

EFFECTOS DE UN DERRAME DE PETRÓLEO SOBRE LA AVIFAUNA DE LA BAHÍA DE SAN VICENTE, REGIÓN DEL BIOBÍO, CHILE

Effects of an Oil Spill on Birds in San Vicente Bay, Biobío Region, Chile

SEBASTIÁN LLANOS-SOTO¹, SERGIO DONOSO², EMMA LARA², CARLOS BARRIENTOS³,
DANNY FUENTES-CASTILLO⁴ & DANIEL GONZÁLEZ-ACUÑA¹

¹Laboratorio de Parásitos y Enfermedades de Fauna Silvestre, Departamento de Ciencia Animal, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Concepción, Chillán, Chile

²Departamento de Patología y Medicina Preventiva, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Concepción, Concepción, Chile

³Escuela de Medicina Veterinaria, Universidad Santo Tomás, Concepción, Chile

⁴Departamento de Patología Experimental y Comparada, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootécnica, Universidad de Sao Paulo, Sao Paulo, Brasil

Correspondencia: D. González-Acuña, danigonz@udec.cl

RESUMEN.- Los derrames de petróleo causan una alta mortalidad de aves acuáticas asociadas a las costas marinas debido a que la constitución líquida y aceitosa el cual se adhiere al plumaje y anula las propiedades aislantes y repelentes de agua de las plumas. Esto inhibe la capacidad de las aves de regular su temperatura y se intoxican intentando remover el petróleo de sus cuerpos. El 25 de mayo de 2007 ocurrió un derrame masivo de petróleo (360 m³) en la bahía de San Vicente, Región del Biobío, sur de Chile, que causó el empetrolamiento de un gran número de aves. Posterior al derrame, hicimos necropsias a 113 cadáveres de aves empetroladas en la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad de Concepción, Chillán. Después de un análisis histopatológico de distintos órganos de 43 blanquillos (*Podiceps occipitalis*) constatamos que las principales causas de muerte fueron intoxicación con petróleo, emaciación e infecciones fúngicas. Las aves intoxicadas presentaron lesiones macroscópicas características, siendo las más comunes la congestión intestinal y la disminución de las reservas lipídicas en el tejido subcutáneo y el surco coronario. El análisis histopatológico también reveló que todos los órganos de aves empetroladas presentaron depósitos de pigmentación color marrón. Nuestros resultados señalan que el petróleo puede causar alteraciones patológicas en distintos órganos internos de las aves y resaltan la importancia de establecer protocolos de acción rápida y redes de colaboración local para minimizar el número de aves muertas y garantizar la rehabilitación de aquellas aves que logran sobrevivir.

PALABRAS CLAVE: *Aspergillus*, aves marinas, derrame de petróleo, fauna empetrolada, intoxicación por petróleo.

ABSTRACT.- Oil spills are associated with high mortality of aquatic birds present in marine and coastal environments, mainly due to the liquid and oily constitution of the oil, which adheres to the plumage and nullifies the water-repellent and insulating properties of the feathers. This inhibits the ability of birds to properly regulate temperature and they get intoxicated attempting to remove the oil from their bodies. On May 25, 2007, a massive oil spill event (360 m³) occurred in the San Vicente Bay, Biobío region, southern Chile, which affected a large number of birds. Following the oil spill event, we performed necropsies of 113 carcasses of birds affected by the oil in the Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Concepción, Chillán. The histopathologic evaluation of different internal organs of Silvery grebes (*Podiceps occipitalis*) revealed that the main causes of death were oil intoxication, emaciation and fungal infections. Intoxicated birds presented distinct macroscopic lesions, with the most common being intestinal congestion and the decrease of lipid reserves in the subcutaneous tissue and coronary sulcus. The histopathologic evaluation also evidenced that all organs from the birds examined presented deposits of brown pigments. Our results indicate that oil might cause pathological alterations in different internal organs of birds and highlight the importance of establishing oil spill response protocols and

local collaboration networks dedicated to minimize the number of dead birds and guarantee the rehabilitation of those who survive.

KEYS WORDS: *Aspergillus*, oil spill, oil toxicity, oiled wildlife, seabirds.

Manuscrito recibido el 31 de agosto de 2018, aceptado el 10 de diciembre de 2018.

INTRODUCCIÓN

Los derrames de hidrocarburos tienen consecuencias catastróficas sobre la fauna marina, siendo uno de los casos más emblemáticos el derrame de petróleo de Exxon Valdez ocurrido en Alaska en 1989, evento que produjo la muerte de miles de aves e impactos negativos significativos a nivel poblacional para algunas especies (Piatt *et al.* 1990, Peterson 2001). La contaminación masiva por petróleo puede afectar de forma considerable la estructura comunitaria de las zonas afectadas y generar alteraciones notorias en la red trófica local debido al depósito de residuos de hidrocarburo en el sedimento marino y la subsecuente acumulación orgánica en invertebrados bentónicos (Peterson 2001, Bik *et al.* 2012). A niveles más altos de la cadena trófica, el petróleo puede afectar negativamente las poblaciones de vertebrados marinos, ya sea por efectos directos sobre los individuos (*i.e.*, problemas de aislamiento térmico e ingestión del hidrocarburo) (Fry & Lowenstine 1985) o de forma indirecta a través de una disminución en la disponibilidad de alimentos (Piatt *et al.* 1990). Los

eventos de derrame de petróleo también pueden tener efectos inmuno-tóxicos en los animales vertebrados (Barron 2012) y causar la alteración de los patrones ecológicos y de la historia de vida de las especies marinas, incluyendo una disminución en el éxito reproductivo (Fry *et al.* 1986), una reducción en la expectativa de vida (Monson *et al.* 2000, Esler *et al.* 2002, Votier *et al.* 2005) y cambios en la distribución geográfica (Peterson 2001).

Las aves marinas en general poseen un comportamiento colonial que las lleva a constituir poblaciones localmente densas, por lo cual están particularmente expuestas a los efectos inmediatos de los derrames de petróleo sufren una elevada mortalidad al inicio del derrame (Piatt *et al.* 1990). Las aves afectadas por el petróleo mueren por la ingestión y posterior intoxicación y/o por hipotermia debido a la remoción de las propiedades aislantes de las plumas, lo que les impide mantener una temperatura corporal adecuada (Peakall *et al.* 1982, Fry & Lowenstine 1985). Las especies de aves que se alimentan de invertebrados en las zonas intermareales (*e.g.*, anátidos, aves

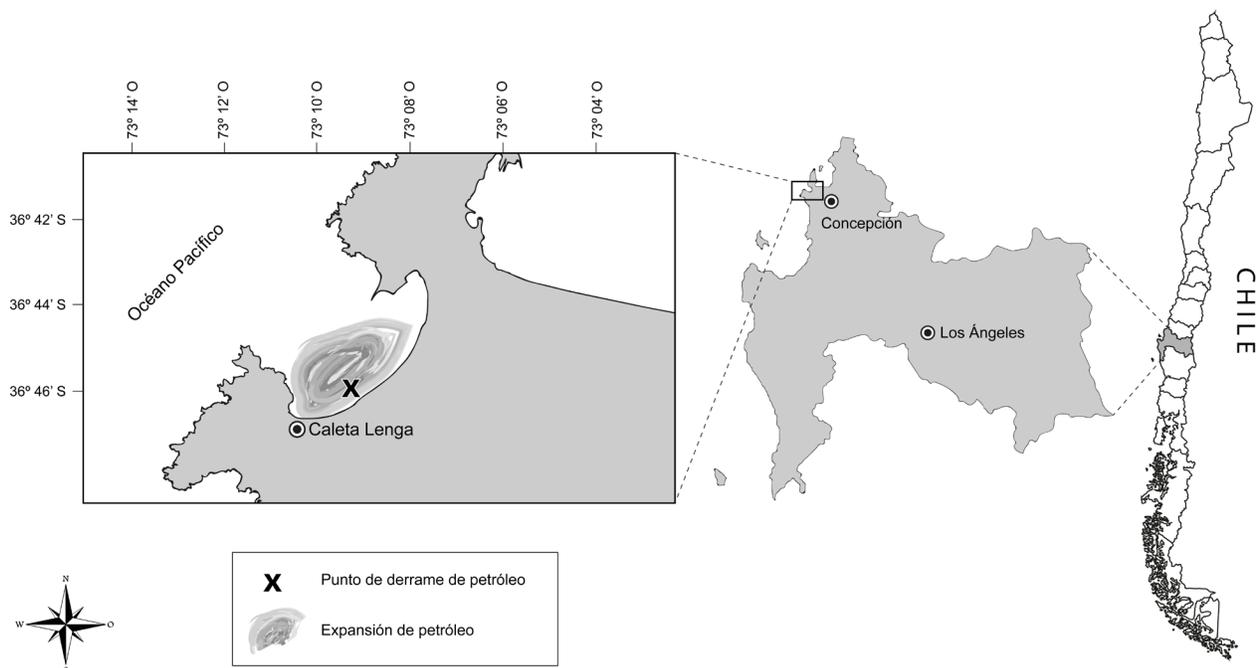


Figura 1. Localización del derrame de petróleo de 2007 en la Bahía de San Vicente, región del Biobío, centro-sur de Chile.

playeras) son especialmente vulnerables a los derrames de petróleo (Peterson 2001), lo que puede generar efectos nocivos a largo plazo sobre su supervivencia y densidad poblacional (Esler *et al.* 2002). En Chile, los derrames de petróleo han ocurrido con cierta frecuencia en distintas zonas del país y con consecuencias de distinta gravedad para la actividad pesquera, el turismo y el medio ambiente. Entre 2000-2016 ocurrieron 153 derrames de petróleo (≈ 22 derrames por año) incluyendo aquellos de Cifuncho en 2000, Chacabuco en 2001, Golfo de Arauco en 2004, Antofagasta en 2005, los derrames reiterados en la Bahía de Quintero en 2003, 2008, 2009, 2011, 2014 y 2015, Punta Arenas en 2006, Ventanas en 2008 y el de la Bahía San Vicente en 2007 (ver Apéndice 1).

El 25 de mayo del año 2007, mientras el buque “New Constellation” realizaba el desembarco de combustible en la bahía de San Vicente, ubicada en la provincia de Concepción, región del Biobío ($36^{\circ}44'S$, $73^{\circ}09'O$) (Fig. 1), ocurrió la fisura de un ducto perteneciente a la refinería de la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP), lo que causó un derrame de petróleo crudo hacia el mar que vertió 360 m^3 . Esto resultó en el empetrolamiento de diversos organismos marinos que habitan en la bahía, incluyendo crustáceos, mamíferos y aves (Hernández *et al.* 1998, Chester 2010). Las aves fueron visiblemente las más afectadas por el contacto con el petróleo, siendo frecuentes los varamientos de individuos durante el derrame y en las semanas posteriores (Fig. 2). En este trabajo documentamos las consecuencias patológicas de aquel derrame sobre algunas especies de aves marinas y dulceacuícolas que habitan la bahía de San Vicente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Necropsia de las aves muertas por empetrolamiento

Las aves afectadas por el derrame de petróleo en la bahía de San Vicente, y que posteriormente murieron, fueron enviadas al equipo de laboratorio del Departamento de Patología y Medicina Preventiva de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad de Concepción en Chillán, para efectuar sus necropsias. Las aves recibidas ($n = 113$) murieron entre el mismo día del derrame y el 9 de julio del año 2007. Las aves analizadas pertenecieron a ocho especies: garza blanca (*Ardea alba*; $n = 1$), blanquillo (*Podiceps occipitalis*; $n = 43$), huala (*P. major*; $n = 1$), cormorán imperial (*Phalacrocorax atriceps*, $n = 1$), lile (*P. gaimardi*; $n = 1$), pimpollo (*Rollandia rolland*; $n = 3$), yeco (*Phalacrocorax brasilianus*; $n = 59$) y gaviota dominicana (*Larus dominicanus*; $n = 4$). Las necropsias de los cadáveres las hicimos utilizando los métodos descritos por Speer (2015). En el caso de las aves con infecciones fúngicas realizamos la identificación del agente causal a

través de cultivos usando como sustrato agar dextrosa Sabouraud (ADS) (Silva *et al.* 2004).

Análisis histopatológico

En el caso de los blanquillos, extrajimos muestras de tejido de corazón, pulmones, hígado, riñón, intestino y piel de cada individuo con el objetivo de detectar algún daño o modificación de esos órganos debido a la intoxicación con petróleo. Cada muestra fue montada y teñida con hematoxilina-eosina. Los cortes histológicos fueron observados en un microscopio óptico (Carl Zeiss®) y fotografiados con un foto-microscopio óptico (Carl Zeiss Axioskop®). Las muestras observadas las clasificamos según la intensidad de las lesiones presentadas en las categorías indicadas por Calnek (1997): ausente, leve, moderada y severa.

RESULTADOS

Necropsia de aves

El examen de los cadáveres reveló que las causas más comunes de muerte de las aves empetroladas fueron la intoxicación por ingestión, hipotermia e infecciones fúngicas (Tabla 1). Los efectos más frecuentes del empetrolamiento incluyeron la congestión intestinal (Fig. 3), caquexia (*i.e.*, desnutrición), presencia de hongos en distintos órganos (principalmente en los sacos aéreos, Fig. 4), aerosaculitis (*i.e.*, infección bacteriana de los sacos aéreos,



Figura 2. Yeco (*Phalacrocorax brasilianus*; izquierda) y blanquillo (*Podiceps occipitalis*; derecha) muertos por empetrolamiento en julio de 2017, en la Bahía de San Vicente, región del Biobío, centro-sur de Chile.

Fig. 5) y nefritis (*i.e.*, inflamación de los riñones). Durante el examen macroscópico detectamos las siguientes alteraciones: ausencia de grasa en el tejido subcutáneo y los surcos coronarios (Fig. 6), vesícula biliar pletórica (*i.e.*, con alto contenido de sales biliares, Fig. 7), congestión hepática (Fig. 8), riñones con aspecto cerebroídeo (Fig. 9), edema pulmonar (Fig. 10), presencia de material oscuro en el lumen intestinal (Fig. 11), quistes fúngicos en el peritoneo (Fig. 12), ascitis sanguinolenta (*i.e.*, acumulación de líquido sanguinolento en la cavidad celómica, Fig. 13), diarrea, hidropericardio (*i.e.*, acumulación de líquido en el pericardio), puntillado color blanquecino en el parénquima hepático, presencia de parásitos en el lumen intestinal y las articulaciones (Fig. 14), coágulos en las aurículas y callados aórticos, y el estallamiento de órganos internos, incluyendo riñones, hígado y pulmones. El análisis micológico reveló que el agente responsable de las infecciones de los órganos internos correspondió a infecciones fúngicas provocadas por *Aspergillus flavus*.

Análisis histopatológico

Casi la mitad de los blanquillos analizados presen-

taron lesiones pulmonares ($n = 24$). Estas lesiones fueron evidentes por la presencia de edemas, congestión, pigmentación, infiltración de macrófagos (*i.e.*, células blancas en-

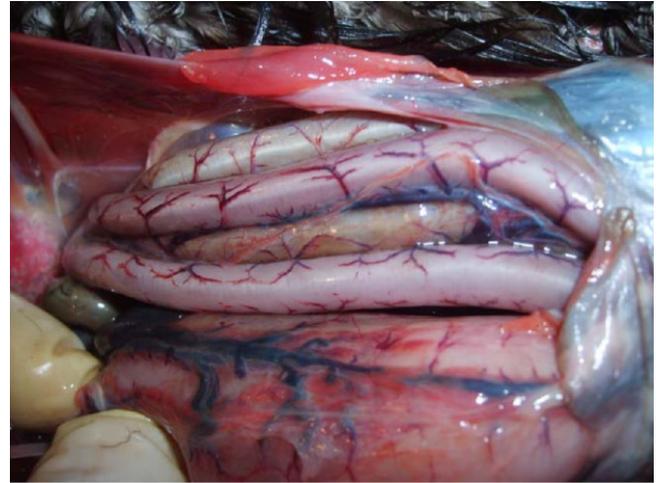


Figura 3. Evidencia de congestión intestinal con inyección de vasos sanguíneos de un blanquillo (*Podiceps occipitalis*) empetrolado durante el derrame de petróleo ocurrido en mayo de 2007 en la Bahía de San Vicente, región del Biobío, sur de Chile.

Tabla 1. Posibles causas de muerte de algunas especies de aves afectadas por el derrame de petróleo de 2007 en la bahía de San Vicente, región del Biobío, centro-sur de Chile.

Especie	Nombre común	Nº de individuos examinados	Resultados de la necropsia (n = número de casos)	Posibles causas de muerte
<i>Ardea alba</i>	Garza grande	1	Plumaje empetrolado	Intoxicación Hipotermia
<i>Larus dominicanus</i>	Gaviota dominicana	4	Congestión intestinal (n = 1), presencia de hongos en los sacos aéreos (n = 1), estallido de órganos por trauma (n = 1), nefritis (n = 1), plumaje impregnado en petróleo (n = 1), plumaje deteriorado (n = 1)	Aspergilosis Trauma Intoxicación
<i>Phalacrocorax atriceps</i>	Cormorán imperial	1	Congestión intestinal, presencia de hongos en los sacos aéreos, vesícula biliar pletórica	Aspergilosis
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	Yeco	59	Caquexia (n = 25), presencia de hongos en los sacos aéreos u otros órganos (n = 17), aerosaculitis (n = 12), congestión intestinal (n = 11), edema pulmonar (n = 11), nefritis (n = 8), congestión generalizada (n = 6), diarrea (n = 3), vesícula biliar pletórica (n = 3), hepatitis (n = 3), congestión hepática (n = 2), hemorragia intestinal (n = 1), hidropericardio (n = 2), plumaje empetrolado (n = 2), alta carga parasitaria (n = 2), presencia de petróleo en lumen intestinal (n = 1), gota úrica (n = 1)	Intoxicación Hipotermia Aspergilosis
<i>Phalacrocorax gaimardi</i>	Lile	1	Congestión intestinal, edema pulmonar, esplenomegalia	Intoxicación
<i>Podiceps major</i>	Huala	1	Edema pulmonar, caquexia, ascitis	Intoxicación
<i>Podiceps occipitalis</i>	Blanquillo	43	Caquexia (n = 22), congestión intestinal (n = 12), nefritis (n = 11), aerosaculitis (n = 6), diarrea (n = 6), vesícula biliar pletórica (n = 6), congestión generalizada (n = 4), plumaje empetrolado (n = 3), ruptura de vesícula biliar (n = 2), presencia de hongos en sacos aéreos (n = 2), gota úrica (n = 1), estallamiento de órganos (n = 1), hepatitis (n = 1), congestión hepática (n = 1)	Intoxicación Hipotermia Aspergilosis Trauma Septicemia Insuficiencia cardíaca
<i>Rollandia rolland</i>	Pimpollo	3	Caquexia (n = 2), sangre en celoma (n = 1)	No especificada



Figura 4. Presencia de hongos (*Aspergillus flavus*) en los sacos aéreos de un blanquillo empetrolado.



Figura 7. Presencia de vesícula biliar pletórica con líquido biliar impregnado en órganos adyacentes en un blanquillo empetrolado.



Figura 5. Evidencia de aerosaculitis en un blanquillo empetrolado.



Figura 8. Evidencia de congestión hepática en un blanquillo intoxicada con petróleo.



Figura 6. Evidencia de emaciación con quilla sobresaliente y ausencia de grasa en tejido subcutáneo en un blanquillo empetrolado.



Figura 9. Presencia de riñón con aspecto cerebroídeo (indicativo de nefritis) en un blanquillo empetrolado.



Figura 10. Presencia de edema pulmonar en un blanquillo contaminada con petróleo.



Figura 12. Presencia de quistes de origen fúngico en el peritoneo de un blanquillo empetroado.

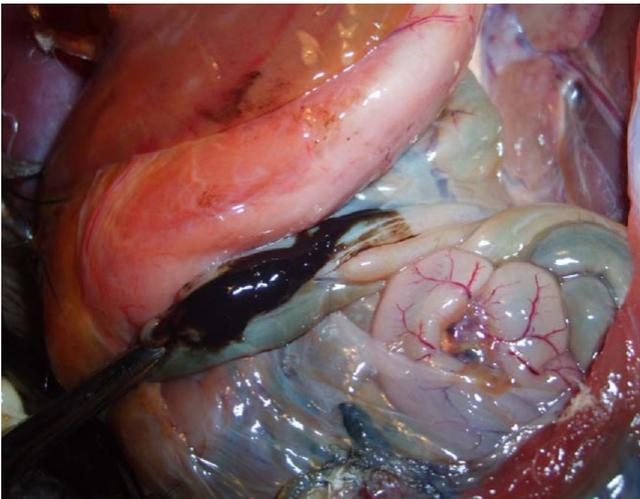


Figura 11. Presencia de material oscuro en lumen intestinal de blanquillo empetroado.



Figura 13. Ocurrencia de ascitis sanguinolenta en un blanquillo contaminada con petróleo.



Figura 14. (A) Presencia de nemátodos filarioideos en la articulación tibio-tarsal de un blanquillo (*Podiceps occipitalis*) empetroado. (B) Presencia de nemátodos en el estómago de un yeco (*Phalacrocorax brasilianus*) empetroado.

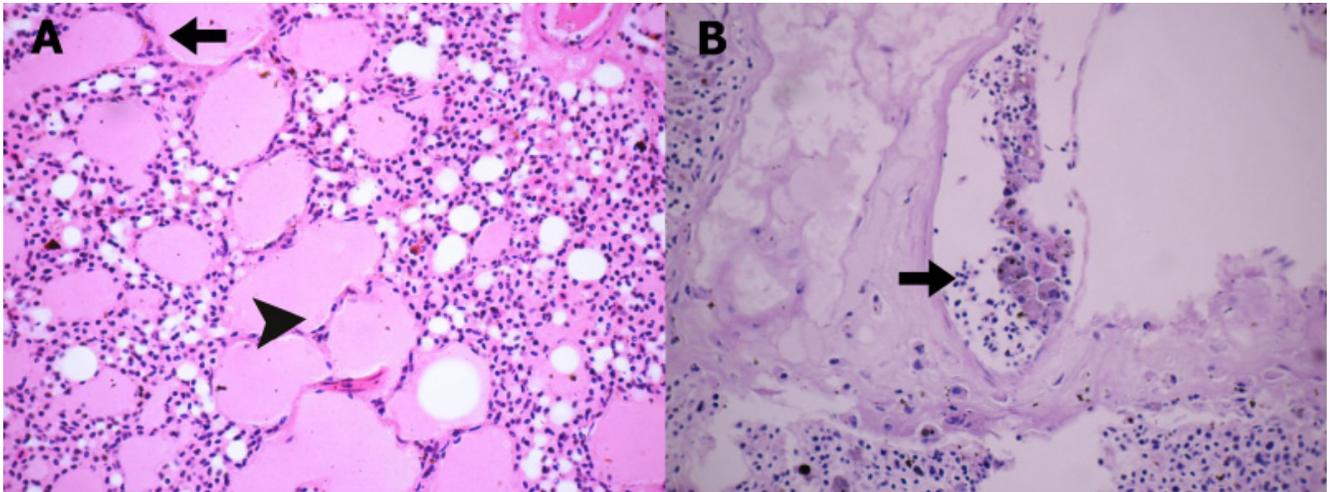


Figura 15. Cortes histológicos de pulmón de un blanquillo (400x). (A) Congestión (flecha) y edema en las vesículas aéreas (cabeza de flecha). (B) Macrófagos con pigmentos en vesículas aéreas (flecha).

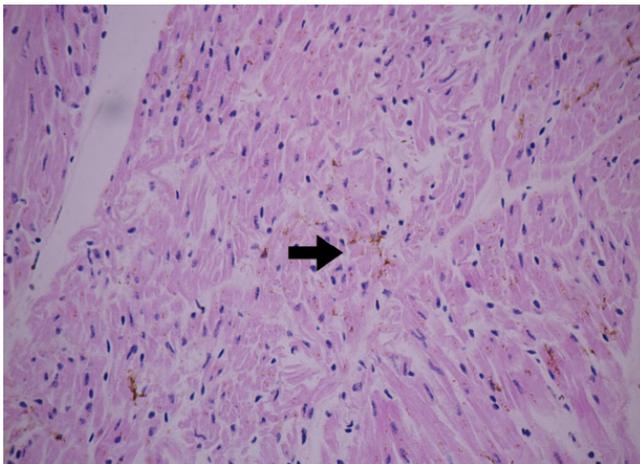


Figura 16. Corte histológico del corazón de un blanquillo (400x), en el que se observa pigmentación marrón entre las fibras musculares (flecha).

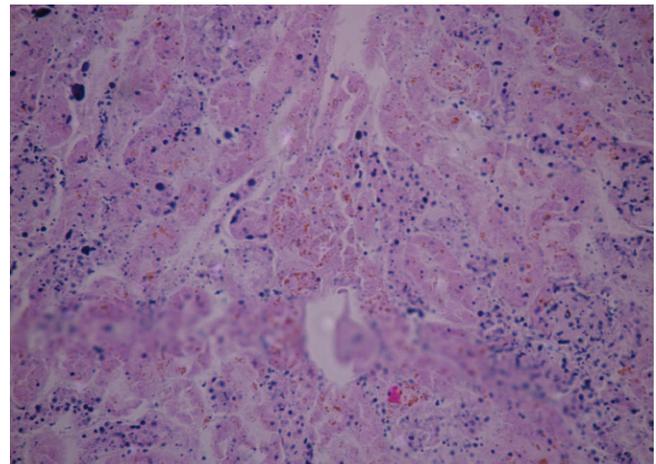


Figura 18. Corte histológico del riñón de un blanquillo muerto por empetrolamiento en el que se observa la presencia de pigmentación marrón en las células epiteliales de los túbulos renales.

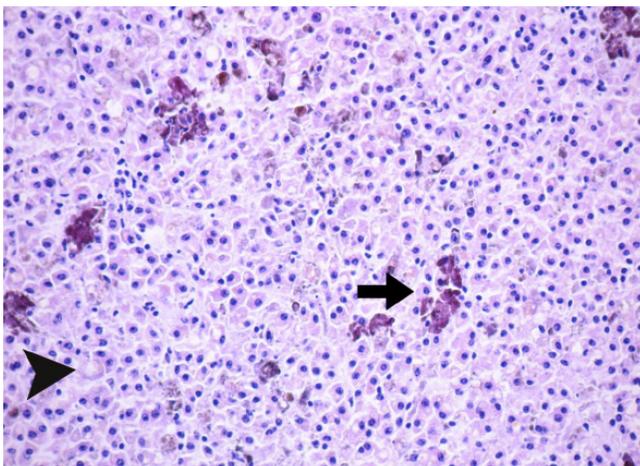


Figura 17. Corte histológico del hígado de un blanquillo muerto por empetrolamiento en el cual se observan células de Kúpffer con pigmentación marrón en su interior (flecha) y hepatocitos con vacuolas en su citoplasma (cabeza de flecha).

cargadas de consumir restos de tejidos) y enfisema (*i.e.*, acumulación de aire en los órganos internos). El edema y la congestión fueron las alteraciones pulmonares más comunes en esta especie ($n = 23$). La pigmentación se manifestó como una coloración oscura de las células epiteliales de las vesículas aéreas y, en algunos casos, al interior de los macrófagos (Fig. 15). Casi la mitad de los blanquillos presentaron también alteraciones en el tejido cardíaco ($n = 23$) incluyendo la presencia de pigmentación oscura (Figura 16), congestión, infiltración de células inflamatorias (heterófilos) y necrosis. La necrosis fue observada específicamente en el epicardio (*i.e.*, membrana protectora externa del corazón), donde también observamos hifas (*i.e.*, filamentos cilíndricos que constituyen parte del cuerpo de los hongos multicelulares). Todos los individuos presentaron alteraciones en el tejido hepático, incluyendo la pigmentación de hepatocitos (*i.e.*, células propias del

hígado), degeneración de células hepáticas, congestión, infiltración de las células de Küpffer (*i.e.*, macrófagos localizados en el hígado) y necrosis. La pigmentación de células hepáticas la observamos en 42 de los 43 individuos, evidenciada como una coloración marrón oscuro en el citoplasma de los hepatocitos, y en algunos casos, en las células de Küpffer (Fig. 17). El riñón, el intestino y la piel presentaron evidencia de alteraciones histológicas en 23, 18 y 3 blanquillos, respectivamente. En el caso del riñón, observamos la presencia de pigmentación color marrón en los túbulos contorneados proximales y congestión (Fig. 18). En el intestino sólo observamos pigmentación color marrón oscuro en las células epiteliales de la mucosa. La piel presentó pigmentación e infiltrado de células inflamatorias. Las intensidades de las lesiones en los distintos órganos son indicadas en la Tabla 2.

DISCUSIÓN

El derrame de petróleo ocurrido en la Bahía San Vicente produjo una mortalidad importante de aves a escala

local, principalmente de blanquillos. Esto fue evidenciado no solo por la gran cantidad de cadáveres analizados en nuestro estudio, sino también por la gran cantidad de individuos muertos examinados por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) y un número importante de cadáveres que no pudieron ser analizados debido a su avanzado estado de autólisis (*i.e.*, autodestrucción celular espontánea). Varias de las alteraciones macroscópicas detectadas en los órganos analizados (*e.g.*, ausencia de grasa subcutánea y en los surcos coronarios) sugieren una disminución en las reservas lipídicas debido a inanición o alimentación inadecuada durante los días posteriores al derrame de petróleo. Además, la congestión intestinal provocada por el efecto irritante del naftaleno, presente en el petróleo crudo pudo reducir la absorción intestinal de nutrientes, y posiblemente contribuyó a la desnutrición de las aves (Ke *et al.* 2002, Balseiro *et al.* 2005). La emaciación, deshidratación, hipotermia y diarrea corresponden a signos frecuentes en aves intoxicadas con petróleo (Briggs *et al.* 1996, Balseiro *et al.* 2005).

En las aves intoxicadas con petróleo es común obser-

Tabla 2. Intensidad de las alteraciones detectadas por un examen histopatológico de los cadáveres de blanquillo (*Podiceps occipitalis*) muertos por petrolamiento en la Bahía de San Vicente ocurrida el año 2007.

Órgano afectado	Alteración	Intensidad N (%)			
		Ausente	Leve	Moderada	Severa
Pulmón	Pigmentación	32 (74,4)	8 (18,6)	3 (7)	0 (0)
	Congestión	20 (46,5)	3 (7)	14 (32,6)	6 (14)
	Infiltración	41 (95,3)	1 (2,3)	1 (2,3)	0 (0)
	Edema	20 (46,5)	5 (11,6)	13 (30,2)	5 (11,6)
Corazón	Pigmentación	32 (74,4)	9 (21)	2 (4,7)	0 (0)
	Congestión	38 (88,4)	3 (7)	1 (2,3)	1 (2,3)
	Infiltración	41 (95,3)	1 (2,3)	0 (0)	0 (0)
	Necrosis	41 (95,3)	0 (0)	1 (4,7)	0 (0)
Hígado	Pigmentación	1 (2,3)	11 (25,6)	17 (39,5)	14 (32,6)
	Degeneración	8 (18,6)	18 (41,9)	8 (18,6)	9 (20,9)
	Congestión	31 (72,1)	5 (11,6)	4 (9,3)	3 (7)
	Infiltración	28 (65,1)	1 (2,3)	8 (18,6)	6 (14)
	Necrosis	42 (97,7)	1 (2,3)	0 (0)	0 (0)
Riñón	Pigmentación	27 (62,8)	14 (32,6)	2 (4,7)	0 (0)
	Congestión	28 (65,2)	13 (30,2)	2 (4,7)	0 (0)
Intestino	Pigmentación	40 (93)	3 (7)	0 (0)	0 (0)
Piel	Pigmentación	29 (67,4)	14 (32,6)	0 (0)	0 (0)
	Infiltración	39 (90,7)	1 (2,3)	1 (2,3)	2 (4,7)

var la alteración de órganos internos (Balseiro *et al.* 2005). La presencia de lesiones en el aparato respiratorio pudo deberse a la inhalación continua del petróleo, lo cual genera la inflamación y edema de los órganos internos. Las aves también presentaron infecciones por hongos oportunistas, algo que es frecuente en aves inmuno-suprimidas. Es sabido que el petróleo posee efectos inmuno-tóxicos sobre las aves, disminuyendo la efectividad de la inmunidad celular (Barron 2012). Además, el estrés producido en las aves durante la impregnación de su cuerpo con petróleo (Briggs *et al.* 1996), puede disminuir su capacidad inmune y, en consecuencia, dificultar su rehabilitación. La disminución de la capacidad inmune de las aves aumenta su susceptibilidad ante agentes infecciosos tales como los hongos. Como observamos en nuestro estudio, la muerte de muchas aves empetroladas en proceso de rehabilitación fue causada por hongos del género *Aspergillus* (Balseiro *et al.* 2005). Un sistema inmune deprimido puede también permitir que la carga parasitaria aumente en aves intoxicadas con petróleo (Barron 2012), algo que observamos en el blanquillo durante nuestra investigación (González-Acuña *et al.* 2017).

La ocurrencia de hígado congestivo y, en algunos casos, con un puntillado blanquecino, pudo deberse a los efectos hepato-tóxicos del petróleo (Khan & Ryan 1991). El ingreso de petróleo en el hígado provoca hemólisis masiva y depósito de hemosiderina (*i.e.*, pigmento amarillento y granuloso derivado de la hemoglobina debido a exceso de hierro), lo que puede culminar incluso en necrosis hepática (Khan & Ryan 1991, Ribeiro *et al.* 2005). Por otro lado, el petróleo contiene niveles altos de plomo (Al-Swaidan 1996), el cual genera la distensión de la vesícula biliar (Sidor *et al.* 2003). La degeneración hepática observada en los blanquillos se debió principalmente a la inanición prolongada, dado que se produce una alteración del metabolismo lipídico en los hepatocitos (Lipscomb *et al.* 1993).

La presencia de riñones de aspecto cerebroídeo en las aves que analizamos pudo ser consecuencia de la nefrotoxicidad del petróleo, el cual ocasiona la degeneración y necrosis de las células renales (Khan & Ryan 1991). Algunas de las alteraciones presentadas en este trabajo tales como la ausencia de grasa subcutánea, petequias y presencia de material oscuro en el corazón y lumen intestinal, también fueron encontradas en una investigación realizada por Balseiro *et al.* (2005).

Durante los monitoreos realizados en la Bahía de San Vicente no encontramos aves afectadas por petróleo. Dado que nosotros solo analizamos aves empetroladas recibidas poco después del derrame, es imposible asegurar que las poblaciones de aves que habitan en la bahía no hayan sufrido efectos posteriores. Las catástrofes petroleras

ocurridas en otras partes del mundo han resultado en una elevada mortalidad en las poblaciones de aves marinas al corto plazo, pero también han causado efectos crónicos en el ecosistema local debido a la deposición de residuos de petróleo en el sedimento marino y en las zonas contaminadas (Piatt *et al.* 1990, Peterson 2001). Existe evidencia que indica que los individuos pertenecientes a las poblaciones de aves marinas afectadas por derrames de petróleo han presentado efectos adversos durante su ciclo de vida. Estos incluyen la alteración de la capacidad reproductiva, reducción en el grosor de la cáscara de los huevos, anemia, desordenes renales y hepáticos, reducción en la tasa de crecimiento, problemas de osmorregulación y cambios en la absorción intestinal en juveniles, disminución en la conductancia de gases, crecimiento embrionario enlentecido, aparición de malformaciones teratogénicas y reducción en la eclosión de los huevos (Jenssen 1994).

Como demuestra nuestro estudio y otros estudios anteriores, los derrames de petróleo causan graves daños físicos y orgánicos en las aves marinas a escala local. En general, estos daños son irreversibles y causan altas mortalidades de aves. Considerando la ocurrencia frecuente de derrames de petróleo en las costas de nuestro país, es posible que los efectos nocivos sobre el ecosistema marino sean mucho más profundos de lo evidenciado. De esta manera, es necesario implementar en Chile medidas para la prevención de derrames de petróleo que permitan salvaguardar la fauna que habita las costas marinas frente a futuras catástrofes petroleras.

AGRADECIMIENTOS.- Agradecemos a Andrés Felipe Peña por su colaboración durante la elaboración de las tablas presentadas en este artículo. A Lucila Moreno y Betsy Pincheira por su ayuda en la elaboración del presente texto.

LITERATURA CITADA

- AHUMADA, R. 1994. Nivel de concentración e índice de bioacumulación para metales pesados (Cd, Cr, Hg, Ni, Cu, Pb, y Zn) en tejidos de invertebrados benthicos de Bahía San Vicente, Chile. *Revista de Biología Marina* 29: 77-87.
- AL-SWAIDAN, H.M. 1996. The determination of lead, nickel and vanadium in Saudi Arabian crude oil by sequential injection analysis/inductively-coupled plasma mass spectrometry. *Talanta* 43: 1313-1319.
- BALSEIRO, A., A. ESPI, I. MARQUEZ, V. PEREZ, M.C. FERRERAS, J.G. MARÍN & J.M. PRIETO. 2005. Pathological features in marine birds affected by the Prestige's oil spill in the north of Spain. *Journal of Wildlife Diseases* 41: 371-378.
- BARRON, M.G. 2012. Ecological impacts of the Deepwater Ho-

- rizon oil spill: implications for immunotoxicity. *Toxicologic Pathology* 40: 315-320.
- BIK, H.M., K.M. HALANYCH, J. SHARMA & W.K. THOMAS. 2012. Dramatic shifts in benthic microbial eukaryote communities following the Deepwater Horizon oil spill. *PLoS One* 7: e38550.
- BRIGGS, K.T., S.H. YOSHIDA & M.E. GERSHWIN. 1996. The influence of petrochemicals and stress on the immune system of seabirds. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 23: 145-155.
- CALNEK, D.W. 1997. *Diseases of Poultry*. Wiley Blackwell Ed. 544 pp.
- CHESTER, S. 2010. *A wildlife guide to Chile: Continental Chile, Chilean Antarctica, Easter Island, Juan Fernandez Archipelago*. Princeton University Press, New Jersey, USA. 392 pp.
- ESLER, D., T.D. BOWMAN, B.E. BALLACHEY, T.A. DEAN, S.C. JEWETT & C.E. O'CLAIR. 2002. Harlequin duck population recovery following the 'Exxon Valdez' oil spill: progress, process and constraints. *Marine Ecology Progress Series* 241: 271-286.
- FRY, D.M. & L.J. LOWENSTINE. 1985. Pathology of Common Murres and Cassin's Auklets exposed to oil. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 14: 725-737.
- FRY, D.M., J. SWENSON, L.A. ADDIEGO, C.R. GRAU & A. KANG. 1986. Reduced reproduction of Wedge-tailed Shearwaters exposed to weathered Santa Barbara crude oil. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 15: 453-463.
- GONZÁLEZ-ACUÑA, D., S. LLANOS-SOTO, C. LANDAETA-AQUEVEQUE, F. GONZÁLEZ, J.M. KINSELLA, S. MIRONOV, A. CICCHINO, C. BARRIENTOS, G. TORRES-FUENTES & L. MORENO. 2017. Parasites of the Southern silvery grebe *Podiceps occipitalis* (Aves, Podicipedidae) in Chile. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinaria* 26: 378-382.
- HERNÁNDEZ, C., S.H. CONTRERAS, J.A. GALLARDO & J.M. CANCINO. 1998. Estructura comunitaria de la macroinfauna a lo largo de una playa arenosa de Chile central: Lenga, Bahía de San Vicente. *Revista Chilena de Historia Natural* 71: 303-311.
- JENSSEN, B.M. 1994. Effects of oil pollution, chemically treated oil, and cleaning on thermal balance of birds. *Environmental Pollution* 86: 207-215.
- KE, L., T.W.Y. WONG, Y.S. WONG & N.F.Y. TAM. 2002. Fate of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) contamination in a mangrove swamp in Hong Kong following an oil spill. *Marine Pollution Bulletin* 45: 339-347.
- KHAN, R.A. & P. RYAN. 1991. Long term effects of crude oil on common murres (*Uria aalge*) following rehabilitation. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 46: 216-222.
- LIPSCOMB, T.P., R.K. HARRIS., R.B. MOELLER, J.M. PLETCHER., R.J. HAEBLER & B.E. BALLACHEY. 1993. Histopathologic lesions in sea otters exposed to crude oil. *Veterinary Pathology* 30: 1-11.
- MONSON, D.H., D.F. DOAK, B.E. BALLACHEY, A. JOHNSON & J.L. BODKIN. 2000. Long-term impacts of the Exxon Valdez oil spill on sea otters, assessed through age-dependent mortality patterns. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 97: 6562-6567.
- PEAKALL, D.B., D.J. HALLET, J.R. BEND, G.L. FOUREMAN & D.S. MILLER. 1982. Toxicity of Prudhoe Bay crude oil and its aromatic fractions to nestling Herring Gulls. *Environmental Research* 27: 206-215.
- PETERSON, C.H. 2001. The "Exxon Valdez" oil spill in Alaska: acute, indirect and chronic effects on the ecosystem. *Advances in Marine Biology* 39: 1-103.
- PIATT, J.F., C.J. LENSINK, W. BUTLER, M. KENDZIOREK & D.R. NYSEWANDER. 1990. Immediate impact of the 'Exxon Valdez' oil spill on marine birds. *Auk* 107: 387-397.
- SIDOR, I.F., M.A. POKRAS, A.R. MAJOR, R.H. POPPENG, K.M. TAYLOR & R.M. MICONI. 2003. Mortality of common loons in New England, 1987 to 2000. *Journal of Wildlife Diseases* 39: 306-315.
- SILVA, J.O., S.A. FRANCESCHINI, M.A. LAVRADOR & R.C. CANDIDO. 2004. Performance of selective and differential media in the primary isolation of yeasts from different biological samples. *Mycopathologia* 157: 29-36.
- SPEER, B.L. 2015. *Current therapy in avian medicine and surgery*. Elsevier Health Sciences, St. Louis, Estados Unidos. 928 pp.
- VOTIER, S.C., B.J. HATCHWELL, A. BECKERMAN, R.H. McCLEERY, F.M. HUNTER, J. PELLATT, M. TRINDER & T.R. BIRKHEAD. 2005. Oil pollution and climate have wide-scale impacts on seabird demographics. *Ecology Letters* 8: 1157-1164.

APÉNDICE 1

Año	Región	Localidad	Producto	Cantidad (Litros)
2000	Región de Antofagasta	Caleta Cifuncho	Diesel y diesel oil	450.000
		Mejillones	Petróleo Bunker	3.800
	Región de Atacama	Huasco	Petróleo, petróleo diesel	11.000
	Región de Valparaíso	San Antonio	Aceite	5.300

		Valparaíso	Petróleo Bunker	600
		Valparaíso	Sentina/aceite	900
	Región del Biobío	Lota	Fuel oil e IFO-180	2.000
	Región de Los Lagos	Isla Lemuy	Petróleo Bunker	2.300
	Región de Magallanes	Punta Arenas	Petróleo Bunker	33.400
		Estrecho de Magallanes	Petróleo Bunker	17.000
2001	Región de Tarapacá	Iquique	Petróleo Bunker	800
	Región de Aysén	Chacabuco	Petróleo Bunker	450.000
	Región de Magallanes	Punta Arenas	Fuel oil e IFO-180	19.602
2002	Región de Valparaíso	Concón y Desembocadura río Aconcagua	Petróleo crudo liviano	34.000
	Región del Biobío	Bahía de San Vicente	Diesel y diesel oil	1.000
	Región de Los Ríos	Corral - Caleta Mansa	Mezcla agua/sentina	1.000
	Región de Los Lagos	Quellón - Isla San Pedro	Diesel y diesel oil	17.000
	Región de Aysén	Canal Moraleda	Mezcla agua/sentina	2.000
2003	Región de Tarapacá	Patillos	Mezcla sentina	3.000
	Región de Valparaíso	Valparaíso	IFO-180	1.000
		Bahía de Quintero	IFO-380	16.000
		Valparaíso	Mezcla sentina	500
	Región del Biobío	Bahía de San Vicente	Mezcla sentina	600
	Región de Los Lagos	Quellón - Isla San Pedro	Petróleo diesel	3.000
2004	Región de Arica y Parinacota	Arica	Petróleo diesel	500
	Región del Biobío	Bahía de Concepción	Mezcla oleosa	1.300
		Golfo de Arauco - Isla Santa María	Petróleo diesel	2.000
		Playa Laraquete - Golfo de Arauco	Trementina y residuos líquidos sin tratar	15.000.000
		Bahía de San Vicente	Sentina/diesel	1.200
	Región de Los Lagos	Puerto Montt	Petróleo diesel	1.000
	Región de Magallanes	Estrecho de Magallanes	IFO-380	169.880
2005	Región de Antofagasta	Antofagasta	Diesel y diesel oil	44.100
		Antofagasta	Mezcla agua/petróleo	1.453.000
		Antofagasta	Petróleo crudo	No determinado
	Región de Los Ríos	Valdivia - Punta Galera	Diesel y diesel oil	127.000
		Corral - Caleta Mansa	Petróleo Bunker	500
	Región de Magallanes	Estrecho de Magallanes	Mezcla petróleo crudo/gasolina	2.000
		Bahía Posesión	Petróleo crudo	No determinado
2006	Región de Coquimbo	Coquimbo	Mezcla agua/petróleo	1.500
	Región de Valparaíso	Valparaíso	DMFO	800

	Región del Biobío	Talcahuano	Diesel y diesel oil	1.000
	Región de Magallanes	Punta Arenas	Diesel y diesel oil	15.000
		Punta Arenas	Diesel y diesel oil	180.000
2007	Región de Valparaíso	Valparaíso - Molo de Abrigo	Diesel y diesel oil	1.000
		Valparaíso - Molo de Abrigo	DMFO	1.000
	Región del Biobío	Bahía de San Vicente	Petróleo crudo caño limón	360.000
2008	Región de Valparaíso	Bahía de Quintero	IFO-180	1.000
		Ventanas	2 etil-hexanol	180.000
2009	Región de Arica y Parinacota	Arica	Bencina	1.100
	Región de Antofagasta	Mejillones	IFO-380	600
	Región de Valparaíso	Bahía de Quintero	IFO-380	500
	Región de Aysén	Chacabuco	Sentina	1.400
2010	Región de Arica y Parinacota	Arica	Bencina	4.000
		Arica	Mezcla agua/petróleo	9.200
		Arica	Petróleo diesel	4.000
	Región de Valparaíso	San Antonio	IFO-380	500
	Región de Aysén	Aysén - río Aysén	Petróleo diesel	1.400
2011	Región de Antofagasta	Tocopilla - Punta Chilena	Diesel y diesel oil	7.000
	Región de Atacama	Chañaral - Puerto Barquito	Diesel y diesel oil	500
	Región de Valparaíso	Bahía de Quintero - Monoboya	Petróleo crudo	2.000
	Región del Biobío	Bahía de San Vicente	Aceite pesado	30.000
	Región de Los Lagos	Puerto Montt - Isla Quihua	Diesel y diesel oil	30.000
	Región de Aysén	Islote Locos - Norte Canal Moraleda	Diesel y diesel oil	2.915
		Puerto Chacabuco	Diesel y diesel oil	4.000
		Aysén	Diesel y diesel oil	2.000
2012	Región de Arica y Parinacota	Arica	Petróleo crudo	3.600
	Región de Antofagasta	Tocopilla	Petróleo diesel	1.000
2013	Región de Tarapacá	Playa El Colorado	Fuel oil	28.000
	Región de Atacama	Terminal Punta Totoralillo	Sentina	1.000
	Región de Los Lagos	Golfo Corcobado	Diesel y diesel oil	6.500
2014	Región de Valparaíso	Bahía de Quintero - Playa Loncura	Crudo Oriente Ecuatoriano	38.700
2015	Región de Valparaíso	Bahía de Quintero - Playa Loncura	IFO-380	500
	Chile marítimo	Isla Alejandro Selkirk	DMFO	2.000
2016	Región de Coquimbo	Bahía de Coquimbo	IFO sin especificar	No determinado
	Región de Valparaíso	Bahía de Quintero - Playa Loncura	Aceite decantado	No determinado
	Región de Los Lagos	Bahía Auchemo - Chaitén	Diesel marine fuel oil	1.800