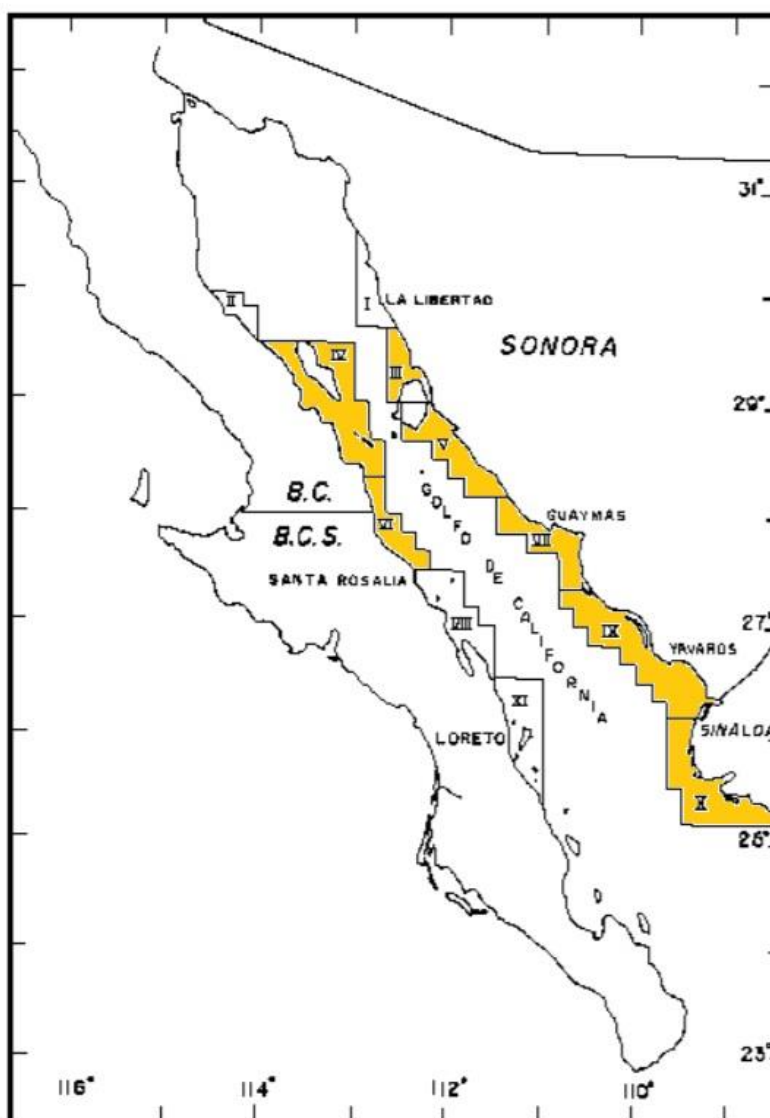
De esta forma se promedió cada mes del periodo, y posteriormente el periodo 2014-2018, de la misma forma.

Al estudiar dos especies diferentes, se delimitaron zonas de acuerdo a las características de cada especie, obteniendo zonas para sardina y zonas para camarón. Posteriormente los datos estadísticos de la pesca de cada especie se relacionan con los datos de [Clo\_a], TSM y TSMN, según corresponda. Las zonas de pesca se definieron de acuerdo a varios criterios, que más adelante se describen, los cuales incluyen tanto características biológicas de las especies, así como características de las embarcaciones y puntos de desembarque.

## b. ZONAS DE PESCA

### 4.1 Zonas de Pesca de Sardina

Con la finalidad de determinar la región espacial de los datos estadísticos, se tomaron en cuenta áreas establecidas para la actividad pesquera, previamente definidas por el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INAPESCA) y el Centro Regional de Investigación Pesquera-Guaymas (CRIP) (Figura 20). De las zonas correspondientes a la actividad pesquera y con el objetivo de delimitar el área de captura.



**Figura 20.** Áreas de pesca de sardina en el Golfo de California.

Fuente: Tomado y modificado de INAPESCA y CRIP.

Tomando en cuenta las regiones de pesca ya establecidas (Figura 20), también se consideraron los siguientes criterios para definir las regiones finales y extraer los datos de las imágenes satelitales:

1. Que las zonas propuestas cuenten con registro de INAPESCA:

De acuerdo a los registros de INAPESCA, las principales áreas de captura son la IV, X, V, VII, III y VI, dada su importancia. Se observa que se trata principalmente de la franja frente a la costa de Sonora y Sinaloa, así como la región de las grandes islas, corroborando esto, con los expertos en el tema, con el Dr. Cisneros y Dr. Tissot (consultados en trabajo de campo, 2019).

2. Que no esté dentro de Áreas Naturales Protegidas Marinas.

3. Que excluya una franja perimetral a la línea de costa de 2.5 km:

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana 003-PESC-1993, una franja perimetral a la línea de costa de 2.5 km es zona restringida a los barcos pesqueros de sardina, considerando el enfoque precautorio y tomando en cuenta la importancia ecológica de los sistemas lagunarios-estuarinos, desembocaduras de ríos y la franja marina costera, para los procesos de reproducción y crecimiento de las especies marinas en regiones cercanas a las 28 bocas del litoral del Océano Pacífico.

Una vez definidas las áreas y al no contar con la información de los sitios puntuales de captura, se generaron 2 500 puntos aleatorios dentro de las áreas de pesca antes mencionadas, que corresponde al número promedio de registros de pesca al año y con la finalidad de hacer una simulación de los sitios de captura.

#### **4.5 Zonas de Pesca de Camarón**

Para las zonas de pesca de camarón, se tomaron criterios de acuerdo con las características de la especie y de las embarcaciones.

Esta pesquería, se divide en dos flotas: la de embarcaciones mayores y embarcaciones menores, en este caso se utilizaron datos de embarcaciones menores, con la finalidad de evaluar una especie costera.

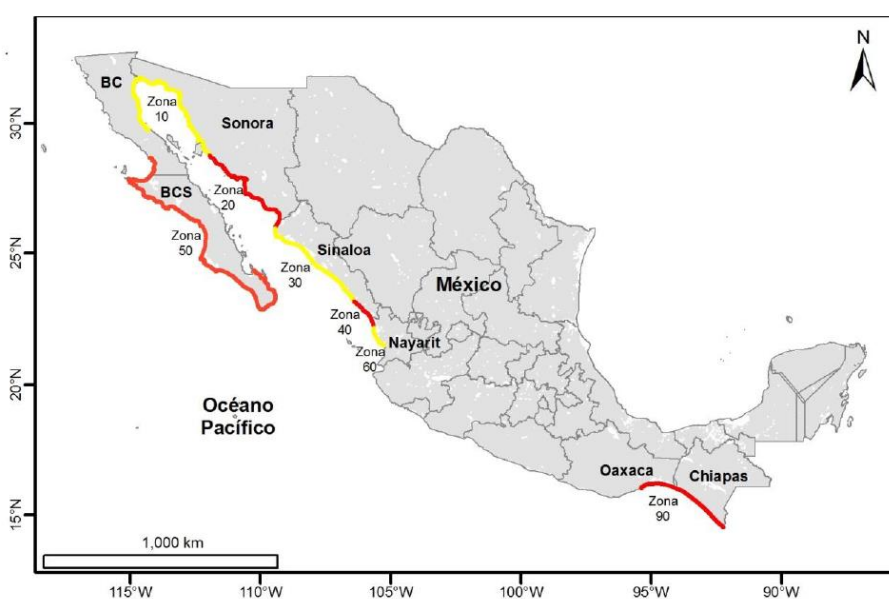
De acuerdo a los registros de CONAPESCA, se registran un total de 410 sitios de desembarque para los cuatro estados (Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa), en particular para el estado de Baja California Sur, la mayoría de los sitios de desembarque se



localizan en el Pacífico Norte, es decir en el lado oeste de la península, (Figura 20), el cual corresponde al plan de manejo de la pesquería del Camarón propuesto por el INAPESCA (2012).

Se observa en el estado de Baja California Sur, que la zona de pesca del camarón en color naranja, es de Cabo San Lucas, hacia la Paz, por lo que se calculó el porcentaje de esta zona, en relación con el área total destinada para BCS, y de igual forma el mismo porcentaje para la producción pesquera camaronera de BCS.

Así mismo se tomó en cuenta la franja costero-marina de BC, Sonora y Sinaloa, definidas en la Figura 21.



**Figura 21.** Zonas de pesca Camarón.

Fuente: Plan de Manejo de la Pesquería de Camarón del Pacífico Mexicano.

Para definir una franja costero-marina se tomó en cuenta que es una pesquería costera, enfocada a lagunas, bahías y estuarios costeros, por lo que se delimitó una franja de una milla náutica a partir de la línea de costa. También se contemplaron las normas de uso de recursos del ANP del Alto Golfo, que permite la pesca de camarón dentro del área de amortiguamiento (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [CONANP], 2012). Por último, de acuerdo a los registros y los sitios de desembarque, se definió una zona para cada estado (BC, Sonora y Sinaloa), a continuación se muestran los criterios tomados para las zonas de camarón:

1. Que existieran sitios de desembarque dentro del GC.
2. Que corresponda a las zonas definidas por INAPESCA.

3. Que este dentro de la franja costero-marina de 1 milla náutica a partir de la línea costera.
4. Que la zona de pesca, esté, dentro de la zona de amortiguamiento del ANP del Alto Golfo, evitando la zona núcleo, delimitada por el Estero La Ramada en BC y el Golfo de Santa Clara en Sonora.

Una vez definiendo las áreas de captura, al igual que para la sardina, al no contar con la información de los sitios puntuales de captura, se generaron puntos aleatorios dentro de las áreas de pesca antes mencionadas, que corresponde al número promedio de registros de pesca al año por zona y con la finalidad de hacer una simulación de los sitios de captura. En este caso se generaron 2 800 puntos.

#### **4.6 Extracción de Datos de Concentración de Clorofila\_a ([Clo\_a]), Temperatura Superficial del Mar (TSM) y Temperatura Superficial del Mar Nocturna (TSMN)**

Tomando en cuenta las áreas de pesca y los puntos de muestreo, se extrajeron los datos de las imágenes de satélite, los cuales se promediaron por área. De esta manera se generó un dato promedio por mes, por área, el cual se relacionó con los datos mensuales de peso vivo por sitio de desembarque (Figura 22).

Con estos datos se realizó un análisis estadístico de correlación, de [Clo\_a], TSM y TSMN, y posteriormente, con los datos de captura, tanto de la sardina como del camarón, esto correspondiente a cada zona de pesca anteriormente mencionada.

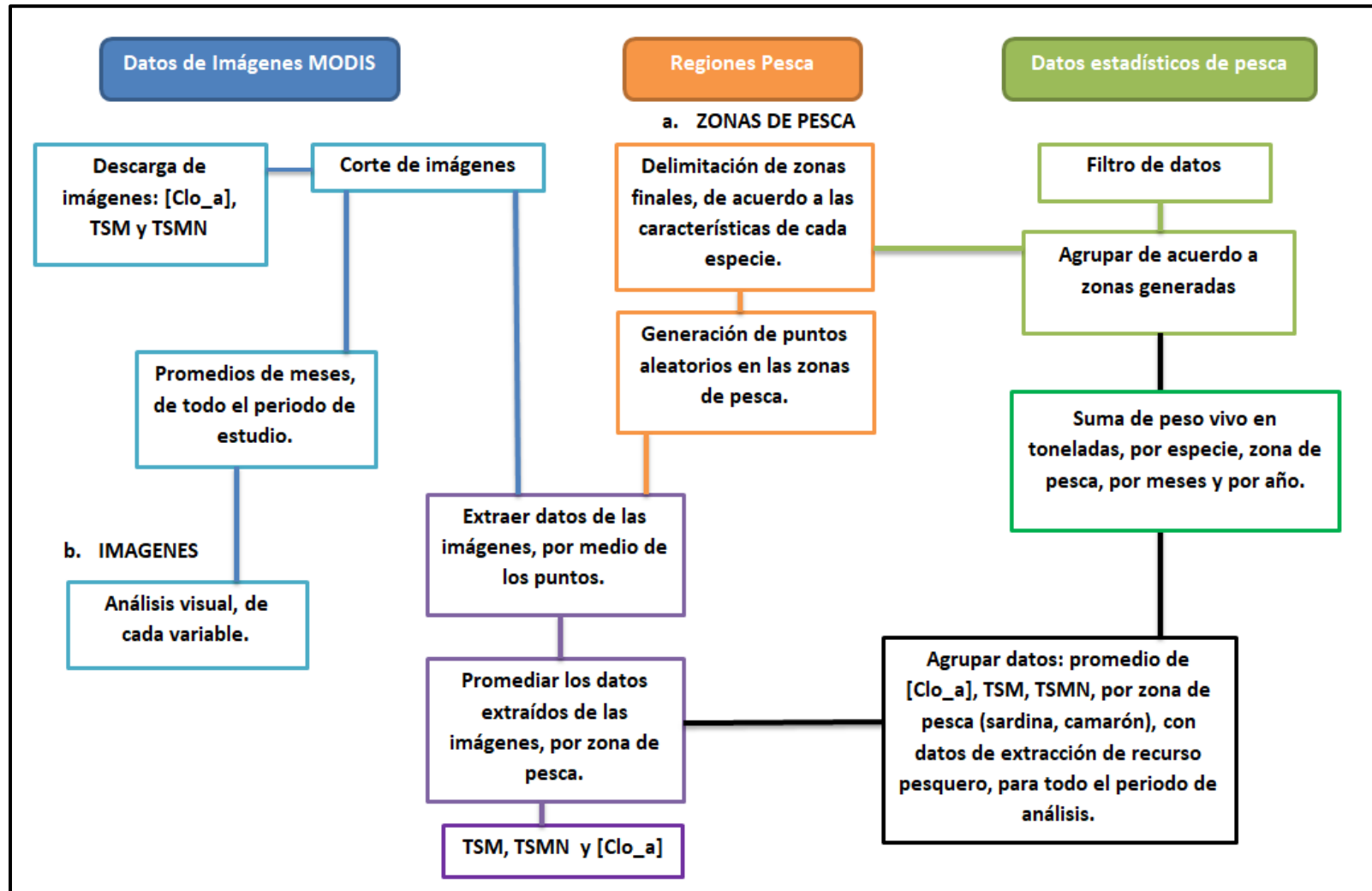


Figura 22. Metodología general. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.7 Análisis De Relación Entre Las Variables

Se realizó un análisis estadístico de las imágenes. Se promediaron las variables de TSM, TSMN y [Clo\_a] por mes, para todo el periodo de estudio (14 años) para obtener las condiciones promedio de un año de las variables TSM y [Clo\_a]. Posteriormente las imágenes se interpretaron visualmente, con la finalidad de contar con un panorama general del GC.

El análisis estadístico de los datos fue únicamente de las zonas de pesca de sardina, y las zonas de camarón, primero de forma general, y posteriormente por zona de pesca.

Como parte del análisis exploratorio de los datos, se graficaron y analizaron características como máximos y mínimos a lo largo del tiempo, se identificó que las variables mostraron cierta estacionalidad climática, es decir que ciertas condiciones se repiten cada año con la misma tendencia.

Posterior al análisis exploratorio, y, de acuerdo a los antecedentes bibliográficos del análisis de series de tiempo y datos climáticos (Arnaus y Grass, 2001; Leal, *et al.* 2010; Guevara, 2014), menciona Guevara, (2014) que para cuantificar la relación entre dos series de tiempo, en donde una de las variables es climática y la otra no, es útil el coeficiente de correlación lineal, en particular el de Pearson para métodos paramétricos, que es el caso de este estudio.

Otro factor que se tiene que tomar en cuenta en el análisis de este tipo de datos (una variable climática y otra de respuesta), es la temporalidad de cada uno de ellos, así como el tiempo de respuesta de la variable no climática (captura pesquera). Muchas veces al realizar un análisis de correlación lineal para este tipo de variables, el resultado de  $r$  no es muy significativo, lo cual se debe a que la asociación de las variables en tiempo no es simultánea (Guevara, 2014), por lo cual, es común aplicar a los datos, el método estadístico de la correlación cruzada o también conocido como Función de Correlación Cruzada Muestral (FCCM).

A continuación se explica a mayor detalle cada uno de los análisis estadísticos:

#### 4.8 Correlación Cruzada

La Función de Correlación Cruzada Muestral (FCCM) permite identificar asociaciones entre las variables con un desfase en el tiempo o retardo (*Lag*), en particular en el software SPSS, puedes definir el número de *Lags*. El análisis arrojará el mismo número de *Lags* tanto negativos como

positivos y un resultado de  $r$  para cada uno. El valor más alto de  $r$ , corresponde al número de *Lag*, es decir para el *Lag* 0, quiere decir que no existe ningún desfase, en el *Lag* 2 quiere decir que tiene un desfase de 2 unidades, dependiendo de la escala de tiempo. Para los *Lags* positivos, los datos del mes en X, se asocia con los de Y de 1 mes después, para los *Lags* negativos los datos del mes Y se asocian con los de X de 1 mes después (Tabla 10).

$$r_{XY(K)} = \frac{\sum[(X_t - \mu_x) * (Y_{t+k} - \mu_y)]}{N S_x S_y} = \frac{1}{N} \sum \left[ \left( \frac{X_t - \mu_x}{S_x} \right) * \left( \frac{Y_{t+k} - \mu_y}{S_y} \right) \right] \text{ en lag } + \quad (1)$$

$$r_{XY(-K)} = \frac{\sum[(Y_t - \mu_x) * (X_{t+k} - \mu_y)]}{N S_x S_y} = \frac{1}{N} \sum \left[ \left( \frac{Y_t - \mu_x}{S_y} \right) * \left( \frac{X_{t+k} - \mu_y}{S_x} \right) \right] \text{ en lag } - \quad (2)$$

Dónde:

- $X_t$ ,  $X_{t+k}$ , valor de un dato en el tiempo,  $t$ , y el dato en el tiempo  $k$ , en la serie independiente.
- $Y_t$ ,  $Y_{t+k}$ , valor de un dato en el tiempo,  $t$  y el dato en el tiempo  $k$  en la serie dependiente.
- $S_X$  y  $S_Y$ , desviación estándar poblacional de las series  $X_t$  y  $Y_t$ .
- $N$ , número de pares de datos de las series  $X_t$  y  $Y_t$ .
- $\mu_x$  y  $\mu_y$ , medias de las series  $X_t$  y  $Y_t$ .
- $k$ , retardo (*lag*) entre una observación en tiempo  $t$  y otra en tiempo posterior o anterior,  $k: 0, \pm 1, \pm 2, \dots \pm N-1$
- $N$ ,  $S_X$ ,  $S_Y$ ,  $\mu_x$  y  $\mu_y$  corresponden a la serie de lag cero y se mantienen constantes en los demás lags. (Guevara, 2014)

**Tabla 10.** Relación de correlación cruzada.

$r_{XY(k)} = \frac{1}{N} \sum \left[ \left( \frac{X_t - \mu_x}{S_x} \right) * \left( \frac{Y_{t+k} - \mu_y}{S_y} \right) \right] \quad (1)$		Fórmula para Retardos positivos (+)
$X_t$	$Y_{t+k}$	Lag 1 (Los datos del mes en $X_t$ se asocian con los de $Y_t$ de 1 mes después)
E	E	
F	F	
M	M	
A	A	
M	M	
J	J	
$r_{XY(k)} = \frac{1}{N} \sum \left[ \left( \frac{X_t - \mu_x}{S_x} \right) * \left( \frac{Y_t - \mu_y}{S_y} \right) \right] \quad (3)$		Fórmula sin Retardo (lag cero)
E	E	Lag 0
$r_{YX(-k)} = \frac{1}{N} \sum \left[ \left( \frac{Y_t - \mu_y}{S_y} \right) * \left( \frac{X_{t+k} - \mu_x}{S_x} \right) \right] \quad (2)$		Fórmula para Retardos negativos (-)
$X_{t+k}$	$Y_t$	Lag -1 (Los datos del mes en $Y_t$ se asocian con los de $X_t$ de 1 mes después)
E	E	
F	F	
M	M	
A	A	
M	M	
J	J	

Fuente: Guevara, 2014.

#### 4.9 Correlación Lineal

El análisis de correlación lineal es un método estadístico que mide el grado de asociación, mediante un coeficiente de correlación lineal de Pearson ( $r$ ), y la relación entre dos variables cuantitativas (Ebdon, 1982; Canavos, 1990; Vila *et al.* 2003; Triola, 2009; Vila *et al.* 2003), a continuación la fórmula para el cálculo de  $r$ :

$$r = \frac{\frac{\sum xy}{n} - \bar{x}\bar{y}}{S_x S_y}$$

$r$  = es el coeficiente de correlación de Pearson.

$n$  = número de pares de datos.

$\frac{\sum xy}{n}$  = media aritmética de las variables.

$x, y$  = valores de las dos variables,  $x$ ,  $y$ .

$S_x$  = desviación estándar de  $x$ .

$S_y$  = desviación estándar de  $y$ .

El valor de  $r$  es de entre -1 hasta +1, cuando es cercano a +1, la relación será lineal directa, a mayor valor de  $X$ , valores mayores de  $Y$ , mientras que el valor de  $r$  sea negativo cercano a -1, la correlación será inversa.

De acuerdo con Vila *et al.* (2003), los valores de  $r$  de entre 0.50-0.9 la correlación es positiva fuerte; y de entre -0.5 a -0.9 la correlación es negativa fuerte, en ambos casos menor a 0.5 o -0.5 la correlación es débil.

#### 4.10 Regresión Lineal

El método de regresión lineal, es un método estadístico para determinar el análisis de las asociaciones cuantitativas entre un número de variables (Canavos, 1990), cómo es que actúa alguna variable sobre otra para explicar el fenómeno en cuestión.

El análisis de asociación puede ser aplicado para dos variables (regresión simple) en donde el análisis de regresión lineal puede utilizarse para examinar y cuantificar la relación entre una variable llamada dependiente o criterio ( $Y$ ) y una variable llamada independientes o predictora ( $X$ ), y también para desarrollar una ecuación lineal que sea útil para fines predictivos (González y Pérez, 2009).

A continuación, se muestra la expresión de regresión lineal simple (Gutiérrez, 2007):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + E$$

Dónde:

**Y** = Variable que se quiere predecir.

**$\beta_0$**  =Beta cero, intercepto.

**$\beta_1$**  = Beta 1, pendiente, coeficiente.

**X** = Variable que causa el cambio e variable Y.

**E** =Promedio de los residuos, error.

Este método nos ayuda a conocer cuantitativamente cuanto numéricamente responde la variable dependiente de la independiente, así mismo puede ser tomada en cuenta como predictora.



## CAPÍTULO 5: RESULTADOS

---

En la primera parte se muestran las imágenes por resolución (1 y 4 km), y su análisis visual. La segunda parte es el análisis de las zonas de pesca por especie, primero para la sardina y posteriormente para el camarón:

- Zonas generadas para la pesca correspondiente a la especie.
- Análisis de variables por separado:
  - a. TSM
  - b. TSMN
  - c. [Clo\_a]
  - d. Pesca (Peso vivo)
- Análisis de variables en conjunto (correlación entre variables), por zona de pesca.

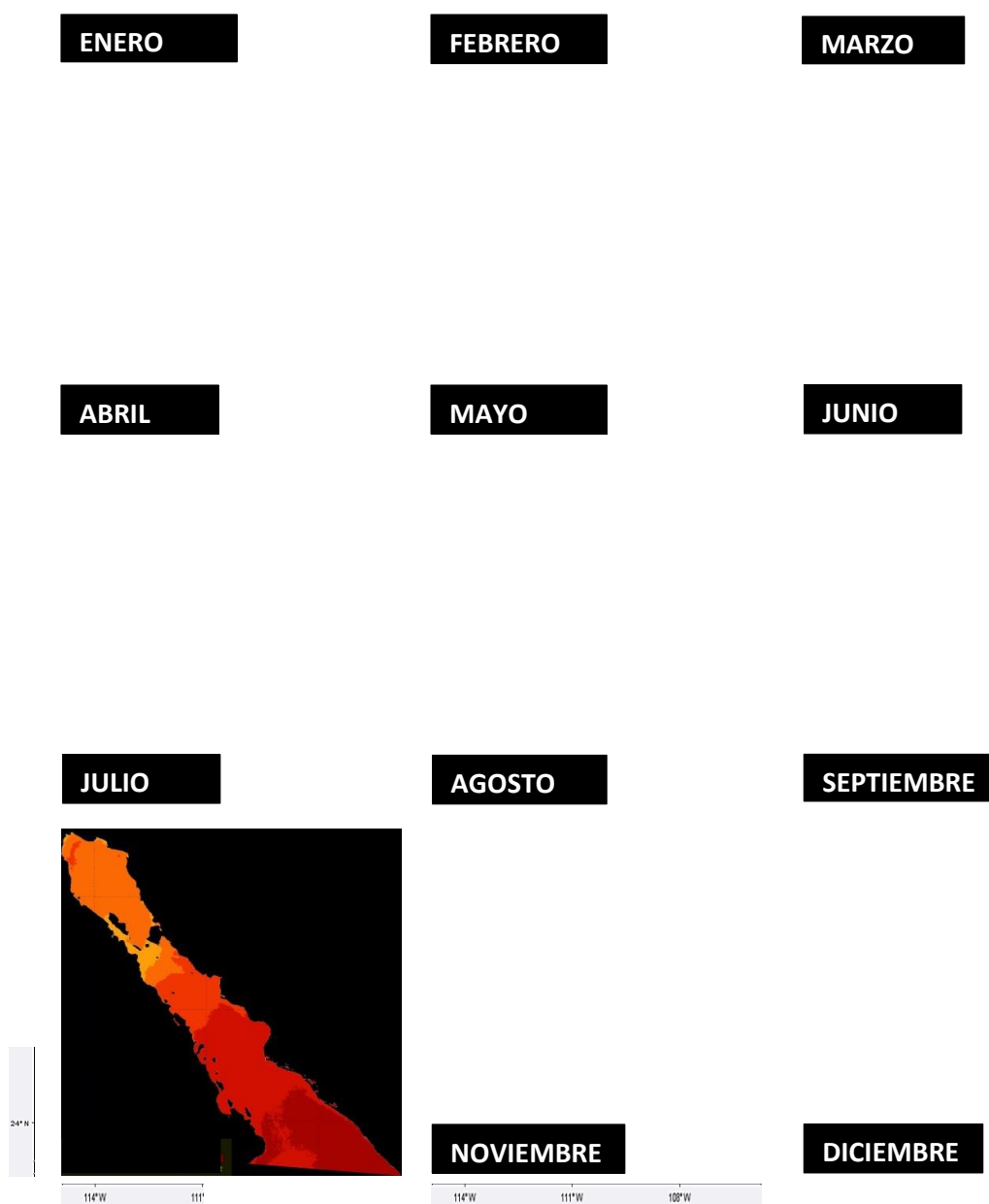
### a. IMAGENES

#### 5.1 Temperatura Superficial del Mar (TSM)

La TSM del GC presenta una variabilidad anual, en la Figura 23 se muestran los promedios mensuales del periodo 2005-2013, con 1 km de resolución espacial (Figura 23). Se puede observar que existe una importante modulación estacional (Aguirre Gómez, 2002), presentando importantes intervalos de temperatura. De acuerdo con Aguirre Gómez (2002), de noviembre a mayo prevalecen las condiciones de invierno, lo cual corroboramos con los datos de las imágenes. A partir del mes de noviembre la temperatura va disminuyendo, presentan temperaturas en un rango de 13-23 °C, en tonalidades azules, para las temperaturas frías. A partir de mayo, la TSM, va en aumento y se observan tonos amarillos (Figura 23).

El mes de febrero presenta las temperaturas más bajas en todo el GC. En este periodo se registran temperaturas de entre 13-18 °C, se puede decir que son temperaturas frías. La región más fría es el área de las Grandes Islas y el Alto Golfo, con temperaturas de 13-16°C.

A partir del mes de abril, la temperatura empieza a subir, en la parte de la boca o entrada del GC, la temperatura alcanza temperaturas entre 22-25 °C. A partir del mes de julio, la temperatura aumenta considerablemente, los meses de agosto y septiembre presentan las temperaturas más altas, alcanzando los 32°C.



**Figura 23.** Condiciones promedio mensuales del periodo 2005-2013 de la TSM, en el GC, 1 km resolución espacial. Fuente: Imágenes MODIS, elaboración propia.

La Figura 24 muestra las imágenes de los promedios mensuales del periodo 2014-2018, con resolución espacial de 4 km. A simple vista es la misma tendencia que las imágenes de 1 km, con un periodo de invierno que corresponde a los meses de noviembre a mayo, y los meses más cálidos de agosto a septiembre, sin embargo, podemos ver que el detalle es menor que las imágenes de 1 km de resolución.

En las imágenes de 1 km, el pixel es de 1 x 1 km, y las de 4 km tienen pixel de 4 x 4 km, lo que nos da una información más generalizada, visualmente en la imagen se identifican pequeños cuadros, y en las de 1 km, los límites del pixel son imperceptibles, contienen más detalle en la información.

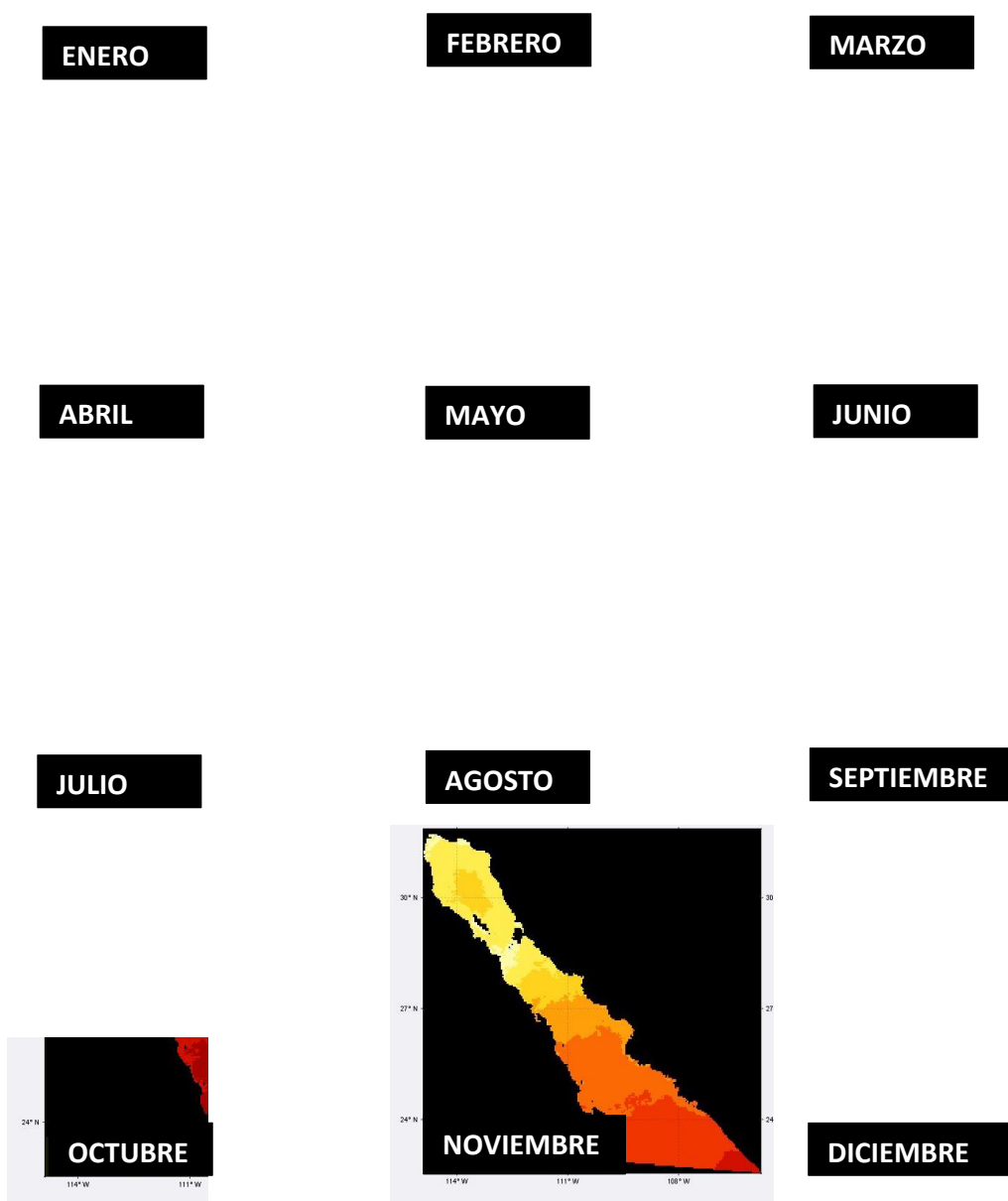
En ambas resoluciones espaciales (1-4km), podemos observar una influencia en el cambio de temperatura, la cual proviene principalmente de la entrada del GC, correspondiente a la corriente de California (CC), que de acuerdo a Molina (1984), afecta las latitudes 20°-24 N.

De acuerdo a diferentes estudios (Lluch-Cota, 2000; Aguirre Gómez, 2002; Álvarez-Borrego, 2010), el GC gana calor a través de su superficie, y los regímenes de viento determinan las condiciones, así como las transiciones. De acuerdo con Álvarez-Borrego (2010) y Aguirre Gómez (2002), de noviembre a mayo prevalecen las condiciones de invierno con vientos provenientes del noroeste, lo cual se corrobora con las condiciones que muestran las imágenes en la Figura 23 y 24, se observan los meses de noviembre a mayo, con temperaturas bajas, que van de 13-23°C, prevaleciendo temperaturas alrededor de 15°C.

Entre julio y octubre se presentan condiciones de verano, siendo junio y noviembre los meses de transición. Junio, presenta una TSM por arriba de los 28°C, ya no muestra tonalidades azules, y es a partir de este mes en que la TSM llega a su máxima en el mes de agosto, con temperaturas alrededor de los 32°C; mientras el mes de noviembre, es el mes que empieza a presentar un descenso de temperatura, con tonalidades amarillas, temperaturas de 23°C, lo que indica que comienzan las condiciones de invierno. Esto se puede observar, tanto en las imágenes de 1 y 4 km de resolución.

Podemos ver claramente la influencia en la boca del GC, como va cambiando la temperatura, como si entrara agua con una TSM más alta, lo cual corresponde a la corriente del Pacífico tropical oriental ya que transporta agua más cálida con temperatura de > 25°C.

En el área de las grandes islas, podemos ver que la temperatura cambia, sin embargo es la región en donde a lo largo del año muestra temperaturas más bajas en comparación con todo el GC. Robinson (1973) y Álvarez-Borrego (1978; 2008), también identifican a esta área con bajas temperaturas superficiales y mayores concentraciones de nutrientes, debido a las corrientes e intensas mareas. Presenta las TSM más bajas, incluso durante los meses más calientes (agosto-septiembre), las temperaturas son de 28°C, mientras que el resto del GC, la temperatura es de 32°C.



**Figura 24.** Condiciones promedio mensuales del periodo 2014-2018 de la TSM, en el GC, 4 km resolución espacial. Fuente: Imágenes MODIS. Elaboración propia.

## 5.2 Concentración de Clorofila [Clo\_a]

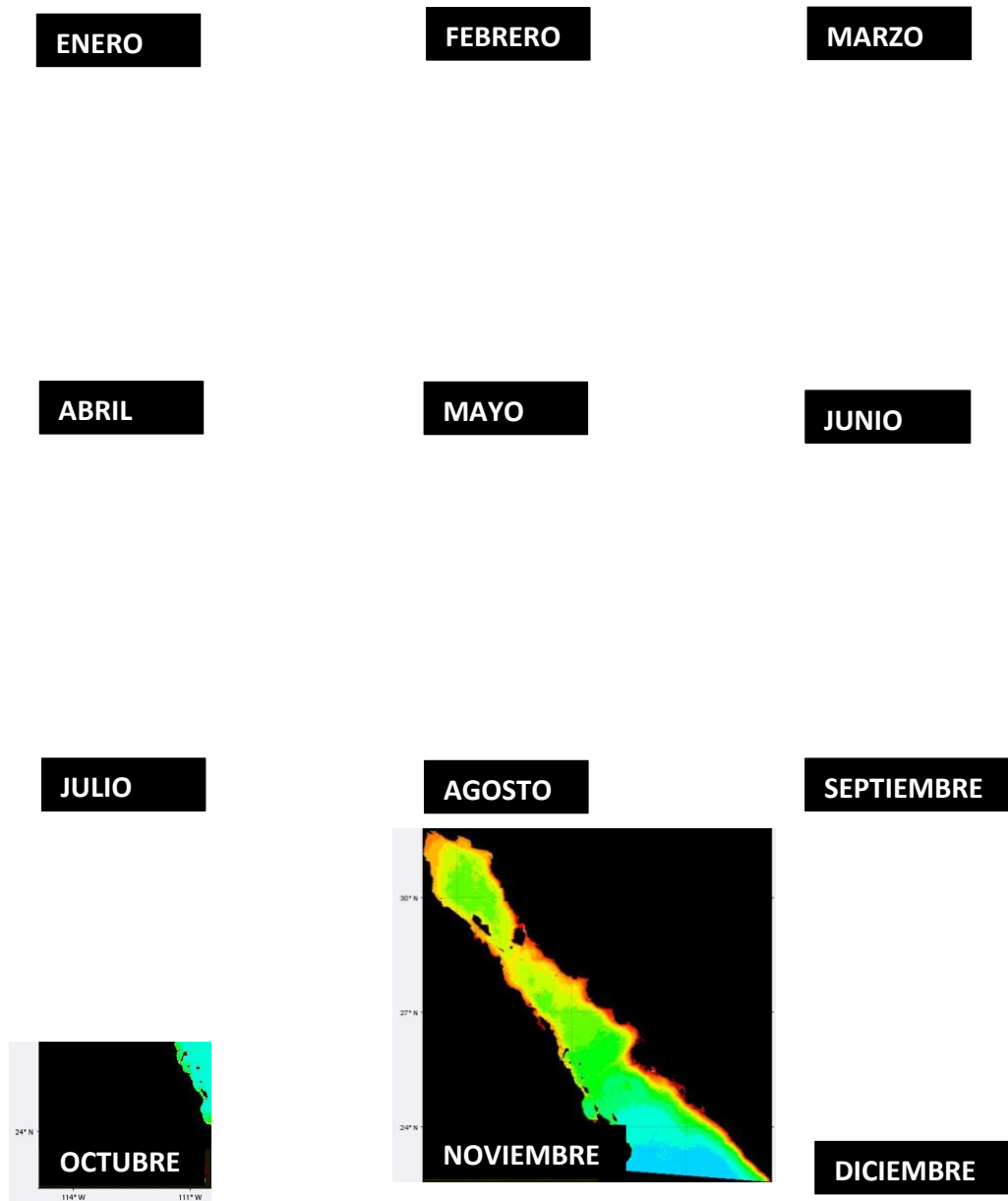
En la Figura 25 se presentan los datos promedio de [Clo\_a] con 1 km de resolución. Promedios por mes, de todo el periodo de estudio, y en la Figura 26 se muestran los resultados de las imágenes con 4 km de resolución espacial.

Podemos ver en ambas imágenes, con colores amarillos-naranjas-rojos aquellos valores altos que van de 2-17 mg/m<sup>3</sup>; en colores morado y azul rey, valores con baja concentración de [Clo\_a], de entre 0.1-0.5 mg/m<sup>3</sup>, mientras que los colores azul cielo, hacia tonos verdes, presentan concentraciones de entre 0.7-1.9 mg/m<sup>3</sup>. Es evidente que las regiones con mayor concentración son las zonas costeras, la parte del Alto Golfo, así como la región de las grandes Islas.

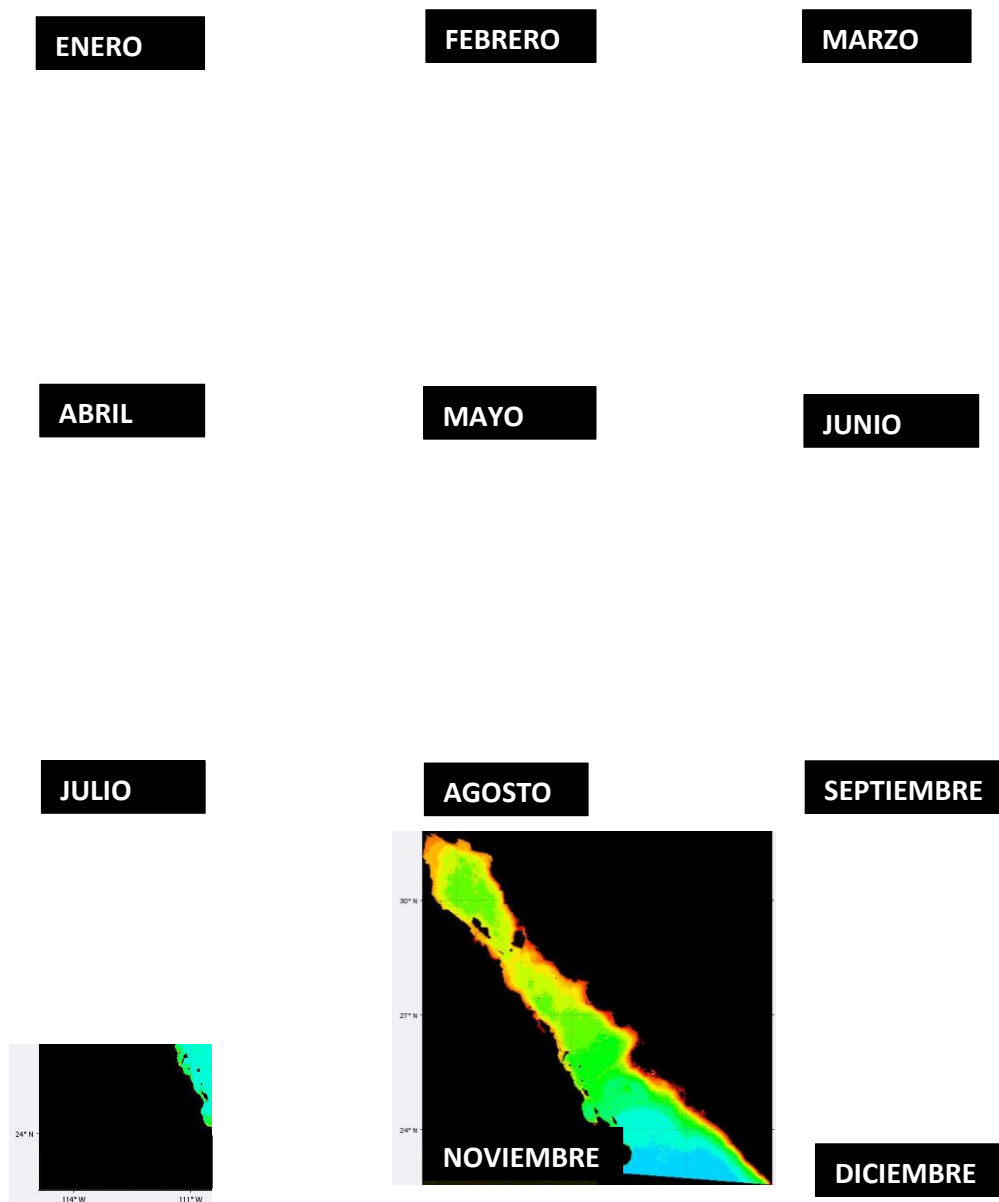
Las altas concentraciones en la parte costera, así como en el Alto Golfo se deben a la amplia plataforma costera con profundidades menores a 200 m, lo cual favorece los procesos locales de mezcla, que incluye los aportes de ríos, continente y lagunas costeras (Santamaría del Ángel *et al.*, 1994).

La boca del GC, es la región con las menores concentraciones, debido a que no hay procesos que contribuyan a la fertilización superficial (Santamaría del Ángel *et al.*, 1994).

Al igual que las condiciones de TSM, la [Clo\_a], presenta una variabilidad estacional marcada (Figura 25), sin embargo esta no es tan marcada como la TSM. Muestra mayor variabilidad en el tiempo a escala anual, pero, se identifican los meses de julio a septiembre como los meses con menor [Clo\_a], con valores por abajo de 0.5 mg/m<sup>3</sup>, lo que corresponde con los meses más calientes, con las TSM más altas. Mientras que de noviembre a mayo, se observa mayor concentración, especialmente entre los meses de marzo-abril los valores máximos, con [Clo\_a] de 15 mg/m<sup>3</sup>, principalmente en la región del Alto Golfo. Si bien las diferentes resoluciones espaciales muestran diferencias, no son significativas y muestran la misma periodicidad.



**Figura 25.** Condiciones promedio mensuales de [Clo\_a], periodo 2005-2013 en el GC, 1 km resolución espacial. Fuente: Imágenes MODIS. Elaboración propia.



**Figura 26.** Condiciones promedio mensuales de [Clo\_a], periodo 2014-2018 en el GC, 4 km resolución espacial. Fuente: Imágenes MODIS. Elaboración propia.



Igualmente en ambas resoluciones, es evidente que la mayor [Clo\_a], se localiza en la zona costera, así como en la zona de las Grandes Islas.

## **b. ZONAS DE PESCA**

### **5.3 Sardina**

A continuación se muestran los resultados de las zonas de pesca de la sardina, las condiciones de TSM y [Clo\_a], así como su relación con los registros pesqueros, a lo largo del tiempo (únicamente datos de las zonas de pesca de sardina).

#### **5.3.1 Zonas de Pesca**

Tomando como base la zonificación de INAPESCA para delimitar las zonas pesqueras, y utilizando los criterios señalados en el capítulo anterior, se obtuvieron cinco zonas, que representan el 99.7% de los registros de pesca. En estas cinco zonas se ubican tres principales sitios de desembarque (Guaymas, Yavaros y Mazatlán), a los cuales se asignaron las zonas de buffer como se muestra en la Figura 27. Posteriormente, se analizaron los datos extraídos de cada una de estas zonas, de TSM, [Clo\_a] y peso vivo capturado de Sardina. En color naranja se delimita la zona de Guaymas, en color verde la zona de Yavaros y en color azul la zona de Mazatlán.

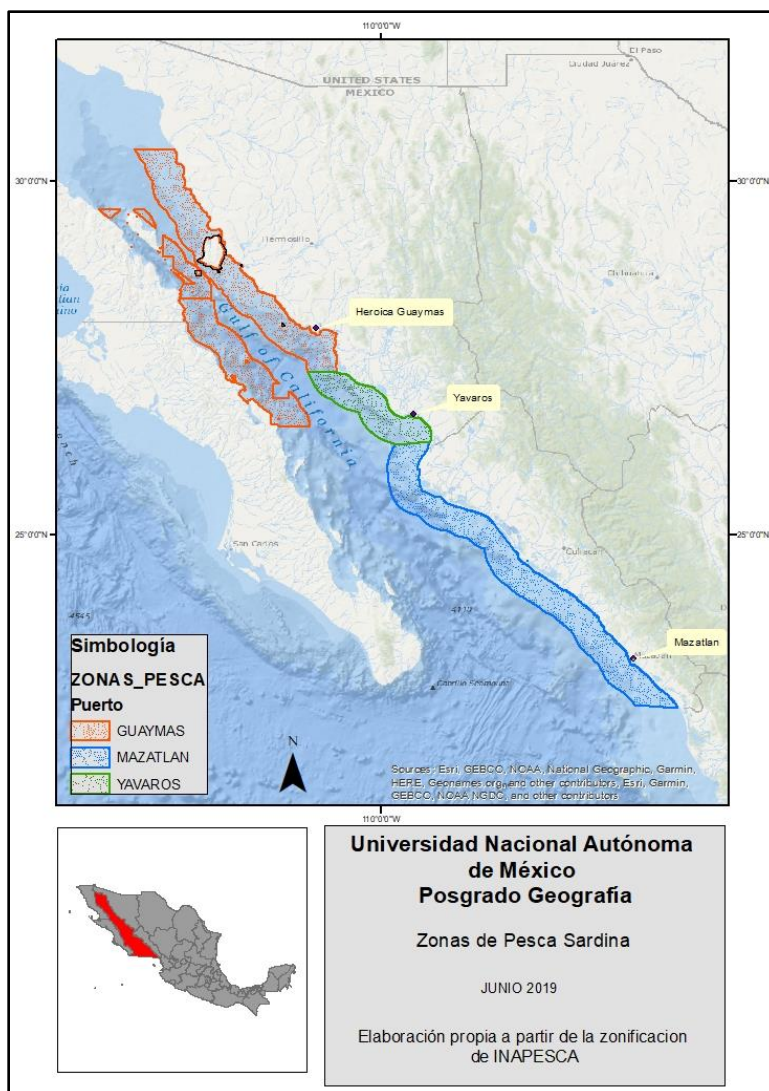


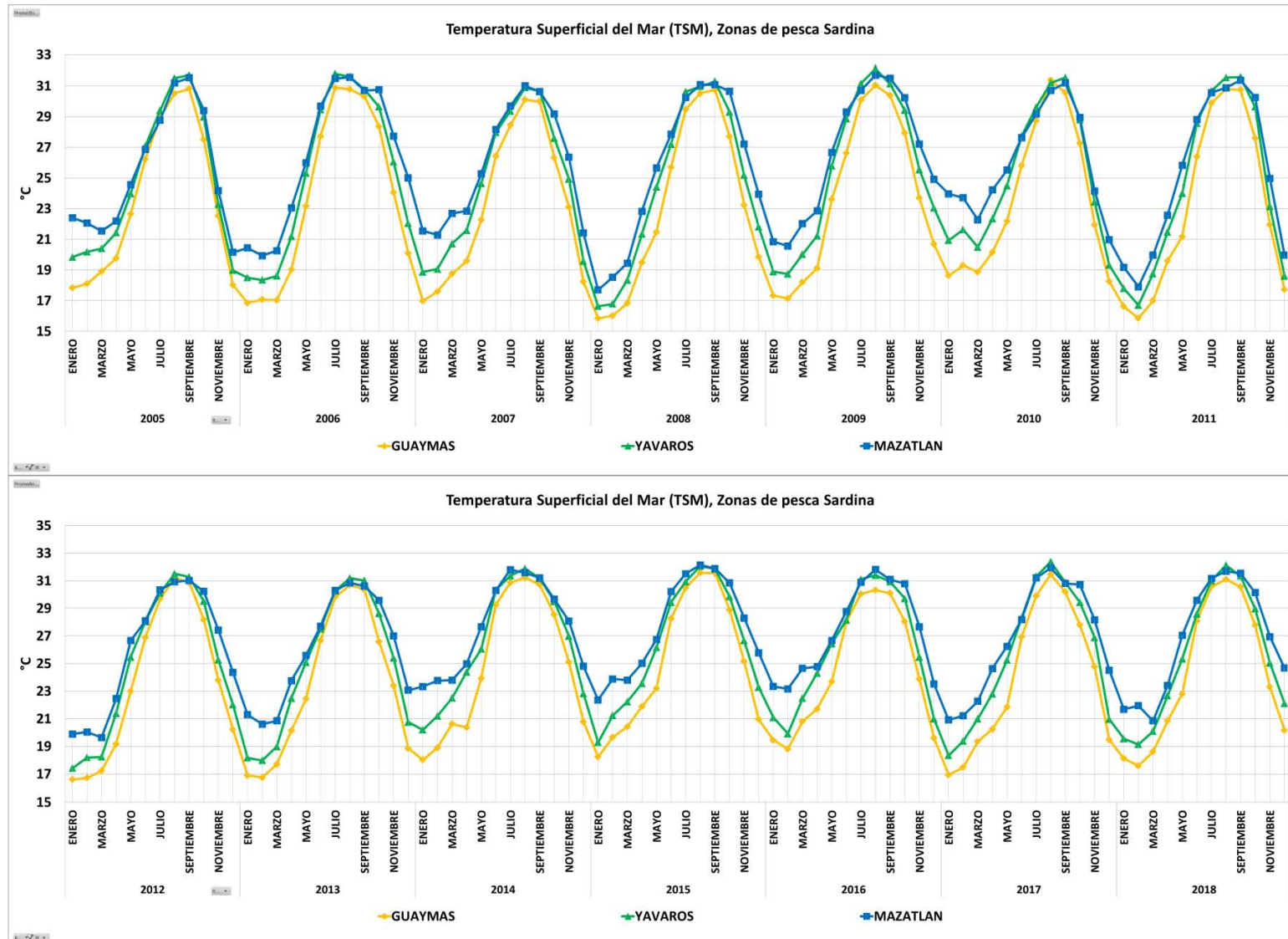
Figura 27. Zonificación áreas de pesca Sardina. Elaboración propia.

### 5.3.2 Temperatura Superficial del Mar

Se analizaron los datos extraídos de las imágenes, correspondientes a las zonas de pesca de sardina, se corrobora la temporalidad que muestra el análisis de las imágenes anteriormente descritas.

Podemos ver en la Figura 28, que las tres zonas de pesca (Guaymas, Yavaros y Mazatlán) muestran los mismos ciclos a lo largo del tiempo, temperaturas alta durante los meses de agosto y septiembre, registrando 30-31 °C, mientras que las temperaturas bajas se observan durante los meses de enero y febrero, con temperaturas de 16-17 °C.

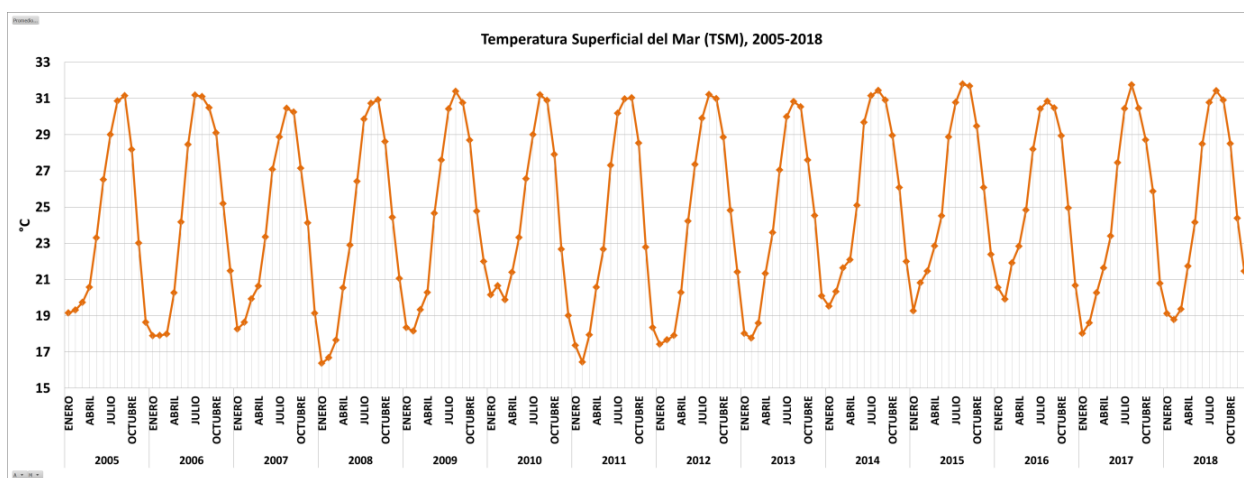
Sin embargo en las temperaturas de enero a marzo, la diferencia entre zonas sí es evidente, Guaymas es la zona más fría en estos meses, mientras que la zona de Mazatlán, que corresponde a la costa de Sinaloa, es la región que se mantiene con temperaturas más altas, en comparación con las otras dos zonas (Guaymas y Yavaros). Esto también se observó en las imágenes, con las tonalidades más intensas de color rojo, a diferencia de la costa de la península de Baja California, que mantiene al menos 2°C menos que el resto del GC, a pesar de ser meses cálidos como agosto-septiembre.



**Figura 28.** Temperatura Superficial del Mar por zonas de pesca de sardina, a lo largo del tiempo.

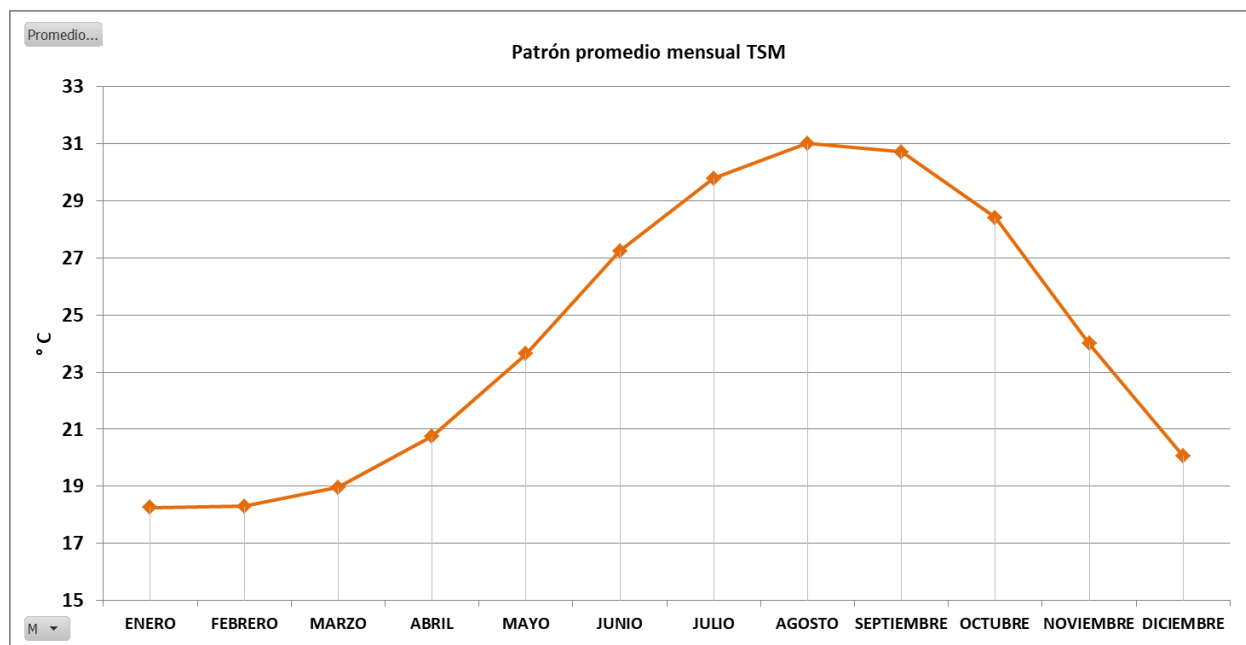
Fuente: Datos imágenes MODIS. Elaboración propia.

De manera conjunta, las tres zonas de pesca muestra, que sigue el mismo patrón que los resultados del GC, las temperaturas menores a 25°C corresponden a los meses de noviembre hasta mayo, y que los meses con la temperatura más alta son agosto y septiembre. Muestra el mismo rango de temperatura de 16-32°C, y de igual forma la misma tendencia cíclica anual. La TSM muestra cierta homogeneidad a lo largo de los 14 años, si bien se observan cambios, mantiene un patrón anual, que señala que los meses con TSM más altas son los meses de julio a septiembre, que corresponden al verano, y las condiciones de invierno, inician en el mes de noviembre, hasta el mes de mayo (Figura 29).



**Figura 29.** Temperatura Superficial del Mar, promedio de las zonas de sardina, 2005-2018. Fuente: Datos imágenes MODIS. Elaboración propia.

La Figura 30 muestra el patrón promedio de las tres zonas juntas, podemos ver que los meses de enero y febrero son los meses más fríos, mientras que el mes de agosto y septiembre, son los más cálidos.

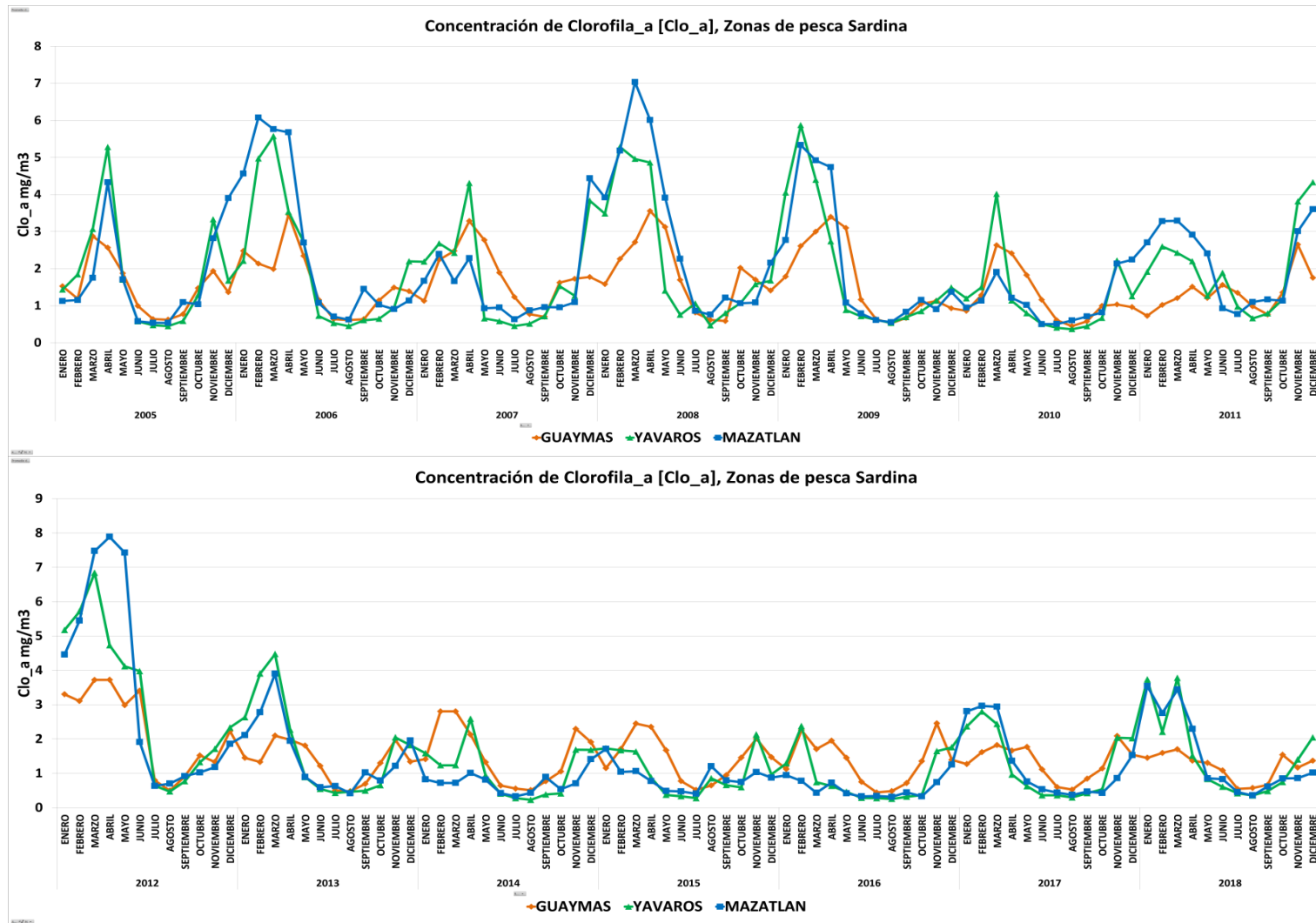


**Figura 30.** Patrón mensual promedio de la TSM, de las zonas de pesca de sardina, 2005-20018. Fuente: Datos de imágenes MODIS. Elaboración propia

### 5.3.3 Concentración de Clorofila [Clo\_a]

La [Clo\_a], es una variable que muestra más cambios a lo largo del tiempo, no obstante, también se pueden identificar un periodo con alta y baja concentración, que van de un rango de 0.2-7.8 mg/m<sup>3</sup>. En la Figura 31 se puede observar el comportamiento de la [Clo\_a] a lo largo del tiempo, en cada zona de pesca.

Es evidente que la zona de pesca de Mazatlán es la que presenta mayor [Clo\_a] a lo largo del tiempo, esto se debe a la presencia del sitio Ramsar Marismas Nacionales, que se ubica en la costa sur de Sinaloa y la costa norte de Nayarit, sistemas lagunares importantes. Guaymas es la zona con menor concentración. El año en que la [Clo\_a] es mayor, es en 2012, mientras que durante 2015-2016 la concentración es muy baja.

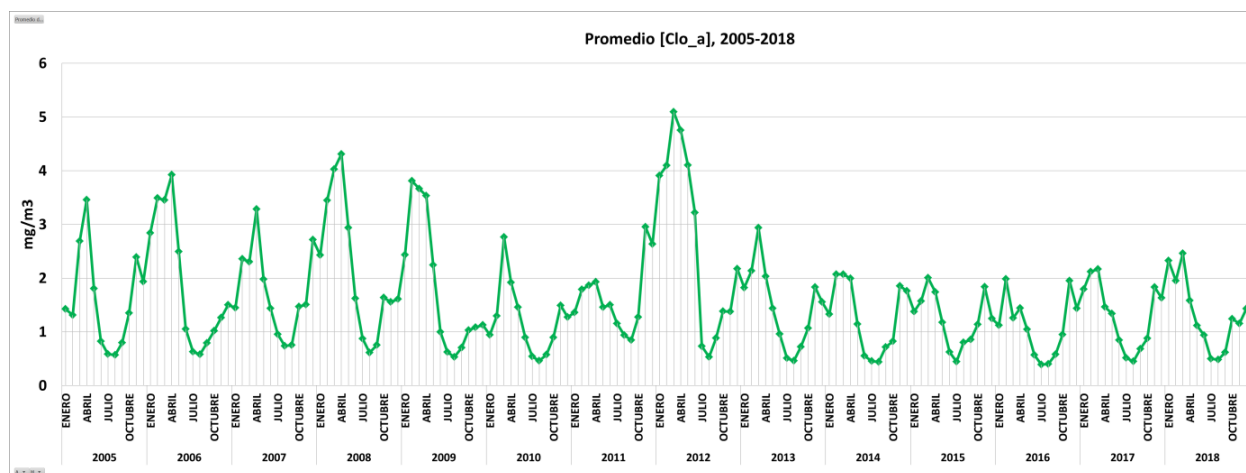


**Figura 31.** Concentración de Clorofila\_a por zonas de pesca de sardina, a lo largo del tiempo.

Fuente: Datos imágenes MODIS. Elaboración propia.

En la Figura 32, se muestra el comportamiento de las tres zonas en conjunto, con la finalidad de identificar mejor los ciclos, podemos agrupar los meses con menos de  $1 \text{ mg/m}^3$ , que van de julio hasta octubre, y el resto, con concentraciones, arriba de  $1 \text{ mg/m}^3$ .

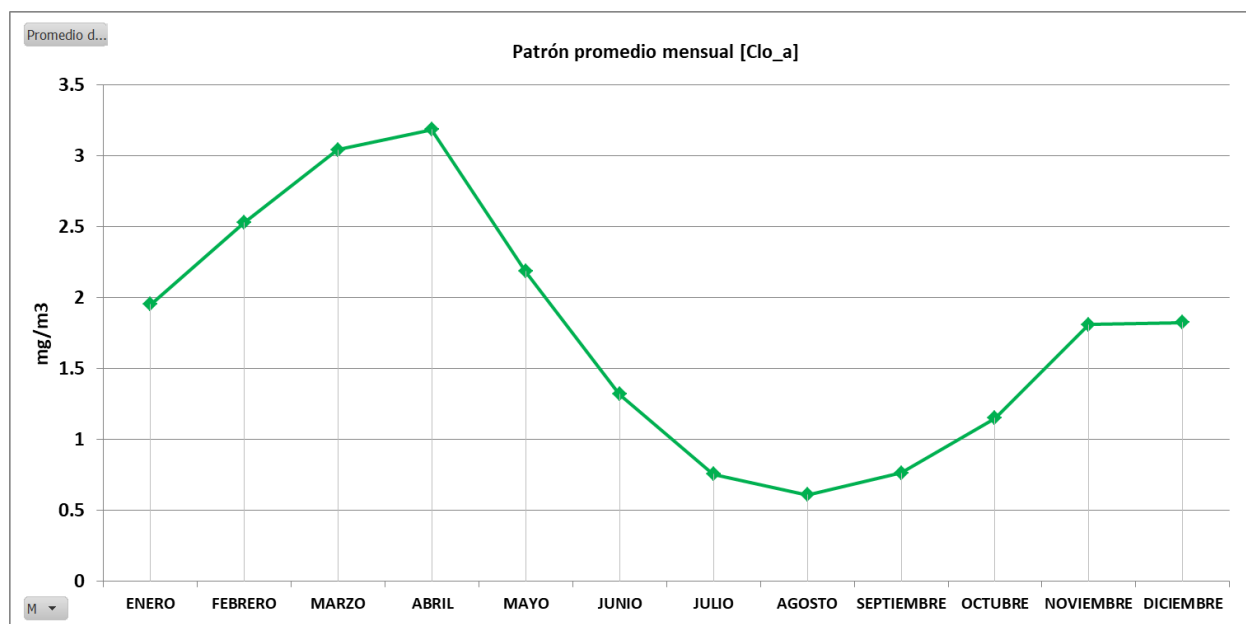
En cada una de las curvas podemos identificar también que existen al menos dos picos, después de un registro que disminuye hay un aumento relativamente significativo, lo que estaría marcando cambios en el ambiente.



**Figura 32.** Concentración de Clorofila\_a en el periodo 2005-2018. Promedio de las zonas de sardina.  
Fuente: Datos de imágenes MODIS. Elaboración propia.

En la Figura 33 se muestra el patrón mensual del periodo de estudio, promediando las tres zonas de pesca de sardina. Marzo y abril son los meses con mayor  $[\text{Clo}_a]$ , con  $3\text{-}3.2 \text{ mg/m}^3$ , mientras que agosto presenta  $[\text{Clo}_a]$  bajas de  $0.6 \text{ mg/m}^3$ .





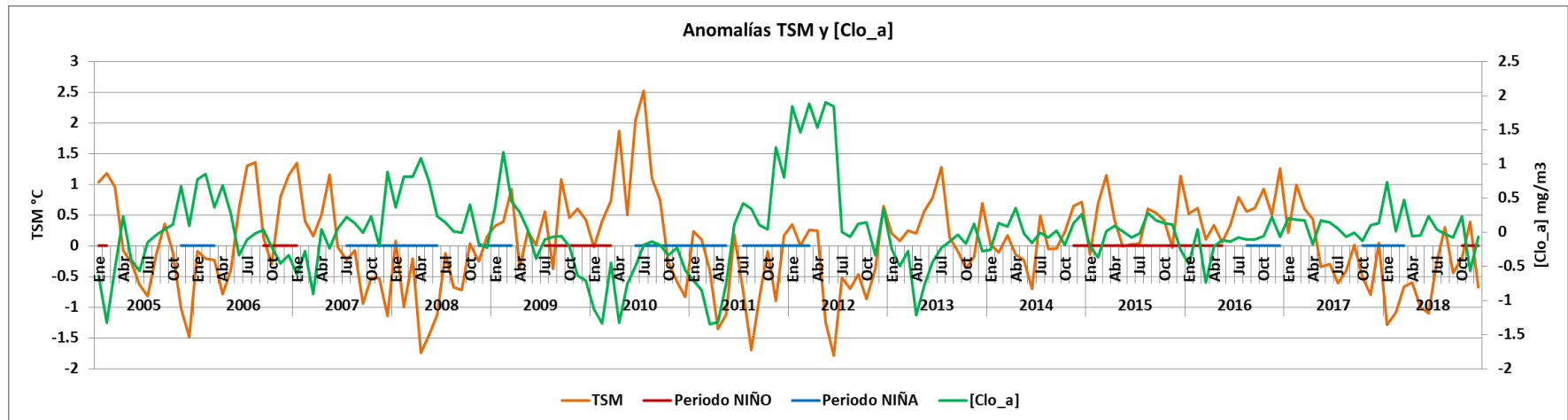
**Figura 33.** Patrón mensual promedio de la [Clo\_a], de las zonas de pesca de sardina, 2005-20018.  
Fuente: Datos imágenes MODIS. Elaboración propia.

Es importante observar que las bajas [Clo\_a] corresponden a los meses con las más altas TSM, y viceversa.

La Figura 34 muestra las anomalías generales de las tres zonas en conjunto, de la [Clo\_a] y TSM, que son los datos sobre o debajo de la media normal, así como los periodos de los fenómenos ENOS. Es evidente la relación inversa entre la TSM y la [Clo\_a], a mayores TSM, bajas [Clo\_a]; y a menores TSM, altas [Clo\_a].

En el caso de la [Clo\_a], a lo largo de los 14 años de registros, al presentar una variabilidad amplia, las anomalías son bastante marcadas, en especial para el año 2012, el cual corresponde con los registros más altos.

Para la TSM, se observa que el año 2010 es el año con registros de temperatura más alta, por el contrario, el 2012, se registran las temperaturas más bajas. Esto sugiere que existe una relación entre la TSM y los fenómenos climáticos del ENOS, así mismo se relaciona con el aumento o disminución de [Clo\_a].



**Figura 34.** Anomalías TSM y [Clo\_a] del promedio de las zonas de pesca de sardina. Fuente: TSM y [Clo\_a], datos extraídos de imágenes MODIS, y registros de ENOS, por la NOAA.

### 5.3.4 Relación Temperatura Superficial del Mar y Concentración de Clorofila<sub>a</sub>

Una vez descritas las variables TSM y [Clo<sub>a</sub>], en esta sección las analizamos de forma conjunta, cómo es que una varía en función de la otra, definiendo a la [Clo<sub>a</sub>], como la variable dependiente de la TSM.

El resultado de la Función de Correlación Cruzada Muestral (FCCM), al analizar por separado los datos de acuerdo a su resolución espacial, se obtuvieron los siguientes resultados de coeficiente de Pearson (Tabla 11):

**Tabla 11.** Resultados de correlación entre [Clo<sub>a</sub>] y TSM, para 1 y 4 km de resolución.

1km resolución espacial				4 km resolución espacial			
Correlations				Correlations			
		Clo <sub>a</sub>	TSM			Clo <sub>a</sub>	TSM
Pearson Correlation	Clo <sub>a</sub>	1.000	-.717	Pearson Correlation	Clo <sub>a</sub>	1.000	-.845
	TSM	-.717	1.000		TSM	-.845	1.000
Sig. (1-tailed)	Clo <sub>a</sub>	.	.000	Sig. (1-tailed)	Clo <sub>a</sub>	.	.000
	TSM	.000	.		TSM	.000	.
N	Clo <sub>a</sub>	108	108	N	Clo <sub>a</sub>	60	60
	TSM	108	108		TSM	60	60

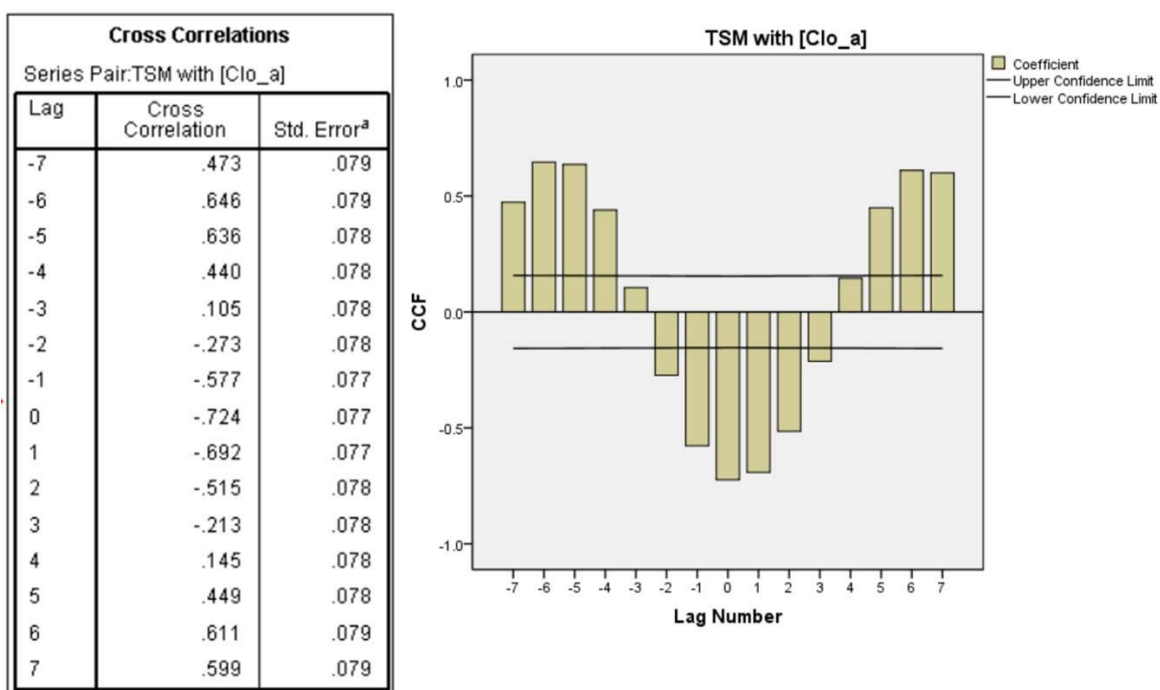
Fuente: elaboración propia.

Los resultados muestran que el coeficiente de Pearson para los datos con 4 km de resolución espacial, es una  $r = -0.845$ , en cambio, para los datos de 1 km, la  $r = -0.717$ , negativo en ambos casos, ya que la relación es inversa (a mayor TSM, menor [Clo<sub>a</sub>] y viceversa). Estos resultados son similares a los resultados obtenidos por Heras Sánchez (2018), con una  $r = -0.81$ , utilizando imágenes de 4 km de resolución espacial. La diferencia entre los resultados, es por la resolución espacial de las imágenes, sin embargo, al realizar el análisis con los datos de ambas imágenes de forma conjunta, el coeficiente de Pearson es de  $r = -0.724$ , resultado muy similar al de las imágenes de 1 km de resolución espacial, mientras que en el análisis de las zonas de pesca, la diferencia no es significativa, por lo que se optó por utilizar los datos de forma conjunta.

Posteriormente se realizó un análisis de correlación cruzada. Los resultados se muestran por *Lag*, lo cual indica un retraso en el tiempo, es decir si la  $r$  (cross correlation) más alta se presenta en el *Lag* 0 quiere decir que la variable dependiente (pesca o [Clo<sub>a</sub>]) de acuerdo al

caso) responde de inmediato, mientras que el *Lag 1* indica que la respuesta se verá reflejada en este caso un mes después, por ser nuestra unidad de tiempo.

El Lag 0 es el que mayor correlación muestra con una  $r = -0.724$ , lo que indica que no muestra retraso o desfase, es una buena correlación, el correlograma indica con la barra más grande la máxima correlación negativa, correspondiente al Lag 0, lo que puede indicar que las variables no presentan un desfase de un mes, y que el desfase sea de días o semanas, por lo cual no se realizó ninguna transformación como media móvil (Figura 35).



**Figura 35.** Resultados correlación cruzada TSM-[Clo\_a].

Los resultados del análisis de correlación de Pearson entre TSM y [Clo\_a], se muestran en la Tabla 12, obteniendo una correlación inversa de  $r = -0.724$ ,  $p < 0.05$ , lo que quiere decir que la correlación es inversa, la correlación de Pearson va de -1 a 1, lo que indica que es un buen modelo de correlación y por lo tanto la variabilidad de la TSM tiene influencia sobre la [Clo\_a].

En comparación con otros estudios como el de Heras Sánchez (2018), quien reporta una correlación máxima de  $r = -0.81$ , para la Boca del GC y parte media, se debe a que en ese

estudio se analizó todo el GC, además que se utilizaron imágenes con 4 km de resolución espacial como se mencionó anteriormente. La correlación obtenida en el presente estudio corresponde únicamente a las zonas de pesca, las cuales excluyen parte de la Boca del GC, y se utilizaron imágenes de 1 km por lo que los resultados del presente estudio son diferentes.

**Tabla 12.** Resultados de la correlación Pearson, TSM-[Clo\_a].

<b>Correlations</b>			
		Clo_a	TSM
Pearson Correlation	Clo_a	1.000	-.724
	TSM	-.724	1.000
Sig. (1-tailed)	Clo_a	.	.000
	TSM	.000	.
N	Clo_a	168	168
	TSM	168	168

Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados se corroboran en la Figura 34, de anomalías. Las líneas de tendencia que indican que la TSM muestra una tendencia positiva, en cambio, la [Clo\_a] podemos ver que mientras la TSM está por encima de la media, la [Clo\_a] está por debajo de la media, y viceversa.

En la Figura 36, se muestran las dos variables juntas, por zona de pesca, los picos de temperatura mínima, concuerdan con los picos altos de [Clo\_a]. En promedio las concentraciones altas son de 3-5 mg/m<sup>3</sup>, con temperatura de 19°C. Y las temperaturas altas, de entre 28-31 °C, muestra [Clo\_a] muy bajas, de menos de 1 mg/m<sup>3</sup>. Se puede observar cómo cambia en el tiempo y por zona de pesca, en color azul (marino y claro) se muestran los registros de Mazatlán, que es la que tiene los registros más altos de [Clo\_a], sin embargo registra TSM altas en comparación con las otras regiones. La zona de Guaymas en tonos rojos (rojo y naranja) muestra las TSM más bajas, y Yavaros en tonos verdes, muestra valores de [Clo\_a] similares a los de Guaymas.

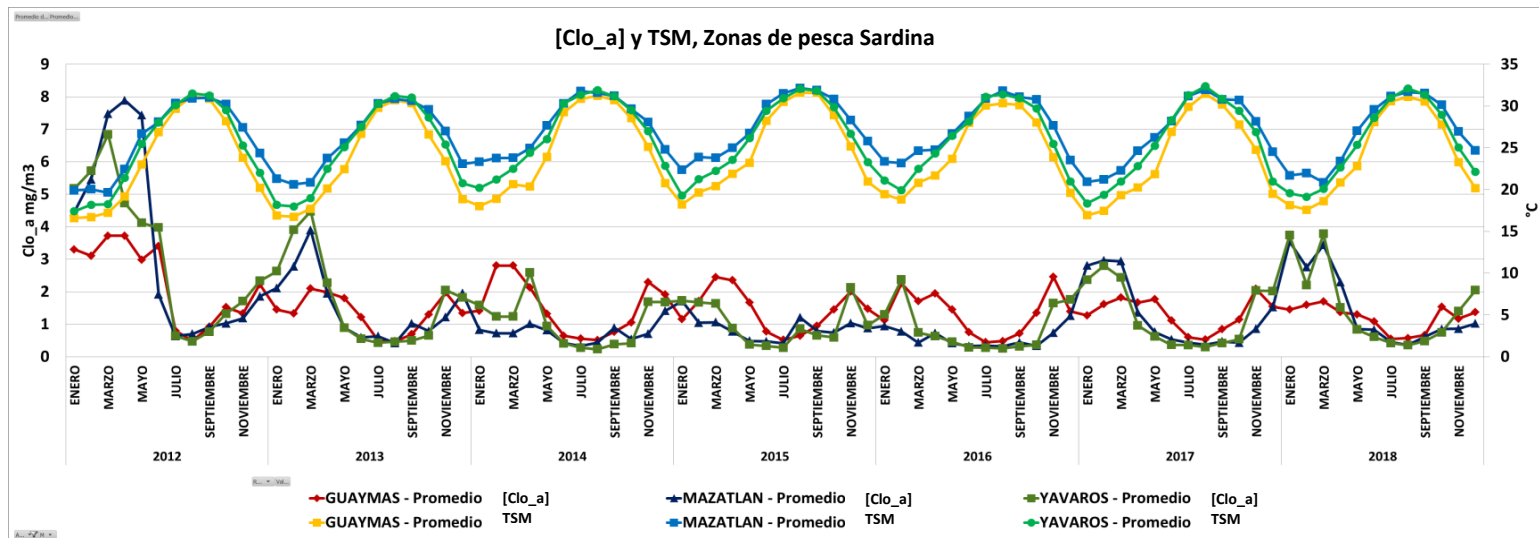
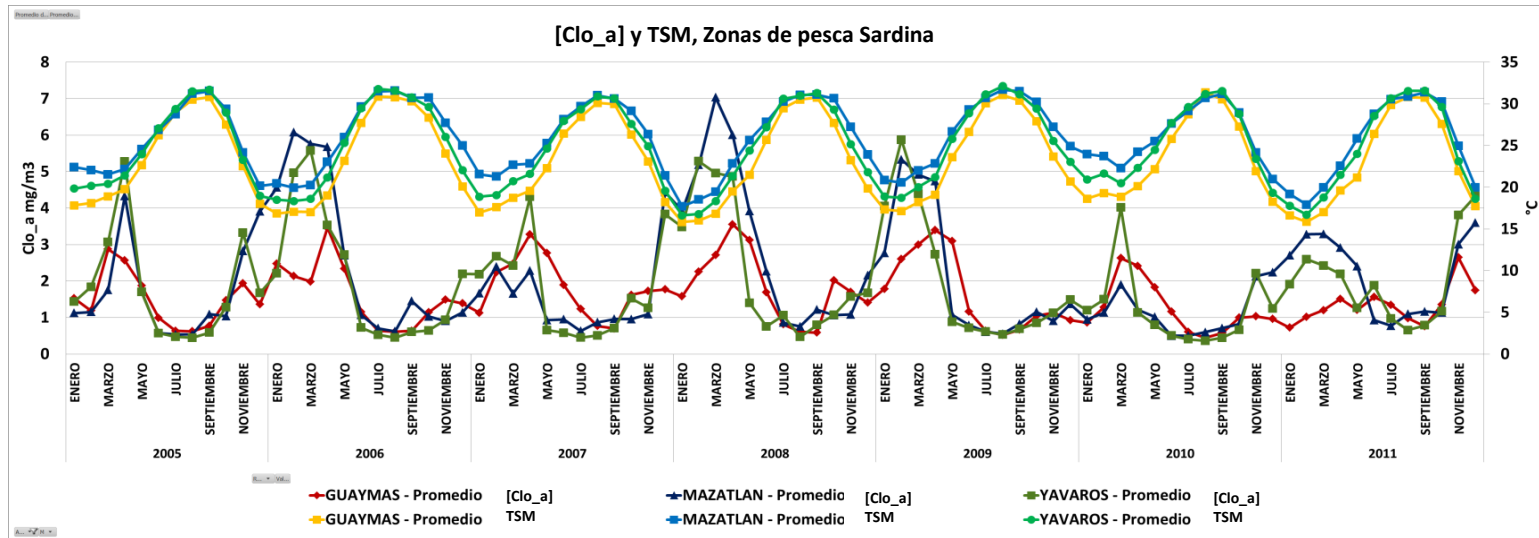
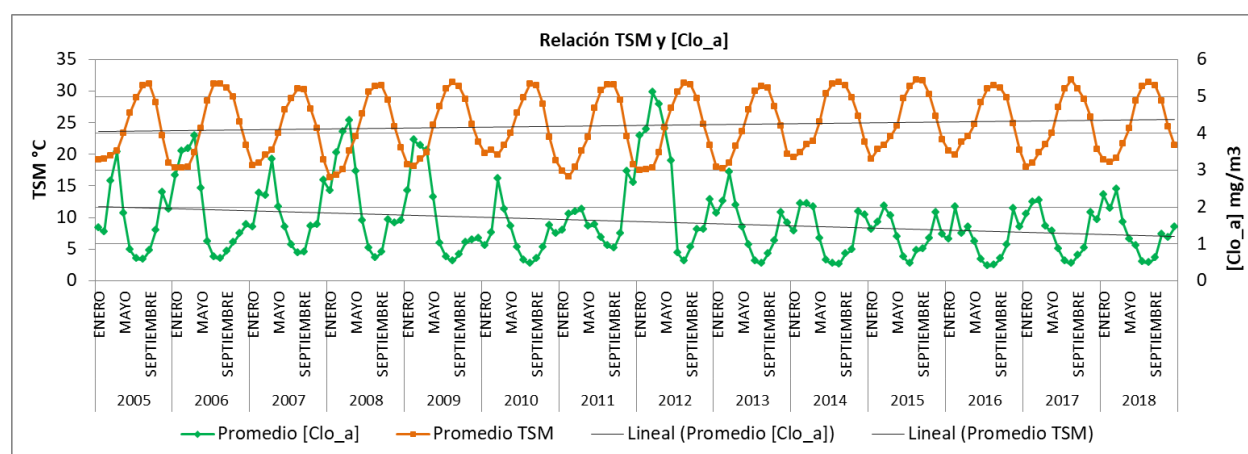


Figura 36. TSM y [Clo\_a] por zonas de pesca de sardina, a lo largo del tiempo. Fuente: Datos imágenes MODIS. Elaboración propia.

La Figura 37, muestra la relación de la TSM y [Clo\_a] del promedio de las tres zonas, podemos ver más clara la relación inversa que mantienen. Otro aspecto importante, es la tendencia de las variables, la TSM, tiene una tendencia a aumentar, y por lo tanto la [Clo\_a] a disminuir.

El año 2012 es el año que registra el pico más alto de [Clo\_a], en el mes de mayo, con  $5.09 \text{ mg/m}^3$  y una TSM de  $17.9^\circ\text{C}$ , mientras que en el mes de agosto del mismo año se registra la [Clo\_a] más baja con  $0.5 \text{ mg/m}^3$  con  $31.2^\circ\text{C}$ . Es evidente que la [Clo\_a], cambia mucho en el tiempo, muestra una tendencia anual, sin embargo, otros factores pueden influir sobre esta, como el aporte de materia orgánica proveniente de continente.



**Figura 37.** Relación TSM-[Clo\_a]. Fuente: Datos imágenes MODIS. Elaboración propia.

En la Figura 38 se observa espacialmente el patrón anual de TSM y [Clo\_a]. En recuadros rojos se marcan los meses con los registros más altos; y en recuadros amarillos, los registros más bajos. En la Figura 39, igualmente se muestran los patrones de ambas variables, y podemos ver cómo los meses con TSM más altos, muestran las [Clo\_a] más bajas, sin embargo se observa en la Figura 38, que para el mes de agosto, en la imagen de [Clo\_a], la región costera, sigue mostrando altas concentraciones, debido a los aportes de materia orgánica, y por la profundidad y circulación más limitada. Principalmente para la costa de Sinaloa, región con alta [Clo\_a], correspondiente a la costa en donde se ubica el sitio Ramsar Marismas Nacionales.

El mes de enero es el más frío, sin embargo, es hasta el mes de marzo, cuando se muestra la [Clo\_a] más alta, esto a causa del tiempo de respuesta de la fotosíntesis del fitoplancton. En el mes de enero, el GC presenta temperaturas frías de entre  $16\text{-}19^\circ\text{C}$  de forma

general, con regiones más frías al norte y sube la temperatura hacia el sur, sin embargo se puede ver que la [Clo\_a] es muy alta en la región costera, y es el mes de marzo en donde esta franja costera presenta la [Clo\_a] más alta, incluso se observa como la franja se va haciendo más ancha, principalmente en la franja de Sinaloa, así como el Alto Golfo y la zona de las grandes islas. Estas regiones con altas concentraciones corresponden espacialmente con las regiones de pesca de la sardina.



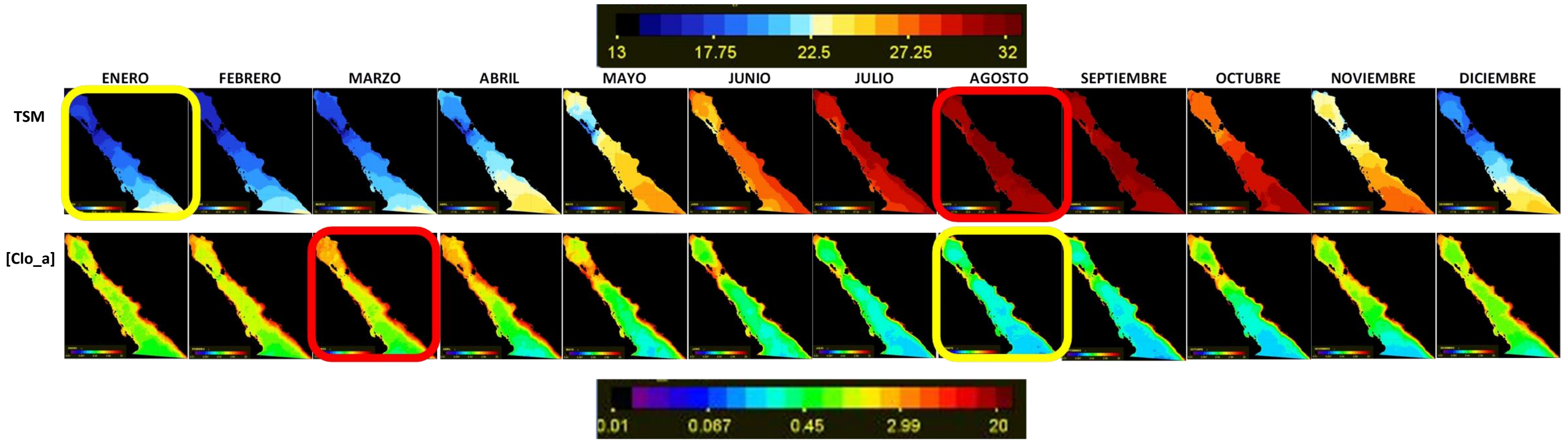


Figura 38. Patrón mensual de TSM y [Clo\_a] espacialmente. Fuente: imágenes MOIDS. Elaboración propia.

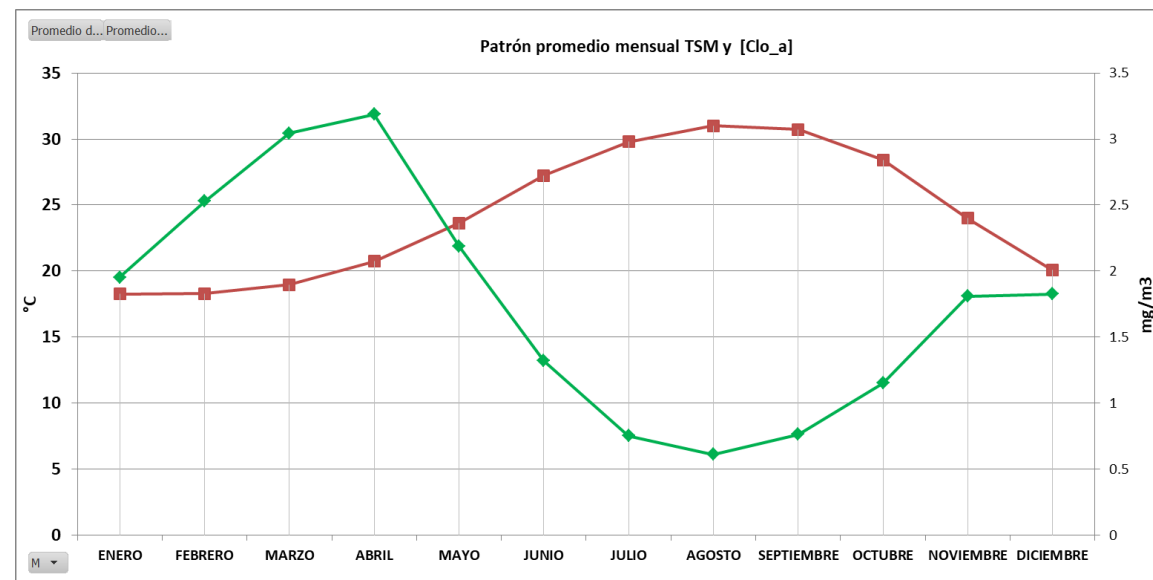


Figura 39. Patrón mensual de TSM y [Clo\_a], Promedio de las tres zonas. Fuente: datos imágenes MOIDS. Elaboración propia.

### 5.3.5 Datos Estadísticos de Captura

#### Sardina

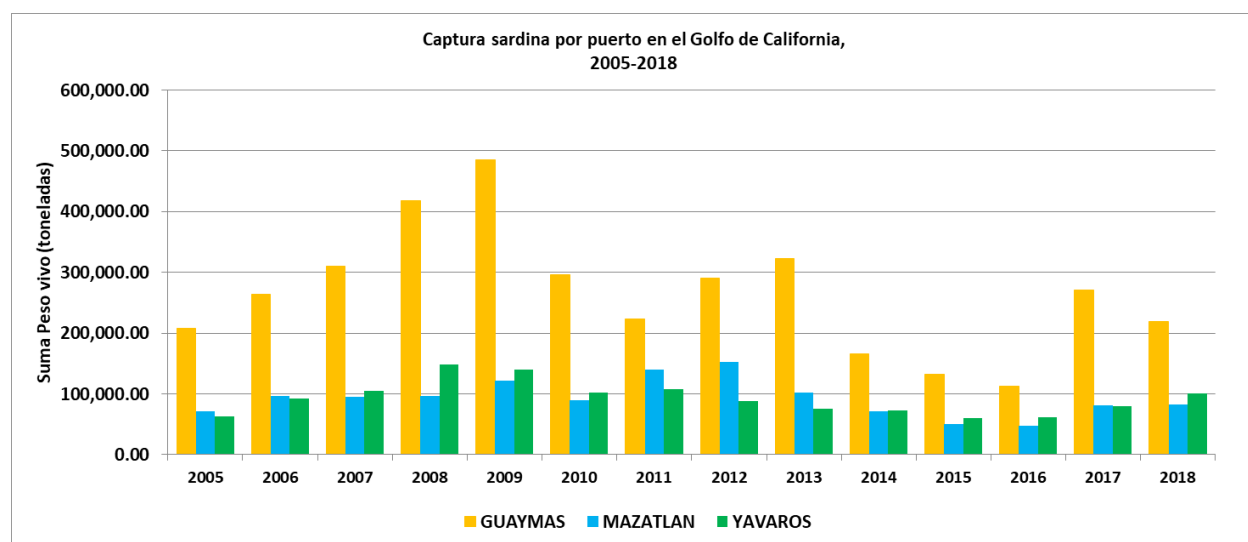
Existen diferentes sitios de desembarque en el GC, los principales puertos de descarga son Yavaros y Guaymas en Sonora, y Mazatlán en Sinaloa, representando el 99.7 % de los registros totales (Tabla 13), por lo que el análisis se centró en estos tres principales puertos:

**Tabla 13.** Participación de los sitios de desembarque en la pesca de la sardina (peso vivo t).

Sitio Desembarque	Suma PESO VIVO (t) SARDINA	Porcentaje%
GOLFO DE SANTA CLARA	14701.11	0.23236121
GUAYMAS	3716913.01	58.74
MAZATLAN	1298421.06	20.52
PUERTO PEÑASCO	550.31	0.008
SAN FELIPE	119.03	0.001
TOPOLOBAMPO	157.58	0.002
YAVAROS	1295974.88	20.48
<b>Total general</b>	<b>6326837.01</b>	<b>100</b>

Fuente: Datos CONAPESCA. Elaboración propia.

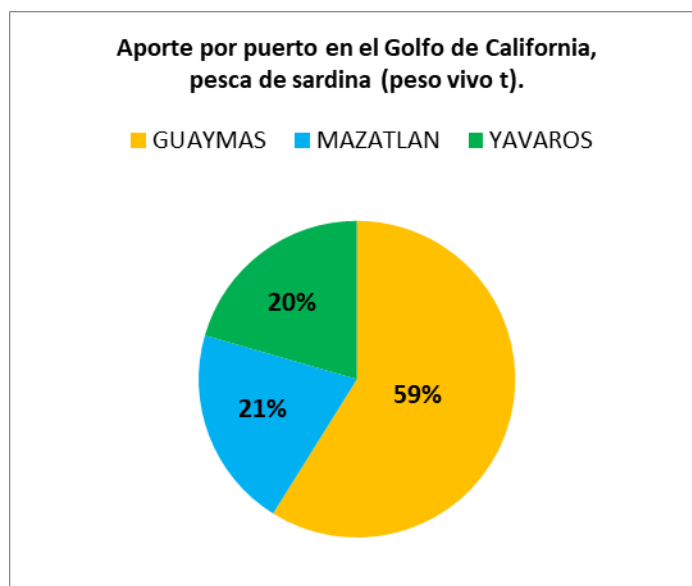
En la Figura 40, se muestran los datos por puerto, el principal es Guaymas en Sonora, a pesar de mostrar importante actividad, el año 2009, con más de 400 000 toneladas, muestra una importante disminución para los años 2015-2016, lo cual indica un importante cambio en la población de la sardina.



**Figura 40.** Peso vivo de las sardinas por puerto en el Golfo de California, periodo 2005-2018 (peso vivo).

Fuente: Datos CONAPESCA. Elaboración propia.

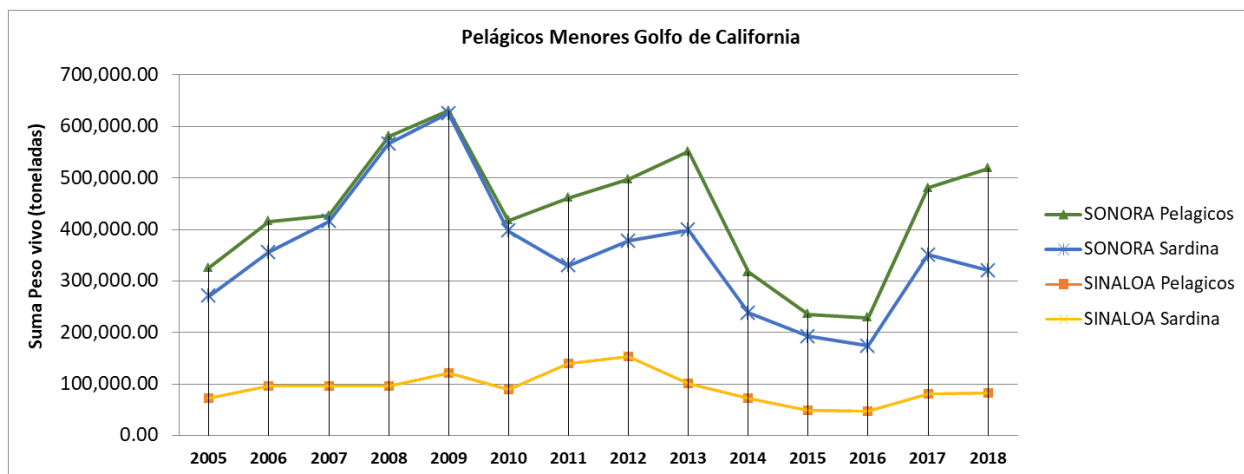
En la Figura 41, se muestra el aporte de los tres principales puertos, generando el 59% el puerto de Guaymas durante todo el periodo de estudio, lo que se corroboró en trabajo de campo, consultando al Ing. Leon Tissot Plant, Director de CANAINPESCA en Guaymas, que es el instituto encargado de la industria pesquera de la sardina.



**Figura 41.** Peso vivo de las sardinas por puerto en el Golfo de California (peso vivo t). Fuente: Datos CONAPESCA. Elaboración propia.

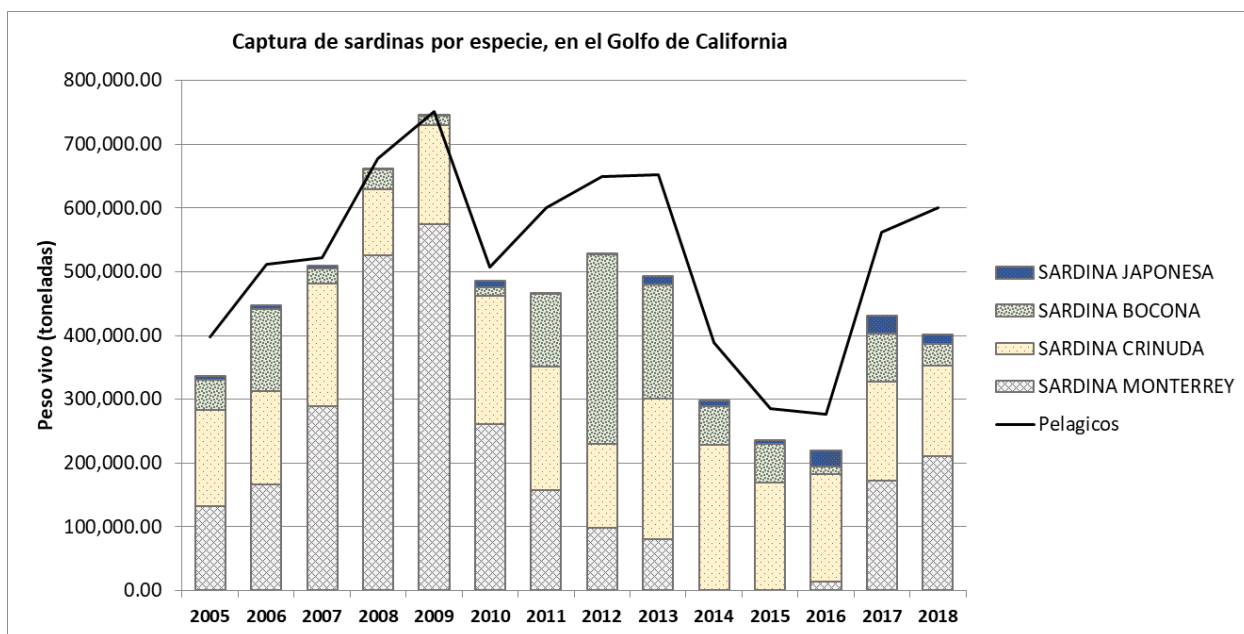
De forma general, los resultados de las estadísticas de 47 323 registros, podemos observar (Figura 42) que Sonora es el Estado con mayor cantidad de extracción de pelágicos menores (peso vivo) durante los 14 años de análisis, y aporta el 82.4 % (7 386 405.37 ton) de la producción en el periodo de estudio, con el mayor pico en el año 2009, por el contrario, en el 2016 la producción disminuye a menos de 250 000 toneladas.

Es evidente que Sinaloa no cuenta con la misma producción que Sonora y no muestra cambios tan abruptos, su comportamiento es similar al de Sonora, mostrando curvas similares.



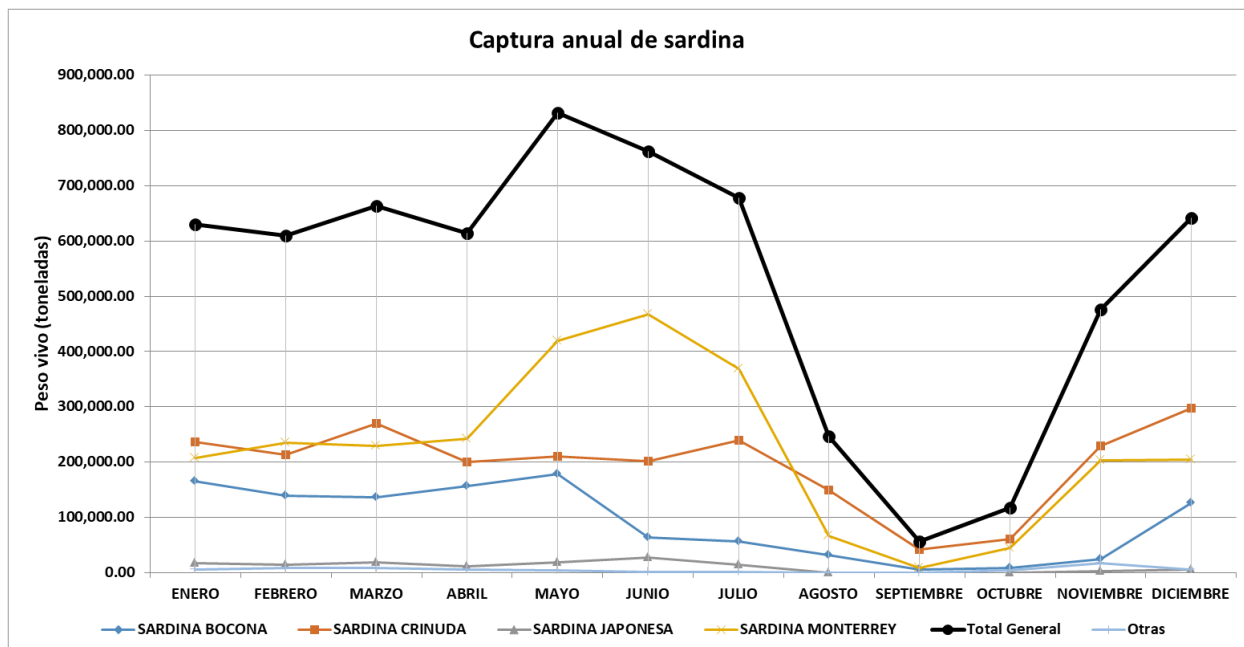
**Figura 42.** Peso vivo Pelágicos Menores Golfo de California (peso vivo t). Fuente: Datos CONAPESCA. Elaboración propia.

También se observa que es la sardina el principal recurso capturado dentro del grupo de los pelágicos menores. El grupo de las sardinas aporta el 85.44 % de la producción total de los pelágicos menores, siendo la sardina monterrey la principal especie con el 42.72 % (2 696 573.48 ton) y la sardina crinuda con el 37.22 % (2 349 327.12), dentro del total del grupo de sardinas (Figura 43).



**Figura 43.** Peso vivo de las sardinas, y Pelágicos Menores Golfo de California (peso vivo t). Fuente: Datos CONAPESCA. Elaboración propia.

En cuanto a la producción por mes, se calculó la sumatoria del peso vivo de las principales especies de sardina y la captura total de sardinas, para ver la dinámica mensual.

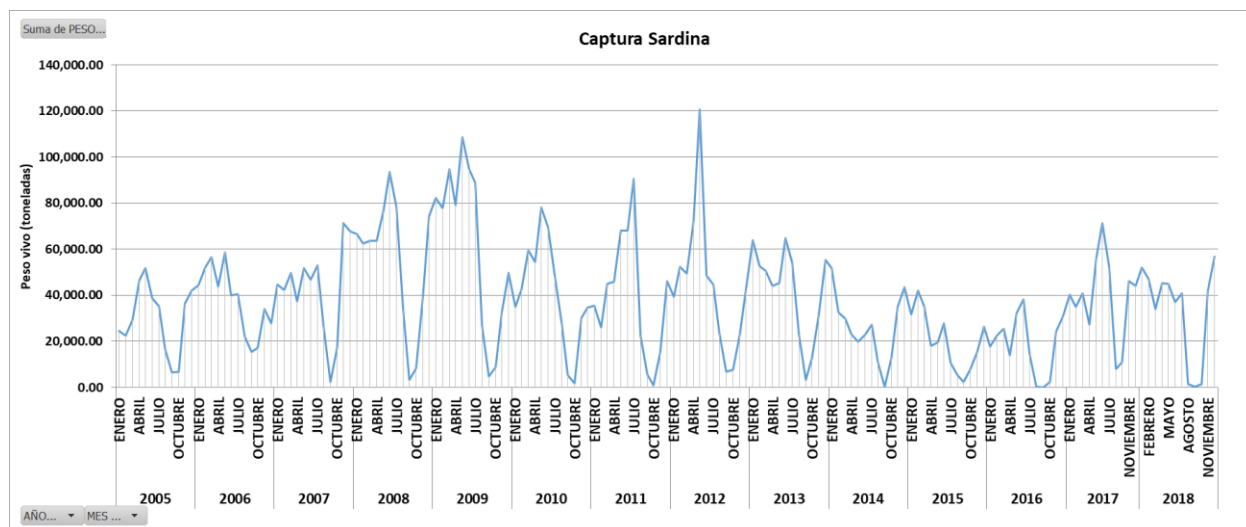


**Figura 44.** Peso vivo de las sardinas por puerto en el Golfo de California (peso vivo t). Fuente: Datos CONAPESCA. Elaboración propia.

Se observa en la figura 44, que la captura de las diferentes especies de sardina se comporta distinto a lo largo del año. La pesca de la sardina Monterrey es la especie que muestra el mayor pico con 467 136 t en el mes de junio, y la sardina crinuda en el mes de diciembre. En general todas las especies de sardina muestran los promedios más bajos en los meses de agosto, septiembre y octubre, esto debido a que la actividad pesquera de sardina decide parar sus actividades para dar mantenimiento a sus equipos e instalaciones, así como medida para cuidar de las poblaciones. Estas medidas no son una veda, sino un paro voluntario.

En color negro, la línea describe la captura general de las sardinas, señalando que es el mes de mayo a julio, los principales meses de producción.

En la Figura 45 se muestra la línea del tiempo durante los 14 años, de todas las especies de sardina en conjunto. El año con el pico más alto es el 2012, en el mes de mayo con 120 737 toneladas, y el año con menor producción fue 2016.



**Figura 45.** Peso vivo de las sardinas por mes, durante el periodo de análisis. Fuente: Datos CONAPESCA. Elaboración propia.

### 5.3.6 Correlación Temperatura Superficial del Mar, Concentración de Clorofila<sub>a</sub> y Pesca de Sardina, por Zona de Pesca

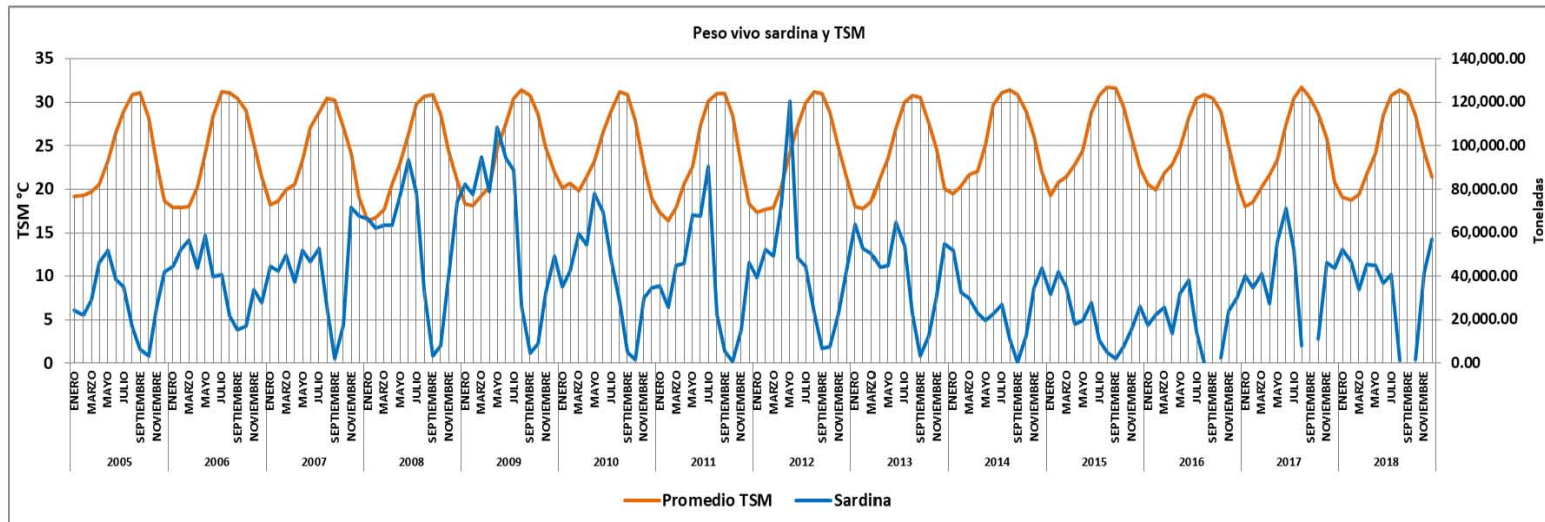
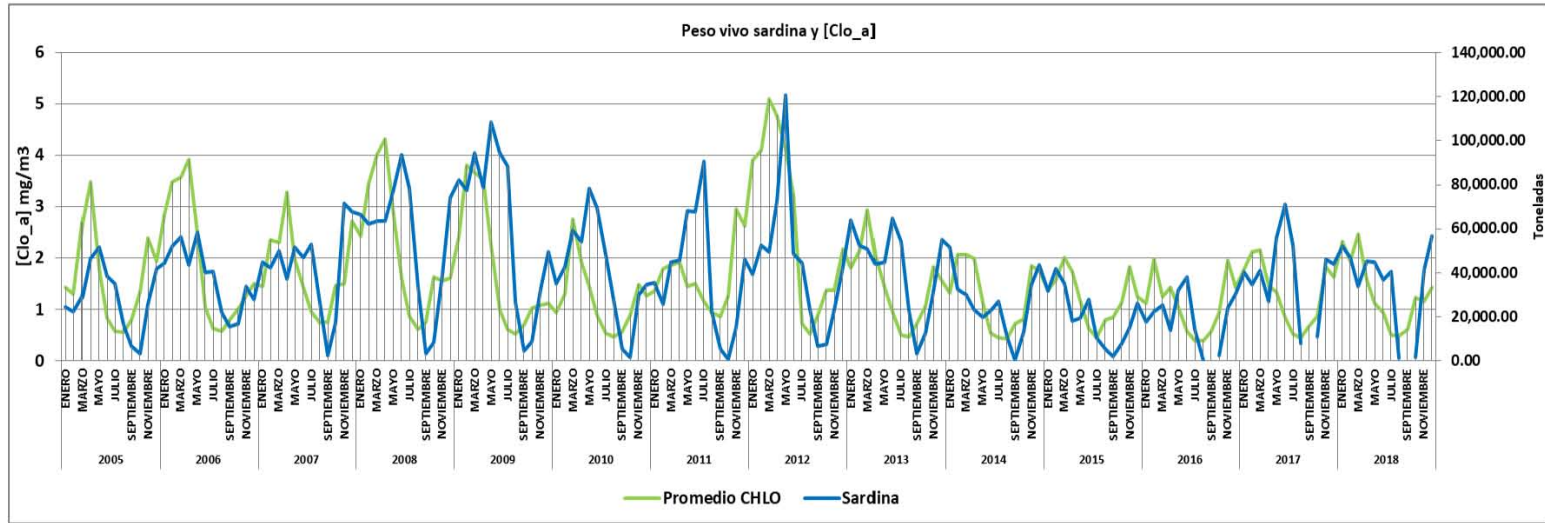
En la Tabla 14, se muestran los resultados generales, que contempla todas las zonas de pesca de sardina. La correlación más alta es entre TSM y [Clo<sub>a</sub>], con una  $r=-0.724$ ; la [Clo<sub>a</sub>] y sardina, con una  $r = 0.648$  y la relación entre TSM y sardina es de  $r=-0.582$ . Las dos primeras se consideran significativas, lo que indican una relación fuerte. Notemos que la relación entre [Clo<sub>a</sub>] y sardina, es positiva, lo que indica que a mayor [Clo<sub>a</sub>], mayor es la pesca de sardina. En cambio, la relación de TSM y sardina, es negativa, a mayor TSM, menor la captura de sardina.

**Tabla 14.** Tabla de resultados de la correlación Pearson, TSM-[Clo\_a]-Pesca Sardina.**GENERAL SARDINA**

TSM-[Clo_a]			[Clo_a]-Sardina			TSM-Sardina		
<b>Cross Correlations</b> Series Pair:TSM with Clo_a			<b>Cross Correlations</b> Series Pair:Clo_a with Sardina			<b>Cross Correlations</b> Series Pair:TSM with Sardina		
Lag	Cross Correlation	Std. Error <sup>a</sup>	Lag	Cross Correlation	Std. Error <sup>a</sup>	Lag	Cross Correlation	Std. Error <sup>a</sup>
-7	.473	.079	-7	-.173	.079	-7	.054	.079
-6	.646	.079	-6	-.313	.079	-6	.263	.079
-5	.636	.078	-5	-.294	.078	-5	.437	.079
-4	.440	.078	-4	-.197	.078	-4	.494	.078
-3	.105	.078	-3	-.099	.078	-3	.401	.078
-2	-.273	.078	-2	.046	.078	-2	.166	.078
-1	-.577	.077	-1	.273	.077	-1	-.143	.078
0	-.724	.077	0	.485	.077	0	-.433	.077
1	-.692	.077	1	.659	.077	1	-.582	.078
2	-.515	.078	2	.642	.078	2	-.585	.078
3	-.213	.078	3	.480	.078	3	-.433	.078
4	.145	.078	4	.172	.078	4	-.213	.078
5	.449	.078	5	-.150	.078	5	.042	.079
6	.611	.079	6	-.291	.079	6	.275	.079
7	.599	.079	7	-.280	.079	7	.439	.079

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo en la Figura 41 se observan tanto la TSM como [Clo\_a], en conjunto con Pesca Sardina, y podemos ver que son la [Clo\_a] y pesca de sardina, las variables que muestran una mayor relación en el tiempo. La [Clo\_a] y pesca de sardina, muestran un comportamiento similar, si bien son heterogéneos presentan una temporalidad, como la que ya se había descrito anteriormente a lo largo del año, sumando a esto que los picos de captura corresponden también a los picos de la [Clo\_a], con una correlación de Pearson de  $r=0.659$ , lo que indica que es buena, mientras la [Clo\_a] sea alta, también serán altas las cantidades de sardina capturada, lo cual se ha obtenido en otros estudios similares (Heras Sánchez, 2018; Lanz *et al.* 2009) con correlaciones muy cercanas a las obtenidas en el presente trabajo. Heras Sánchez (2018), reporta esta correlación para la sardina Monterrey, lo que es lógico, ya que es la principal especie capturada y por lo tanto el principal recurso que corresponde al total de peso vivo. Para el caso de la TSM, la Figura 46 muestra la relación entre TSM y Sardina, y podemos ver que tienen una relación, sin embargo esta es una relación inversa. Lo que es más evidente para las temperaturas bajas, que corresponde a las altas cantidades de peso vivo de sardina, en especial para el año 2009. El resultado de su correlación es de  $r = -0.582$ .



**Figura 46.** Relación de variables con la pesca de sardina, a nivel general (todas las zonas de pesca). Fuente: Datos CONAPESCA. Elaboración propia.



A continuación se muestran los resultados por zona de pesca, en donde cada una de ellas tiene características particulares y por lo tanto responden de forma diferente a la relación de la pesca y las características ambientales.

### 5.3.6.1 Zona Guaymas

La zona de Guaymas, comprende el área marina frente a la costa de Guaymas, zona de las Grandes Islas, y parte norte de BCS. Los resultados, en la Tabla 15, indican una correlación entre [Clo\_a] y TSM con una  $r = -0.629$ , indica una correlación alta, sin desfase en la relación.

**Tabla 15.** Resultados de correlación cruzada TSM-[Clo\_a]-Pesca Sardina. Zona Guaymas.

#### GUAYMAS

TSM-[Clo_a]			[Clo_a]-Sardina			TSM-Sardina		
Cross Correlations			Cross Correlations			Cross Correlations		
Series Pair:TSM with Clo_a			Series Pair:Clo_a with Sardina			Series Pair:TSM with Sardina		
Lag	Cross Correlation	Std. Error <sup>a</sup>	Lag	Cross Correlation	Std. Error <sup>a</sup>	Lag	Cross Correlation	Std. Error <sup>a</sup>
-7	.351	.079	-7	-.142	.083	-7	-.118	.083
-6	.554	.079	-6	-.228	.083	-6	-.027	.083
-5	.620	.078	-5	-.154	.082	-5	.095	.082
-4	.502	.078	-4	-.051	.082	-4	.227	.082
-3	.203	.078	-3	-.018	.082	-3	.324	.082
-2	-.174	.078	-2	-.028	.082	-2	.252	.082
-1	-.481	.077	-1	.077	.081	-1	.031	.081
0	-.629	.077	0	.320	.081	0	-.249	.081
1	-.620	.077	1	.550	.081	1	-.401	.081
2	-.486	.078	2	.448	.082	2	-.387	.082
3	-.240	.078	3	.172	.082	3	-.258	.082
4	.061	.078	4	-.099	.082	4	-.127	.082
5	.343	.078	5	-.201	.082	5	-.017	.082
6	.534	.079	6	-.056	.083	6	.119	.083
7	.592	.079	7	.038	.083	7	.280	.083

Fuente: Elaboración propia.

Para la [Clo\_a] y la sardina, se obtuvo una correlación de  $r = 0.550$ , en el Lag 1, indica un mes de retraso, lo que quiere decir que el cambio de la [Clo\_a] se verá reflejado un mes después en la captura de sardina. Los efectos del cambio de TSM sobre la pesca de sardina se observa una relación muy baja con una  $r = -0.401$ , en la Lag 1, que al igual que con la [Clo\_a], el cambio en la pesca se reflejará después.

La relación más fuerte fue la de TSM y [Clo\_a], mientras que la relación más baja fue entre TSM y la Pesca de Sardina, se puede decir que la pesca de sardina en esta zona depende más de la variabilidad de [Clo\_a] que de la TSM, sin embargo la [Clo\_a] es dependiente de la TSM.

### 5.3.6.2 Zona Yavaros

Esta región corresponde a la zona marina frente al puerto de Yavaros, Sonora. Mostró la correlación más alta entre TSM y [Clo\_a], con una  $r = -0.744$ , la más alta en comparación con las otras regiones, sin ningún desfase en la relación, o bien podría tener desfase de semanas (Tabla 16).

**Tabla 16.** Resultados de correlación cruzada TSM-[Clo\_a]-Pesca Sardina. Zona Yavaros.

#### YAVAROS

TSM-[Clo_a]			[Clo_a]-Sardina			TSM-Sardina		
Cross Correlations			Cross Correlations			Cross Correlations		
Series Pair:TSM with Clo_a			Series Pair:Clo_a with Sardina			Series Pair:TSM with Sardina		
Lag	Cross Correlation	Std. Error <sup>a</sup>	Lag	Cross Correlation	Std. Error <sup>a</sup>	Lag	Cross Correlation	Std. Error <sup>a</sup>
-7	.523	.079	-7	.050	.083	-7	-.022	.083
-6	.627	.079	-6	-.061	.083	-6	.089	.083
-5	.551	.078	-5	-.168	.083	-5	.259	.083
-4	.316	.078	-4	-.146	.082	-4	.241	.082
-3	-.011	.078	-3	-.112	.082	-3	.254	.082
-2	-.355	.078	-2	.040	.082	-2	.049	.082
-1	-.633	.077	-1	.175	.082	-1	-.025	.082
0	-.744	.077	0	.288	.081	0	-.265	.081
1	-.659	.077	1	.317	.082	1	-.239	.082
2	-.442	.078	2	.329	.082	2	-.328	.082
3	-.121	.078	3	.330	.082	3	-.307	.082
4	.244	.078	4	.190	.082	4	-.187	.082
5	.508	.078	5	.060	.083	5	-.041	.083
6	.593	.079	6	-.088	.083	6	.112	.083
7	.513	.079	7	-.297	.083	7	.256	.083

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de la relación entre la [Clo\_a] y sardina, resultó una  $r = 0.317$  en el Lag 1, entendiéndose que la pesca de sardina responde positivamente al cambio en la [Clo\_a], sin embargo no de forma significativa. La TSM y sardina en el Lag 0, dio una  $r = -0.265$ , relaciones que se consideran débiles o nulas, al igual que la anterior.

### 5.3.6.3 Zona Mazatlán

Por último, la zona de Mazatlán, resultó con una  $r = -0.692$  para la relación entre [Clo\_a] y TSM, es una relación alta, y al igual de las anteriores no muestra algún desfase (Tabla 17).

**Tabla 17.** Resultados de correlación cruzada TSM-[Clo\_a]-Pesca Sardina. Zona Mazatlán.

#### MAZATLÁN

TSM-[Clo_a]			[Clo_a]-Sardina			TSM-Sardina		
Cross Correlations			Cross Correlations			Cross Correlations		
Series Pair:TSM with Clo_a			Series Pair:Clo_a with Sardina			Series Pair:TSM with Sardina		
Lag	Cross Correlation	Std. Error <sup>a</sup>	Lag	Cross Correlation	Std. Error <sup>a</sup>	Lag	Cross Correlation	Std. Error <sup>a</sup>
-7	.399	.079	-7	.153	.082	-7	-.103	.082
-6	.517	.079	-6	-.066	.082	-6	.143	.082
-5	.469	.078	-5	-.184	.082	-5	.334	.082
-4	.281	.078	-4	-.147	.081	-4	.413	.081
-3	.006	.078	-3	-.002	.081	-3	.355	.081
-2	-.281	.078	-2	.148	.081	-2	.183	.081
-1	-.537	.077	-1	.334	.081	-1	-.105	.081
0	-.692	.077	0	.507	.080	0	-.453	.080
1	-.674	.077	1	.593	.081	1	-.649	.081
2	-.508	.078	2	.559	.081	2	-.611	.081
3	-.237	.078	3	.498	.081	3	-.457	.081
4	.074	.078	4	.291	.081	4	-.207	.081
5	.323	.078	5	.036	.082	5	.059	.082
6	.457	.079	6	-.133	.082	6	.267	.082
7	.423	.079	7	-.190	.082	7	.371	.082

Fuente: Elaboración propia.

La correlación entre [Clo\_a] y la pesca de sardina, es de  $r = 0.593$ , en el Lag 1, la relación más alta de entre las tres regiones, quiere decir que la pesca de la sardina en esta zona en particular, está más condicionada por la concentración de [Clo\_a]. La correlación entre TSM y Sardina fue de una  $r = -0.649$  en el Lag número 1, es alto en comparación con los resultados de la otras zonas.

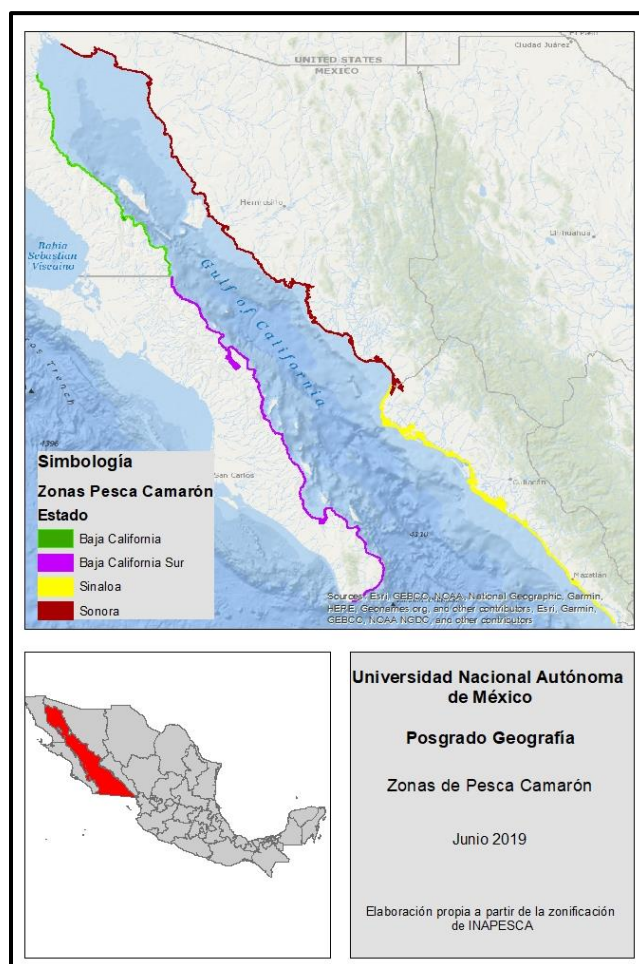
Podemos ver que la zona con mayor correlación entre TSM y [Clo\_a], fue la zona de Yavaros, esto puede deberse a diferentes causas, una de ellas es que es la región más pequeña y por lo tanto la variabilidad es menor en comparación con las otras zonas.

## 5.4 CAMARÓN

Para el camarón se obtuvieron los siguientes resultados:

### 5.4.1 Zonas De Pesca

Como resultado de la zonificación a partir de la que utiliza INAPESCA para delimitar las zonas de pesca del camarón, se generaron cuatro zonas, las cuales corresponden una para cada estado, en el caso de BCS, se delimitó y utilizó la información de los sitios reportados dentro del GC, mientras que para BC, Sonora y Sinaloa, se tomaron todos los registros, así como toda su franja costera. Posteriormente al igual que con la sardina, se analizaron los datos extraídos de las zonas, tanto de TSMN, [Clo\_a] y peso vivo capturado de camarón. En la figura 42 se muestran las regiones para el camarón, por la escala se observan como líneas, sin embargo se trata de polígonos. En color morado la región costero-marina de Baja California Sur, color verde Baja California, rojo Sonora y amarillo Sinaloa (Figura 47).



**Figura 47.** Zonificación áreas de pesca Camarón. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los datos extraídos de las imágenes, que corresponden únicamente a las áreas de pesca, se obtuvieron los siguientes resultados.

#### **5.4.2 Temperatura Superficial del Mar Nocturna (TSMN)**

Para la pesca de camarón se utilizaron imágenes de TSMN, por las características de la pesca, que se lleva acabo principalmente por la noche. En la Figura 48 se observan los registros por zona de pesca del camarón, y podemos ver que el comportamiento de la TSMN es muy similar, registrando las temperaturas bajas en un rango de 14-15° C, en los meses de diciembre a febrero. Y temperaturas altas de 30-31°, durante los meses de agosto-septiembre.

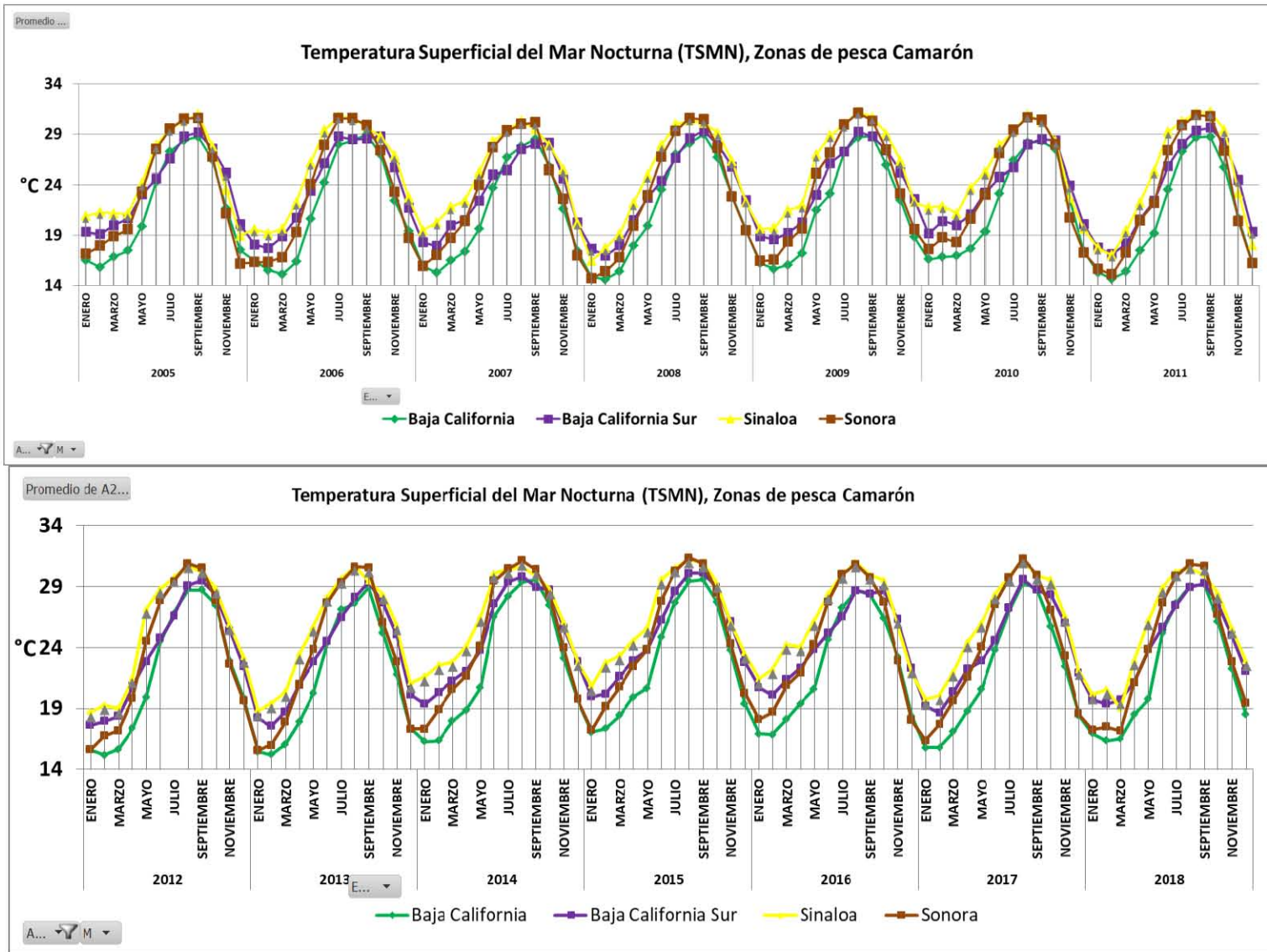
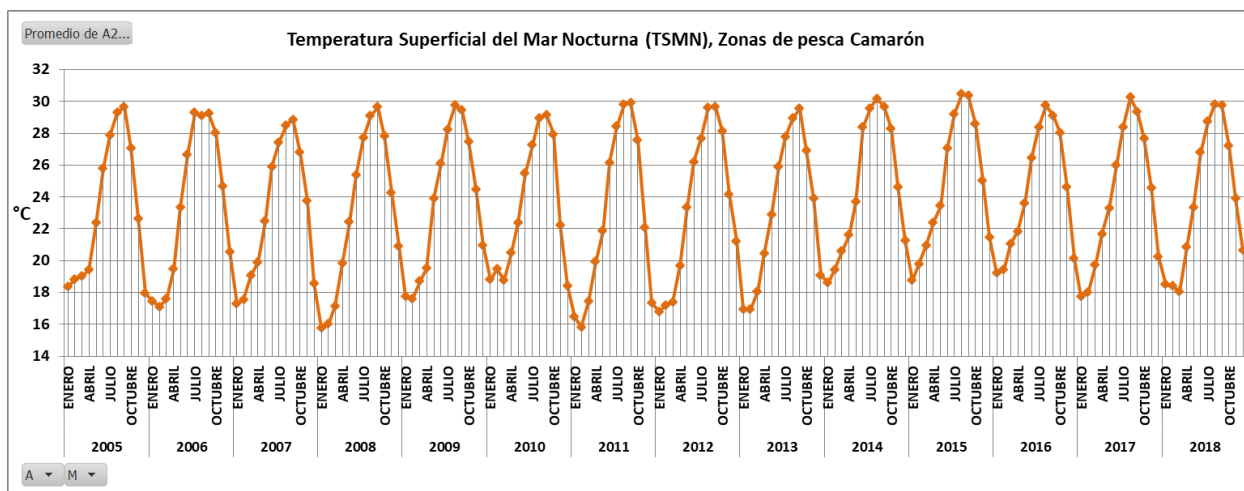


Figura 48. Temperatura Superficial del Mar Nocturna por zonas de pesca de camarón, a lo largo del tiempo.

Para observar mejor la temporalidad, se promediaron las cuatro zonas de pesca, y se observó la misma temporalidad que muestra el análisis de las imágenes anteriormente descritas, la dinámica es igual a la dinámica de las áreas de pesca de sardina, no obstante, los rangos de temperatura son distintos, esto por el uso de las imágenes nocturnas, además por el cambio de condiciones al utilizar datos más cercanos a la costa, al ser zonas menos profundas el intercambio y mezcla de la columna de agua es menor en comparación con las aguas más oceánicas (Figura 49).

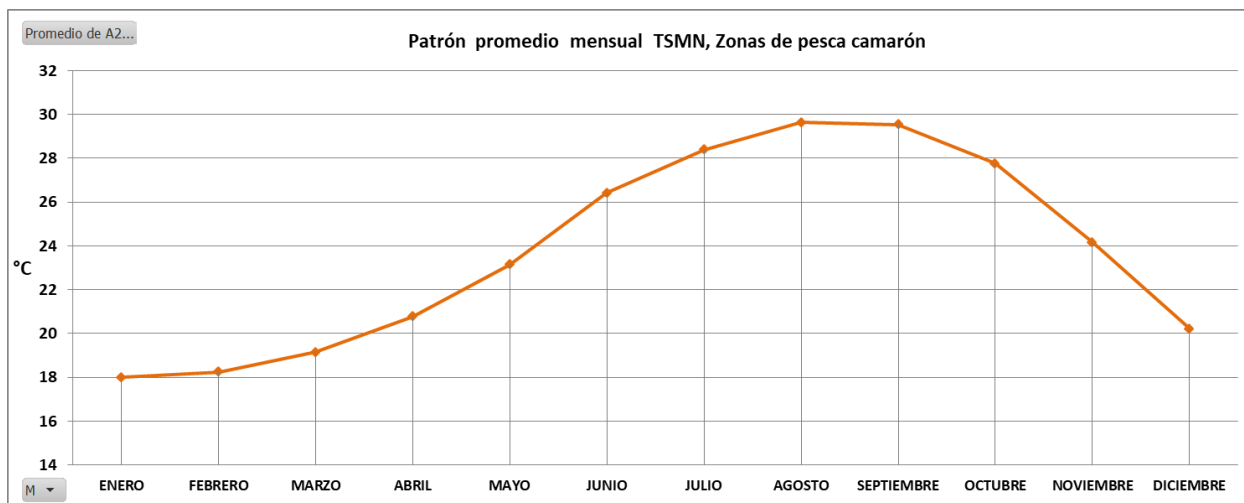
De igual forma que las zonas de sardina, las temperaturas menores a 25°C, corresponden a los meses de noviembre hasta mayo. Los meses de agosto y septiembre, presentan las temperaturas más altas, alrededor de los 30°C. El rango de temperatura de las zonas de sardina, van de 17-32°C, mientras que para estas imágenes y zonas van de 15.5–30°C. En cuanto a la tendencia, es la misma, muestra cierta homogeneidad a lo largo de los 14 años, si bien se observan cambios, se mantiene un patrón (Figura 49).



**Figura 49.** Temperatura Superficial del Mar Nocturna 2005-2018. Promedio de las zonas Camarón.

Fuente: Datos imágenes MODIS. Elaboración propia.

La Figura 50, muestra que existe un patrón, a lo largo del año. Las temperaturas más bajas son de 18°C, en el mes de enero, y las temperaturas más altas son de 29.8 °C, en el mes de agosto.



**Figura 50.** Patrón mensual promedio de la TSM, de las zonas de pesca de camarón, 2005-2018. Fuente: Datos imágenes MODIS. Elaboración propia.

### 5.4.3 Concentración de Clorofila [Clo\_a]

Para las zonas de pesca del camarón, los datos de [Clo\_a] se muestran en la Figura 51, se observa que los primeros nueve años, del 2005-2013, las zonas muestran grandes diferencias, resalta la [Clo\_a] de Sinaloa, seguido de Sonora, que registran hasta  $21.5 \text{ mg/m}^3$ , zonas que corresponden a las más productivas a nivel general en el tema de pesquerías, así mismo corresponde con los datos de las zonas de sardina. Posteriormente del año 2014 al 2018 los registros bajan considerablemente y las zonas se muestran más homogéneas, esto debido a que cambia la resolución espacial de las imágenes a 4 km.

Por tratarse de zonas costeras, se observan grandes [Clo\_a] de hasta  $21.5 \text{ mg/m}^3$ . En comparación con las zonas de sardina, las máximas concentraciones por zona estaban alrededor de los  $6\text{-}7 \text{ mg/m}^3$ , esto por las fuentes de materia orgánica cercanos a la costa. En este caso también es evidente que los datos de las imágenes de 1 y 4 km, muestra una diferencia, ya que los de 4 km son más generalizados y no registran concentraciones tan altas como lo hacen las imágenes de 1 km de resolución espacial, por lo que en la figura 51 y 52, es evidente una disminución considerable, a partir del año 2014. A pesar de esto, muestra la misma tendencia.

Cabe mencionar que los datos de las imágenes con distinta resolución espacial fueron analizados de forma independiente y posteriormente integrados al mismo gráfico.



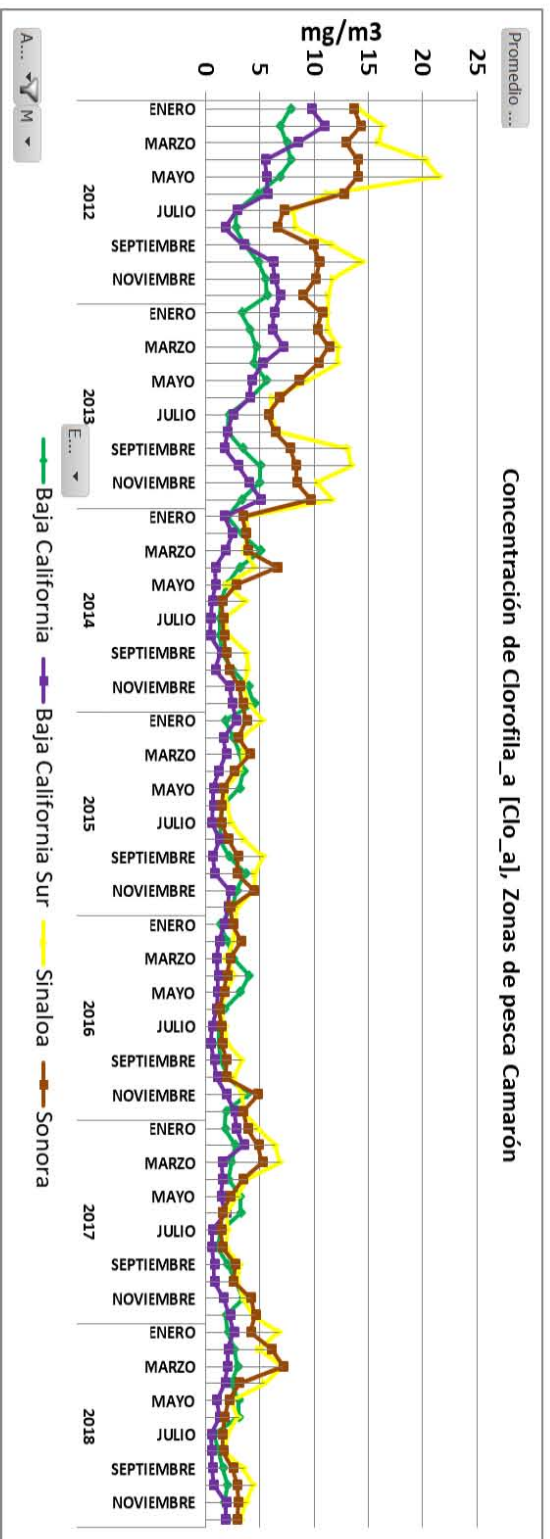
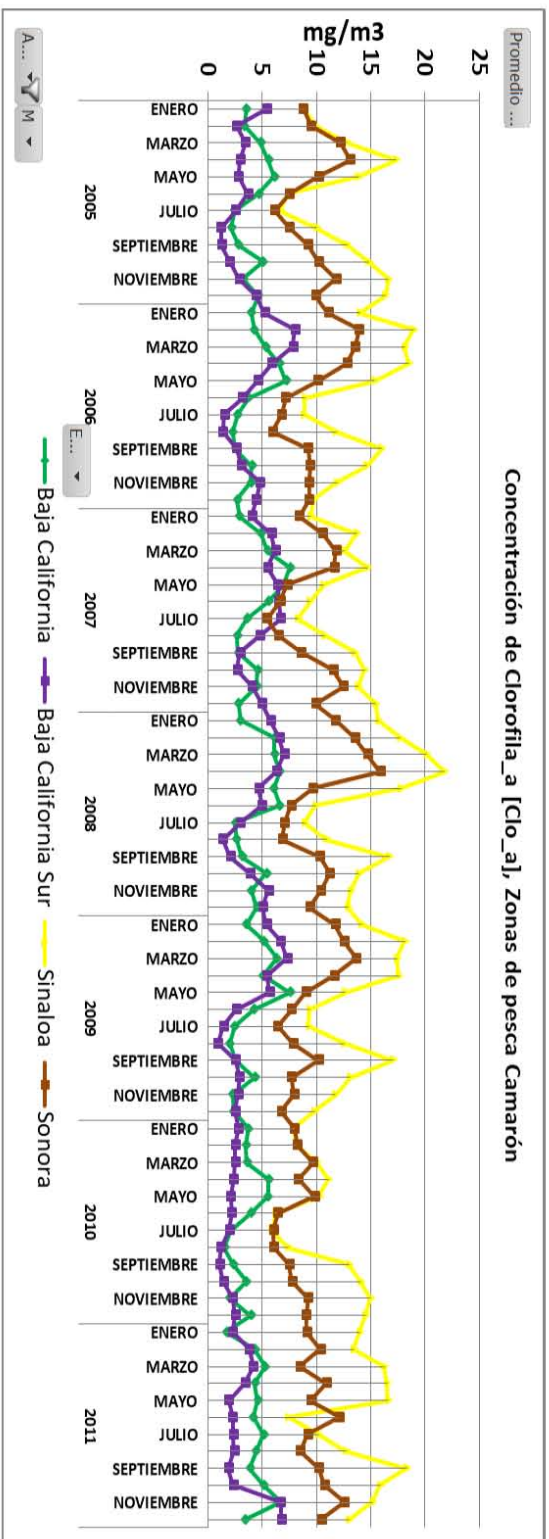
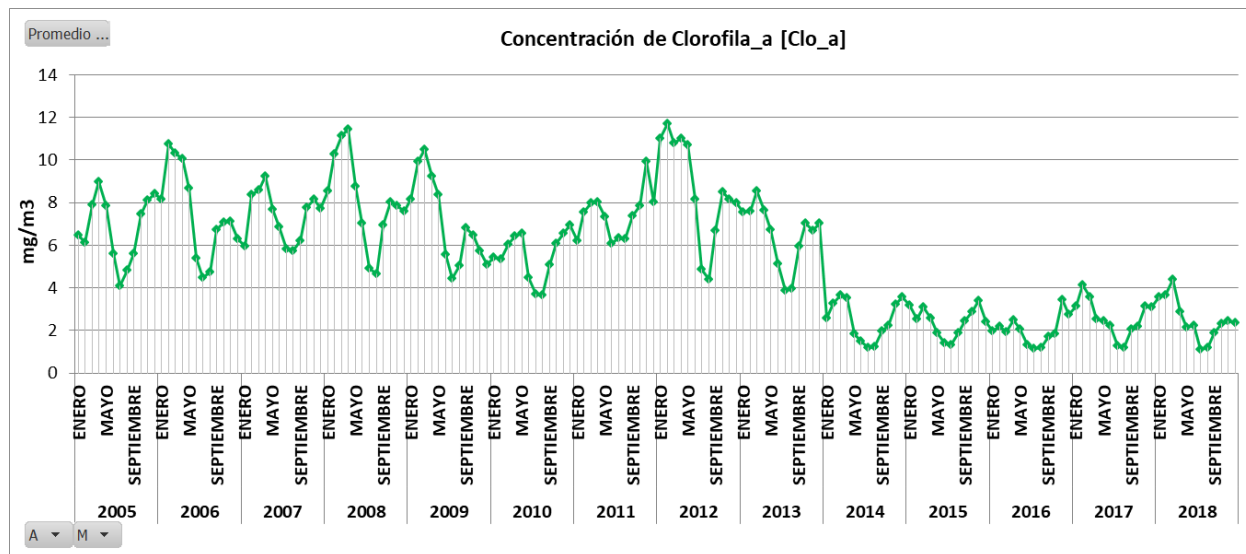


Figura 51. Concentración de Clorofila\_a por zonas de pesca de camarón, a lo largo del tiempo.

Para observar mejor la dinámica de los ciclos, en la Figura 52 se promediaron los datos de las cuatro zonas, y a pesar de mostrar gran variabilidad se pueden identificar un periodo con alta y baja concentración.

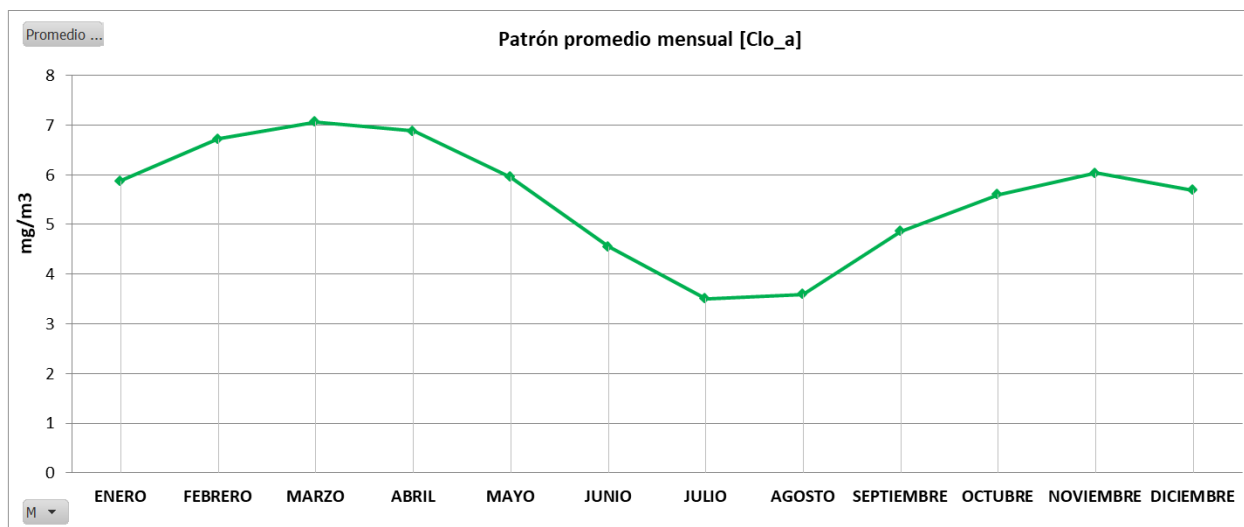


**Figura 52.** Promedios mensuales de [Clo\_a] del periodo 2005-2018. Promedio zonas Camarón.

Fuente: Datos imágenes MODIS. Elaboración propia.

Al igual que para las zonas de sardina es evidente que los patrones de clorofila no son tan marcados año tras año como lo es la TSM. Se observa que existe una gran variabilidad interanual en la clorofila en especial para el año 2012, con los registros más altos de concentración,  $11.4 \text{ mg/m}^3$  en promedio en el mes de febrero. En el año 2016 se registraron los valores más bajos, en especial para el mes de julio, con una concentración de  $1.1 \text{ mg/m}^3$ .

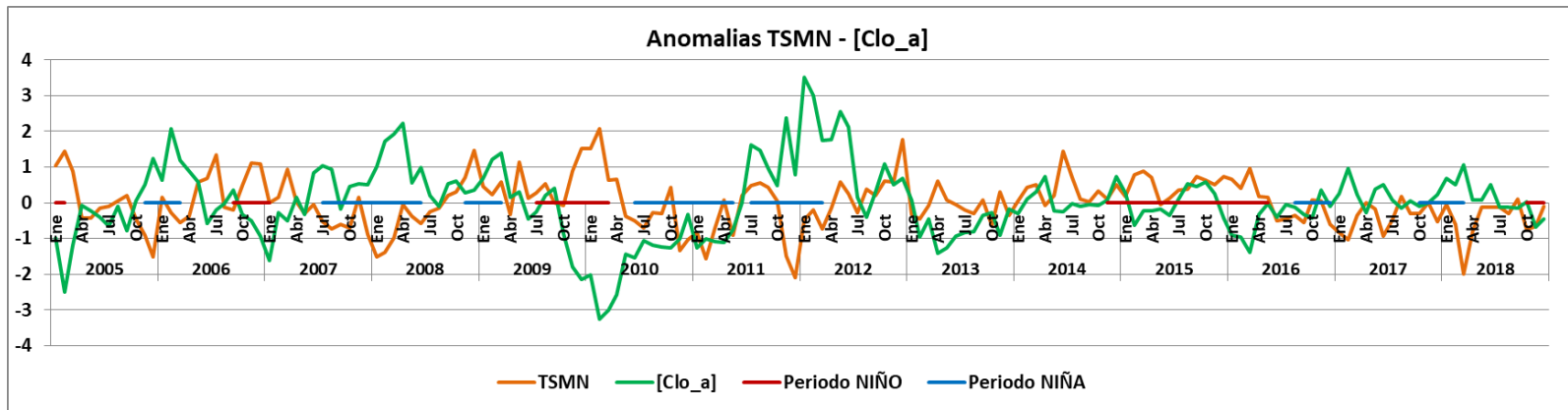
En la Figura 53 se observa mejor el ciclo a lo largo del año, mostrando el aumento de [Clo\_a] en los meses de enero-abril, con [Clo\_a] de  $5.9\text{-}6.9 \text{ mg/m}^3$ , mientras que disminuye en julio y agosto, con [Clo\_a] de  $3.3 \text{ mg/m}^3$ , lo cual corresponde inversamente con el aumento y disminución de la TSMN.



**Figura 53.** Patrón promedio mensual de la [Clo\_a], de las zonas de pesca de camarón, 2005-2018.

Fuente: Datos imágenes MODIS. Elaboración propia.

A continuación se muestran las anomalías de [Clo\_a], y de TSMN del promedio de las cuatro regiones juntas. En esta gráfica se observa que la TSMN y [Clo\_a] se relacionan con los eventos de ENOS. También se observa la relación entre TSMN y [Clo\_a], mientras las anomalías de TSMN son por encima de la media normal, las anomalías de [Clo\_a] son por debajo de la media normal (Figura 54).



**Figura 54.** Anomalías TSMN y [Clo\_a] del promedio de las zonas de pesca de camarón. Fuente: Datos imágenes MODIS. Elaboración propia.

#### 5.4.4 Relación Temperatura Superficial del Mar y Concentración de Clorofila\_a

A continuación, en la Tabla 18, se muestran los resultados del análisis de la FCCM de las variables, los resultados son muy distintos a los de la sardina, primero por ser distintas zonas, por lo tanto características diferentes de profundidad, mezcla de la columna de agua, aportes externos de materia orgánica de continente, así como características propias de la especie:

**Tabla 18.** Resultados de correlación entre [Clo\_a] y TSMN, para 1 y 4 km de resolución. Zonas Camarón.

1 km resolución espacial				4 km resolución espacial			
Correlations				Correlations			
		Clo_a	TSMN			Clo_a	TSMN
Pearson Correlation	Clo_a	1.000	-.573	Pearson Correlation	Clo_a	1.000	-.709
	TSMN	-.573	1.000		TSMN	-.709	1.000
Sig. (1-tailed)	Clo_a	.	.000	Sig. (1-tailed)	Clo_a	.	.000
	TSMN	.000	.		TSMN	.000	.
N	Clo_a	108	108	N	Clo_a	60	60
	TSMN	108	108		TSMN	60	60

Fuente: Elaboración propia.

Al igual que los datos de las zonas de sardina, los resultados muestran que el coeficiente de Pearson es mucho más grande para los datos con 4 km de resolución espacial, con una  $r = -0.709$ , mientras que para los datos de 1 km, la  $r = -0.573$ . También se utilizaron los datos de ambas imágenes de forma conjunta, el coeficiente de Pearson general bajó a  $r=0.408$ , esto debido a que los datos son más variables, principalmente para la [Clo\_a] en comparación con los datos de las zonas de sardina.

Posteriormente se realizó un análisis de correlación cruzada, obteniendo que de los siete cruces que se ejecutaron, el Lag 0 es el que mayor correlación con una  $r = -0.408$ , lo que indica que no muestra retraso o desfase (Figura 55).

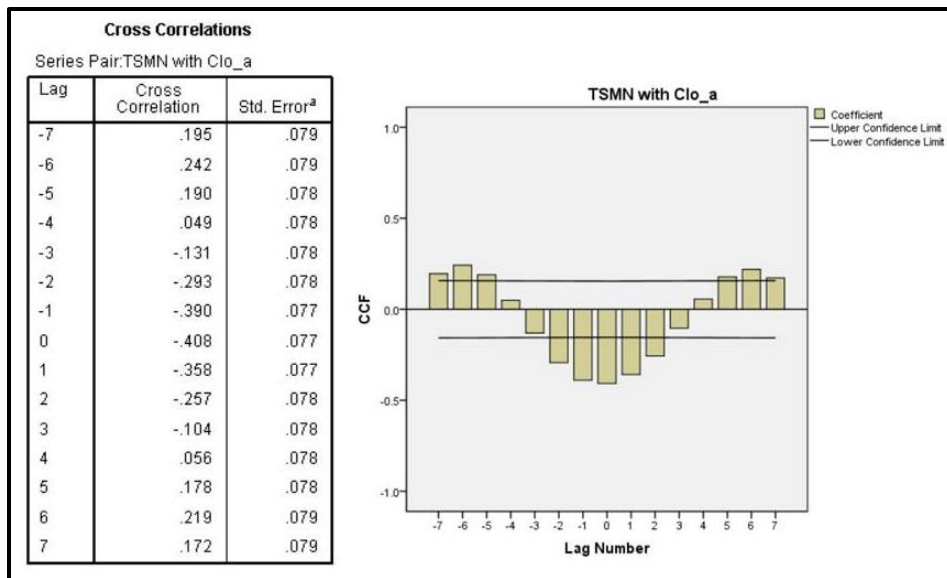


Figura 55. Resultados correlación cruzada TSMN-[Clo\_a]. Fuente: Elaboración propia.

La relación es negativa, mientras la TSMN aumenta, la [Clo\_a] disminuye. A diferencia de las zonas de sardina, se observa que la relación baja considerablemente, como se ha mencionado, debido a la cercanía de la costa, hace estas zonas mucho más extremas que aquellas oceánicas. Las zonas de camarón corresponden a aquellas que muestran mayor [Clo\_a], así como de TSMN altas.

Al graficar las dos variables, por zonas de pesca, podemos ver que las zonas presentan importantes diferencias, incluso de hasta cinco unidades de [Clo\_a]. Sinaloa es la zona con mayor [Clo\_a], seguida de Sonora, mientras que la península de Baja California, presenta menor [Clo\_a] (Figura 56). También en la misma Figura se observa que las zonas con mayor TSMN, son Sinaloa, alcanzando hasta 31°C, seguido de Sinaloa. La costa de la península de Baja California, presenta la TSMN, más baja en comparación con las otras zonas.

Posteriormente se promediaron las cuatro zonas, en la Figura 57 se identifica que en la mayoría de los años, particularmente el 2011-2012, los valores más bajos de temperatura, concuerdan con los valores más altos de [Clo\_a]. En esta grafica es evidente el cambio de resolución espacial de los datos, podemos ver que el periodo 2014-2018, la [Clo\_a] disminuye considerablemente en comparación con los años anteriores.

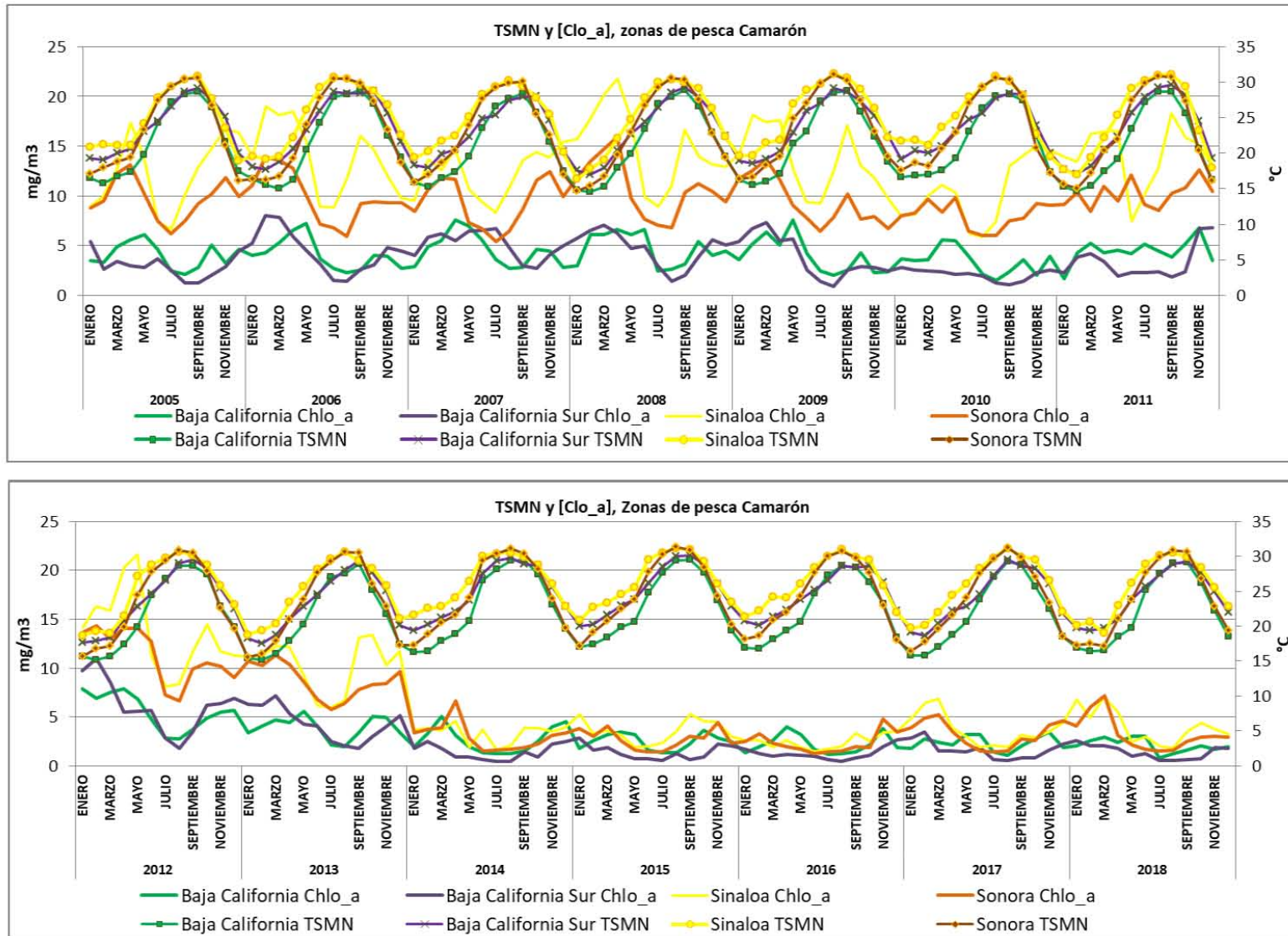
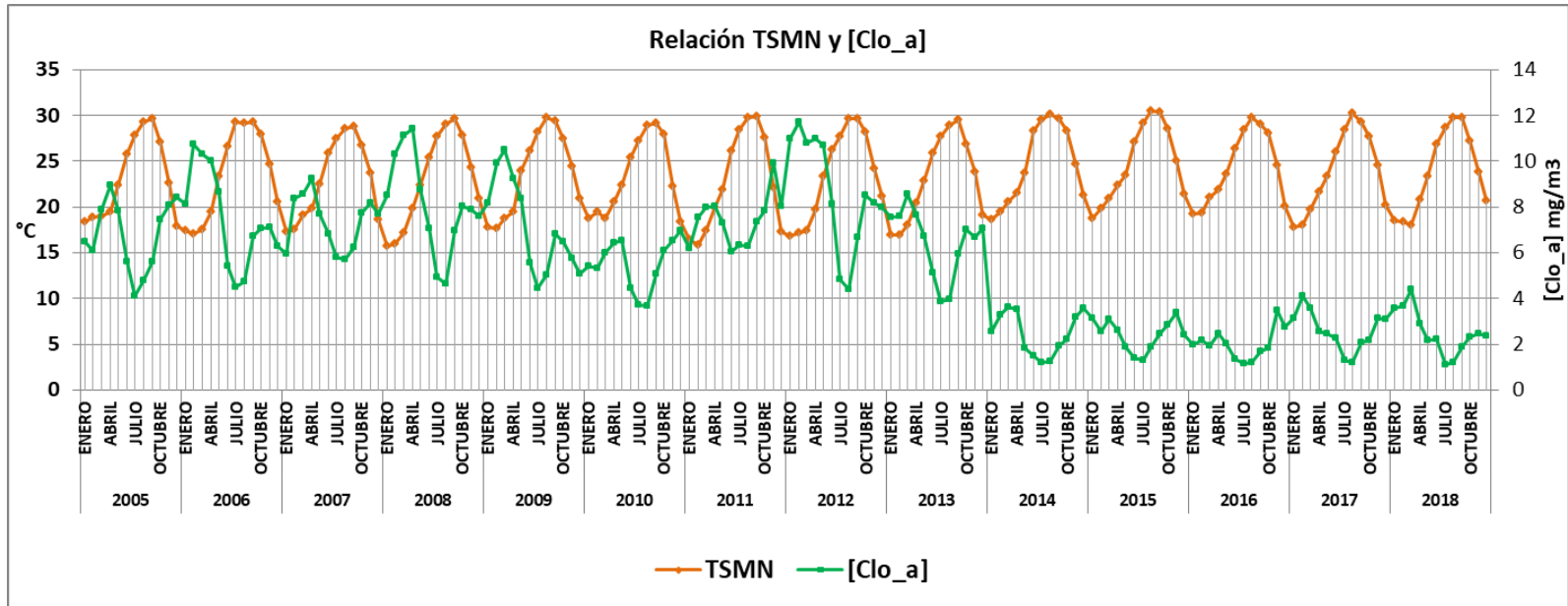


Figura 56. TSM y [Clo\_a] por zonas de pesca de camarón, a lo largo del tiempo. Fuente: Datos imágenes MODIS. Elaboración propia.



**Figura 57.** Relación TSMN-[Clo\_a], zonas camarón. Fuente: Datos imágenes MODIS. Elaboración propia.

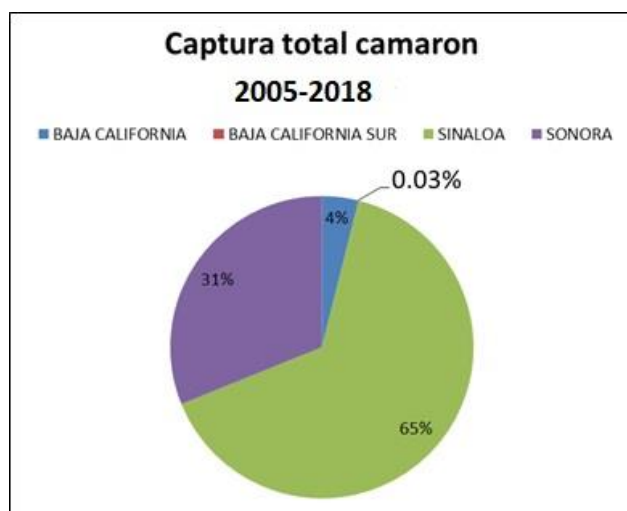


### 5.4.5 Datos Estadísticos de Captura

#### Camarón

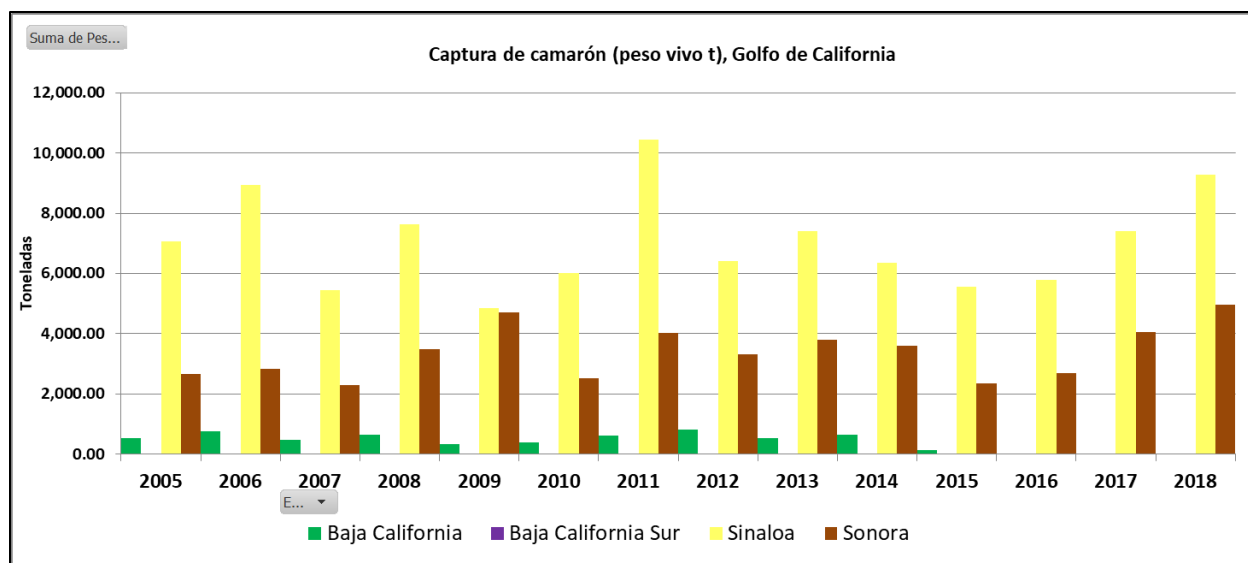
Los datos analizados para el camarón fueron de embarcaciones menores, que corresponden a capturas en la parte más cercana a la costa.

La Figura 58 muestra la producción por zona de pesca, Sinaloa aporta el 65% de la producción del periodo de 2005-2018, le siguen Sonora con 31%, Baja California con el 4% y por último Baja California Sur, que aporta el 0.03% de toda la producción. La poca participación de BCS, corresponde únicamente al producto que se extrae del GC, ya que se excluyó la captura de Bahía Magdalena, principal sitio de captura de camarón de BCS, del lado del Pacífico.



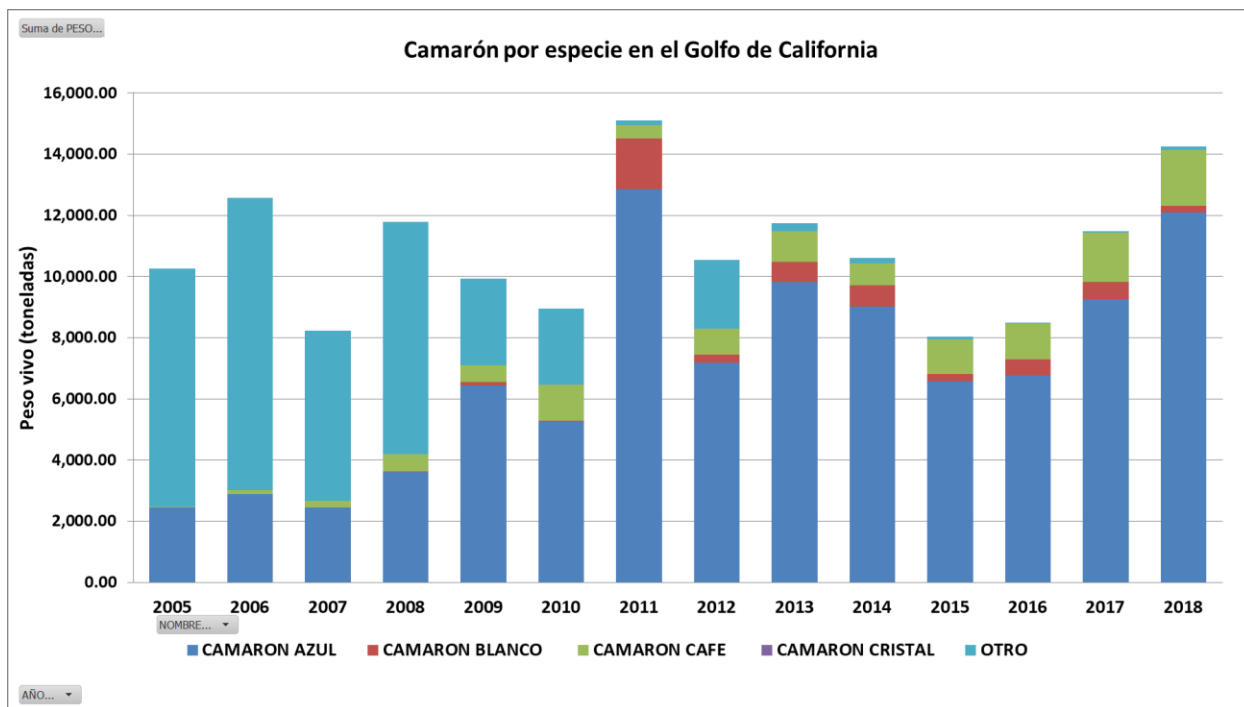
**Figura 58.** Porcentaje de captura (en toneladas) por estado en el Golfo de California 2005-2018. Datos CONAPESCA. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 59 se observa la producción por estado, a través de los años, el año 2011, fue el año con mayor producción para Sinaloa, y 2009 fue el año con la producción más baja. En cuanto a la producción de BC y BCS, son menores, incluso BCS es imperceptible en el gráfico, no solo por sus pequeñas cantidades, sino que también por la ausencia de producción para algunos años.



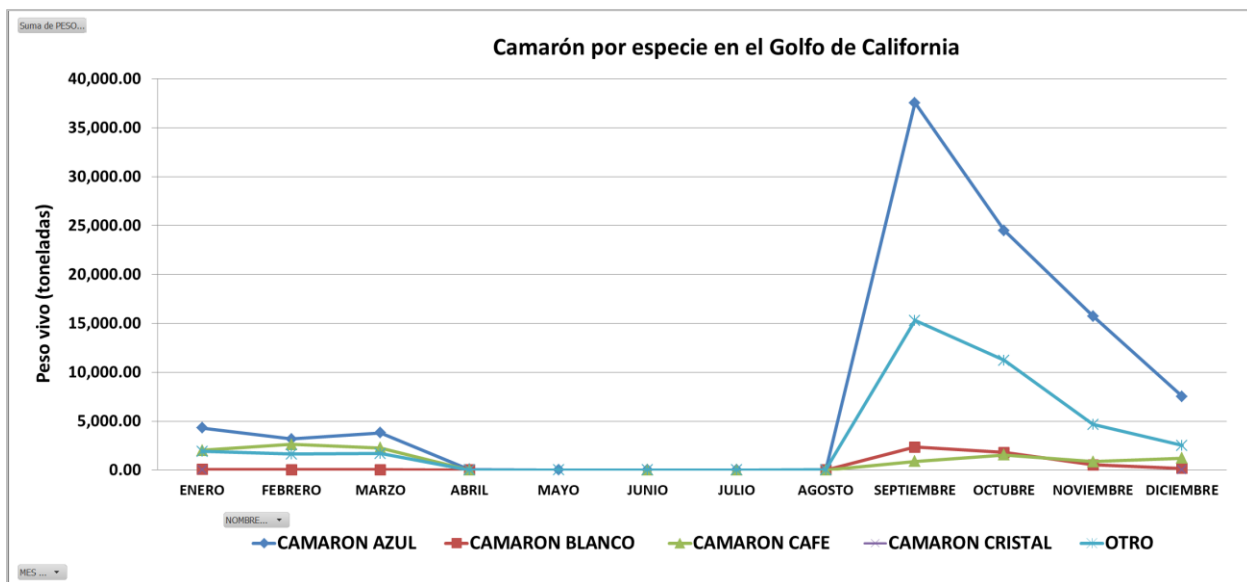
**Figura 59.** Captura de camarón (peso vivo t), por estado en el Golfo de California 2005-2018. Datos CONAPESCA. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a las especies, la principal especie capturada es el camarón azul (*Penaeus stylirostris*), similar a lo que reporta la Carta Nacional Pesquera (INAPESCA, 2017), ya que es una especie costera. También podemos ver que el grupo de “otros” es muy grande para el año 2005-2008, en el periodo 2011-2018 este grupo disminuye, por el contrario, el camarón azul aumenta considerablemente, lo cual es muy probable que los registros de “otros” no estén bien identificados y en que realidad correspondan principalmente al camarón azul y que, a través del tiempo estos registros sean cada vez más precisos (Figura 60).



**Figura 60.** Captura de camarón (peso vivo por especie en toneladas en el Golfo de California. Fuente: Datos CONAPESCA. Elaboración propia.

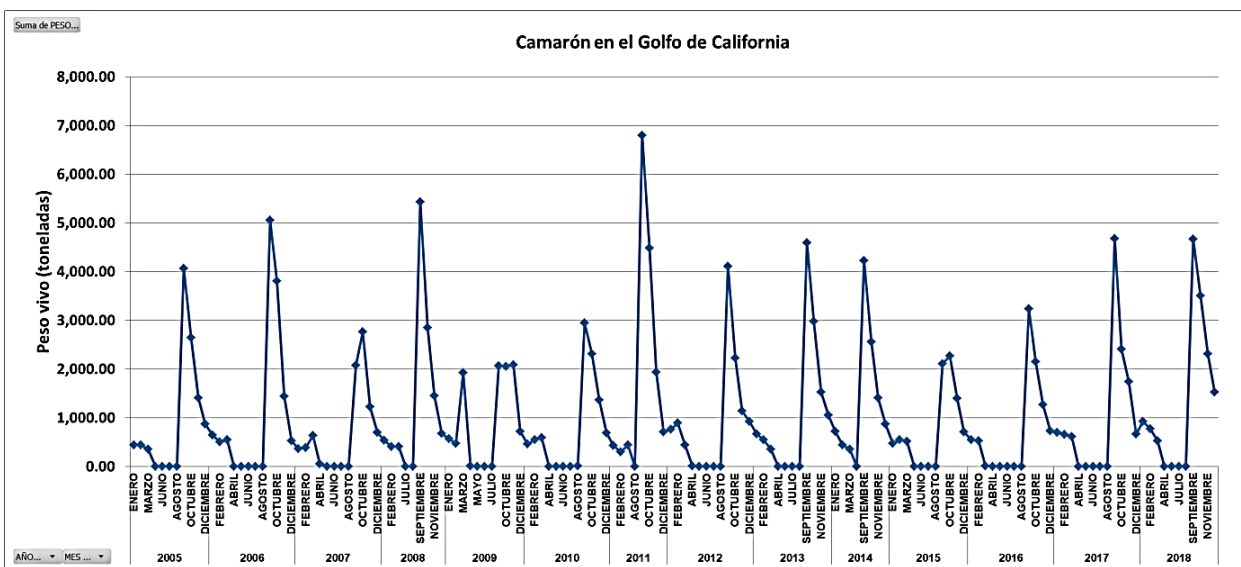
En cuanto a la producción por mes, se calculó la sumatoria del peso vivo de las principales especies de camarón, con la finalidad de visualizar la temporada a lo largo del año. En la Figura 61 observamos que el mes con mayor producción, es septiembre. En general el gráfico responde a lo que menciona la Carta Nacional Pesquera (INAPESCA, 2017), ya que corresponde a la temporada de captura para embarcaciones menores (septiembre-febrero), así como a la temporada de veda (marzo-septiembre), temporadas que corresponden a la temporada de reproducción del camarón azul principalmente. Otro aspecto importante es que la TSMN más alta, se registra durante los meses de agosto y septiembre, con temperaturas alrededor de los 29°C, y de acuerdo con Re et al. (2000), en un estudio de laboratorio encontró que la temperatura óptima para el camarón azul es de 28°C.



**Figura 61.** Peso vivo por especie de camarón en el Golfo de California (peso vivo t), dinámica mensual. Fuente: Datos CONAPESCA. Elaboración propia.

En la Figura 62, se muestra la línea de tiempo de la producción total de camarón en el GC.

El año 2011, es el año con mayor producción, el año 2009 la producción es la más baja. Los picos de cada año corresponden al mes de septiembre, el cual es el inicio de la temporada de captura, y en marzo se registran los datos más bajos.



**Figura 62.** Peso vivo del camarón periodo 2005-2018. Fuente: Datos imágenes MODIS. Elaboración propia.

#### 5.4.6 Correlación Temperatura Superficial del Mar Nocturna, Concentración de Clorofila\_a y Pesca de Camarón, Por Zona de Pesca

La Tabla 19 muestra los resultados generales de la correlación entre las tres variables. La más alta es entre la TSMN y camarón, con una  $r = 0.857$ , lo que se considera alta. Esto nos indica que la pesca del camarón depende altamente de la TSMN. La relación [Clo\_a] y TSMN es de una  $r = -0.408$ , que indica que no es una relación significativa, lo que indica que las altas [Clo\_a] dependen de otros factores, entre ellos los aportes de continente. Por último, la relación entre [Clo\_a] y camarón es de  $r = -0.114$ , que significa que no existe relación.

**Tabla 19.** Tabla de resultados Generales de la correlación Pearson, TSMN-[Clo\_a]-Pesca camarón.

#### GENERAL CAMARÓN

TSM-[Clo_a]			[Clo_a]-Camarón			TSM-Camarón		
<b>Cross Correlations</b>			<b>Cross Correlations</b>			<b>Cross Correlations</b>		
Series Pair:TSMN with Clo_a			Series Pair:Clo_a with Camaron			Series Pair:TSMN with Camaron		
Lag	Cross Correlation	Std. Error <sup>a</sup>	Lag	Cross Correlation	Std. Error <sup>a</sup>	Lag	Cross Correlation	Std. Error <sup>a</sup>
-7	.195	.079	-7	-.117	.105	-7	.767	.105
-6	.242	.079	-6	.088	.105	-6	.220	.105
-5	.190	.078	-5	.199	.104	-5	-.273	.104
-4	.049	.078	-4	.124	.104	-4	-.548	.104
-3	-.131	.078	-3	.010	.103	-3	-.504	.103
-2	-.293	.078	-2	.000	.103	-2	-.123	.103
-1	-.390	.077	-1	-.034	.102	-1	.421	.102
0	-.408	.077	0	-.114	.102	0	.857	.102
1	-.358	.077	1	.088	.102	1	.200	.102
2	-.257	.078	2	.158	.103	2	-.344	.103
3	-.104	.078	3	.063	.103	3	-.602	.103
4	.056	.078	4	-.005	.104	4	-.494	.104
5	.178	.078	5	-.004	.104	5	-.099	.104
6	.219	.079	6	-.054	.105	6	.415	.105
7	.172	.079	7	-.143	.105	7	.756	.105

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo en la Figura 63 se observan, tanto la TSMN, la [Clo\_a] y la pesca de camarón. Se puede ver que la TSMN y pesca de camarón son las variables que mejor relación presentan en el tiempo. Presentan una variabilidad estacional, como la que ya se había descrito anteriormente a lo largo del año. Los valores más altos de captura de camarón, corresponden

Con los valores altos de TSMN. Especialmente las zonas de Sonora y Sinaloa, que son las zonas con la TSMN más alta del GC, en especial la costa de Sinaloa llega a reportar hasta 31° C en los meses de agosto y septiembre. Lo que concuerda con ser el principal productor de camarón. Y con el resultado de correlación podemos decir que las condiciones de TSMN son óptimas para la pesca de camarón, mediante estudios de laboratorio obtenidos por Re et al. (2000) encontró que la temperatura óptima para el camarón azul (*Penaeus stylirostris*), son 28°C.

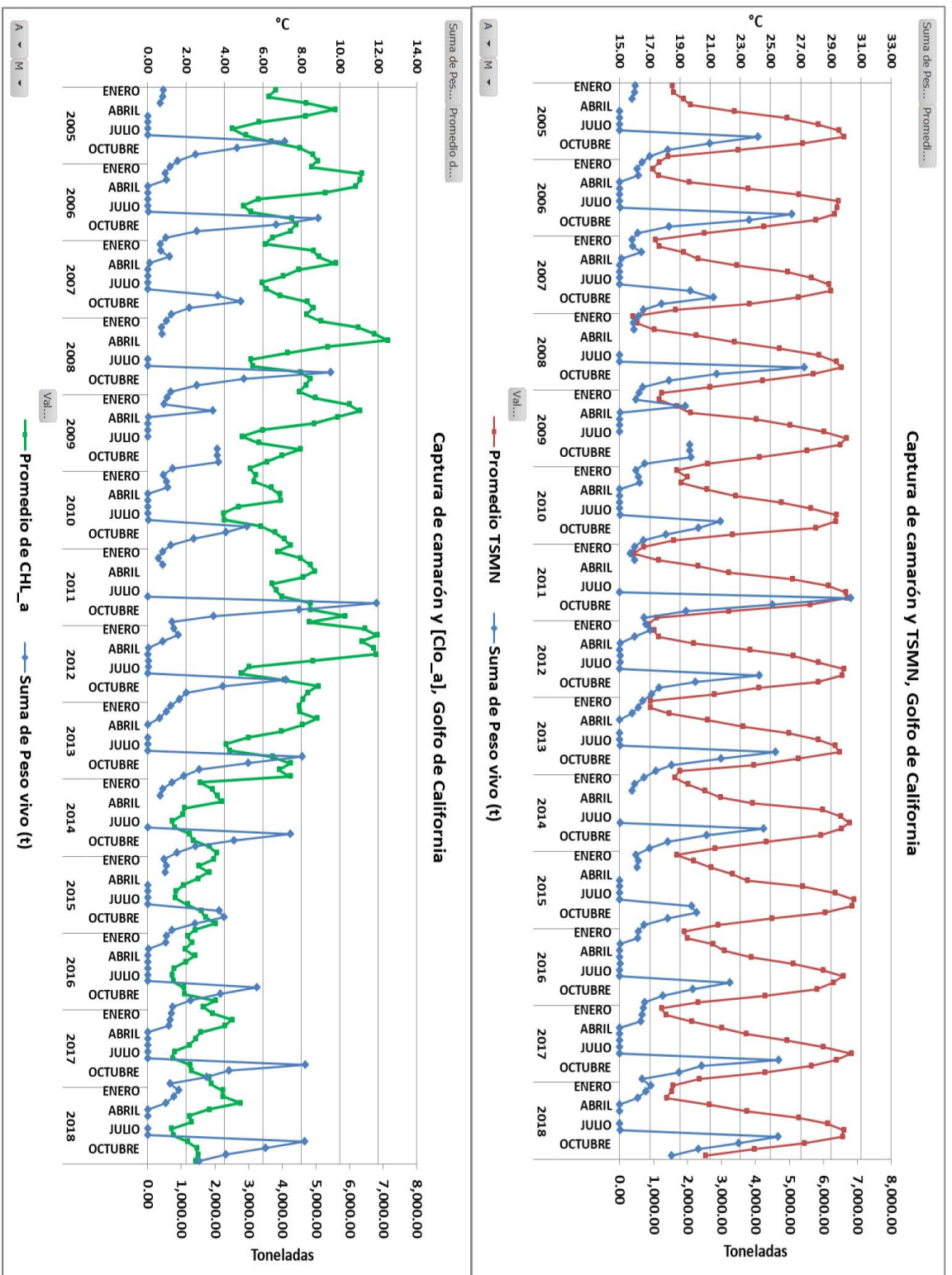


Figura 63. Relación entre la TSM y [C]lo\_a, con la pesca de camarón. Fuente: Datos imágenes MODIS. Elaboración propia.

Los resultados de la FCCM por zona de pesca, se muestran a continuación, lo cual es muy interesante pues cada zona tiene características particulares y por lo tanto responden de forma diferente.

Es evidente que la relación de la pesca de camarón con la [Clo\_a], no es tan alta en comparación con la pesca de sardina.

#### 5.4.6.1 Zona Baja California

La zona de Baja California corresponde a una franja costero-marina de una milla náutica a partir de la línea de costa correspondiente al estado de Baja California, resultó una correlación de  $r = -0.402$  en un Lag 0, para la relación entre TSMN y [Clo\_a], lo que indica que la relación es débil (Tabla 20).

**Tabla 20.** Resultados de correlación cruzada TSM4-[Clo\_a]-Pesca Camarón. Zona BC.

#### BAJA CALIFORNIA

TSM-[Clo_a]			[Clo_a]-Camarón			TSM-Camarón		
Cross Correlations			Cross Correlations			Cross Correlations		
Series Pair:TSMN with Clo_a			Series Pair:Clo_a with Camaron			Series Pair:TSMN with Camaron		
Lag	Cross Correlation	Std. Error <sup>a</sup>	Lag	Cross Correlation	Std. Error <sup>a</sup>	Lag	Cross Correlation	Std. Error <sup>a</sup>
-7	.133	.079	-7	.245	.103	-7	.044	.103
-6	.281	.079	-6	.239	.102	-6	.046	.102
-5	.362	.078	-5	.262	.102	-5	.041	.102
-4	.305	.078	-4	.260	.101	-4	.040	.101
-3	.112	.078	-3	.276	.101	-3	.050	.101
-2	-.121	.078	-2	.301	.100	-2	.035	.100
-1	-.310	.077	-1	.301	.100	-1	.048	.100
0	-.402	.077	0	.338	.099	0	.061	.099
1	-.425	.077	1	.330	.100	1	.012	.100
2	-.360	.078	2	.304	.100	2	-.026	.100
3	-.237	.078	3	.350	.101	3	.002	.101
4	-.061	.078	4	.365	.101	4	-.001	.101
5	.133	.078	5	.307	.102	5	-.002	.102
6	.291	.079	6	.290	.102	6	-.035	.102
7	.356	.079	7	.260	.103	7	-.007	.103

Fuente: Elaboración propia.

La relación [Clo\_a] y camarón es una  $r = 0.338$ , mientras que la relación entre TSMN y Camarón, el coeficiente de Pearson fue de  $r = 0.061$ , en el Lag 0, es decir que no existe relación,



Esto se debe a la falta de datos de captura, ya que son pocos, añadiendo que los meses de veda, no tenemos manera de conocer las cantidades disponibles del recurso.

#### 5.4.6.2 Zona Baja California Sur

Esta región corresponde a la franja del estado de BCS, es el estado con menor producción pesquera de camarón. Los resultados de la correlación, se muestran en la Tabla 21, la  $r$  más alta fue entre TSMN y [Clo\_a], con una  $r = -0.566$ , la más alta en comparación con las otras regiones de camarón, sin ningún desfase en la relación.

**Tabla 21.** Resultados de correlación cruzada TSMN-[Clo\_a]-Pesca camarón. Zona BCS.  
**BAJA CALIFORNIA SUR**

TSM-[Clo_a]			[Clo_a]-Camarón			TSM-Camarón		
Cross Correlations			Cross Correlations			Cross Correlations		
Series Pair:TSMN with Clo_a			Series Pair:Clo_a with Camaron			Series Pair:TSMN with Camaron		
Lag	Cross Correlation	Std. Error <sup>a</sup>	Lag	Cross Correlation	Std. Error <sup>a</sup>	Lag	Cross Correlation	Std. Error <sup>a</sup>
-7	.337	.079	-7	-.100	.277	-7	-.028	.277
-6	.353	.079	-6	-.088	.267	-6	.013	.267
-5	.264	.078	-5	-.115	.258	-5	.005	.258
-4	.080	.078	-4	-.118	.250	-4	.032	.250
-3	-.155	.078	-3	-.115	.243	-3	.072	.243
-2	-.387	.078	-2	-.006	.236	-2	.032	.236
-1	-.541	.077	-1	.116	.229	-1	.025	.229
0	-.566	.077	0	.185	.224	0	.025	.224
1	-.451	.077	1	.131	.229	1	.164	.229
2	-.258	.078	2	.209	.236	2	.019	.236
3	-.012	.078	3	.258	.243	3	-.092	.243
4	.208	.078	4	.157	.250	4	-.001	.250
5	.347	.078	5	.164	.258	5	.189	.258
6	.374	.079	6	.317	.267	6	.046	.267
7	.285	.079	7	.384	.277	7	-.045	.277

Fuente: Elaboración propia.

A pesar de que esta zona presentó una buena relación entre [Clo\_a] y TSMN, la relación de estas variables con la pesca del Camarón es nula, lo que se atribuye a los pocos datos para esta zona, debido a que esta actividad pesquera se lleva a cabo principalmente del lado del pacífico, en Bahía Magdalena.

### 5.4.6.3 Zona Sonora

Esta zona corresponde a la franja costero-marina frente al estado de Sonora, excluyendo la zona del Área Natural Protegida del Alto Golfo. Los resultados, en la Tabla 22, muestran que existe una nula relación entre [Clo\_a] y TSMN; Y [Clo\_a] y camarón.

**Tabla 22.** Resultados de correlación cruzada TSMN-[Clo\_a]-Pesca camarón. Zona Sonora.  
**SONORA**

TSMN-[Clo_a]			[Clo_a]-Camarón			TSM-Camarón		
Cross Correlations			Cross Correlations			Cross Correlations		
Series Pair:TSMN with Clo_a			Series Pair:Clo_a with Camaron			Series Pair:TSMN with Camaron		
Lag	Cross Correlation	Std. Error <sup>a</sup>	Lag	Cross Correlation	Std. Error <sup>a</sup>	Lag	Cross Correlation	Std. Error <sup>a</sup>
-7	.188	.079	-7	-.120	.099	-7	.481	.099
-6	.240	.079	-6	-.113	.098	-6	.497	.098
-5	.203	.078	-5	-.110	.098	-5	.514	.098
-4	.080	.078	-4	-.118	.097	-4	.532	.097
-3	-.091	.078	-3	-.114	.097	-3	.552	.097
-2	-.258	.078	-2	-.118	.096	-2	.574	.096
-1	-.368	.077	-1	-.127	.096	-1	.605	.096
0	-.395	.077	0	-.118	.095	0	.636	.095
1	-.348	.077	1	-.082	.096	1	.620	.096
2	-.255	.078	2	-.087	.096	2	.601	.096
3	-.107	.078	3	-.112	.097	3	.582	.097
4	.052	.078	4	-.072	.097	4	.559	.097
5	.172	.078	5	-.101	.098	5	.537	.098
6	.215	.079	6	-.060	.098	6	.515	.098
7	.182	.079	7	-.079	.099	7	.490	.099

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo muestra una buena relación entre la TSMN y camarón, aumenta considerablemente a  $r=0.636$ , lo que indica que a mayor temperatura, mayor pesca de camarón, es una de las relaciones más altas para las zonas de camarón (Tabla 22).

#### 5.4.6.4 Zona Sinaloa

Los resultados de la zona de Sinaloa, en la Tabla 23, muestran una relación entre [Clo\_a] y TSMN, como nula, con una  $r=0.321$ , cabe mencionar que esta zona al igual que la zona de Sonora, tienen varios sistemas lagunares, en donde se desarrolla la pesca de camarón, factor que puede influir en los resultados, ya que son sistemas con características particulares.

**Tabla 23.** Resultados de correlación cruzada TSMN-[Clo\_a]-Pesca Camarón. Zona Sinaloa.

#### SINALOA

TSM-[Clo_a]			[Clo_a]-Camarón			TSM-Camarón		
Cross Correlations			Cross Correlations			Cross Correlations		
Series Pair:TSMN with Clo_a			Series Pair:Clo_a with Camaron			Series Pair:TSMN with Camaron		
Lag	Cross Correlation	Std. Error <sup>a</sup>	Lag	Cross Correlation	Std. Error <sup>a</sup>	Lag	Cross Correlation	Std. Error <sup>a</sup>
-7	.129	.079	-7	.023	.100	-7	.506	.100
-6	.144	.079	-6	.039	.099	-6	.510	.099
-5	.072	.078	-5	.034	.099	-5	.531	.099
-4	-.057	.078	-4	.016	.098	-4	.551	.098
-3	-.185	.078	-3	.015	.098	-3	.578	.098
-2	-.268	.078	-2	.024	.097	-2	.606	.097
-1	-.308	.077	-1	.034	.097	-1	.625	.097
0	-.321	.077	0	.056	.096	0	.672	.096
1	-.281	.077	1	.005	.097	1	.643	.097
2	-.199	.078	2	-.025	.097	2	.635	.097
3	-.087	.078	3	-.071	.098	3	.630	.098
4	.017	.078	4	-.139	.098	4	.619	.098
5	.084	.078	5	-.091	.099	5	.605	.099
6	.087	.079	6	-.143	.099	6	.603	.099
7	.028	.079	7	-.093	.100	7	.586	.100

Fuente: Elaboración propia.

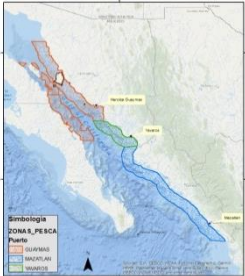



La relación TSMN y camarón, mostró la relación más alta de las zonas, con una  $r=0.672$ , esto corrobora que en general, para la pesca del camarón la variable con mayor peso es la TSMN.

Por último la relación entre la [Clo\_a] y pesca de camarón, fue una de las más bajas con una  $r=0.056$ , que indica una nula relación. Cabe mencionar que Sonora es el estado con mayor producción de pesca de camarón y por lo tanto es una excelente referencia de esta relación ya que es la zona con mayor cantidad de información de captura.

A continuación se muestran las Tablas 24 y 25, con los resultados generales por especie, por zona. En sombreado color verde, se muestran aquellas relaciones significativas, con un valor de  $>0.5$ , observando que en general las variables TSM y [Clo\_a] para las zonas de sardina, tienen con mayor relación.



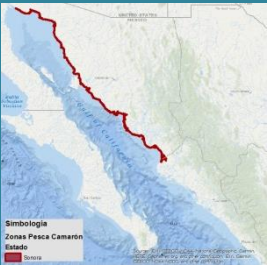
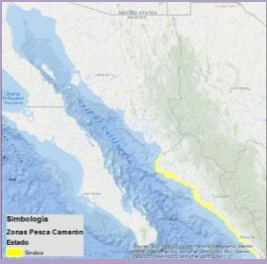
En cuanto a las especies, se puede ver que la sardina, es la especie con mayor relación con las variables TSM y [Clo\_a], y que el camarón, muestra una relación en particular para Sonora y Sinaloa con la TSMN.

**Tabla 24.** Resultados generales sardina,  $r$  en color verde aquellos valores significativos de  $r$ , Guaymas, región con el 59% de captura en la región, Mazatlán, con el 21% de captura de la región, Yavaros, zona de pesca con el 20% de captura.

RESULTADOS SARDINA			
ZONA	Correlación TSM-[Clo_a]	Correlación [Clo_a]-Pesca Sardina	Correlación TSM-Pesca Sardina
<b>GENERAL</b> 	$r = -0.724$	$r = 0.659$ 1 Lag	$r = -0.582$ 1 Lag
<b>GUAYMAS</b> 	$r = -0.629$	$r = 0.550$ 1 Lag	$r = -0.401$ 2 Lag
<b>YAVAROS</b> 	$r = -0.744$	$r = 0.317$ 1 Lag	$r = -0.265$ 0 Lag
<b>MAZATLÁN</b> 	$r = -0.692$	$r = 0.507$	$r = -0.453$

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 25.** Resultados generales camarón, **r** en color verde aquellos valores significativos de r, BCS, región con el 0.03% de captura en la región, BC, con el 4% de captura de la región, Sonora, con el 31% de la región, Sinaloa, zona de pesca con el 65% de captura.

RESULTADOS CAMARÓN			
ZONA	Correlación TSMN-[Clo_a]	Correlación [Clo_a]-Pesca Camarón	Correlación TSMN-Pesca Camarón
GENERAL	r= -0.408	r= -0.114	<b>r= 0.857</b>
BAJA CALIFORNIA SUR 	<b>r= -0.566</b>	r= 0.185 0 Lag	r= 0.164 1 Lag
BAJA CALIFORNIA 	r= -0.402	r= 0.338	r= 0.061
SONORA 	r= -0.395	r= 0.118	<b>r= 0.636</b>
SINALOA 	r= -0.321	r= 0.056	<b>r= 0.672</b>

Fuente: Elaboración propia.

Para el camarón, la relación más fuerte, fue con TSMN, principalmente para la zona de Sinaloa y Sonora, lo cual corresponde a los dos principales estados productores de este recurso.

## CONCLUSIONES

---

Se cumplió el objetivo general de realizar el análisis espacio-temporalmente de la relación entre la variación de la TSM y [Clo\_a] con la producción pesquera de la sardina y camarón en el GC, en el periodo de 2005-2018.

Se describieron las condiciones temporales y espaciales de la TSM y [Clo\_a], del GC, así como su relación, indicando que los cambios en la TSM tiene un efecto inverso sobre la [Clo\_a], mientras la temperatura aumente, la [Clo\_a], va a disminuir y viceversa.

En cuanto a la relación de la producción pesquera de la sardina y camarón con las condiciones de TSM, TSMN y [Clo\_a], se obtuvo lo siguiente:

### **SARDINA**

En general la sardina y sus zonas, fueron las que mejor relación presentaron con las variables de TSM y [Clo\_a]. La TSM y [Clo\_a] presentaron una  $r=-0.724$ , a nivel general, lo que se confirma con previos estudios. Esta relación, varía de acuerdo a la región, ya que cada zona tiene características particulares, una de ella es la profundidad. A menor profundidad, la [Clo\_a] será mayor; la cercanía a la costa, entre más cerca, mayor será la concentración, ya que existe mayor cantidad de materia orgánica, por ríos, lagunas, entre otros. En particular, la región de Yavaros mostró la relación más alta, con  $r= -0.744$  para la relación entre TSM y [Clo\_a].

Para la relación [Clo\_a] y pesca de sardina, el resultado general de las zonas fue de  $r=0.659$ , indicando que sí existe relación. La relación TSM y pesca de sardina es de  $r=-0.582$ , en el Lag 1, indicando que es una relación inversa y que la relación es débil.

La relación de la sardina con la TSM, es negativa, cuando la TSM aumenta, la sardina disminuye, e inversamente. La relación entre [Clo\_a] y pesca de sardina, es positiva, es decir, que a mayor [Clo\_a], mayor la captura de sardina.

En cuanto la relación [Clo\_a] con la pesca de sardina, la región que mostró relación, fue Mazatlán, con una  $r=0.507$ , región que presenta la mayor [Clo\_a].

## **CAMARÓN**

El camarón mostró relación con la TSMN, a nivel general con una  $r=0.857$ , lo que indica que es una relación fuerte, principalmente en la costa de Sonora y Sinaloa con una  $r=0.636$  y  $r=0.672$  respectivamente. Esto es un buen indicio para definir que en esos estados, la TSMN es uno de los factores que influyen para la producción de camarón, que son los principales productores de este recurso y con los mejores datos estadísticos de captura. También espacialmente coincide con las regiones con TSMN más alta. Esto explica porque la temperatura es una de las principales variables que se controlan en las granjas de camarón.

La relación de captura de camarón con [Clo\_a] no resultó significativa, lo que se puede explicar por ser una especie bentónica en su etapa adulta, lo que quiere decir que está en el fondo, principalmente es sistemas lagunarios, y como observamos en las imágenes MODIS, estas regiones son las que presentan mayor homogeneidad de [Clo\_a] a lo largo del tiempo, en parte por contar con fuentes de materia orgánica, como el caso de la costa de Sinaloa, por medio de los manglares Marismas Nacionales.

El camarón mostró mayor dependencia de la variable TSMN, a mayor temperatura, mayor es la captura del camarón. Por lo contrario, las zonas no mostraron mucha correlación entre TSMN y [Clo\_a], ya que como se mencionó anteriormente, la parte costera cuenta con aportes de materia orgánica, lo cual modifica la [Clo\_a].

## **IMÁGENES SATELITALES**

En cuanto al análisis de imágenes satelitales, se concluye que son de gran importancia para el estudio de las condiciones de la superficie marina, porque tienen una amplia cobertura, y temporalidad, lo que permite monitorear las condiciones por largos periodos de tiempo. Nos permiten monitorear cambios, así como sus efectos en el medio marino. En este caso sobre la actividad pesquera. Resultaron ser de utilidad para monitorear los cambios en TSM, [Clo\_a] y TSMN, así como sus efectos sobre la pesca de sardina y camarón. Cumplieron con la cobertura del área de estudio, así como con la temporalidad. En cuanto a su accesibilidad son imágenes gratuitas, que pueden ser descargadas desde el portal de internet de la NASA, y también del portal de CONABIO, sin embargo, no se encontraron disponibles en 1 km de resolución espacial,



Para todo el periodo de análisis, por lo que se utilizaron de 1km (2005-2010) y 4km (2011-2018), que fue el único inconveniente.

Por último, en términos generales, la hipótesis del trabajo, se cumplió, la producción pesquera de la sardina y el camarón en el Golfo de California en el periodo de 2005-2018 presenta una correlación con las variables ambientales de la TSM y [Clo\_a], no obstante, es la sardina, el recurso que mejor cumple con esta conjetura, por el contrario, el camarón, fluctúa en función solamente de la TSMN, para la zona de Sonora y Sinaloa, los principales estados productores.

La diferencia entre los resultados obtenidos aquí y otros estudios, puede deberse a que las zonas analizadas, la resolución espacial de las imágenes, como es el caso con Heras Sánchez (2018), obtuvo una correlación muy alta de  $r = -0.8$ , y utilizó imágenes de 4 km de resolución espacial.

Entre menos factores existan, la relación [Clo\_a], TSM y pesca, será mayor. Al tratarse de un mar abierto, influyen aspectos como profundidad (mezcla), así como aportes externos de materia orgánica.

Finalmente, es necesario seguir monitoreando las condiciones analizadas en el presente trabajo, con la finalidad de monitorear el estado de la pesca de sardina y camarón, si bien es una pesca certificada como sustentable, las condiciones climáticas como la TSM, pueden estar afectando el estado actual de la pesca.

## Referencias Bibliográficas:

- Aguilar, V., Hernández, D., Kolb, M. (2007). Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad marina de México océanos, costas e islas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México: <https://doi.org/10.5962/bhl.title.117042>
- Aguirre Gómez, R. (2002). Los mares mexicanos a través de la percepción remota. Temas Selectos de Geografía de México III. Métodos y Técnicas para el estudio del Territorio. México: Plaza y Valdés.
- Aguirre Gómez, R. (2009). Conceptos de Geomática y estudios de caso en México. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra (LANOT). Investigaciones Geográficas. <https://doi.org/10.14350/rig.59730>
- Allen, W. E. (1937). Plankton diatoms of the Gulf of California obtained by the G. Allan Hancock Expedition of 1936. University of Southern California Press. Hancock Pacific Exp. 3: 47-59.
- Álvarez-Borrego, S. (2007). Capítulo 2: Oceanografía de la región de las grandes islas 22.
- Álvarez-Borrego, S. (2010). Physical, chemical, and biological oceanography of the Gulf of California. In: Brusca GC (ed.), The Gulf of California: Biodiversity and Conservation. University of Arizona Press, Tucson, pp. 24–48.
- Álvarez-Borrego, S., Lara, J.R. (1991). The physical environment and primary productivity in the Gulf of California. En: Simoneit BRT, Dauphin JP (eds.), The Gulf and peninsular provinces of the Californias. American Association of Petrology and Geology Memories 47, pp. 555–567.
- Álvarez-Borrego, S., Rivera, J.A., Gaxiola-Castro, G., Acosta-Ruiz, M.J., Schwartzlose, RA. (1978). Nutrientes en el Golfo de California. *Cienc. Mar.* 5: 21–36
- Aranceta-Garza. (2016). Análisis Bioeconómico de la pesquería del camarón en el Golfo de California. Tesis Doctorado. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN). La Paz, B.C.S. 266 pp
- Arias Arechiga, J.P. (1998) Regionalización del Golfo de California: una propuesta a partir de concentración de pigmentos fotosintéticos (CZCS). Tesis de Licenciatura. Departamento de Biología Marina, UABCS, 1998.
- Arnaus, G. J. (2001). Diseño de series temporales: Técnicas de Análisis. Documento en Línea. Ediciones Universidad Barcelona. Barcelona, España.
- Arreguín-Sánchez, F., del Monte-Luna, P., Zetina-Rejón, M.J., Albáñez-Lucero, M.O. (2017). The Gulf of California Large Marine Ecosystem: Fisheries and other natural resources. *Environmental Development* 22, 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2017.03.002>
- Briggs, J.C. (1995). *Global Biogeography*. Elsevier Science. Amsterdam.
- Brinton, E. y Townsend. A.W. (1980). Euphasiids in the Gulf of California, the 1957 Cruises. *CalCOFI. Rep.* 21: 211-236
- Brusca, R.C., Hendrickx, M. (2008). The Gulf of California Invertebrate Database: The Invertebrate Portion of the Macrofauna Golfo Database. <http://www.desertmuseum.org/center/seaofcortez/database.php>.

- Calmus, Thierry, Burquez, Martinez-Yrizar, A. (2017). El Golfo de California: un océano joven, región megadiversa, vínculo entre tectónica y ecología. *Revista CiENCIA UANL*. 59-64.
- CANAINPESCA. (2018). Informe Anual 2018. Obtenido directamente del Ing. León Tissot.
- Canavos, G.C. (1990), *Probabilidad y Estadística: Aplicaciones y Métodos*. Ed. McGraw Hill.
- Carretta, J.V., T. Price, D. Petersen, y R. Read. (2003). Estimates of Marine Mammal, Sea Turtle and Seabird Mortality in the California Drift Gillnet Fishery for Swordfish and Thresher Sahrk 1996-2002. *Marine Fisheries Review* 66 (2): 21-25.
- Castree, N. (2009). *A companion to environmental geography*, Blackwell companions to geography. Wiley-Blackwell, Chichester, U.K. ; Malden, MA.
- Cendrero, A. (1989). Mapping and evaluation of coastal areas for planning. *Ocean and Shoreline Management* (5-6):427-462.
- Cordeira-Estrada, S. y López-Saldaña, G. (2011). Nuevo Sistema Satelital de Monitoreo Oceánico para México. *Ciencias marinas*, 37(2), 237-247. Recuperado en 26 de septiembre de 2018, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S018538802011000200010&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018538802011000200010&lng=es&tlng=es).
- Chávez, J.R. (2012). *La Percepción Remota*. Ed. Lulu.
- Chuvieco, E. (1996). "Fundamentos de Teledetección Espacial". Segunda Edición. Ediciones Rialp, S.A. Madrid.
- Chuvieco, E. (2002). *Teledetección Ambiental. La Observación de la Tierra Desde el Espacio*.
- CIMARES, (2011). *Política Nacional de Mares y Costas de México. Gestión Integral de las Regiones más dinámicas del territorio Nacional*.
- Cisneros-Mata, M.A. (2010). The importance of fisheries in the Gulf of California and ecosystem-based sustainable co-management for conservation. In: Brusca, R.(Ed.), *The Gulf of California, Biodiversity and Conservation*. University of Arizona Press, Tucson. Pp. 119-134
- Cisneros-Mata, M.A. Nevárez-Martínez, M. y Hammann, M.G. (1995). The rise and fall of the Pacific sardine, *Sardinops sagax caeruleus* Girard, in the Gulf of California, México. *CalCOFI Rep.* 36:136-143.
- CONABIO. (2007). *Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad de México: océanos, costas e islas. México 2007*.
- CONANP. (2012). *Programa de Conservación y Manejo. Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado*. México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CONAPESCA (2014). *Anuario Estadístico De Acuicultura y Pesca 2013*. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. pp. 309.
- Counturier, S. (2011). Evaluación de la Cobertura Vegetal en México: Aciertos y sesgos del mapa derivado del sensor MODIS. En J. F. Mas (Ed.), *Aplicaciones del sensor MODIS para el monitoreo del territorio*. 275-308 pp
- De la Lanza-Espino, G. (2004). Gran Escenario de la zona costera y oceánica de México, Universidad Nacional Autónoma de México. *Ciencias*. Octubre-Diciembre. 4-13 p.
- deYoung, B., Harris, A., Beaugrand, J., Mantua, G.N., y Shannon, L. (2004). Detecting regime shifts in the ocean: data considerations. *Prog. Oceanogr.* 60:143–164.

- Ebdon, D. (1982). Estadística para geógrafos, Oikos-tau, Barcelona.
- Emilson, I. y Alatorre, M. A. (1997). Evidencias de un remolino ciclónico de mesoescala en la parte sur del Golfo de California. En: M.F. Lavin (ed), Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Monografía No.3, Unión Geofísica Mexicana. pp. 173-182.
- Erisman, B.E., Paredes, G.A., Plomozo L.T., Cota, J.J., Hastings, P.A., Aburto, O. (2011). Spatial structure of marine fisheries in Northwest Mexico. *ICES J. Mar. Sci.* 68, 564–571.
- Escalante, F., Valdez-Holguín, J.E., Álvarez-Borrego, S., y Lara-Lara, J. R. (2013). Variación temporal y espacial de temperatura superficial del mar, clorofila a y productividad primaria en el golfo de California. *Ciencias marinas*, 39(2), 203-215. <https://dx.doi.org/10.7773/cm.v39i2.2233>
- Espejel, I. y Bermúdez, R. (2009). Propuesta metodológica para la regionalización de los mares Mexicanos. Ordenamiento Ecológico Marino: visión integrada de la regionalización. SEMARNAT, INE, México 151–224.
- Espinosa-Carreón, L., y Valdez-Holguin, E. (2007). Variabilidad interanual de clorofila en el Golfo de California. *Ecología Aplicada*.
- Ezcurra, E. (2014). Ecological Conservation in the Gulf of California. 1–36pp. In: Wehncke, E.V., Lara-Lara, J.R., Álvarez-Borrego, S., Ezcurra, E. (Eds). Conservation Science in Mexico's Northwest, Ecosystem Status and Trends in the Gulf of California. UC-Mexus University of California, USA; INECC-SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. pp. 550.
- FAO, (1992). FAO yearbook. Fishery statistics: catches and landings. Vol. 70: 1990. FAO Fish. Ser. 38:647 p.
- FAO, (2010). Estudio mundial sobre las pesquerías del camarón. Documento Técnico de Pesca. 475. R. Gillett. Roma, 2010.
- Fiedler, P.C., Smith, G.B., Laurs, R.M. (1984). Fisheries Applications of Satellite Data in the Eastern North Pacific. *Marine Fisheries Review* 13.
- Finkl, W. C. (2004). Coastal Classification: systematic approaches to consider in the development of a comprehensive scheme. *Journal of Coastal Research* 20(1):166- 213.
- Froese, R. y Pauly, D. (editores) 2007. [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org) (Febrero de 2019).
- García-Mora, T.J. y Mas, J.F. (2011). Evaluación de imágenes del sensor MODIS para la cartografía de la cobertura del suelo en una región altamente diversa de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Volumen 63, Núm. 1, 2011, p. 83-94.
- García-Mora, T.J. y Mas, J.F. (2011). Presentación del Sensor MODIS. En Mas, J.F. Aplicaciones del sensor MODIS para el monitoreo del territorio. (pp. 11-24). Morelia, México. UNAM
- Garduño-Argueta, H. (1976). Primeras repoblaciones de camarón en aguas protegidas del litoral del pacífico mexicano. Resultados preliminares. In: Castro-Aguirre J.L. (ed), *Memorias del Simposio sobre Biología y Dinámica Poblacional de Camarones*. Instituto Nacional de Pesca, pp. (2): 140-152.
- Gasca, J. (2009). Geografía regional: la región, la regionalización y el desarrollo regional en México, México, Instituto de Investigaciones Económicas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gaxiola-Castro, G., García-Córdoba, J., Valdez Holguín, E., y Botello, R. (1995), "Spatial distribution of chlorophyll a and primary productivity in relation to winter physical

- structure in the Gulf of California”, *Continental Shelf Research*, vol. 15 (9), pp 1043-1059.
- Gaxiola-Castro, G., Garcia-Cordova, J., Valdez-Holguin, J.E., Botello-Ruvalcaba, M. (1995). Spatial distribution of chlorophyll a and primary productivity in relation to winter physical structure in the Gulf of California. *Continental Shelf Research*. 15(9), 1043-1053 paginas.
- Gaxiola-Castro, G., Cepeda-Morales, J., Nájera-Martínez, S., Espinosa-Carreón, T., De la Cruz-Orozco, M.E., Sosa-Avalos, R., Aguirre-Hernández, E., y Cantú-Ontiveros, J.P. (2010). Biomasa y producción del fitoplancton, en: *Dinámica del Ecosistema Pelágico frente a Baja California, 1997–2007*, pp. 59– 81, Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Gilbert, J. Y. y Allen, W.E. (1943). The phytoplankton of the Gulf of California obtained by the "E. W. Scripps" in 1939 and 1940, *J. Mar. Res.*, 5(2), 89-110.
- González, M.T. y Pérez, A. (2009). *Estadística aplicada. Una visión instrumental. Teoría y más de 500 problemas resueltos o propuestos con solución*. Días de Santos. España.
- Gonzalez-Cuellar, O.T. (2012). *Estructura comunitaria y zonación geográfica de peces de arrecifes rocosos del norte del Golfo de California*. Tesis licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, México.
- Guevara Díaz, J.M. (2014). Uso correcto de la correlación cruzada en Climatología: el caso de la presión atmosférica entre Taití y Darwin. *Terra*, 30(47), 79-102. Recuperado en 12 de octubre de 2019, de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S101270892014000100005&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S101270892014000100005&lng=es&tlng=es).
- Gutiérrez, C. P. y Muñoz, Á. L. (2002). *Teledetección: nociones y aplicaciones*. Salamanca: Universidad de Salamanca.
- Gutiérrez, J.C. (2007). *Estadística general aplicada*, Medellín, Fondo Editorial Universidad Eafit. (col. Académica), 2007, p. 49.
- Hendrickx, M. E., Brusca, R.C., y Findley, L.T. (2005). Listado y distribución de la macrofauna del golfo de California, México, parte 1: invertebrados (A Distributional Checklist of the Macrofauna of the Gulf of California, Mexico, Part 1, Invertebrates), Sonora Desert Museum (Tucson, Arizona) y Conservación Internacional – región golfo de California (Guaymas, Sonora).
- Hendrickx, M., Brusca, B., y Ramírez Reséndiz, G. (2002). *Biodiversity of Macrocrustaceans in the Gulf of California, Mexico*. Unidad Academica Mazatlan, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.
- Heras Sánchez, M.C. (2018). *Biosimulación de la producción primaria del Golfo de California*. Tesis Doctoral. Instituto Tecnológico de Sonora. Direccion de Recursos Naturales. Doctorado en Ciencias Especialidad en Biotecnología. Sonora.
- Hernández, J. (2011). *Procesamiento Digital de Imágenes. Apuntes de Clases*. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza. Universidad de Chile. Percepción Remota capítulo del libro “Manejo y Conservación de Recursos Forestales. Eds. Hernández De la Maza y Estados.
- Hernández, J. y Montaner, D. (2009). *Patrones de respuesta espectral*. Laboratorio Geomática y Ecología del Paisaje (GEP) – Facultad de Ciencias Forestales Universidad de Chile

- Hidalgo-González, R.M. y Alvarez-Borrego, S., (2004). Total and new production in the Gulf of California estimated from ocean color data from the satellite sensor SeaWiFS. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 51(6-9). 739-752
- Hinkley, E., Quayle, B., Schwind, B. (2011). Programa de mapeo para fuegos activos MODIS. En: J. F. Mas (Ed.), *Aplicaciones del sensor MODIS para el monitoreo del territorio*.
- Hsu, P.C., Lin, C.C., Huang, S.J., Ho, C.R. (2016). Effects of Cold Eddy on Kuroshio Meander and Its Surface Properties, East of Taiwan. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 9, 5055–5063.  
<https://doi.org/10.1109/JSTARS.2016.2524698>
- INAPESCA. (1994). Atlas Pesquero de México. Secretaría de Pesca.
- INAPESCA. (2004). Boletín estadístico No. 43, Guaymas, Sonora. Instituto Nacional de la Pesca. México. 29 pp.
- INAPESCA. (2012). Plan de Manejo de la pesquería de camarón del Pacífico Mexicano. Dirección General Adjunta de Investigación Pesquera en el Pacífico.
- INAPESCA. (2017). Carta nacional Pesquera. Diario Oficial de la Federación 11 de junio 2018. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/334832/DOF\\_-\\_CNP\\_2017.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/334832/DOF_-_CNP_2017.pdf)
- Jacobson, L.D., De Oliveira, J.A.A., Barange, M., Cisneros-Mata, M.A., Félix-Uraga, R., Hunter, J.R., Kim, J.Y., Matsuura, Y., Ñiquen, M., Porteiro, C., Rothschild, B., Sanchez, R.P., Serra, R., Uriarte, A., y Wada, T. (2001). Surplus production, variability and climate change in the great sardine and anchovy fisheries. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58: 1891–1903.
- Jaime, E., Larín, R., Garea, E., (2011). Hacia métodos de análisis de datos espaciales raster en el nivel semántico. 15, 16.
- Jefferson, T.A., Curry, B.E. y Black, N.A. (1994). Harbor porpoise mortality in the Monterrey Bay halibut gillnet fishery, 1989. *Rep. Int. Whal. Comm. (Spec. Issue 15):*445-448.
- Kahru, M., Marinone, S. G., Lluch-Cota, S. E., Pares-Sierra, A. y Greg Mitchell, B. Ocean-color variability in the Gulf of California: scales from days to ENSO. *Deep-Sea Research*. 2003
- Lanz, E., Nevárez-Martínez, M., López-Martínez, J., Dworak, J.A. (2009). Small pelagic fish catches in the Gulf of California associated with sea surface temperature and chlorophyll. *CalCOFI Rep.*, Vol. 50, 13 pp, 2009.
- Lavín, M.F. y Marinone, S.G. (2003). An overview of the physical oceanography of the Gulf California. En: *Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics*. O.U. Velasco Fuentes, O.U. J. Sheinbaum y J. Ochoa (ed.), pp 173-204. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Le Moullac, G. y Haffner, P. (2000). Environmental factors affecting immune responses in Crustacea. *Aquaculture* 191: 121-131.
- Leal-Nares, O., Mendoza, M.E., Carranza, G. (2010). Análisis y modelamiento espacial de información climática en la cuenca de Cuitzeo, México. *Investigaciones Geográficas*. ISSN 2448-7279. Disponible en: <http://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/view/59226/52241>>. Fecha de acceso: 14 ago. 2019 doi:<http://dx.doi.org/10.14350/rig.19277>.
- Lillesand, T. y Kiefer, R. (1994). *Remote Sensing and Image Interpretation (3a Edición)*. Wiley & Sons, Inc. 750 p.

- Lluch, B. D. (1982). La pesquería del camarón del Pacífico (Diagnosis monográfica de los conocimientos existentes). IPN-CICIMAR, DGINP-EPES, CICTUS-UAS. Cocoyoc, Morelos.
- Lluch-Cota, S., Aragon-Noriega, E., Arreguín-Sánchez, F., Auriol-Gamboa, D., Bautista-Romero, J. J., Brusca, R., Cervantes-Duarte, R., Cortés-Altamirano, R., el Monte-Luna, P., Esquivel, A., Fernández, G., Hendrickx, M., Hernández-Vázquez, S., Herrera-Cervantes, H., Kahru, M., Lavín, M., Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, D., Martínez, J., Sierra, A. (2007). The Gulf of California: Review of ecosystem status and sustainability challenges. *Progress In Oceanography*.
- Lluch-Cota, S.E., Parés-Sierra, A., Magaña-Rueda, V.O., Arreguín-Sánchez, F., Bazzino, G., Herrera-Cervantes, H., Lluch-Belda, D. (2010). Changing climate in the Gulf of California. *Progress in Oceanography* 87, 114–126. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2010.09.007>
- López-Serrano, P.M., Corral-Rivas, J.J., Montiel-Antuna, E., Cruz-López, M.I., Cuahutle, M., Ressler, R., Alvarado-Celestino, E., González-Cabán, A., Jiménez, E., Álvarez-González, J.G., Ruiz-González, A.D., Burgan, R.E., Preisler, H.K. (2018). Developing Models to Predict the Number of Fire Hotspots from an Accumulated Fuel Dryness Index by Vegetation Type and Region in Mexico. *Forests* 2018, 9, 190.
- Manzo Delgado, L. y López García, J. (2013): "Detección de áreas quemadas en el sureste de México, utilizando índices pre y post-incendio NBR y BAI, derivados de compuestos MODIS", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-2, p. 66-83. ISSN: 1578-5157
- Matarese, A.C., Kendall, A.W., Blood, D.M y Vinter, M.V. (1989). Laboratory guide to early life history stages of Northeast Pacific fishes. NOAA Tech. Rep. NMFS 80:1-652.
- Mather, P.M. (1991). Computer applications in geography, John Wiley and sons. New York.
- Méndez Ramos, C. (2011). Regionalización del Golfo de California con base en el ciclo anual de la concentración de Clorofila-a. Tesis de licenciatura. UNAM.
- Molina-Cruz, A. (1984). Evolución Oceanografica de la Boca del Golfo de California. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM.
- Morales-Bojórquez, E. (2009). Indicadores biológicos de cambios globales; el océano Pacífico. *Ciencia y Desarrollo*. 48:60-64.
- Nevárez Martínez, M. O., Martínez Zavala, M.A., Santos Molina, J.P., González Corona M.E., López Lagunas, A.E. (2015). Lagunas Evaluación poblacional de la sardina monterrey (*Sardinops sagax*) en el Golfo de California, México, 1971/72-2013/14 24.
- Nevárez-Martínez, M.O. (2000). Variabilidad de la población de sardina Monterrey (*Sardinops caeruleus*) en el Golfo de California, México. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, Baja California Sur, México.165p.
- Nevárez-Martínez, M.O. Lluch-Belda, D. Cisneros-Mata, M.A. Santos-Molina, J.P. Martínez-Zavala, M., Lluch-Cota, S.E., (2001). Distribution and abundance of the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) in the Gulf of California and their relation with the environment. *Progress in Oceanography* 49, 565–580. [https://doi.org/10.1016/S0079-6611\(01\)00041-6](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(01)00041-6)
- Nevárez-Martínez, M.O., Ma. de los A. Martínez-Zavala, J. P. Santos Molina, M. Anguiano-Carrasco, A. Godínez-Cota y C. Cervantes-Valle. (2009). La pesquería de pelágicos menores, su variabilidad y su relación con la variabilidad ambiental y la pesca.

- SAGARPA, Instituto Nacional de Pesca, Centro Regional de Investigación Pesquera de Guaymas, Sonora, México. 56 p.
- Nevárez-Martínez, M.O., Martínez-Zavala, M.A., Cotero-Altamirano, C.E., Jacob-Cervantes, M., Green-Ruiz, YA., Gluyas-Millán, G., Cota-Villavicencio, A y Santos Molina, JP. (2006). Pelágicos. En: Sustentabilidad y Pesca Responsable: Evaluación y Manejo (Cuellar, J., ed). México; 263-295.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-002-SAG/PESC-2013. Diario Oficial de la Federación 11 de julio de 2013. Disponible en: [https://www.conapesca.gob.mx/work/sites/cona/dgop/2018/normas/2\\_NOM\\_002\\_SAG\\_PESC\\_2013.pdf](https://www.conapesca.gob.mx/work/sites/cona/dgop/2018/normas/2_NOM_002_SAG_PESC_2013.pdf)
- NORMA Oficial Mexicana NOM-003-SAG/PESC-2018. Diario Oficial de la Federación 10 de julio de 2001. Disponible en: [https://www.conapesca.gob.mx/work/sites/cona/dgop/2019/normas/NOM\\_003\\_SAG\\_PESC\\_2018.pdf](https://www.conapesca.gob.mx/work/sites/cona/dgop/2019/normas/NOM_003_SAG_PESC_2018.pdf)
- Ortega-García, S., Camacho-Bareño, E., Martínez-Rincón, R.O., (2015). Effects of environmental factors on the spatio-temporal distribution of striped marlin catch rates off Cabo San Lucas, Baja California Sur, Mexico. *Fisheries Research* 166, 47–58. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.09.007>
- Paez-Barrera, F. (2002). Variabilidad térmica y sus efectos en la distribución en la distribución de sardina Monterrey en el golfo de California. Tesis maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. División de Estudios de Posgrado. 105 pp
- Pérez-Valencia, S.A., Gorostieta-Monjaraz, M.,Castañeda-Fernández V., Loaiza-Villanueva, R.D., Turk-Boyer, M. y DowntonHoffmann, C.A. (2011). Manifestación de Impacto Ambiental para la Pesca Ribereña Responsable en la Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado: Costa Oeste. Centro Intercultural de Estudios de Desiertos y Océanos, A.C. Puerto Peñasco, Sonora, México. 221 pp.
- Petatán Ramirez, D. (2015). Propuesta de zonación del Golfo de California con base en variables oceanográficas y distribución de macroinvertebrados. Tesis Maestría. Universidad Autónoma de Baja California Sur área de Conocimiento de Ciencias del mar Departamento académico de Biología Marina Posgrado en Ciencias Marinas y Costeras.
- Ramírez-Rodríguez, M. y A. Hernández-Herrera. (2010). “Aplicación del Código de Conducta Para la Pesca Responsable en el Golfo de California”. *Región y Sociedad* 22(47): 53-72
- Re, A.D., Díaz, F., Sierra, E., Aguilar, M. y Granados, A. (2000). Efecto de la salinidad sobre la temperatura preferida y la tolerancia térmica de *Litopenaeus stylirostris*. Stimpson. 5to Congreso de Ciencias del Mar, Marcuba 2000. Resumen. 36 pp.
- Rivera-Arriaga, E. y G. Villalobos. (2001). The coast of Mexico: approaches for its management. *Ocean & Coastal Management* 44:729–756.
- Robinson, C.J., Gómez-Gutiérrez, J. y De León, D.A.S. (2013). Jumbo squid (*Dosidicus gigas*) landings in the Gulf of California related to remotely sensed SST and concentrations of chlorophyll a (1998–2012). *Fisheries Research* 137, 97–103. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2012.09.006>
- Robinson, M. K. (1973). Atlas of Monthly Mean Sea Surface and Subsurface Temperatures in the Gulf of California, Mexico. Society of Natural History, San Diego, Cal., Memoir 5., 19 p.



- Roden, G. I. y Emilsson, I. 1979. Physical oceanography of the Gulf of California, paper presented at the Gulf of California Symposium, Univ. Nac. Autón. de Méx., Mazatlán, Sinaloa, México.
- Rosales-Arriaga, E.R. y Tapia-Silva, F.O. (2011). Efectos de la agregación espacial en la estimación de temperatura del aire mediante mágenes MODIS. En J. F. Mas (Ed.), Aplicaciones del sensor MODIS para el monitoreo del territorio. 253-273 pp
- Round, F. E. 1967. The phytoplankton of the Gulf of California, I, Its composition, distribution and contribution to the sediments, *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 1, 76--97.
- SAGARPA-CONAPESCA. (2010). Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2010. CONAPESCA, SAGARPA. México. 289 p. Disponible en: (<http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx>).
- Salmerón García, O. (2012). La Temperatura Superficial del Mar y la concentración de Clorofila a, a través de imágenes satelitales, así como su relación con la producción pesquera en el Golfo de México y Mar Caribe. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México. Posgrado en Geografía. Distrito Federal, 2012.
- Santamaría del Ángel, E.M., Álvarez-Borrego, S. y Muller Karger, F.E. (1994). Gulf of California biogeographic regions based on Coastal Zone Color Scanner imagery. *Journal of Geophysical Research*, 99 (C4): 7411-7421.
- Santamaria-del-Angel, E., Alvarez-Borrego, S., y Muller-Karger, F. E. (1994). Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research*.
- Santos Preciado, J.M. y Carcía Lázaro, F.J. (2003). El método dasimétrico-picnofiláctico: un procedimiento para la desagregación de datos censales, en: IX Conferencia Iberoamericana de SIG. Cáceres, Editorial Universidad de Cáceres.
- Schowengerdt, R. A. (1997). Remote sensing: Models and methods for image processing. In: R. A. Schowengerdt (ed.). Academic Press. Sensor models. pp. 78-90. San Diego, USA.
- SEMARNAT. (2006). Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California.
- SEMARNAT. (2006). Política ambiental nacional para el desarrollo sustentable de océanos y costas de México, estrategias para su conservación y desarrollo sustentable. Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental, Dirección General de Política Ambiental, Dirección de Integración Regional y Sectorial, México.
- Shepard, F.P. (1950). Submarine topography of the Gulf of California, Parte 3 del 1940 E. W. Scripps cruise to the Gulf of California, Geological Society of America, Memorie 43.
- Siegel-Causey, D. 1982. Factors Determining the Distribution of Hyperiid Amphipoda in the Gulf of California. University of Arizona, Tucson.
- Siswanto, E. y Tanaka, K., (2014). Phytoplankton Biomass Dynamics in the Strait of Malacca within the Period of the SeaWiFS Full Mission: Seasonal Cycles, Interannual Variations and Decadal-Scale Trends. *Remote Sensing* 6, 2718–2742. <https://doi.org/10.3390/rs6042718>
- Sobrino, J.A., Raissouni, N., Kerr, Y., Oliso, A., López-García, M.J., Belaid, A., El Kharraz, M.H., Cuenca, J. y Dempere, L., (2000). Teledetección. Sobrino, J. A. (Ed.), Servicio de Publicaciones, Universidad de Valencia (ISBN 84-3704220-8), Valencia (España).
- Solanki, H.U., Bhatpuria, D. y Chauhan, P., (2015). Signature analysis of satellite derived SSHa, SST and chlorophyll concentration and their linkage with marine fishery resources. *Journal of Marine Systems* 150, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2015.05.004>

- Soto-Mardones, L., S.G. Marinone y A. Parés-Sierra. (1999). Variabilidad espacio temporal de la temperatura superficial del mar en el Golfo de California. *Ciencias Marinas* 25(1): 1-30.
- Sverdrup, H. U. 1941. The Gulf of California: Preliminary discussion of the cruise of the EW Scripps in February and March 1939. Vol. 3, pp. 161-166.
- Szteren, D. y Auriol-Gamboa, D. (2011). Regionalización ecológica de las colonias reproductivas de *Zalophus californianus*, como herramienta para su conservación en el Golfo de California. *Ciencias marinas*, 37(3), 349-368. Recuperado en 25 de septiembre de 2017, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-38802011000300009&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-38802011000300009&lng=es&tlng=es).
- Thomson, D.A., Findley, L. y Kerstitch, A.N. (2000). Reef fishes of the Sea of Cortez: The rocky-shore fishes of the Gulf of California.
- Triola, M.F. (2009). Estadística. Décima edición PEARSON EDUCACIÓN, México, 2009 ISBN: 978-970-26-1287-2
- Ulloa, R., Torre, J., Bourillón, L. y Alcantar, N. (2015). Planeación Ecorregional para la Conservación Marina: Golfo de California y costa occidental de Baja California Sur. 10.13140/RG.2.1.1584.0162.
- Urbán R., J., Rojas Bracho, L., Guerrero Ruiz, M., Jaramillo Legorreta, A. y Findley, L. (2005). "Cetacean diversity and conservation in the Gulf of California", en *Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico*, J. L. Cartron, G. Ceballos y R. Felger (eds.), Oxford University Press, Nueva York, 2005. pp. 276-297.
- Vallarta-Zárata, J.R.F. (2012). Tesis maestría: "Distribución y abundancia de la sardina crinuda (*Opisthonema spp*) en el sur del golfo de California asociada a la variabilidad ambiental durante el periodo 1996-2010". Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México-Unidad Académica Mazatlán. 134 pp
- Vega-Nieva, D.J., Briseño-Reyes, J., Nava-Miranda, M.G., Calleros-Flores, E., López-Serrano, P.M., Corral-Rivas, J.J., Montiel-Antuna, E., Cruz-López, M.I., Cuahutle, M., Ressler, R., Alvarado-Celestino, E., González-Cabán, A., Jiménez, E., Álvarez-González, J.G., Ruiz-González, A.D., Burgan, R.E., Preisler, H.K. (2018). Developing Models to Predict the Number of Fire Hotspots from an Accumulated Fuel Dryness Index by Vegetation Type and Region in Mexico. *Forests* 2018, 9, 190.
- Vila, A., Sedano, M., López, A. y Juan, A.A. (2003). Correlación lineal y análisis de regresión. UOC
- Waga, H., Hirawake, T., Fujiwara, A., Kikuchi, T., Nishino, S., Suzuki, K., Takao, S. y Saitoh, S.I., (2017). Differences in Rate and Direction of Shifts between Phytoplankton Size Structure and Sea Surface Temperature. *Remote Sensing* 9, 222. <https://doi.org/10.3390/rs9030222>
- Walker, B.W. (1960). The distribution and affinities of the marine fish fauna of the Gulf of California. *Systematic Zoology*. 9. 123-133
- Whitehead, P.J.P. (1985). Catálogo de especies de la FAO. Vol. 7. Los peces clupeoides del mundo (suborden Clupeoidei). Un catálogo anotado e ilustrado de los arenques, sardinas, sardinas, espadines, sombreados, anchoas y arenques de lobo. *Pescado de la FAO. Sinop* 125 (7/1): 1-303. Roma: la FAO.
- Wilkinson T., Wiken, E., Bezaury Creel, J., Hourigan, T., Agardy, T., Herrmann, H., Janishevski, L., Madden, C., Morgan, L. y Padilla, M. (2009). Ecorregiones marinas de América del Norte, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, 2009, 200 pp.

Zacharias, M.A. yRoff, J.C., (2000). A hierarchical ecological approach to conserving marine biodiversity. *Conservation Biology* 14, 1327–1334.

## ANEXOS

### Anexo 1. Algoritmo TSM y TSM4, MODIS Aqua.

De acuerdo con el portal y documentación de NASA, el algoritmo de SST se utiliza el siguiente logaritmo ([https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/docs/modis\\_sst/](https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/docs/modis_sst/); Franz, 2006):

$$\text{sst4} = a_0 + a_2 * \text{BT39} + a_2 * \text{dBT} + a_3 * (1.0 / \mu - 1.0)$$

donde:

$$\text{dBT} = \text{BT39} - \text{BT40}$$

BT39 = temperatura de brillo a 3.959 um, en grados-C

BT40 = temperatura de brillo a 4.050 um, en grados –C

$\mu$  = coseno del ángulo cenital del sensor

Mientras que para la SST, se calcula de acuerdo a las temperaturas de brillo:

$$\text{dBT} \leq 0.5$$

$$\text{sst} = a_{00} + a_{01} * \text{BT11} + a_{02} * \text{dBT} * \text{bsst} + a_{03} * \text{dBT} * (1.0 / \mu - 1.0)$$

$$\text{dBT} \geq 0.9$$

$$\text{sst} = a_{10} + a_{11} * \text{BT11} + a_{12} * \text{dBT} * \text{bsst} + a_{13} * \text{dBT} * (1.0 / \mu - 1.0)$$

$$0.5 < \text{dBT} < 0.9$$

$$\text{sstlo} = a_{00} + a_{01} * \text{BT11} + a_{02} * \text{dBT} * \text{bsst} + a_{03} * \text{dBT} * (1.0 / \mu - 1.0)$$

$$\text{ssthi} = a_{10} + a_{11} * \text{BT11} + a_{12} * \text{dBT} * \text{bsst} + a_{13} * \text{dBT} * (1.0 / \mu - 1.0)$$

$$\text{sst} = \text{sstlo} + (\text{dBT} - 0.5) / (0.9 - 0.5) * (\text{ssthi} - \text{sstlo})$$

donde:

$$\text{dBT} = \text{BT11} - \text{BT12}$$

BT11 = temperatura de brillo a 11 um, en grados-C

BT12 = temperatura de brillo a 12 um, en grados-C

bsst = SST basal, que es sst4 (si es válido) o sstref (desde el primer)

$\mu$  = coseno del ángulo cenital del sensor