

Figura 14. Distribución vertical de la biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) entre los días 15 y 19 de junio de 2015. A: Arica (18°25'S), B: Punta Madrid (19°00'S), C: Chucumata (20°30'S), D: Chipana (21°20'S), E: Copaca (22°20'S) y F: Punta Hornos (23°00'S).

# Zooplancton

La abundancia total de zooplancton fluctuó entre 8,7 y 159,0 ind/10 m<sup>2</sup>. Las abundancias en general se mantuvieron dentro del rango de los 60-70 ind/10 m<sup>2</sup>, detectándose densidades superiores a 100 ind/10 m<sup>2</sup> al sur de Chucumata (20°30'S) y en sitios muy localizados (Tabla 4).

Tabla 4. Abundancia total del zooplancton (ind/m<sup>3</sup>) entre los días 15 y 19 de junio de 2015. DC: distancia de la costa (mn).

| Localidad | DC<br>(mn) | Abundancia Total<br>(ind/10 m <sup>2</sup> ) |
|-----------|------------|----------------------------------------------|
|           | 5          | 8,7                                          |
| Arica     | 10         | 20,6                                         |
| (18°25'S) | 20         | 86,3                                         |
|           | 40         | 62,8                                         |
| Dunto     | 5          | 87,4                                         |
| Punta     | 10         | 45,2                                         |
|           | 20         | 50,8                                         |
| (19 00 3) | 40         | 58,1                                         |
|           | 5          | 98,8                                         |
| Chucumata | 10         | 58,4                                         |
| (20°30'S) | 20         | 53,4                                         |
|           | 40         | 159,0                                        |
|           | 5          | 100,3                                        |
| Chipana   | 10         | 70,5                                         |
| 21°20'S   | 20         | 52,9                                         |
|           | 40         | 65,2                                         |
|           | 5          | 69,3                                         |
| Сораса    | 10         | 59,4                                         |
| (22°20'S) | 20         | 94,5                                         |
|           | 40         | 102,8                                        |
| Bunto     | 5          | 65,1                                         |
| Hornos    | 10         | 103,8                                        |
| (22°00'5) | 20         | 106,6                                        |
| (25 00 5) | 40         | 44,1                                         |

Los valores registrados se debieron al aporte que realizó el grupo Copepoda, el cual alcanzó en promedio densidades que fluctuaron entre 36,2 y 72,3 ind/10 m<sup>2</sup>, con aportes porcentuales que superaron el 70% en todas las localidades, exhibiendo abundancias superiores a 60 ind/10 m<sup>2</sup> desde Chucumata (20°30'S) al sur. Los otros grupos, con excepción de Appendicularia y Larvas de Annelida, que tuvieron contribuciones porcentuales cercanas a 3,0% y 7,0% respectivamente, escasamente superaron 1,0 ind/10 m<sup>2</sup> (Tabla 5).

| GRUPOS<br>ZOOPLANCTON | Arica<br>(18°25'S) |      | Pun<br>Mad<br>(19°0 | unta<br>adrid<br>°00'S) Chuci |       | Chucumata Chipana Copaca<br>(20°30'S) (21°20'S) (22°20'S) |       | Copaca<br>(22°20'S) |       | Pun<br>Hori<br>(23°0 | ita<br>nos<br>10'S) |      |
|-----------------------|--------------------|------|---------------------|-------------------------------|-------|-----------------------------------------------------------|-------|---------------------|-------|----------------------|---------------------|------|
|                       | ABPRO              | AP   | ABPRO               | AP                            | ABPRO | AP                                                        | ABPRO | AP                  | ABPRO | AP                   | ABPRO               | AP   |
| Amphipoda             | 0,1                | 0,3  | 0,3                 | 0,5                           | 0,2   | 0,2                                                       | 0,2   | 0,2                 | 0,3   | 0,3                  | 0,1                 | 0,2  |
| Annelida              | 0,0                | 0,0  | 0,0                 | 0,0                           | 0,1   | 0,1                                                       | 0,1   | 0,1                 | 0,0   | 0,0                  | 0,0                 | 0,0  |
| Appendicularia        | 1,2                | 2,7  | 2,4                 | 3,9                           | 2,8   | 3,0                                                       | 2,4   | 3,4                 | 2,6   | 3,2                  | 1,8                 | 2,3  |
| Copepoda              | 36,2               | 81,2 | 46,7                | 77,4                          | 72,3  | 78,3                                                      | 58,2  | 80,6                | 64,8  | 79,5                 | 64,4                | 80,6 |
| Cnidaria              | 0,0                | 0,0  | 0,0                 | 0,1                           | 0,0   | 0,0                                                       | 0,1   | 0,1                 | 0,2   | 0,2                  | 0,0                 | 0,0  |
| Ctenophora            | 0,1                | 0,3  | 0,1                 | 0,1                           | 0,3   | 0,3                                                       | 0,2   | 0,2                 | 0,3   | 0,3                  | 0,1                 | 0,2  |
| Chaetognata           | 1,0                | 2,3  | 1,1                 | 1,8                           | 3,6   | 3,9                                                       | 1,0   | 1,4                 | 1,3   | 1,6                  | 1,4                 | 1,7  |
| Euphausiacea          | 0,4                | 0,9  | 0,3                 | 0,6                           | 0,9   | 0,9                                                       | 0,3   | 0,4                 | 0,2   | 0,2                  | 0,4                 | 0,6  |
| Larvas Annelida       | 2,7                | 6,1  | 4,7                 | 7,8                           | 7,6   | 8,3                                                       | 5,7   | 7,9                 | 6,8   | 8,4                  | 6,0                 | 7,5  |
| Larvas Megalopa       | 0,0                | 0,1  | 0,0                 | 0,0                           | 0,0   | 0,0                                                       | 0,1   | 0,1                 | 0,0   | 0,0                  | 0,1                 | 0,1  |
| Mysidacea             | 0,8                | 1,8  | 1,0                 | 1,6                           | 0,3   | 0,3                                                       | 1,4   | 2,0                 | 1,8   | 2,2                  | 1,7                 | 2,2  |
| Salpida               | 0,1                | 0,2  | 0,5                 | 0,9                           | 1,2   | 1,3                                                       | 0,5   | 0,7                 | 0,5   | 0,6                  | 0,8                 | 1,1  |
| Siphonophora          | 0,7                | 1,7  | 1,0                 | 1,7                           | 2,4   | 2,6                                                       | 1,1   | 1,5                 | 1,2   | 1,4                  | 0,8                 | 1,0  |
| Stomatopoda           | 0,1                | 0,3  | 0,4                 | 0,6                           | 0,2   | 0,2                                                       | 0,2   | 0,3                 | 0,4   | 0,5                  | 0,6                 | 0,8  |
| Larvas Zoea           | 0,9                | 2,0  | 1,9                 | 3,1                           | 0,5   | 0,6                                                       | 0,8   | 1,1                 | 1,2   | 1,4                  | 1,5                 | 1,9  |

Tabla 5. Abundancia promedio (ABPRO) (ind/10 m<sup>2</sup>) y aporte porcentual (AP) (%), por localidad, de los grupos zooplanctónicos entre los días 15 y 19 de junio de 2015.

Mediante la determinación del espectro de tamaño del zooplancton se registraron organismos entre 0,25 y 8,25 mm. Los individuos pertenecientes al rango entre 0,25-0,75 mm fueron los más abundantes, exhibiendo una abundancia promedio para la zona de 61,8 ind/10 m<sup>2</sup>, con aportes superiores a 75% en todas las estaciones. Las densidades de los organismos entre 1,25-1,75 mm escasamente superaron los 10 ind/10 m<sup>2</sup>, y en los otros rangos de tamaño las abundancias fueron inferiores a 5,0 ind/10 m<sup>2</sup> (Tabla 6).

El rango de tamaño más abundante (0,25-0,75 mm) estuvo dominado por el grupo Copepoda, el que realizó aportes porcentuales superiores al 80% en todas las estaciones. También, pero en menor medida, este grupo realizó una contribución importante en el rango 1,25-1,75 mm (Tabla 7). En los otros tamaños los grupos estuvieron representados por abundancias similares, las cuales, en general, fueron bajas.

|              | DC   | RANGOS DE TAMAÑO (mm) |           |           |           |           |                     |  |  |
|--------------|------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------------|--|--|
| LOCALIDAD    | (mn) | 0,25-0,75             | 1,25-1,75 | 2,25-2,75 | 3,25-3,75 | 4,25-8,25 | AP (%)<br>0,25-0,75 |  |  |
|              | 5    | 7,9                   | 0,4       | 0,2       | 0,1       | 0,1       | 91,0                |  |  |
| Arica        | 10   | 19,0                  | 0,8       | 0,5       | 0,1       | 0,1       | 92,7                |  |  |
| (18°25'S)    | 20   | 66,7                  | 12,9      | 4,5       | 1,3       | 1,0       | 77,2                |  |  |
|              | 40   | 53,4                  | 6,5       | 1,3       | 0,9       | 0,7       | 85,0                |  |  |
|              | 5    | 70,0                  | 12,3      | 4,2       | 0,7       | 0,0       | 80,3                |  |  |
| Punta Madrid | 10   | 38,9                  | 4,9       | 1,2       | 0,2       | 0,0       | 85,9                |  |  |
| (19°00'S)    | 20   | 43,4                  | 3,8       | 2,6       | 0,7       | 0,0       | 86,0                |  |  |
|              | 40   | 52,3                  | 3,5       | 1,3       | 0,6       | 0,3       | 90,3                |  |  |
|              | 5    | 93,9                  | 3,0       | 0,9       | 0,6       | 0,0       | 95,5                |  |  |
| Chucumata    | 10   | 49,8                  | 4,3       | 1,9       | 1,8       | 0,4       | 85,6                |  |  |
| (20°30'S)    | 20   | 45,8                  | 4,2       | 2,1       | 0,8       | 0,4       | 85,9                |  |  |
|              | 40   | 125,7                 | 12,8      | 10,0      | 8,3       | 2,0       | 79,2                |  |  |
|              | 5    | 97,9                  | 2,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 98,0                |  |  |
| Chipana      | 10   | 62,4                  | 6,4       | 1,3       | 0,4       | 0,1       | 88,6                |  |  |
| (21°20'S)    | 20   | 46,0                  | 4,7       | 1,5       | 0,5       | 0,0       | 87,3                |  |  |
|              | 40   | 52,3                  | 6,9       | 3,8       | 2,0       | 0,1       | 80,4                |  |  |
|              | 5    | 60,7                  | 7,2       | 0,7       | 0,2       | 0,1       | 87,9                |  |  |
| Сораса       | 10   | 49,2                  | 6,9       | 1,8       | 1,0       | 0,2       | 83,4                |  |  |
| (22°20'S)    | 20   | 82,6                  | 8,5       | 2,8       | 0,5       | 0,2       | 87,4                |  |  |
|              | 40   | 88,0                  | 12,0      | 1,9       | 0,3       | 0,5       | 85,7                |  |  |
|              | 5    | 57,2                  | 5,9       | 1,0       | 0,8       | 0,1       | 87,9                |  |  |
| Punta Hornos | 10   | 89,3                  | 10,1      | 1,8       | 1,4       | 0,6       | 86,5                |  |  |
| (23°00'S)    | 20   | 93,1                  | 9,4       | 2,9       | 0,9       | 0,0       | 87,6                |  |  |
|              | 40   | 37,7                  | 4,6       | 1,2       | 0,2       | 0,2       | 85,8                |  |  |

Tabla 6. Abundancia zooplanctónica (ind/10  $m^2$ ) por rango de tamaño (mm) y aporte porcentual (AP) (%) del rango 0,25-0,75 mm, durante los días 15 y 19 de junio de 2015. DC: distancia de la costa.

|              | DC   | 0,25-0,7 | 75 mm | 1,25-1 | ,75 mm |
|--------------|------|----------|-------|--------|--------|
| LOCALIDAD    | (mn) | AB       | AP    | AB     | AP     |
|              | 5    | 7,0      | 87,7  | 0,2    | 42,1   |
| Arica        | 10   | 17,1     | 90,0  | 0,4    | 45,8   |
| (18°25'S)    | 20   | 58,8     | 88,2  | 7,2    | 56,3   |
|              | 40   | 47,7     | 89,3  | 2,9    | 45,5   |
|              | 5    | 61,6     | 88,1  | 4,5    | 36,9   |
| Punta Madrid | 10   | 34,4     | 88,5  | 2,0    | 40,3   |
| (19°00'S)    | 20   | 33,6     | 77,5  | 1,1    | 27,9   |
|              | 40   | 43,9     | 83,9  | 1,7    | 49,1   |
|              | 5    | 83,3     | 88,7  | 1,2    | 41,7   |
| Chucumata    | 10   | 42,0     | 84,3  | 1,4    | 32,3   |
| (20°30'S)    | 20   | 36,5     | 79,8  | 1,3    | 31,9   |
|              | 40   | 108,1    | 86,0  | 6,5    | 51,1   |
|              | 5    | 90,1     | 92,0  | 0,4    | 20,6   |
| Chipana      | 10   | 54,4     | 87,2  | 2,5    | 39,6   |
| (21°20'S)    | 20   | 38,1     | 82,7  | 2,0    | 42,9   |
|              | 40   | 40,4     | 77,2  | 2,5    | 36,1   |
|              | 5    | 53,3     | 87,7  | 3,1    | 42,4   |
| Сораса       | 10   | 43,0     | 87,3  | 3,0    | 43,9   |
| (22°20'S)    | 20   | 70,6     | 85,5  | 4,1    | 48,1   |
|              | 40   | 74,5     | 84,7  | 4,4    | 36,7   |
|              | 5    | 50,8     | 88,7  | 3,2    | 53,5   |
| Punta Hornos | 10   | 79,0     | 88,5  | 4,7    | 46,6   |
| (23°00'S)    | 20   | 79,3     | 85,2  | 2,8    | 29,9   |
|              | 40   | 32,6     | 86,3  | 1,6    | 35,0   |

Tabla 7. Abundancia (AB) (ind/10 m<sup>2</sup>) y aporte porcentual (AP) (%) del grupo Copepoda en los rangos de tamaño 0,25-0,75 mm y 1,25-1,75 mm, entre los días 15 y 19 de junio de 2015.

Al analizar la distribución horizontal de la abundancia total del zooplancton se observaron las mayores concentraciones (>100 ind/10 m<sup>2</sup>) asociadas a las estaciones más alejadas de la costa, con un foco de máxima densidad (159,0 ind/10 m<sup>2</sup>) frente a Chucumata (20°30'S) a 40 mn de la costa. Valores cercanos a 100 ind/10 m<sup>2</sup> también se registraron frente a Copaca (22°20'S) y Punta Hornos (23°00'S), a 40 mn y entre 10 y 20 mn respectivamente. A nivel costero (5 mn) sólo se detectó en Chipana (22°20'S) un núcleo de 100,3 ind/10 m<sup>2</sup>. Entre Arica (18°25'S) y Punta Madrid (19°00'S), las densidades se mantuvieron bajo los 75 ind/10 m<sup>2</sup>, detectándose igualmente un incremento hacia la zona más oceánica, lo mismo desde Chipana al sur (Figura 15-panel izquierdo). Dada la dominancia del grupo Copepoda, la distribución horizontal de su abundancia fue concordante con la distribución de abundancia total, evidenciando su aporte a los valores máximos detectados (Figura 15-panel derecho). El mismo patrón se observó en la distribución horizontal de la abundancia total y del grupo Copepoda en el rango de tamaño 0,25-1,75 mm (Figura 16).



Figura 15. Distribución horizontal de la abundancia total (ind/10 m<sup>2</sup>) del zooplancton (panel izquierdo) y del grupo de los Copépodos (panel derecho), durante los días 19 y 24 de enero de 2015.



Figura 16. Distribución horizontal de la abundancia (ind/10 m<sup>2</sup>) total (panel izquierdo) y del grupo Copepoda (panel derecho) en el rango de tamaño 0,25-1,75 mm, entre los días 15 y 19 de junio de 2015.

# Ictioplancton

Se registró la presencia de huevos y larvas de anchoveta (*Engraulis ringens*) y de otras especies que no constituyen recursos clave (Tabla 8).

La abundancia total de estadios tempranos estimada en el área de estudio fue de 16.437 huevos/10 m<sup>2</sup> y 5.483 larvas/10 m<sup>2</sup>, de los cuales un 82,8% y un 60,6% respectivamente, pertenecieron a *E. ringens*. Dentro del componente larval de anchoveta, se identificaron los estados de desarrollo yolk-sac, pre-flexión, flexión y post-flexión. Los últimos tres estados fueron los más abundantes (Tabla 8) con un aporte del 89,1% a la abundancia total de larvas, entre los cuales predominó el estadio pre-flexión.

| Tabla 8. Abundancia de hu     | uevos y larvas (N°/10 | ) m <sup>2</sup> ) de anchoveta | (Engraulis | ringens) y | de otras |
|-------------------------------|-----------------------|---------------------------------|------------|------------|----------|
| especies, entre los días 15 y | / 19 de junio de 2015 | . DC: distancia de la           | costa.     |            |          |

|              |            |        | Engraulis ring     | gens                                                | Otras Es | species | Totales |        |
|--------------|------------|--------|--------------------|-----------------------------------------------------|----------|---------|---------|--------|
| Localidad    | DC<br>(mn) | Huevos | Larvas<br>Yolk-sac | Larvas<br>Pre-Flexión,<br>Flexión y<br>Post-flexión | Huevos   | Larvas  | Huevos  | Larvas |
|              | 5          | 221    |                    |                                                     |          |         | 221     |        |
| Arica        | 10         | 145    | 48                 |                                                     |          |         | 145     | 48     |
| (18°25'S)    | 20         |        |                    |                                                     |          | 76      |         | 76     |
|              | 40         |        |                    |                                                     | 89       | 89      | 89      | 89     |
|              | 5          |        |                    |                                                     |          |         |         |        |
| Punta Madrid | 10         |        |                    |                                                     | 35       |         | 35      |        |
| (19°00'S)    | 20         |        |                    |                                                     | 37       |         | 37      |        |
|              | 40         |        |                    |                                                     |          | 51      |         | 51     |
|              | 5          | 8247   | 261                | 52                                                  | 731      | 157     | 8978    | 470    |
| Chucumata    | 10         |        |                    |                                                     |          | 135     |         | 135    |
| (20°30'S)    | 20         |        |                    |                                                     | 106      | 211     | 106     | 211    |
|              | 40         |        |                    |                                                     | 45       |         | 45      |        |
|              | 5          | 2768   | 54                 | 488                                                 |          |         | 2768    | 543    |
| Chipana      | 10         | 44     |                    | 876                                                 |          | 88      | 44      | 963    |
| (21°20'S)    | 20         |        |                    |                                                     | 93       | 46      | 93      | 46     |
|              | 40         |        |                    |                                                     | 44       | 88      | 44      | 88     |
|              | 5          |        |                    | 1181                                                |          | 154     |         | 1336   |
| Сораса       | 10         |        |                    | 363                                                 |          | 227     |         | 589    |
| (22°20'S)    | 20         |        |                    |                                                     |          | 196     |         | 196    |
|              | 40         |        |                    |                                                     | 944      | 142     | 944     | 142    |
|              | 5          | 2188   |                    |                                                     | 313      |         | 2501    |        |
| Punta Hornos | 10         |        |                    |                                                     | 89       | 357     | 89      | 357    |
| (23°00'S)    | 20         |        |                    |                                                     | 104      | 104     | 104     | 104    |
|              | 40         |        |                    |                                                     | 196      | 39      | 196     | 39     |

Con excepción de Punta Madrid (19°00'S), en todas las localidades se registró la presencia de huevos y larvas de *Engraulis ringens*, en la franja entre 5 y 10 mn de la costa (Figura 17).

La distribución horizontal de huevos mostró las mayores abundancias (>1.000 huevos/10 m<sup>2</sup>) a 5 mn de la costa, frente a Chucumata (20°30'S), Chipana (21°20'S) y Punta Hornos (23°00'S). El foco de máxima concentración (8.247 huevos/10 m<sup>2</sup>) se localizó frente a Chucumata (20°30'S), y en las otras dos localidades los valores alcanzaron los 2.768 y 2.188 huevos/10 m<sup>2</sup> respectivamente (Figura 18).

La presencia de larvas de *E. ringens* en estado yolk-sac se detectó en Arica (18°25'S), Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S), registrándose el máximo (261 larvas/10 m<sup>2</sup>) frente a Chucumata a 5 mn de la costa (Figura 19-panel izquierdo). El conjunto de larvas en estados preflexión, flexión y post-flexión, presentaron su máxima densidad (1.181 larvas/10 m<sup>2</sup>) a 5 mn en Copaca (22°20'S), con un máximo secundario de 876 larvas/10 m<sup>2</sup> frente a Chipana (21°20'S) localizado a 10 mn de la costa (Figura 19-panel derecho).

Los huevos y larvas de otras especies presentaron una distribución más amplia, registrándose en todas las localidades y entre 5 y 40 mn de la costa. Los huevos exhibieron su máxima abundancia (944 huevos/10 m<sup>2</sup>) en Copaca (22°20'S) a 40 mn, con un segundo máximo de 731 huevos/10 m<sup>2</sup> frente a Chucumata (20°30'S) a 5 mn. La mayor densidad de larvas (357 larvas/10 m<sup>2</sup>) se detectó en Punta Hornos (23°00'S) a 10 mn de la costa, y frente a Copaca (22°20'S), también a 10 mn se registraron 227 larvas/10 m<sup>2</sup> (Figura 20).

En términos comparativos con los estadios tempranos de otras especies, los huevos de anchoveta exhibieron una distribución muy localizada, y sólo en Arica (18°25'S) y Chucumata (20°30') presentaron una contribución porcentual mayor. Los huevos de otras especies se registraron en todas las localidades, incluso en las estaciones más alejadas de la costa, y hacia el sur de Chucumata fueron porcentualmente dominantes (Figura 21-panel superior). Respecto de las larvas de anchoveta, también estuvieron restringidas a algunas localidades y exhibieron una contribución porcentual mayor sólo en Chipana (21°20'S) y Copaca (22°20'). Las larvas de otras especies, también representadas en toda el área, predominaron entre Arica (18°25'S) y Chucumata (20°30'S) y en Punta Hornos (23°00'S) (Figura 21-panel inferior).



Figura 17. Estaciones positivas (círculos rojos) para la presencia de huevos y larvas de *Engraulis ringens* entre los días 15 y 19 de junio de 2015.



Figura 18. Distribución horizontal de la abundancia de huevos (N°/10  $m^2$ ) de *Engraulis ringens* entre los días 15 y 19 de junio de 2015.



Figura 19. Distribución horizontal de la abundancia de larvas (N°/10 m<sup>2</sup>) de *Engraulis ringens* en estado yolk-sac (panel izquierdo) y en estado de pre-flexión, flexión y post-flexión (panel derecho) entre los días 15 y 19 de junio de 2015.



Figura 20. Distribución horizontal de la abundancia de huevos (N°/10 m<sup>2</sup>) (panel izquierdo) y larvas (N°/10 m<sup>2</sup>) (panel derecho) de otras especies, entre los días 15 y 19 de junio de 2015.



Figura 21. Aporte porcentual (%) a la abundancia ictioplanctónica total de los estadios tempranos de anchoveta (*Engraulis ringens*) y de otras especies, por localidad y distancia de la costa (mn) entre los días 15 y 19 de junio de 2015. Panel superior: Huevos, panel inferior: Larvas.

### Análisis Estadístico

#### Análisis de Correlación

Al analizar la influencia de las variables sobre la abundancia de huevos de anchoveta, los resultados mostraron que no hubo correlaciones con los parámetros físicos y químicos (Figura 22), mientras que con el componente biológico sí presentó una alta correlación, específicamente con la abundancia de diatomeas (r=0,62, p<0,01) y microflagelados (r=0,71, p<0,01), y con la biomasa fitoplanctónica (cloa\_int) (r=0,56, p<0,01) (Figura 23).

La abundancia de las larvas de anchoveta, tampoco se correlacionó con las variables físicoquímicas (Figura 24), y, respecto del componente biológico, correlaciones bajas pero significativas, se detectaron con la abundancia de las diatomeas (r=0,45, p<0,05) y con la biomasa fitoplantónica (Cloa\_int) (r=0,44, p<0,05) (Figura 25).

### Análisis Comparativo

El análisis de varianza reveló que las variables físico-químicas que presentaron diferencias estadísticamente significativas fueron la temperatura, salinidad y la profundidad del LS\_ZMO, y entre las variables biológicas, las diferencias se registraron en la abundancia de microflagelados, nanoflagelados, copépodos y zooplancton gelatinoso.

En el área Arica las diferencias en la temperatura se debieron a los bajos valores registrados durante el invierno de 2014 respecto del verano y otoño de 2015, y porque las temperaturas de verano de 2015 superaron aquellas registradas en primavera de 2014 y otoño de 2015. Una situación similar se registró en el área Chipana, mientras que en el área Punta Hornos las diferencias fueron producto de las mayores temperaturas registradas en verano de 2015 respecto de la primavera de 2014 y el otoño de 2015 (Tabla 9, Figura 26).

La salinidad evidenció diferencias significativas en el área Arica, generadas por las bajas salinidades detectadas en la primavera de 2014, respecto de los otros periodos, y en el área Chipana por los altos valores registrados en otoño de 2015 (Tabla 10, Figura 27).

Respecto de la profundidad del LS\_ZMO, en el área Arica y Punta Hornos las diferencias estadísticamente significativas fueron generadas por lo somero de su posición durante la primavera de 2014, mientras que en el área Chipana se debieron a que en otoño de 2015, su posición exhibió las mayores profundidades (Tabla 11, Figura 28).

Dentro del componente biológico la abundancia de microflagelados y nanoflagelados mostró diferencias significativas sólo en el área Chipana, y éstas fueron generadas por las altas concentraciones que exhibieron estos grupos en verano de 2015 (Tabla 12, Figura 29 y Tabla 13, Figura 30).

Los copépodos exhibieron diferencias significativas en todas las áreas. En las áreas Arica y Punta hornos, éstas se debieron a que durante el otoño de 2015 el grupo presentó las menores abundancias, mientras que en el área Chipana, las diferencias surgieron de las mayores concentraciones registradas en verano de 2015 (Tabla 14, Figura 31). En las abundancias del zooplancton gelatinoso se detectaron diferencias significativas en las áreas Arica y Chipana, todas generadas por los mayores valores registrados en verano de 2015, respecto de los otros periodos (Tabla 15, Figura 32).



Figura 22. Resultados del análisis de correlación entre la abundancia de huevos de anchoveta (huevos) (N°/10 m<sup>2</sup>) y las variables físico-químicas: temperatura (tem) (°C), salinidad (sal) (ups), densidad (den) ( $\sigma$ -t) y oxígeno disuelto (od) (mL/L), entre los días 15 y 19 de junio de 2015.



Figura 23. Resultados del análisis de correlación entre la abundancia de huevos de anchoveta (huevos) (N°/10 m<sup>2</sup>) y las variables biológicas: abundancia de diatomeas (diato) (cél/mL), abundancia de microflagelados (mflage) (cél/mL), abundancia de zooplancton (zoo\_abu) (ind/10 m<sup>2</sup>) y biomasa fitoplanctónica (Cloa\_int) ( $\mu$ g Cl-a/m<sup>3</sup>), entre los días 15 y 19 de junio de 2015.

.



Figura 24. Resultados del análisis de correlación entre la abundancia de larvas de anchoveta (larvas) (N°/10 m<sup>2</sup>) y las variables físico-químicas: temperatura (tem) (°C), salinidad (sal) (ups), densidad (den) ( $\sigma$ -t) y oxígeno disuelto (od) (mL/L) entre los días 15 y 19 de junio de 2015.



Figura 25. Resultados del análisis de correlación entre la abundancia de larvas de anchoveta (larvas) (N°/10 m<sup>2</sup>) y las variables biológicas: abundancia de diatomeas (diato) (cél/mL), abundancia de microflagelados (mflage) (cél/mL), abundancia de zooplancton (zoo\_abu) (ind/10 m<sup>2</sup>) y biomasa fitoplanctónica (Cloa\_int) ( $\mu$ g Cl-a/m<sup>3</sup>), entre los días 15 y 19 de junio de 2015.

| Crucero           | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 144.91                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 48.3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 18.25                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 9.24E-07                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Residuos          | 28                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 74.11                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 2.65                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Tukey             | dif                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | linf                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | lsup                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | р                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 2014_08-2015_01   | 5.478                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 3.257                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 7.698                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 0.000                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 2014_08-2015_06   | 2.904                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 0.683                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 5.125                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 0.007                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 2015_01-2014_10   | 4.715                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 2.494                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 6.936                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 0.000                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 2015_01-2015_06   | -2.574                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | -4.795                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | -0.353                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0.018                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| ANOVA-CHIPANA     | gl                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | SC                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | СМ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | F                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | р                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Crucero           | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 60.65                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 20.22                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 6.359                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0.002                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Residuos          | 28                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 89.03                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 3.18                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Tukey             | dif                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | linf                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | lsup                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | р                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 2014_08-2015_01   | 3.713                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 1.278                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 6.147                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 0.001                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 2014_08-2015_06   | 2.601                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 0.167                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 5.035                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 0.033                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| ANOVA-PTA. HORNOS | gl                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | SC                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | СМ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | F                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | р                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Crucero           | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 46.14                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 23.072                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 11.47                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0.00043                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Residuos          | 21                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 42.25                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 2.012                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Tukey             | dif                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | linf                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | lsup                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | р                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 2015_01-2014_10   | 3.073                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 1.285                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 4.860                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 0.001                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 2015_01-2015_06   | -2.790                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | -4.578                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | -1.002                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0.002                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|                   | Crucero<br>Residuos<br>Tukey<br>2014_08-2015_01<br>2014_08-2015_06<br>2015_01-2014_10<br>2015_01-2015_06<br>ANOVA-CHIPANA<br>Crucero<br>Residuos<br>Tukey<br>2014_08-2015_01<br>2014_08-2015_06<br>ANOVA-PTA. HORNOS<br>Crucero<br>Residuos<br>Tukey<br>2015_01-2014_10<br>2015_01-2014_10<br>2015_01-2015_06 | Crucero 3   Residuos 28   Tukey dif   2014_08-2015_01 5.478   2014_08-2015_06 2.904   2015_01-2014_10 4.715   2015_01-2015_06 -2.574   ANOVA-CHIPANA gl   Crucero 3   Residuos 28   Tukey dif   2014_08-2015_01 3.713   2014_08-2015_01 3.713   2014_08-2015_06 2.601   ANOVA-PTA. HORNOS gl   Crucero 2   Residuos 21   Tukey dif   2015_01-2014_10 3.073   2015_01-2014_10 3.073   2015_01-2014_10 3.073   2015_01-2015_06 -2.790 | Crucero     3     144.91       Residuos     28     74.11       Tukey     dif     linf       2014_08-2015_01     5.478     3.257       2014_08-2015_06     2.904     0.683       2015_01-2014_10     4.715     2.494       2015_01-2015_06     -2.574     -4.795       ANOVA-CHIPANA     gl     SC       Crucero     3     60.65       Residuos     28     89.03       Tukey     dif     linf       2014_08-2015_01     3.713     1.278       2014_08-2015_06     2.601     0.167       ANOVA-PTA. HORNOS     gl     SC       Crucero     2     46.14       Residuos     21     42.25       Tukey     dif     linf       2015_01-2014_10     3.073     1.285       2015_01-2014_10     3.073     1.285       2015_01-2015_06     -2.790     -4.578 | Crucero     3     144.91     48.3       Residuos     28     74.11     2.65       Tukey     dif     linf     lsup       2014_08-2015_01     5.478     3.257     7.698       2014_08-2015_06     2.904     0.683     5.125       2015_01-2014_10     4.715     2.494     6.936       2015_01-2015_06     -2.574     -4.795     -0.353       ANOVA-CHIPANA     gl     SC     CM       Crucero     3     60.65     20.22       Residuos     28     89.03     3.18       Tukey     dif     linf     lsup       2014_08-2015_01     3.713     1.278     6.147       2014_08-2015_01     3.713     1.278     6.147       2014_08-2015_06     2.601     0.167     5.035       ANOVA-PTA. HORNOS     gl     SC     CM       Crucero     2     46.14     23.072       Residuos     21     42.25     2.012       Tukey     dif     linf     lsup | Crucero     3     144.91     48.3     18.25       Residuos     28     74.11     2.65       Tukey     dif     linf     lsup     p       2014_08-2015_01     5.478     3.257     7.698     0.000       2014_08-2015_06     2.904     0.683     5.125     0.007       2015_01-2014_10     4.715     2.494     6.936     0.000       2015_01-2015_06     -2.574     -4.795     -0.353     0.018       ANOVA-CHIPANA     gl     SC     CM     F       Crucero     3     60.65     20.22     6.359       Residuos     28     89.03     3.18 |

Resultados de del análisis de varianza aplicado por área a la Temperatura (°C) registrada durante los cruceros de invierno y primavera de 2014 y verano y otoño de 2015.



9.

Figura 26. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis de varianza aplicado a la Temperatura (°C) registrada durante los cruceros de invierno y primavera de 2014 y verano y otoño de 2015.

Tabla 10. Resultados del análisis de varianza aplicado por área a la Salinidad (ups) registrada durante los cruceros de invierno y primavera de 2014 y verano y otoño de 2015.

| ANOVA-ARICA     | gl | SC     | СМ      |        | F     | р        |
|-----------------|----|--------|---------|--------|-------|----------|
| Crucero         | 3  | 0.9729 | 0.3243  |        | 10.2  | 0.000105 |
| Residuos        | 28 | 0.8907 | 0.0318  |        |       |          |
| Tukey           |    | dif    | linf    | lsup   |       | р        |
| 2014_10-2014_08 |    | -0.319 | -0.562  | -0.075 |       | 0.007    |
| 2014_10-2015_01 |    | 0.414  | 0.170   | 0.657  |       | 0.000    |
| 2014_10-2015_06 |    | 0.436  | 0.193   | 0.680  |       | 0.000    |
| ANOVA-CHIPANA   | gl | SC     | СМ      |        | F     | р        |
| Crucero         | 3  | 0.6922 | 0.23074 |        | 5.498 | 0.00425  |
| Residuos        | 28 | 1.1751 | 0.04197 |        |       |          |
| Tukey           |    | dif    | linf    | lsup   |       | р        |
| 2015_06-2014_10 |    | 0.344  | 0.064   | 0.623  |       | 0.012    |
| 2015_06-2015_01 |    | 0.300  | 0.020   | 0.580  |       | 0.032    |



Tabla 11. Resultados

ZMO

а

la

(m)

área

la

por

de



cajas y bigotes resultantes del aplicado por área a la Salinidad durante los cruceros de de 2014 y verano y otoño de

del análisis de varianza aplicado profundidad del límite superior registrada durante los cruceros

de invierno y primavera de 2014 y verano y otoño de 2015.

| ANOVA-ARICA     | gl |         | SC      | СМ     | F     | р       |
|-----------------|----|---------|---------|--------|-------|---------|
| Crucero         |    | 3       | 3665    | 1221.6 | 5.968 | 0.00281 |
| Residuos        |    | 28      | 5732    | 204.7  |       |         |
| Tukey           |    | dif     | linf    | lsup   | р     |         |
| 2014_10-2014_08 |    | -20.125 | -39.657 | -0.593 | 0.042 |         |
| 2014_10-2015_01 |    | 28.625  | 9.093   | 48.157 | 0.002 |         |
| 2014_10-2015_06 |    | 22.125  | 2.593   | 41.657 | 0.022 |         |
| ANOVA-CHIPANA   | gl |         | SC      | СМ     | F     | р       |
| Crucero         |    | 3       | 5807    | 1935.8 | 6.608 | 0.00162 |
| Residuos        |    | 28      | 8202    | 292.9  |       |         |

| Tukey              |    | dif    | linf   | lsup   | р     |         |
|--------------------|----|--------|--------|--------|-------|---------|
| 2015_06-2014_08    |    | 27.500 | 4.134  | 50.866 | 0.016 |         |
| 2015_06-2014_10    |    | 36.500 | 13.134 | 59.866 | 0.001 |         |
| ANOVA-PUNTA HORNOS | gl |        | SC     | СМ     | F     | р       |
| Crucero            |    | 2      | 9117   | 4559   | 6.432 | 0.00662 |
| Residuos           |    | 21     | 14883  | 709    |       |         |
| Tukey              |    | dif    | linf   | lsup   | р     |         |
| 2014_10-2015_01    |    | 42.875 | 9.324  | 76.426 | 0.011 |         |
| 2014_10-2015_06    |    | 39.625 | 6.074  | 73.176 | 0.019 |         |

Figura 28. Gráficos de análisis de varianza profundidad del límite registrada durante los primavera de 2014 y

Tabla 12. Resultados del por área a la abundancia registrada durante los primavera de 2014 y



cajas y bigotes resultantes del aplicado por área a la superior de la ZMO (m) cruceros de invierno y verano y otoño de 2015.

análisis de varianza aplicado de microflagelados (cél/mL) cruceros de invierno y verano y otoño de 2015.

| ANOVA-CHIPANA   | gl | SC     |        | СМ    | F     | р      |
|-----------------|----|--------|--------|-------|-------|--------|
| Crucero         | 3  | 875.4  | 29     | 91.79 | 3.311 | 0.0344 |
| Residuos        | 28 | 2467.2 | 8      | 8.11  |       |        |
| Tukey           |    | dif    | linf   | lsup  |       | р      |
| 2015_01-2014_08 |    | 12.174 | -0.641 | 24.98 | 8     | 0.067  |
| 2015_01-2014_10 |    | 11.486 | -1.328 | 24.30 | 1     | 0.091  |



Figura 29. Gráficos de cajas análisis de varianza abundancia de registrada durante los primavera de 2014 y

y bigotes resultantes del aplicado por área a la microflagelados (cél/mL) cruceros de invierno y verano y otoño de 2015.

Tabla 13. Resultados del análisis de varianza aplicado por área a la abundancia de nanoflagelados (cél/mL) registrada durante los cruceros de invierno y primavera de 2014 y verano y otoño de 2015.

| ANOVA-CHIPANA | gl | SC     | СМ    | F     | р       |
|---------------|----|--------|-------|-------|---------|
| Crucero       | 3  | 194999 | 65000 | 5.142 | 0.00586 |
| Residuos      | 28 | 353944 | 12641 |       |         |
| Tukey         |    | dif    | linf  | lsup  | р       |

| 2015_01-2014_08 | 202.643  | 49.156   | 356.129 | 0.006 |
|-----------------|----------|----------|---------|-------|
| 2015_01-2014_10 | 157.280  | 3.793    | 310.767 | 0.043 |
| 2015_01-2015_06 | -168.351 | -321.838 | -14.865 | 0.027 |



Figura 30. Gráficos de del análisis de varianza abundancia de registrada durante los primavera de 2014 y

cajas y bigotes resultantes aplicado por área a la nanoflagelados (cél/mL) cruceros de invierno y verano y otoño de 2015.

Tabla 14. Resultados del análisis de varianza aplicado por área a la abundancia de copépodos (ind/10 m<sup>2</sup>) registrada durante los cruceros de invierno y primavera de 2014 y verano y otoño de 2015.

| ANOVA-ARICA | gl | SC     | СМ    | F     | р      |
|-------------|----|--------|-------|-------|--------|
| Crucero     | 3  | 124688 | 41563 | 4.331 | 0.0125 |

| Residuos           |    | 28 268703 |      | 9597     |          |       |          |
|--------------------|----|-----------|------|----------|----------|-------|----------|
| Tukey              |    | dif       |      | linf     | lsup     | р     |          |
| 2015_06-2014_08    |    | -123.358  | 3    | -257.091 | 10.376   | 0.079 |          |
| 2015_06-2014_10    |    | -142.859  | )    | -276.592 | -9.125   | 0.033 |          |
| 2015_06-2015_01    |    | -157.866  | 5    | -291.600 | -24.133  | 0.016 |          |
| ANOVA-CHIPANA      | gl |           | SC   |          | СМ       | F     | р        |
| Crucero            |    | 3         | 2664 | 134      | 88811    | 15.35 | 4.27E-06 |
| Residuos           |    | 28        | 1620 | )37      | 5787     |       |          |
| Tukey              |    | dif       |      | linf     | lsup     | р     |          |
| 2015_01-2014_08    |    | 195.479   |      | 91.628   | 299.330  | 0.000 |          |
| 2015_01-2014_10    |    | 207.029   |      | 103.178  | 310.880  | 0.000 |          |
| 2015_01-2015_06    |    | -225.350  |      | -329.201 | -121.499 | 0.000 |          |
| ANOVA-PUNTA HORNOS | gl |           | SC   |          | СМ       | F     | р        |
| Crucero            |    | 2         | 481  | L74      | 24087    | 5.856 | 0.00952  |
| Residuos           |    | 21        | 863  | 375      | 4113     |       |          |
| Tukey              |    | dif       |      | linf     | lsup     | р     |          |
| 2014_10-2015_01    |    | -78.306   |      | -159.133 | 2.520    | 0.059 |          |
| 2014_10-2015_06    |    | -105.740  | )    | -186.566 | -24.914  | 0.009 |          |



cajas y bigotes resultantes del aplicado por área а la copépodos  $m^2$ ) (ind/10 cruceros de invierno У

primavera de 2014 y verano y otoño de 2015.

análisis

abundancia

de

Tabla 15. Resultados del análisis de varianza aplicado por área a la abundancia del zooplancton gelatinoso (ind/10 m<sup>2</sup>) registrada durante los cruceros de invierno y primavera de 2014 y verano y otoño de 2015.

| ANOVA-ARICA     | gl |         | SC      | СМ      | F     | р        |
|-----------------|----|---------|---------|---------|-------|----------|
| Crucero         |    | 3       | 3436    | 1145.4  | 9.337 | 0.000193 |
| Residuos        |    | 28      | 3435    | 122.7   |       |          |
| Tukey           |    | dif     | linf    | lsup    | р     |          |
| 2015_01-2014_08 |    | 19.740  | 4.620   | 34.860  | 0.007 |          |
| 2015_01-2014_10 |    | 16.349  | 1.228   | 31.469  | 0.030 |          |
| 2015_01-2015_06 |    | -28.631 | -43.752 | -13.511 | 0.000 |          |
| ANOVA-CHIPANA   | gl |         | SC      | СМ      | F     | р        |
| Crucero         |    | 3       | 488.6   | 162.88  | 2.991 | 0.0478   |
| Residuos        |    | 28      | 1525    | 54.46   |       |          |
| Tukey           |    | dif     | linf    | lsup    | р     |          |
| 2015_06-2015_01 |    | -10.975 | -21.050 | -0.900  | 0.029 |          |





cajas y bigotes resultantes aplicado por área a la zooplancton gelatinoso

(ind/10 m<sup>2</sup>) registrada durante los cruceros de invierno y primavera de 2014 y verano y otoño de 2015.

## **DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

Las condiciones oceanográficas físicas y químicas registradas durante el muestreo, revelaron una condición normal para un periodo de otoño, sugiriendo la influencia de la estacionalidad imperante, aunque continúa el dominio del ASS, especialmente en el sector norte del área. Al respecto, si bien los valores del TEk evidenciaron la ocurrencia de pulsos diarios de surgencia, durante los días previos y de realización del crucero, las magnitudes registradas en Arica (cercanas a 600 m<sup>3</sup>/s/km), indicaron una surgencia de carácter moderado, la que habría tenido una baja influencia en la estructura de la columna de agua. El incremento del TEk en Iquique y Antofagasta, donde alcanzó valores superiores a 2.000 m<sup>3</sup>/s/km, reveló la intensificación de la surgencia desde Chucumata (20°30'S) al sur, donde se logró detectar la intrusión del AESS entre los 50 y 100 m de profundidad. Estos eventos, considerando las características de parámetros como la profundidad del límite superior de la ZMO y de la isoterma de 15°C, habrían influenciado sólo la franja de 5 mn.

Estas condiciones de surgencia moderada, son concordantes con las descripciones para la zona, las que señalan que durante el periodo otoño-invierno la surgencia presenta su mínima actividad con valores del TEk que pueden fluctuar entre 200 m<sup>3</sup>/s/km y 500 m<sup>3</sup>/s/km (Fuenzalida, 1990), registrándose en Arica las menores intensidades de viento (Pizarro et al., 1994). Además, tal como se observó, el viento en esta época se presenta en forma de pulsos o eventos, alternándose con periodos de calma o viento desde el norte (Pizarro *et al.*, 1994).

Las profundidades del LS\_ZMO registradas, también son coincidentes con las que han sido informadas para la zona (Herrera y Escribano, 2006), en las que, además, se ha detectado una fuerte variabilidad estacional, tal como lo mostraron los resultados del análisis de varianza. Estas variaciones se observan principalmente en la franja costera (1-5 mm) asociadas a los cambios en la intensidad de la surgencia, aunque los valores de oxígeno disuelto no registran en mismo comportamiento (Herrera y Escribano, 2006; Morales *et al.*, 1999).

La abundancia de las diatomeas y la biomasa fitoplanctónica, mostraron una distribución asociada a este escenario ambiental, el cual resultó más propicio desde Chipana al sur donde se intensificaron los procesos de surgencia. Los valores registrados se encontraron dentro de rangos observados para otoño, con abundancias máximas superiores a 500 cél/mL asociadas a biomasas cercanas a los 25 µg Cl-a/L (Herrera y Escribano, 2006). Por otra parte, ninguno de estos parámetros biológicos exhibió diferencias significativas entre los periodos analizados. Considerando la dependencia de las diatomeas sobre las condiciones generadas por los afloramientos, estos resultados sugieren que el ambiente siempre ha sido favorable para su desarrollo, en particular en aquellas localidades donde las mayores abundancias y biomasas son recurrentes, y que las fluctuaciones en su abundancia, y por ende en la biomasa, se asocian a la variabilidad diaria de los eventos, más que a la estacional (Santander *et al.*, 2001, 2003). Por otra parte, las diferencias significativas mostradas por los flagelados, se debieron a sus mayores abundancias en la época de verano, revelando que este periodo favorecería su presencia. En este

sentido, hay que señalar que en la zona norte, durante el periodo primavera-verano existe un viento continuo favorable a la surgencia, sin embargo, la temperatura en la costa no es dominada por la surgencia costera, sino que por la estacionalidad (Pizarro et al., 1994). Esta condición podría favorecer la formación de estructuras hidrográficas como sombras de surgencia (Marín *et al.*, 2003), que beneficiaría el crecimiento de este grupo, en particular el de los dinoflagelados.

El zooplancton mostró un descenso en su abundancia total respecto de otros periodos, debido a una disminución en las densidades del grupo Copepoda. La dominancia de este grupo es una característica de la comunidad en los sistemas de surgencia, en particular de los organismos de pequeño tamaño (0,25-0,75), los cuales realizan aportes superiores al 80% a la abundancia total (Hidalgo *et al.*, 2012). Por otra parte, ha sido señalado que este grupo exhibe sus menores abundancias durante el periodo de otoño e invierno, lo cual ha sido asociado con la posición del límite superior de la ZMO, la cual al profundizarse ofrecería un mayor volumen disponible para la distribución de los organismos (Escribano *et al.*, 2007). Sin embargo, la mayoría de las especies de copépodos muestran altas abundancias en cualquier época, lo que pueden ser resultado de la reproducción continua de las especies dominantes (Hidalgo y Escribano, 2007). La cantidad y calidad del alimento (fitoplancton) es otro factor que modifica las abundancias del zooplancton (Giraldo *et al.*, 2002), pero en la zona de surgencia costera de la región centro-sur, se ha detectado que la mayoría de los copépodos es capaz de cambiar su dieta de acuerdo al grupo dominante, de diatomeas en primavera-verano, a nanoplancton heterótrofo y microplancton en otoño e invierno (Vargas *et al.*, 2006).

En relación a los estadios tempranos de *Engraulis ringens*, la abundancia de huevos y de larvas exhibió una disminución respecto de los periodos anteriores, pero las diferencias no fueron estadísticamente significativas y las máximas densidades se mantuvieron en aquellas localidades señaladas entre las principales áreas de retención en la zona norte (20°S-22°S). No obstante, las mayores abundancias registradas en agosto sugieren un patrón estacional vinculado a la estrategia reproductivas de los adultos y las fases de su ciclo de vida (Hernández-Miranda *et al.*, 2003).

En la zona de Mejillones, diferencias significativas en la abundancia de huevos y larvas de anchoveta se han encontrado asociadas a cambios en la estructura hidrográfica de la columna de agua, las que generan alteraciones en la profundidad en la cual se localizan las máximas abundancias. La variabilidad en escala de horas a días de la surgencia puede alterar considerablemente la distribución espacial y vertical de las larvas, las cuales han resultado más abundantes por debajo de la termoclina, lo que se explica como un mecanismo para evitar el componente advectivo de la capa de mezcla y la predación (Rojas *et al.*, 2002). Por otra parte, considerando que las larvas presentaron una alta correlación con los parámetros fitoplanctónicos (abundancia y biomasa), es posible sugerir que su distribución obedece a la presencia de alimento disponible, situación que ha sido recurrente en todos los periodos analizados.

### LITERATURA CITADA

Bowden KF. 1983. Physical oceanography of coastal waters. Ellis Horwood Series on Marine Science. John Wiley & Sons, New York, 302 pp.

Escribano R, Hidalgo P, González H, Giesecke R, Riquelme-Bugueño R & K Manríquez. 2007. Seasonal and inter-annual variation of mesozooplankton in the coastal upwelling zone off centralsouthern Chile. Prog. Oceanog. 75:470-485.

Fuenzalida R. 1990. Variabilidad temporal de un índice de surgencia. Invest. Cient. y Tec., Serie: Ciencias del Mar 1:37-47.

Giraldo A, Escribano R & Marín V. 2002. Spatial distribution of *Calanus chilensis* off Mejillones Peninsula (northern Chile): ecological consequences upon coastal upwelling. Marine Ecology Progress Series 230, 225–234.

Grosjean P, M Picheral, C Warembourg & G Gorsky. 2004. Enumeration, measurement, and identification of net zooplankton samples using the ZOOSCAN digital imaging system. ICES Journal Marine Science, 61: 518-525.

Hasle G 1969. An Analysis of Phytoplankton of the Pacific Southern Ocean: Abundance, Composition and Distribution during the Brategg Expedition, 1947-1948. Hvalradets skrifter, 52: 1-168.

Hernández-Miranda E, Palma AT & FP Ojeda. 2003. Larval fish assemblages in nearshore coastal waters off central Chile: temporal and spatial patterns. Estuarine, Coastal and Shelf Science 56:1075–1092

Herrera L & R Escribano. 2006. Factors structuring the phytoplankton community in the upwelling site off El Loa River in northern Chile. J. Marine Syst., 61:13–38.

Hidalgo P, Escribano R, Fuentes M, Jorquera E & O Vergara. 2012. How coastal upwelling influences spatial patterns of size-structured diversity of copepods off central-southern Chile (summer 2009). Prog. Oceanog. 92–95:134–145

Hidalgo P & R Escribano. 2007. Coupling of life cycles of the copepods Calanus chilensis and *Centropages brachiatus* to upwelling induced variability in the central-southern region of Chile. Prog. Oceanogr. 75, 501–517.

Horwood, J. & R. Driver. 1970. A note on a theorical subsampling distribution of Macroplankton. J. Cons. Int. Explor. Mar., 36(3):274-276 pp.

Marín VH, Delgado LE & R Escribano. 2003. Upwelling shadows at Mejillones Bay (northern Chilean coast): a remote sensing *in situ* analysis. Invest. Mar., Valparaíso, 31(2): 47-55

Morales CE, SE Hormazábal & JL Blanco 1999. Interannual variability in the mesoscale distribution of the depth of the upper boundary of the oxygen minimum layer off northern Chile (18-24S): Implications for the pelagic system and biogeochemical cycling. J. Mar. Res., 57: 909-932.

Parsons TR, Y Maita and CM Lalli. 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press. 173 pp.

Pizarro O, Hormazábal S, González A & E Yáñez. 1994. Variabilidad del viento, nivel del mar y temperatura en la costa norte de Chile. Invest. Mar., Valparaíso, 22: 85-101

Rojas M, Escribano E & V Marín. 2002. Fish larvae distribution off Mejillones Peninsula (northern Chile) during a coastal upwelling event in Spring 1999: interactions with the cold upwelling plume. Fish. Oceanogr. 11:4, 233–244.

Santander E, L Herrera & J Pizarro 2001. Fluctuación diaria del fitoplancton en la capa superficial del océano durante la primavera de 1997 en el norte de Chile (20°18'S). I: Biomasa Pigmentaria. Revista de Biología Marina y Oceanografía 36(2): 141-153.

Santander E, L Herrera & C Merino 2003. Fluctuación diaria del fitoplancton en la capa superficial del océano durante la primavera de 1997 en el norte de Chile (20°18´S): II. Composición Específica y Abundancia Celular. Revista de Biología Marina y Oceanografía 38(1): 13-25.

Smith PE y SL Richardson. 1979. Técnicas estándar para prospecciones de huevos y larvas de peces pelágicos. FAO, Doc. Téc. Pesca, (175): 107 pp.

UNESCO. 1978. Phytoplankton Manual. A Sournia (ed.). Monogr. Oceanogr. Methodology, 6, 337 pp.

Vargas C, Escribano R & S Poulet. 2006. Phytoplankton diversity determines time-windows for successful zooplankton reproductive pulses. Ecology 87, 2992–2999.

Villafañe VE y FMH Reid. 1995. Métodos de microscopía para la cuantificación del fitoplancton. En: Manual de Métodos Ficológicos. K Alveal, ME Ferrario, EC Oliveira y E Sar (eds.). Universidad de Concepción, Concepción. 169-185 pp.