

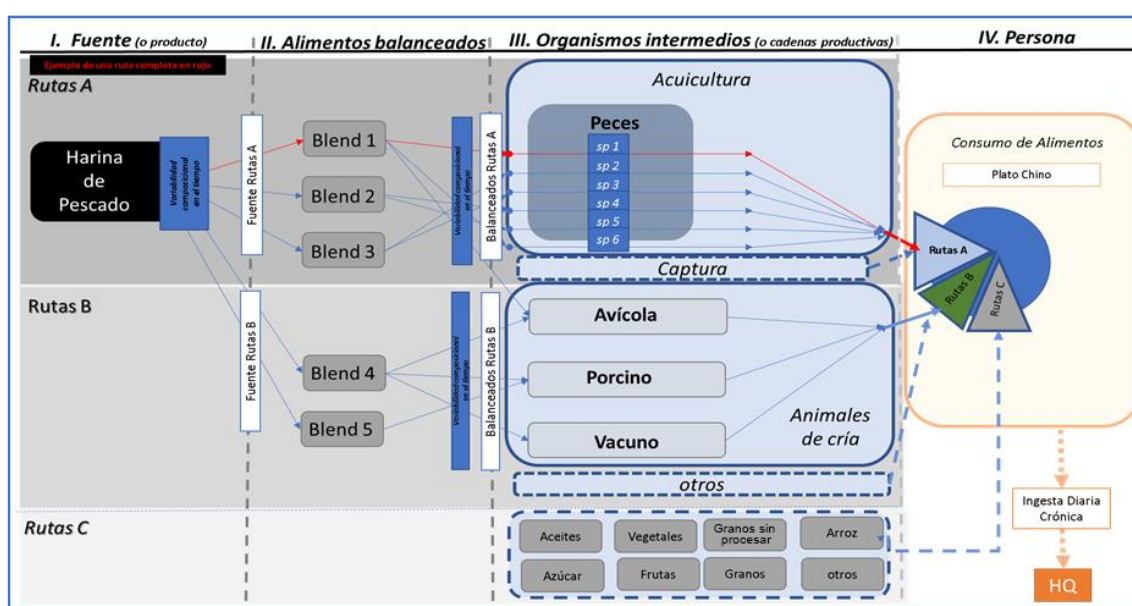


RSA-CONICET
Red de Seguridad Alimentaria del CONICET

Evaluación de Riesgo no carcinogénico para la población china debido al aumento del Límite Máximo Permitido de cadmio en harinas de pescado de Argentina

- INFORME FINAL -

Noviembre 2021



GRUPO AD HOC "Cadmio en harina de pescado"

Red de Seguridad Alimentaria

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

Índice

Descripción de la solicitud.....	4
Conformación del grupo <i>Ad hoc</i> (“Cadmio en Pescado”)	6
Coordinador/es grupo ad hoc:	6
Integrantes grupo ad hoc en orden alfabético	6
Staff	8
Solicitud de trabajo.....	9
Objetivo general.....	9
Metodología.....	10
Principales resultados.....	10
Conclusiones.....	12
Recomendaciones.....	13
Capítulo 1. Aspectos toxicológicos de cadmio	14
Cadmio en el ambiente, fuentes	14
Efectos	14
Exposición a cadmio a través de los alimentos.....	15
Capítulo 2. Metodologías para el análisis de cadmio en harina de pescado.....	17
Método Normalizado GB 2762-2012. Límites Máximos de Residuos de Contaminantes en Alimentos.....	18
Métodos normalizados AOAC 999.10 y 999.11	18
Método normalizado AOAC Official Method 2015.01.....	19
Determinaciones de cadmio en alimentos de exportación	19
Capítulo 3. Producción de la harina de pescado.....	23
Materia prima para la producción de la harina de pescado en Argentina	24
Proceso de producción.....	25
Capítulo 4. Distribución temporal encontrada en la concentración de cadmio presente en las harinas de pescado argentinas	27
Capítulo 5. Composición de piensos y aporte de harina de pescado	30
Capítulo 6. Concentraciones de cadmio en peces, bivalvos y crustáceos.....	34
Capítulo 7. Límites Máximos Permitidos de cadmio en productos de la pesca	37
Límites Máximos Permitidos de cadmio en carnes.....	38
Límites Máximos Permitidos de cadmio en otros ítems alimenticios: cereales, vegetales y otros.....	39
Capítulo 8. Evaluación de riesgo	41
Fundamentos y Marco Conceptual.....	41
Descripción del Modelo Conceptual para el cadmio.....	42

Objetivo 1. Establecer el consumo de alimentos promedio de la dieta china para determinar la exposición a cadmio por la ingesta de alimentos.	44
Objetivo 2. Construir a partir de la bibliografía la ingesta teórica estimada de cadmio por alimentos.....	46
Objetivo 3. Estimar la Ingesta Diaria de cadmio proveniente de las Rutas A (Productos Acuáticos (PA)).....	50
Objetivo 4. Deconstrucción del riesgo alimentario total hacia el riesgo proveniente de la ingesta de cadmio a partir de organismos acuáticos cultivados (PAC)	51
Objetivo 5. Estimación de la exposición dietaria a cadmio y asociación con las harinas de pescado utilizadas en la producción de animales de cría.....	53
Riesgo dietario actual a cadmio	59
Capítulo 9. Conclusiones	62
Bibliografía.....	63
Anexo I. Tablas Límites Máximos Permitidos (LMP)	75

Descripción de la solicitud

Formulario: Solicitud de Asistencia Científica

Nombre de la institución solicitante:	SENASA
Tipo de institución:	Institución pública
Domicilio:	Paseo Colon 367
Código Postal:	1063
Localidad:	CABA
Provincia:	BUENOS AIRES
Teléfono / Fax:	01141215152
Celular:	0111541956677
Usuario de Skype:	
Dirección de Correo:	fballest@senasa.gob.ar
Nombre y Apellido del Contacto:	Fabián Ballesteros

Aspectos Técnicos de la Solicitud

Tema de la solicitud:	Solicitud, ante la Administración de Calidad, Supervisión, Inspección y Cuarentena (AQSIQ) de la República Popular China, del aumento del Límite Máximo Permitido de cadmio en harina de pescado elaborada a partir de residuos de proceso procedente de la Argentina, bajo establecimientos elaboradores certificados por SENASA. Objetivo Solicitud del aumento del Límite Máximo Permitido de cadmio en harina de pescado elaborada a partir de residuos de proceso, ante la Administración de Calidad, Supervisión, Inspección y Cuarentena (AQSIQ) de la República Popular China. Valor solicitado U4: Atm. A partir del límite actual: 2 mg/kg (peso seco) a 6 mg/kg (peso seco). Consideraciones para la solicitud • Los procesos de manufacturación de harina de pescado se basan en la cocción, secado y evaporación (Figura 1). Esto conduce a la reducción
------------------------------	--

considerable de la humedad del producto que conlleva a la concentración de proteínas y de niveles de cadmio presentes en la materia prima (Figura 2).

- La materia prima consiste en un alto porcentaje de las vísceras de ciertas especies de peces, como merluza (45-75%), caballa (0,2 a 8,5%), anchoita argentina (0 a 1,7%), gatuzo (2.7%), e invertebrados, principalmente calamar (0,8 a 2,0%) (Figura 3). Por otra parte, algunas de estas especies se caracterizan por la acumulación natural de cadmio (calamar y anchoita).
- Los residuos de cadmio en la "cadena alimentaria" que comienza con la harina de pescado, suelen presentar niveles más bajos, incluso no detectables (Figura 4 y 5).
- Basado en el porcentaje de asimilación de cadmio por el hombre y los animales (3-5%, la OMS), y la transferencia baja o nula a través de la "cadena alimentaria", los niveles de cadmio presentes en la harina de pescado no constituyen un riesgo para la salud humana y de los animales involucrados.
- La presencia de cadmio en la harina de pescado, como consecuencia de su ocurrencia en la materia prima, no es resultado de actividades antrópicas, ya que este elemento se encuentra de manera natural en aguas de plataforma en Argentina debido a su origen oceanográfico sub-antártico. Esta aseveración se fundamenta en estudios científicos realizados por Universidades argentinas y avalados por la Comisión Europea.

Consulta:

Se desea realizar un estudio de los niveles de Cadmio en las Harinas Argentinas, determinar los valores promedios de la concentración, teniendo en consideración que:

** La harina de pescado elaborada en Argentina, por las características de su materia prima (residuos de la industria del pescado) difiere de la elaborada a partir de pescado entero (como Perú).

** Presencia natural de cadmio en aguas argentinas, y no debido a actividades antrópicas.

** El filtro biológico de cadmio en la cadena alimentaria que comienza con la harina de pescado y termina en el hombre, cuyos niveles intermedios son peces comerciales y camarones de cultivo.

** Los niveles muy bajos o no detectables en animales de granja y aves de corral.

El porcentaje de asimilación de cadmio muy bajo en el hombre. La Ingesta Mensual Tolerable Permitida (IMTP) de cadmio. Por último, y atento a la tradición exportadora que tiene nuestro país en materia del producto referido a la República Popular China, se espera disponer de un documento con validez científica para ser utilizado para acordar condiciones para la exportación del producto en cuestión con destino a China y otros mercados.

Email:

fballest@senasa.gob.ar

Conformación del grupo Ad hoc (“Cadmio en Pescado”)

Coordinador/es grupo ad hoc:

Gerpe, Marcela. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC), FCEyN, UNMdP-CONICET. Toxicología Ambiental (Dpto. Cs Marinas/FCEyN). Argentina msgerpe@mdp.edu.ar

Integrantes grupo ad hoc en orden alfabético

Álvarez, Fabiola. J. Departamento de Fisicoquímica y Control de Calidad- Complejo Tecnológico Pilcaniyeu -Centro Atómico Bariloche, Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Argentina. alvarezf@cab.cnea.gov.ar

Bohé, Ana. Departamento de Fisicoquímica y Control de Calidad- Complejo Tecnológico Pilcaniyeu -Centro Atómico Bariloche, Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Argentina. bohe@cab.cnea.gov.ar

Chiodi Boudet, Leila. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC), FCEyN, UNMdP-CONICET. Toxicología Ambiental (Dpto. Cs Marinas/FCEyN). Argentina leilachiodi@gmail.com

Demetrio, Pablo. Centro de Investigaciones del Medio Ambiente. CONICET-UNLP. Argentina pablo.demetrio@gmail.com

Demichelis, Sandra. IPN, LABAMB-GAU DDPyT, UNL. Argentina sandrademichelis@gmail.com

Fernández, Liliana Patricia. Instituto de Química de San Luis (INQUISAL-CONICET). Facultad de Química, Bioquímica y Farmacia. Universidad Nacional de San Luis. Argentina lilipatrifer@gmail.com

Fernández, Lorena. Facultad Regional Mar del Plata, Universidad Tecnológica Nacional. Argentina (UTN-FRMdP). Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). Argentina lorenafernandezgorza@gmail.com

Fuchs, Julio. IQUIBICEN-CONICET. Argentina jfuchs_1999@yahoo.com

Jofré, Florencia Cora. Facultad Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de La Pampa, Santa Rosa, La Pampa. Instituto de Ciencias de la Tierra y Ambientales de La Pampa (INCITAP), Santa Rosa, La Pampa, Argentina florenciacorajofre@gmail.com

Medici, Sandra. Instituto de Investigaciones en Producción Sanidad y Ambiente (IIPROSAM). CONICET-UNMdP. Centro de Asociación Simple CIC PBA. Argentina skmedici@mdp.edu.ar

Miscoria, Silvia Alejandra. Departamento de Química. Facultad de Ciencias Naturales y Ciencias de la Salud. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. CONICET-CIT “Golfo San Jorge”. Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina silviamiscoria@unpata.edu.ar

Nassini, Daniela. Departamento de Fisicoquímica y Control de Calidad- Complejo Tecnológico Pilcaniyeu -Centro Atómico Bariloche, Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Argentina. dnassini@cab.cnea.gov.ar

Primost, Mónica Angelina. Grupo de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Acuicultura y Pesca, Facultad Regional Chubut, Universidad Tecnológica Nacional. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. GIDTAP-FRCH, UTN-CONICET Argentina monicaprimost@frch.utn.edu.ar

Romero, María Belén. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC), FCEyN, UNMdP-CONICET. Toxicología Ambiental (Dpto. Cs Marinas/FCEyN). Argentina mbromero@mdp.edu.ar

Savio, Marianela. Facultad Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de La Pampa, Santa Rosa, La Pampa. Instituto de Ciencias de la Tierra y Ambientales de La Pampa (INCITAP), Santa Rosa, La Pampa, Argentina marianelasavio@gmail.com

Volpedo, Alejandra. Unidad Ejecutora de Investigaciones en Producción Animal - CONICET-UBA. Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires avolpedo@gmail.com

Edición general: Dra. Mónica Primost

Staff

Red de Seguridad Alimentaria

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

Dirección: Carlos van Gelderen

Coordinación General: Javier Pardo

Coordinador asistente: María Durrieu

Consejo Directivo

4 Unidades Ejecutoras:

CIVETAN (Centro de Investigación Veterinaria de Tandil) – Fac. Cs. Veterinarias UNCPBA.

Titular: Paula Lucchesi

Suplente: María Emilia Latorre

INPA (Inst. de Investigaciones en Producción Animal) – Fac. Cs. Veterinarias UBA.

Titular: Alejandra Volpedo

Suplente: Esteban Avigliano

IPATEC (Inst. Andino Patagónico de Tecnologías Biológicas y Geoambientales) - Univ Nac del Comahue.

Titular: Diego Libkind

Suplente: Martín Ducos

ICYTESAS (Inst. de Ciencia y Tecnología de Sistemas Alimentarios Sustentables) – INTA

Titular: Sergio Vaudagna

Suplente: Marina Mozgovoj

2 Instituciones pertenecientes al Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación:

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria)

Titular: Dante Bueno

Suplente: Leonor Pilatti

INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial)

Titular: Javier Martín Echazarreta

Suplente: Carolina Giannavola

1 Investigador de la Carrera de Investigador Científico y Tecnológico (CICT) del CONICET que no tenga asignado como lugar de trabajo una Unidad Ejecutora del CONICET:

Titular: Juan Martín Oteiza

Solicitud de trabajo

El Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) solicitará ante la Administración de Calidad, Supervisión, Inspección y Cuarentena (AQSIQ), de la República Popular de China, el aumento del Límite Máximo Permitido (LMP) de cadmio (Cd) en harina de pescado (HP) procedentes de Argentina y elaborada a partir de residuos de proceso en establecimientos certificados por SENASA. El aumento del LMP que será propuesto por SENASA es desde el valor vigente de 2 mg/kg (peso seco) a 6 mg/kg (peso seco).

Para tal fin, SENASA solicita a la Red de Seguridad Alimentaria, perteneciente al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (RSA-CONICET), el estudio de las concentraciones de Cd presentes en las harinas de pescado argentinas y determinar sus valores promedios teniendo en cuenta ciertas consideraciones.

** La harina de pescado elaborada en Argentina, por las características de su materia prima (residuos de la industria del pescado) difiere de la elaborada a partir de pescado entero (como Perú).

** La materia prima consiste en un alto porcentaje de las vísceras de ciertas especies de peces.

** Los procesos de manufacturación de harina de pescado se basan en la cocción, secado y evaporación.

** Presencia natural de cadmio en aguas argentinas, y no debido a actividades antrópicas.

** El filtro biológico de cadmio en la cadena alimentaria que comienza con la harina de pescado y termina en el hombre, cuyos niveles intermedios son peces comerciales y camarones de cultivo.

** Los residuos de cadmio en la "cadena alimentaria" que comienza con la harina de pescado, suelen presentar niveles más bajos, incluso no detectables.

** El porcentaje de asimilación de cadmio es muy bajo en el hombre.

** La Ingesta Mensual Tolerable Permitida (IMTP) de cadmio.

** La presencia de cadmio en la harina de pescado, como consecuencia de su ocurrencia en la materia prima, no es resultado de actividades antrópicas, ya que este elemento se encuentra de manera natural en aguas de plataforma en Argentina debido a su origen oceanográfico sub-antártico

** Por último, y atento a la tradición exportadora que tiene nuestro país en materia del producto referido a la República Popular China, se espera disponer de un documento con validez científica para ser utilizado para acordar condiciones para la exportación del producto en cuestión, con destino a China y otros mercados.

Objetivo general

Evaluar las concentraciones de Cd (cadmio) presentes en las harinas de pescado (HP) argentinas y determinar el impacto del aumento del Límite Máximo Permitido (LMP) actual sobre la dieta de la población china, aplicando la metodología de Evaluación de Riesgo (ER), considerando efectos no cancerígenos.

Metodología

Para el desarrollo de la ER, se generó un Modelo Conceptual (MC) (Figura 1) para contextualizar el riesgo dietario de Cd para la población objetivo, y poder evaluar el impacto del aumento del LMP.

En el MC se abordó sólo la exposición dietaria, donde las Rutas A y B están directamente vinculadas con las HP, mientras que las Rutas C no están asociadas con las mismas, de esta manera, se generaron los siguientes grupos de alimentos:

Rutas A - Convergen en los Productos Acuáticos (PA) para consumo humano.

Rutas B - Convergen en los Productos Animales de Cría (PAC), excluyendo los PA, para consumo humano.

Rutas C - Convergen los Productos Alimentarios, excluyendo los PA y los PAC, que podrían aportar Cd a la dieta de manera complementaria a las rutas anteriores.

Además, las rutas recorren cuatro bloques partiendo de las HP producidas en Argentina (Bloque I), pasando por los alimentos balanceados (piensos/blends) elaborados a partir de las HP (Bloque II), luego formando parte de la alimentación de los organismos intermedios o cadenas productivas (Bloque III) y finalmente constituyendo el consumo dietario de la población china (plato chino) (Bloque IV).

Para la evaluación de cada bloque, se recopiló exhaustivamente información sobre aspectos toxicológicos del cadmio (Capítulo 1), la composición de la materia prima de las HP argentinas, su proceso de producción (Capítulo 3), la concentración de Cd en las HP, piensos, organismos intermedios, alimentos en general (Capítulo 4, 5 y 6), la composición de piensos y la composición del plato chino (teniendo en consideración distintas categorías de alimentos, franjas etarias, género, hábitat regional y provincial, entre otras).

Se analizó la exposición dietaria a Cd de la población china, generando perfiles dietarios que caracterizan a la población urbana y rural, según franjas etarias y sexo.

Se calculó el riesgo no-carcinogénico mediante el cociente HQ (de su denominación en inglés, hazard quotient). Se modelaron tres escenarios de LMP en las HP para evaluar el potencial impacto en la exposición dietaria de la población china (Capítulo 8).

Principales resultados

En la población china, la exposición dietaria a Cd para mujeres entre 5 a 20 años sobrepasa la Dosis de Referencia (DRf) oral para alimentos. Además, los escenarios de exposición dietaria superarían la DRf un 15%, como mínimo, para los demás grupos poblacionales evaluados (mujeres y hombres mayores a 20 años, como así también los niños-jóvenes entre 5 y 20 años).

De las rutas vinculadas con la HP, las Rutas A se corresponden con el mayor aporte al Cd dietario. Las Rutas C, que no se vinculan con las HP como fuente de Cd, son las que generan el mayor aporte del metal al plato chino.

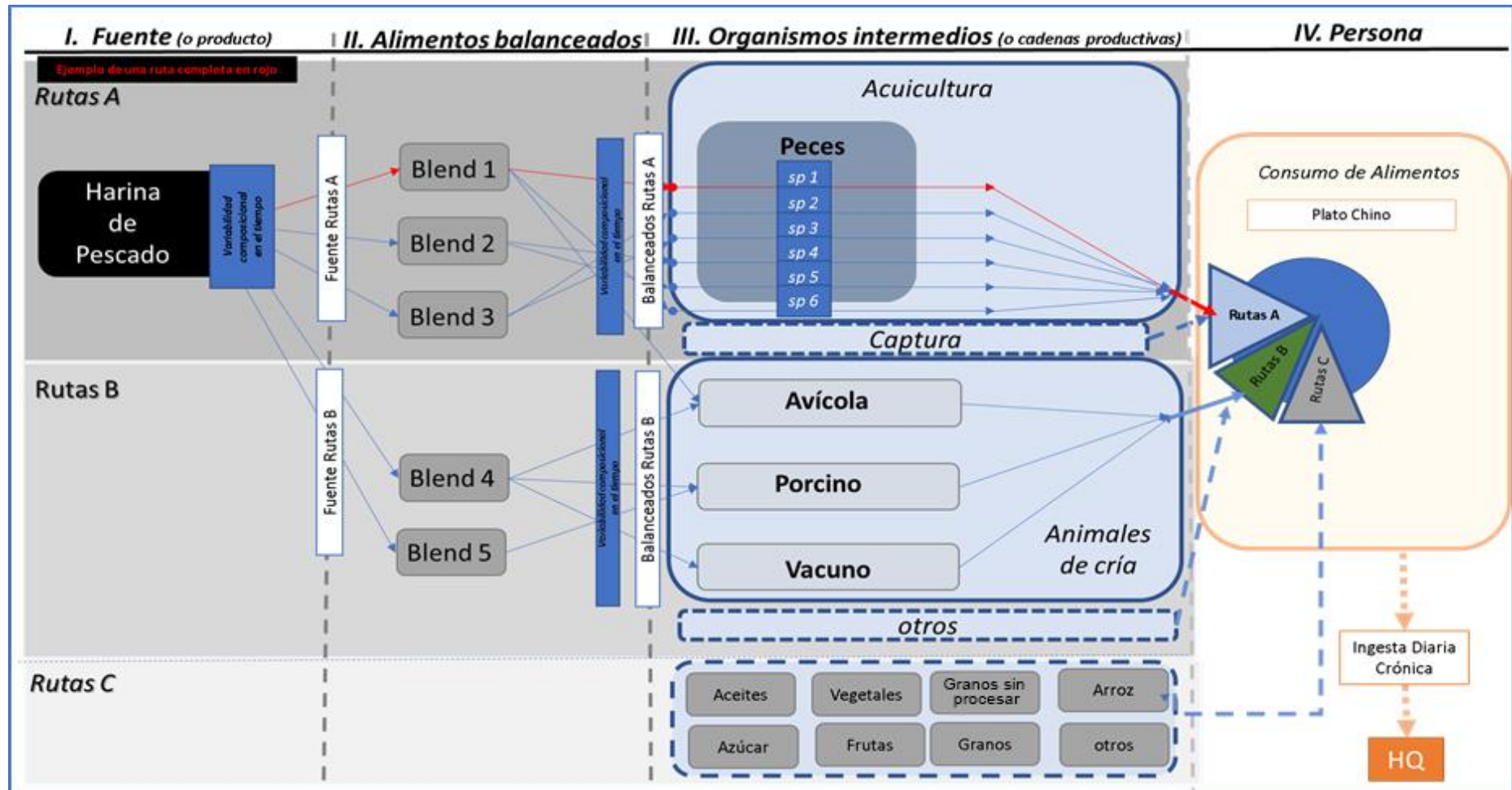


Figura 1. Modelo Conceptual para la Evaluación de Riesgo de cadmio en harina de pescado.

Conclusiones

En el presente informe se abordaron diferentes aspectos de las HP argentinas, elaboradas a partir de desechos de proceso, desde su producción hasta su contribución a la ingesta dietaria de Cd de la población china.

El proceso de producción de las HP está constituido por varias etapas (capítulo 3), desde cocción hasta diversos secados, que resulta en la preconcentración/acumulación de cadmio. Cabe mencionar, que la materia prima es introducida directamente sin analizar su composición, lo que imposibilita segregar las especies biológicas que la constituyen, principalmente aquellas que generan el mayor aporte de cadmio.

A partir del análisis realizado de la distribución estacional de la concentración de Cd en HP en el periodo 2015-2020, se observa que los meses de febrero, marzo y abril presentan el nivel más elevado ($\text{Cd} > 5 \text{ mg/kg}$), que coincide con la máxima proporción de calamar argentino (*Illex argentinus*) en la materia prima.

También se incluye un relevamiento de las capacidades analíticas en el país para la cuantificación de cadmio (capítulo 2). Se constató que Argentina posee laboratorios con metodologías analíticas lo suficientemente sensibles para cuantificar Cd en niveles inferiores a $50 \mu\text{g/L}$, valor que se encuentra por debajo del Límite Máximo Permitido (LMP) actual (2 mg/kg). La distribución de laboratorios en el país es amplia, aunque la mayor capacidad analítica (66 %) se concentra en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Río Negro. Sin embargo, sólo algunos poseen la metodología certificada bajo la Norma IRAM-ISO IEC 17025 y/o se encuentran acreditados en la Red Nacional de Laboratorios de SENASA para el análisis de Cd en HP.

Se evaluaron las concentraciones del metal cadmio informadas, en su mayoría de publicaciones de la República Popular China, en diferentes especies acuáticas provenientes de cuerpos de agua naturales (de captura) y artificiales (de cultivo) (capítulo 4); mostrando que las concentraciones correspondientes a los peces de acuicultura resultaron inferiores o similares a las presentadas en los peces de captura. Asimismo, luego de una exhaustiva evaluación bibliográfica, se expone un breve resumen de la toxicidad del cadmio (capítulo 1) y se evalúa su presencia en los distintos constituyentes alimenticios de la dieta de la población china ([Anexo III](#)).

El análisis de los LMP de Cd en los diferentes alimentos (capítulo 4) evidenció la falta de consenso internacional para la misma categoría, incluso la carencia para algunos de ellos.

La Evaluación de Riesgo (ER) realizada a partir de la información bibliográfica disponible permitió estimar el perfil de exposición al Cd de la población china a través de la alimentación. Por otro lado, permitió analizar los principales aportantes alimenticios del metal para la dieta china, y así evaluar el efecto que tendría el aumento en el LMP en las HP desde el valor actual de 2 mg/kg (peso seco) hasta el valor de 6 mg/kg (peso seco), explicitado por el SENASA en la solicitud realizada a la Red de Seguridad Alimentaria (CONICET).

La inclusión de las tres Rutas en el MC aplicado en la ER posibilitó analizar la contribución relativa desde los diferentes alimentos a la dieta china. Estas Rutas fueron: las A sobre Productos Acuáticos (PA), las B sobre Productos Animales de Cría (PAC) excluyendo PA y las C sobre Productos Alimentarios excluyendo PA y PAC.

De las Rutas A y B, que incluyen la HP en la composición de los piensos para la cría y cultivo de animales, las Rutas A presentaron una mayor contribución de cadmio a la

dieta. Sin embargo, la mayor contribución a la exposición dietaria de la población china proviene de las Rutas C, las cuales no involucran a las harinas de pescado.

La contribución relativa a la ingesta de Cd de los productos acuáticos en China varía significativamente entre las áreas urbanas y rurales, donde las áreas urbanas incorporan concentraciones superiores mediante las rutas A y B.

De los resultados de la ER, y para los escenarios actuales, se concluyó que para las mujeres chinas entre 5 y 20 años la exposición al Cd por alimentos sobrepasa la Dosis de Referencia (DRf) oral. Es importante destacar, que en al menos el 15 % de los escenarios de exposición resultantes se supera la DRf para mujeres y hombres mayores a 20 años, como así también para niños-jóvenes entre 5 y 20 años.

Si se consideran los escenarios de variación del LMP evaluados, el aumento de 2 mg/kg (peso seco) hasta el valor de 6 mg/kg (peso seco) de Cd en HP, para exportación del producto a China, produciría un incremento en la ingesta promedio de cadmio (mg/año.persona) de la población china.

Teniendo en cuenta que se consideró que todo el Cd presente en el pienso proviene de las HP, se puede estar sobreestimando la contribución relativa del metal a la carga total en el mismo; si bien esto no invalida que el aumento del LMP implicaría un aumento en la carga total del metal.

Considerando lo reportado por varios autores acerca de la tendencia al aumento de la exposición dietaria de Cd por la población china en las últimas décadas, los resultados obtenidos en el presente informe alcanzan mayor relevancia.

Recomendaciones

1. Eliminar los residuos de calamar para la producción de HP, debido a que las máximas concentraciones de Cd se presentan en los meses donde se incorpora al calamar como materia prima.
2. Evaluar integralmente el proceso de producción de HP para la detección de aquel/aquellas etapas responsables de la acumulación de Cd que generan la concentración actual en las HP como producto final.
3. Propiciar la aplicación a futuro en todas aquellas situaciones o problemáticas con necesidad de evaluar la ingesta de Cd dietario, el Modelo Conceptual y el proceso de ER, para efectos no cancerígenos, desarrollado en el presente informe, ya que el mismo alcanzó resultados robustos.
4. Ampliar la interacción con la comunidad científica/académica (responsables de la ER), los gestores del riesgo (tomadores de decisión; SENASA, entre otros) y el sector productivo asociado a esta problemática y los consumidores.
5. Aprovechar y fortalecer las capacidades de análisis de laboratorios de Argentina para la cuantificación de Cd, aplicando metodologías analíticas, validadas y altamente sensibles, para el control sistemático de cualquier problemática relacionada con este metal.

Capítulo 1. Aspectos toxicológicos de cadmio

Cadmio en el ambiente, fuentes

El cadmio (Cd) es un metal de origen natural proveniente de la meteorización de rocas, la actividad volcánica y aerosoles de la pulverización marina; en la corteza terrestre se encuentra formando óxidos, cloruros, sulfatos y sulfuros (ATSDR 2012). Las fuentes antrópicas son principalmente la minería de zinc (Zn), plomo (Pb) y cobre (Cu), por asociación mineralógica, el uso de fertilizantes fosfatados, la quema de combustibles fósiles, basura, turba y madera y la fabricación de cemento (Rajaganapathy y col. 2011; Amlund y col. 2012; Wood y col. 2012). El 75 % del metal producido es usado en baterías, especialmente las de níquel (Ni)-Cd; también ha sido usado en aleaciones por su resistencia a la corrosión (Ufelle y Barchowsky 2019). Estas fuentes y usos lo convierten en un metal ubicuo.

Efectos

El Cd es un metal pesado altamente tóxico, sin funciones biológicas conocidas, se acumula en el cuerpo humano y en el ambiente a largo plazo, y se magnifica en las tramas tróficas (López-Alonso 2012). En el ser humano, se acumula en diversos órganos (riñón, hígado, huesos) y se estima que la vida media no es inferior a los 26 años (Klaassen y col. 2009; ATSDR 2012), dependiendo del tejido y concentración (Nordberg 2015). La intoxicación crónica por la ingesta prolongada de Cd por vía digestiva, se conoció con la enfermedad de Itai-Itai, ocurrida en Japón en la década del 1950 (Han y col. 2009; Ufelle y Barchowsky 2019). Esta enfermedad fue el resultado de la liberación inadvertida de Cd al río Jintzu, debido a la explotación de minas de Zn aguas arriba. El cuadro clínico de la enfermedad de Itai-Itai muestra lesión renal manifestada por disfunción tubular y glomerular, y lesión ósea que consiste en la combinación de osteomalacia y osteoporosis. Esta enfermedad planteó el riesgo de la exposición crónica a este metal y sus consecuencias.

Este metal ocupa el séptimo lugar en la lista de sustancias tóxicas y es el cuarto metal más importante (ATSDR 2012); en 1993, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, por su denominación en inglés - International Agency for Research on Cancer) clasificó al Cd y sus compuestos como cancerígenos Tipo 1 ("carcinógeno para el ser humano") ya que hay pruebas suficientes que confirman que puede causar cáncer en humanos (IARC 2012). El Cd se acumula en riñón y páncreas asociándose a procesos cancerígenos en ambos órganos (Straif y col. 2009; IARC 2012).

Como primer impacto, y ante una ingesta aguda de niveles elevados de Cd, produce irritación del estómago, provocando vómitos y diarrea (ATSDR 2012).

Por ser el riñón el principal órgano afectado por la exposición crónica, vía digestiva y/o inhalatoria, la nefrotoxicidad es uno de los efectos comúnmente observados. Esta afección puede tener períodos de latencia, aproximadamente 10 años, antes del inicio clínico del daño renal, dependiendo de la intensidad de la exposición (Nordberg 2004; ATSDR 2012). La disfunción tubular renal progresiva se asocia directamente con este tipo de exposición (Klaassen y col. 2009).

Aunque se acumula en los huesos, se cree que la enfermedad ósea es secundaria como consecuencia a alteraciones en el metabolismo del calcio y fosfato, debido al daño renal provocado por el cadmio (ATSDR 2012). Las lesiones óseas clínicamente significativas

suelen aparecer al final de la intoxicación crónica grave e incluyen pseudofracturas y otros efectos de la osteomalacia y la osteoporosis (ATSDR 2012). Este daño óseo posiblemente esté relacionado con la alteración del metabolismo del calcio y del fosfato (Berntssen y Lundebye 2008), pudiendo causar en los huesos la desmineralización ósea.

Otro estudio indica que la exposición al Cd podría resultar en disfunción pancreática y el efecto se observó a niveles urinarios inferiores a aquellos que pueden provocar la disfunción renal (Lei y col. 2007).

Por otro lado, también se han informado efectos de disrupción endocrina en los seres humanos (WHO 2012). Hall y Greco (2019) han informado la alteración a nivel de receptores nucleares de hormonas (NHRs) con consecuencias en las concentraciones de hormonas sexuales esteroideas y tiroideas. La exposición al cadmio puede estar asociada con consecuencias adversas múltiples para la salud reproductiva, principalmente en las mujeres (Pollack y col. 2014). Asimismo, juega un papel en la alteración de funciones inmunológicas, metabólicas diversas, sexuales y neurocomportamentales (ATSDR 2012); también se lo ha relacionado con la inducción de cáncer de mama, de testículos y de próstata (Hoel y col. 1992; Giwercman y col. 1993; Berger 1994).

Otros autores (Falcón y col. 2002) han informado que la exposición en mujeres embarazadas puede tener un efecto adverso en el período perinatal, por ejemplo, retraso del crecimiento fetal, bajo peso al nacer, deformidades e inducción al nacimiento prematuro. Por otro lado, las madres con altas concentraciones de Cd en orina, tendrían concentración de calcio baja en la leche materna (Epstein y col. 2000; Nishijo y col. 2002; Fischer y col. 2003). Además, la exposición prenatal al Cd se ha asociado a efectos adversos al nacimiento, la salud infantil y el desarrollo (Kippler y col. 2013; Vilahur y col. 2015); pudiendo afectar también el desarrollo del sistema inmunológico (Ritz y col. 1998).

Exposición a cadmio a través de los alimentos

Para la población en general, la exposición a Cd ocurre principalmente por la ingesta de alimentos de origen vegetal y ciertos tipos de mariscos, así como por la inhalación de humo de tabaco, consumo de cigarrillo y emisiones industriales (Järup 2003; ATSDR 2012). La absorción gastrointestinal fue determinada entre 5 y 10 % por dosis, mientras que la absorción ante la exposición al humo del cigarrillo varía entre 5 y 50 % (Klaassen y col. 2009). En los vegetales se suele acumular en frutos, semillas y hojas, siendo las hojas las que suelen presentar las concentraciones más altas. Asimismo, ciertos cereales, como el arroz, constituyen una fuente importante para los consumidores (Tsukahara y col. 2003; Shahriar y col. 2020). En productos acuáticos como pescados, crustáceos y moluscos (principalmente los calamares), los órganos acumuladores son el riñón, hígado y hepatopáncreas (Gerpe 2006; Berntssen y Lundebye 2008), y en menor importancia, e incluso no detectable, el músculo (Harrison y Klaverkamp 1989; Mai y col. 2006; Shamshad y col. 2009; Sabbir y col. 2018).

El Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (2011)(JECFA, por su denominación en inglés - Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) recomienda una ingesta mensual tolerable provisional (PTMI, por su denominación en inglés - Provisional Tolerable Monthly Intake) de Cd a través de la dieta de 25 µg/kg peso corporal (masa corporal). La ingesta diaria a través de la dieta, se estima entre 10

1. Aspectos toxicológicos de cadmio

µg/por persona y 85 µg/por persona. La ingesta total proveniente de todas las vías de exposición se encuentra en un rango entre 10 µg/día y 30 µg/día (América del Norte y Europa) (Klaassen y *col.* 2009).

También se ha utilizado la ingesta acumulada (cumulative intake) para evaluar el riesgo de lesiones crónicas, tales como disfunción renal y afecciones óseas (Engström y *col.* 2012; Chen y *col.* 2018), encontrándose una relación directa con el riesgo a las mismas. Asimismo, otros autores han evaluado el punto clave de daño crónico a diferentes niveles de ingesta total, correspondiéndose a distintos grados de lesión (Shang y Cai 1993; Cai y *col.* 1998).

Asimismo, ha sido objeto de estudio en el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Comisión Internacional de Salud Ocupacional (ICOH, por su denominación en inglés - International Commission on Occupational Health); teniendo una posición prioritaria en evaluaciones de la contaminación de los alimentos por la Organización Mundial de la Salud (FAO/WHO 1989).

Capítulo 2. Metodologías para el análisis de cadmio en harina de pescado

Si bien no existe una normativa exclusiva para el análisis de Cd en harina de pescado (HP), existen métodos generales, para analizarlo en todas las matrices de alimentos, propuestos por organizaciones internacionales (Association of Official Analytical Chemists –AOAC- e International Standard Organization –ISO-) o por organizaciones nacionales (Instituto Argentino de Normalización y Certificación-IRAM-). Estos métodos difieren en las consideraciones respecto de la preparación de muestra o de la metodología empleada en la detección.

Métodos de Digestión de Muestras

En la mayoría de los métodos espectrométricos para la determinación de Cd en muestras con matrices complejas, se requiere un paso previo de mineralización para remover la materia orgánica de los alimentos. El método de mineralización más frecuentemente utilizado es la calcinación por vía seca o por vía húmeda con agentes oxidantes. La vía húmeda puede realizarse en vasos abiertos (ej: AOAC-999,11 1999) o sistemas cerrados bajo presión (digestión por microondas) (ej: AOAC-999.10 1999).

Métodos de cuantificación de cadmio

En la actualidad, una amplia variedad de métodos analíticos para el análisis de Cd en los alimentos está disponible, y que son compatibles con los procedimientos de digestión descritos anteriormente. Los métodos más frecuentemente utilizados incluyen:

- Espectrometría de absorción atómica, -AAS- (Atomic Absorption Spectrometry):
 - a) Espectrometría de absorción atómica con llama, -FAAS- (Flame Atomic Absorption Spectrometry).
 - b) Espectrometría de absorción atómica con horno de grafito, -GFAAS- (Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry) o ETAAS - (Electrothermal Atomic Absorption Spectrometry).
- Espectrometría de masas inorgánicas con plasma acoplado Inductivamente, - ICP MS- (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry).
- Espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente, -ICP OES- (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy) o Espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente, ICP AES- (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry).
- Espectrometría de emisión óptica con plasma inducido por microondas – MIP OES- (Microwave Induced Plasma Optical Emission Spectroscopy).

Existen otras técnicas menos frecuentemente utilizadas en laboratorios privados de servicios analíticos, pero que poseen muy alta sensibilidad:

- Espectrometría de Fluorescencia Atómica -AFS- (Atomic Fluorescence Spectrometry), es una forma de emisión por excitación con radiación electromagnética.
- Microscopía Electrónica -SEM-TEM- (scanning electron microscopy (SEM) transmission electron microscopy (TEM)) con módulo para determinación de composición elemental por energía de dispersión de rayos x.

Posiblemente en la actualidad, debido a su mayor sensibilidad y factibilidad de introducción de muestras sólidas (slurries), el ETAAS es el método más comúnmente usado para la determinación de Cd en alimentos, ya que varios métodos oficiales lo

recomiendan junto a FAAS, que también se ha usado ampliamente (GB/T5009.15-2003 ; UNE-EN14083:2003 ; AOAC-999.10 1999; AOAC-999.11 1999; Julshamn y col. 2013). Los métodos oficiales establecidos por varias organizaciones para la determinación de Cd en alimentos no usan ICP OES como método de determinación. Sólo ISO 27085:2009 y UNE-EN 15510:2008 usan ICP OES para el análisis en productos de alimentación animal.

Actualmente, un considerable número de estudios reportan concentraciones de Cd en alimentos usando ICP MS (Gray y Cunningham 2019; King y Sheridan 2019) y también es la base de los estándares AOAC 2013.06, AOAC 2015.01 (Briscoe y col. 2015), UNE-EN 1573:2010 (Julshamn y col. 2013).

Método Normalizado GB 2762-2012. Límites Máximos de Residuos de Contaminantes en Alimentos

El estándar GB (GB son las siglas de Guobiao, o “Estándar Nacional”) es el criterio fundamental utilizado para determinar todas las pruebas de los productos que requieren un certificado obligatorio chino (Certificado CCC) (<https://www.china-certification.com/en/information-about-gb-standards/>). Por tanto, si no existe un estándar GB que corresponda a su producto, éste no requiere certificado chino. Los límites de contaminantes en alimentos se regulan por la GB 2762-2017 que sustituye a la GB 2762-2005 “Límites Máximos de Residuos de Contaminantes en Alimentos”, cuya vigencia actual abarca exclusivamente la regulación de las “tierras raras”. La norma establece los límites máximos de plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg), arsénico (As), estaño (Sn), níquel (Ni), cromo (Cr), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), benzo(a)pireno, N-dimetilnitrosamina, bifenilos policlorados (PCBs) y 3-cloro-1,2-propanodiol. El ámbito de aplicación engloba los contaminantes, salvo los residuos de pesticidas, residuos de drogas veterinarias, biotoxinas, sustancias radiactivas, etc. (Rodríguez Muñoz y Villanueva García 2017).

Métodos normalizados AOAC 999.10 y 999.11

Los métodos AOAC 999.10 y 999.11 están normalizados para el análisis de plomo (Pb), cobre (Cu), zinc (Zn), cadmio (Cd) y hierro (Fe) en alimentos. La diferencia entre ambas metodologías radica en el pretratamiento de la muestra. El método AOAC 999.10 incluye la determinación de Zn, Cu y Fe mediante FAAS. El método AOAC 999.11 incluye las mismas determinaciones que el anterior sustituyendo la digestión en microondas por calcinación a 450°C. Un punto importante en ambos métodos es que, de acuerdo al tipo de alimento, pueden obtenerse concentraciones de estos metales que pueden variar desde partes por millón (ppm) = mg/kg hasta partes por billón (ppb) = µg/kg, pudiendo utilizarse tanto horno de grafito como atomización con llama. La diferencia entre ambas metodologías radica en que, para lograr la atomización de la muestra, incluyen o bien la aplicación de una llama (empleada en FAAS) o el uso de energía electrotérmica en horno de grafito (GFAAS). La técnica de GFAAS permite bajar los límites de detección al rango de ppb con una instrumentación relativamente sencilla y sin los esfuerzos y pérdidas de tiempo que conllevan las técnicas de digestión previa. En el caso de la HP, al presentar concentraciones que superan 1 ppm se obtiene mayor repetibilidad en el caso de FAAS, ya que se evita realizar grandes diluciones requeridas para utilizar la metodología de GFAAS, que puede derivar en un aumento de la incertidumbre.

Método normatizado AOAC Official Method 2015.01

El método AOAC Official Method 2015.01 es aplicable para la determinación de metales pesados, tales como, Cd, Pb y Hg y el metaloide As, a niveles que van desde ppm (mg/kg) hasta ppt (ng/kg) en muestras de alimentos y bebidas, incluyendo chocolate sólido, jugo de fruta, pescado, fórmula infantil y arroz, utilizando digestión de microondas e ICP-MS. Las muestras de alimentos se homogeneizan y luego se preparan mediante digestión con microondas y la adición de soluciones diluidas de oro (Au) y lutecio (Lu). El rango de medición recomendado por esta norma para el análisis de Cd en los alimentos establecidos es de 8 µg/L a 20 µg/L.

Determinaciones de cadmio en alimentos de exportación

La Norma UNE-EN ISO/IEC 17025 fue diseñada para que la apliquen los laboratorios de ensayo y calibración cuando desarrollan los sistemas de gestión para sus actividades de calidad, administrativas y técnicas. Al trabajar bajo los estándares de esta Norma, se reconoce su competencia técnica y la validez de sus resultados, respondiendo a las exigencias de los organismos o entidades y dotándolo de credibilidad ante sus clientes. La Norma ISO 17025 proporciona los requisitos necesarios que deben cumplir los laboratorios de ensayo y calibración, facilitando la armonización de criterios de calidad. El objetivo principal es garantizar la competencia técnica y la fiabilidad de los resultados analíticos. Para ello, se vale tanto de requisitos de gestión como requisitos técnicos que inciden sobre la mejora de la calidad del trabajo realizado en los laboratorios y, de esa forma, aseguran la validez de los resultados a nivel internacional. Finalmente, la acreditación del laboratorio será el reconocimiento formal de la competencia y capacidad técnica para llevar a cabo análisis específicos.

En la Argentina esta norma se puede certificar mediante el Organismo Argentino de Acreditación (<https://oaa.org.ar/>) o bien solicitarla a un organismo extranjero, como es el caso de la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC, España <https://www.enac.es/>).

Por esta razón, los laboratorios de la Red de SENASA, que son considerados como laboratorios de campo por las auditorías externas, deben cumplir con las exigencias internacionales. Por lo tanto, deben acreditar la Norma IRAM-ISO IEC 17025 (<https://www.iso.org/home.html>, <https://www.iram.org.ar/>) en los rubros habilitados (SENASA 2006).

El Grupo *ad hoc* de la Red de Seguridad Alimentaria (RSA-CONICET) para la evaluación de Cd en HP, realizó una encuesta a los laboratorios de nuestro país con el fin de relevar aquellos que cumplen con estas normativas para realizar el análisis requerido. La encuesta se realizó a través del mailing de la RSA y de Agenda CONICET. Se obtuvieron 21 respuestas de laboratorios públicos y privados de Argentina, donde 19 afirmaron cuantificar Cd, y 3 expresaron que lo determinan en HP.

En la Tabla 1, se detallan los laboratorios disponibles en Argentina, junto a los métodos analíticos que utilizan para la determinación de Cd en HP, así como los límites de cuantificación (LC). Se resaltan en la tabla los laboratorios que poseen la metodología certificada bajo la Norma 17025 o que se encuentran acreditados en la Red Nacional de Laboratorios de SENASA.

En la Figura 2 se presenta la instrumentación analítica disponible en los laboratorios de Argentina para la cuantificación de Cd y cómo se distribuye la presencia de laboratorios

2. Metodologías para el análisis de cadmio en harina de pescado

con instrumentación analítica para cuantificar cadmio, con desagregación a nivel provincial.

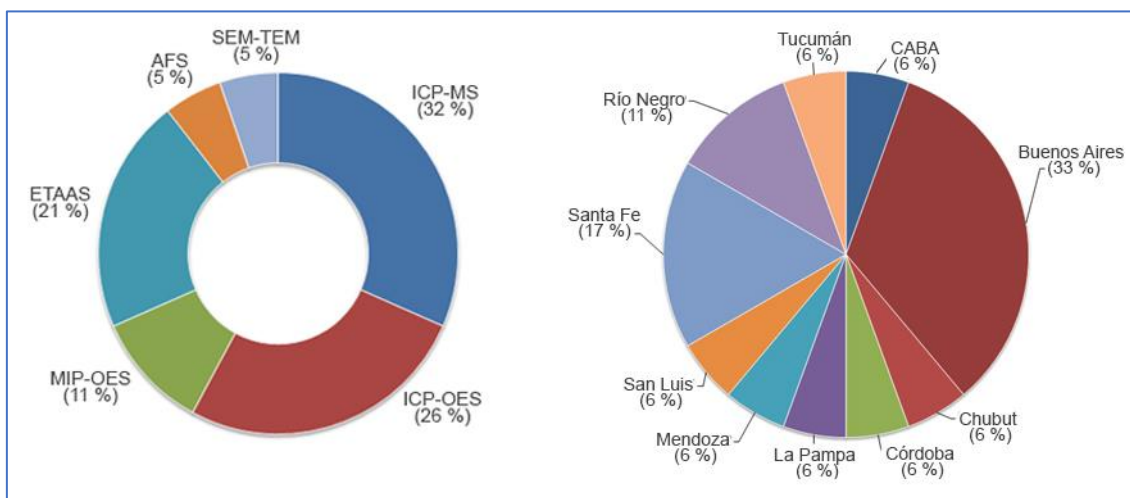


Figura 2 Izquierda: Distribución porcentual de las metodologías disponibles para la cuantificación de cadmio en la Argentina (no exhaustivo). Derecha: distribución porcentual de laboratorios con capacidad analítica para cuantificar cadmio, por provincia (no exhaustivo).

Con relación a la capacidad analítica disponible en el país y sus características, se puede concluir que se dispone de metodologías analíticas lo suficientemente sensibles como para detectar niveles de Cd inferiores a 50 µg/L, valor que se encuentra muy por debajo del Límite Máximo Permitido actualmente para C en HP. La distribución de laboratorios a nivel provincias es amplia, aunque se destaca que el 67 % de la capacidad analítica se concentra en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Río Negro.

Tabla 1. Laboratorios de Argentina que realizan la cuantificación de cadmio, responsable, contacto, instrumentación analítica disponible, límite de cuantificación (LC). Presentación no exhaustiva.

Provincia	Nombre de Instituto/ Laboratorio	Responsable y contacto	Método analítico	LC [µg/L]
Buenos Aires	Instituto en Investigaciones y Producción Animal	J.J. Troncoso inpa@fvet.uba.ar	ICP-OES	1-10
	Laboratorio de Calidad de Alimentos, Suelos y Agua - EEA INTA Pergamino	A.M. Di Martino dimartino.ana@intagob.ar	ETAAS	1-10
	Análisis fisicoquímico/Instituto Biológico Dr. Tomás Perón	D. Asens asalda@hotmail.com	MIP-OES	10-50
	Laboratorio de Control de Calidad Melacrom SC*, **	P. Lanzelotti laboratorio@melacrom.com.ar	ICP-OES	1-10
	LAQEI	P. Lettieri info@laqei.com.ar	FAAS	10-50
	Fares Taie Instituto de Análisis*	Mónica Espinosa medioambiente@faresatie.com.ar	FAAS	> 50
	Alimentaria San Martín SRL	Mario Miguel Ismach info@asmlab.com.ar	FAAS, ETAAS	1-10
Chubut	CCT CENPAT CONICET	M. Gil serra@cenpat-conicet.gob.ar	ICP-OES	10-50
Córdoba	ICYTAC Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos Córdoba. CONICET-UNC	J. Gastaminza dwunder@fcq.unc.edu.ar	ICP-MS	< 1
La Pampa	Instituto de Ciencias de la Tierra y Ambientales de La Pampa. INCITAP-CONICET-UNLPam. Laboratorio de Espectrometrías Atómicas. Departamento de Química. FCEyN, UNLPam	F.C. Jofre, M. Savio florenciacorajofre@gmail.com msavio@exactas.unlpam.edu.ar	MIP-OES	10-50
Mendoza	Laboratorio de Química Analítica para Investigación y Desarrollo (QUIANID)	R. Wuilloud rodolfowuilloud@gmail.com	FAAS, ETAAS, AFS	< 1
Río Negro	LABORATORIO PRAXIS	J. Cuevas informes@laboratoriopraxis.com.ar	FAAS	1-10
	CIATI AC	S. Bellini sorayab@ciati.com.ar	ICP-MS	10-50
San Luis	Laboratorio de Espectrometría de Masas (LEMS)	R. Gil ragil@unsl.edu.ar rb29980@gmail.com	ICP-MS, ICP-OES, FAAS, ETAAS	< 1
Santa Fe	Unidad de Espectrometría de Masas (CCT Rosario)	M.A. Pagani pagani@cefobi-conicet.gov.ar	ICP-MS	< 1

2. Metodologías para el análisis de cadmio en harina de pescado

Provincia	Nombre de Instituto/ Laboratorio	Responsable y contacto	Método analítico	LC [µg/L]
	MERCOLAB SA	M.G. Alfaro calidad@mercolab.com.ar	ICP-OES	1-10
	Programa de Investigación y Análisis de Residuos y Contaminantes Químicos PRINARC, FIQ, UNL	M. Sigrist msigrist@fiq.unl.edu.ar	ICP-MS, FAAS	< 1
Tucumán	Centro Integral de Microscopía Electrónica	V.H. Albarracín cime@tucuman-conicet.gov.ar	SEM-TEM-EDX	10-50

Los Laboratorios resaltados actualmente realizan la cuantificación de cadmio (Cd) en harina de pescado (HP).

* Poseen la metodología certificada bajo Norma 17025.

** Se encuentra acreditado en la Red Nacional de Laboratorios de SENASA.

ICP-OES: Espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente

ETAAS: Espectrometría de absorción atómica con atomización electrotérmica (horno de grafito)

MIP-OES: Espectrometría de emisión atómica con plasma inducido por microondas.

FAAS: Espectrometría de absorción atómica con llama

AFS: Espectrometría de fluorescencia atómica

ICP-MS: Espectrometría de masas inorgánica con plasma acoplado inductivamente

SEM-TEM-EDX: Microscopios Electrónicos (SEM y TEM) con módulo para determinación de composición elemental por energía de dispersión de rayos x

Capítulo 3. Producción de la harina de pescado

La HP se produce a partir de peces y/o desechos de la pesca evaporando agua y extrayendo aceite, por lo que usualmente su composición refleja aquella de la materia prima, alcanzando un producto con un cambio mínimo.

Según la Organización Internacional de Harina y Aceite de Pescado (IFFO, por su sigla en inglés, International Fishmeal and Fish Oil Organisation), en 2018, aproximadamente el 75 % de la HP producida y el 73 % del aceite de pescado obtenido, se destinaron a la acuicultura (<https://www.iffocom.es/alimentar-una-poblacion-en-crecimiento>). Para la materia prima, 1 kg de pescado usado como pienso de acuicultura produce más de 4,5 kg de pescado de cultivo. Al comparar productos procesados, 3,5 millones de toneladas de HP y 700.000 toneladas de aceite de pescado, producen más de 44 millones de toneladas de pescado de cultivo, alimentado con el beneficio del suministro adicional de ingredientes predominantemente de origen vegetal (<https://www.iffocom.es/node/371>). El procesamiento de pescado para el consumo humano da lugar a subproductos (cabezas, vísceras, esqueletos, pieles y otros como colas, aletas, escamas, carne picada, sangre, etc.). Este material puede constituir hasta 70 % del pescado y mariscos después del procesamiento, ya que el rendimiento del filete de pescado, dependiendo de la especie y tamaño, suele estar en el rango del 30-50 % del pescado (Olsen y col. 2014); en Argentina, se informó entre 33-45 % para fileteado de merluza (Comas y col. 2012). Esta proporción de subproductos es considerada materia prima valiosa, a partir de la cual se puede producir HP y obtener aceite de pescado. Aproximadamente el 33 % de la producción mundial de HP proviene de subproductos (OECD-FAO 2015). Por otro lado, el no procesamiento de los desechos de la pesca, trae consecuencias de disposición en predios de residuos sólidos urbanos (RSU) o basureros a cielo abierto, con la consecuente contaminación por una carga excesiva de materia orgánica y proliferación de microorganismos y vectores de enfermedades.

¿Cómo se define a la HP? En el Decreto 4238/68 (actualización diciembre 2015), el SENASA (Capítulo XXIII) la define como: “subproducto de la pesca obtenido por la cocción de pescado o sus residuos mediante el empleo de vapor, prensado, desecado y triturado”.

En la producción de la harina y obtención de aceite de pescado se considera a la materia prima como compuesta de tres fracciones principales: sólidos (materia seca libre de grasa), aceite y agua. Por lo que, el proceso se basa en la separación completa de las tres fracciones alcanzando los mejores productos. Las principales condiciones de la HP, es el alto contenido en proteínas, generalmente >60 % de materia seca, bajo contenido en grasas y su alta digestibilidad, requisitos relevantes debido a su uso en formulaciones (piensos/blends) destinados a acuicultura y a la cría de animales de granja y cerdos, y como alimento de mascotas. Además, presenta ciertos aminoácidos esenciales (cisteína, lisina, fenilalanina, valina, leucina, entre otros) requeridos para el crecimiento y desarrollo de las especies bajo cultivo.

La producción se lleva a cabo bajo las Buenas Prácticas de Fabricación, ya que, si bien no es destinada al consumo humano de manera directa, al emplearse como materia prima de piensos se deben obtener productos seguros para el consumo humano, que se centralizan en la higiene y forma de manipulación. Asimismo, las BPM son indispensables para la aplicación del Sistema HACCP (por su denominación en inglés,

3. Producción de la harina de pescado

Hazard Analysis Critical Control Point - Manufactura y Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control).

La calidad del producto obtenido es evaluada por SENASA, además de una evaluación de empresas externas con aceptación internacional de IFFO.

Materia prima para la producción de la harina de pescado en Argentina

La materia prima en las HP argentinas está constituida por subproductos del descarte de la pesca comercial de los puertos de las ciudades de Mar del Plata y Puerto Madryn. Las empresas indican en sus websites que el principal subproducto corresponde a especies de pescado blanco del Atlántico, principalmente merluza. Otras especies, como anchoíta, calamar, calamarete, centollón y langostino, y aquellas acompañantes de la pesca de merluza, también constituyen materia prima en la producción de las HP. La merluza hubbsi (*Merluccius hubbsi*) es una especie carnívora omnívora oportunista, preda sobre peces, especialmente anchoíta (*Engraulis anchoita*), organismos zooplanctónicos (eufáusidos y anfípodos), mictófidos y la propia merluza debido a su comportamiento caníbal. Respecto a las concentraciones de Cd presentes en esta especie, solamente se tiene información en el tejido muscular, la fracción comestible, con un valor medio de $6,142 \pm 5,5$ $\mu\text{g/kg}$ (peso húmedo) (López Sánchez 2021). No hay información referida a contenidos del metal en vísceras.

La anchoíta argentina (*Engraulis anchoita*) es una especie básicamente zooplanctófaga (Angelescu 1982), los grupos más representativos son copépodos (con mayor frecuencia de calanoideos), cladóceros, diatomeas y dinoflagelados principalmente, y otros grupos como anfípodos y eufáusidos, en menor proporción. En esta especie existe información de concentración de Cd (expresada como peso húmedo) tanto en fracción comestible ($0,11 \pm 0,06$ mg/kg, stock norte y $0,16 \pm 0,06$ mg/kg, stock sur) como en masa visceral (1,15-3,32 mg/kg rango de ambos stocks) (Gerpe 2006).

El calamar argentino (*Illex argentinus*), presenta una alimentación diferencial entre juveniles y adultos (Ivanovic y Brunetti 1994). Los primeros son zooplanctófagos, mientras que los adultos predan sobre peces, entre ellos merluza hubbsi, y otros calamares, debido a su comportamiento caníbal. Esta especie es la que presenta las concentraciones de Cd más elevadas de todas aquellas que integran la materia prima destinada a la producción de HP. En aguas argentinas se publicó el primer valor de Cd para músculo, con un rango entre 0,067-0,053 mg/kg (peso húmedo) (Falandysz 1988). Luego, Gerpe y col. (2000) publicaron concentraciones medias del metal en glándula digestiva, la cual corresponde prácticamente a toda la masa visceral, de organismos inmaduros y maduros de la zona bonaerense y patagónica. Los valores medios variaron entre 194,3-485,01 $\mu\text{g/g}$ (peso húmedo). Finalmente, la especie fue estudiada para aguas brasileñas, informando valores medios máximos en vísceras de 1002,9 $\mu\text{g/kg}$ (peso húmedo) (Dorneles y col. 2007).

La centolla (*Lithodes santolla*) preda sobre ofiuroides, equinoideos, isópodos, moluscos bivalvos, poliquetos, briozoos y algas coralináceas (Vinuesa y col. 2013). El centollón (*Paralomis granulosa*) preda sobre moluscos, crustáceos, briozoos, hidrozoos, foraminíferos y algas. No hay información publicada respecto a concentraciones de Cd en esta especie.

El langostino (*Pleoticus muelleri*) preda sobre crustáceos (anfípodos, eufáusidos, decápodos), poliquetos, moluscos (bivalvos, gasterópodos, cefalópodos), equinodermos y nematodos (Roux y col. 2009). En esta especie hay información

publicada referida a concentraciones de Cd, Marcovecchio (1994) en músculo ($0,16 \pm 0,06 \mu\text{g/g}$) y glándula digestiva ($0,25 \pm 0,05 \mu\text{g/g}$); y Jeckel y col. (1996) en glándula digestiva $30,8\text{-}82,9 \mu\text{g/g}$ y no detectable en el caso de músculo.

El calamarete (*Loligo sanpaulensis*) preda sobre camarones, y en segundo término de peces y cefalópodos (canibalismo sobre juveniles) (Boschi 1998). En esta especie no se ha encontrado información publicada sobre concentraciones de Cd en sus tejidos.

Proceso de producción

El proceso de producción se basa en calentar, prensar, centrifugar y secar para obtener una HP seca y estable (Figura 3).

Básicamente el proceso conlleva los siguientes pasos:

- Los subproductos son cocinados a temperatura entre $80\text{-}95^\circ\text{C}$, de manera de detener la actividad enzimática y microbiana, además de coagular las proteínas en fase sólida.
- El prensado consiste en la extracción mecánica de los líquidos para obtener una fase sólida (torta de prensa, que corresponde al 30 % del total de los desechos) y la fase líquida (licor de prensa, que corresponde al 70 % de los desechos).
- El secado consiste en la deshidratación de la fase sólida para obtener una mezcla seca estable, eliminando completamente toda actividad microbiana que pudiese conservar la fase sólida. Este proceso se lleva a cabo por secado a vapor indirecto.
- La fase líquida se dirige a un decantador (decanter) para la separación del licor (que contiene grasa y agua) y la torta de decanter, la cual se agrega a la torta de prensa.
- El licor de decanter se centrifuga y se obtienen la fracción que continuará el proceso de obtención de aceites, y el agua de cola.
- El agua de cola es evaporada para obtener los sólidos solubles, los cuales se agregan a la torta de prensa.
- La mezcla obtenida de la torta de prensa + la torta de decanter + sólidos solubles es secada y triturada para obtener la HP.

El agua de cola es el principal residuo orgánico del proceso de producción de la HP, y debe ser tratado para no ser eliminada como tal al ambiente receptor. El proceso de evaporación no sólo permite obtener los sólidos solubles, sino que, además, elimina el agua de cola y el vapor obtenido en el proceso es utilizado en los secados.

3. Producción de la harina de pescado

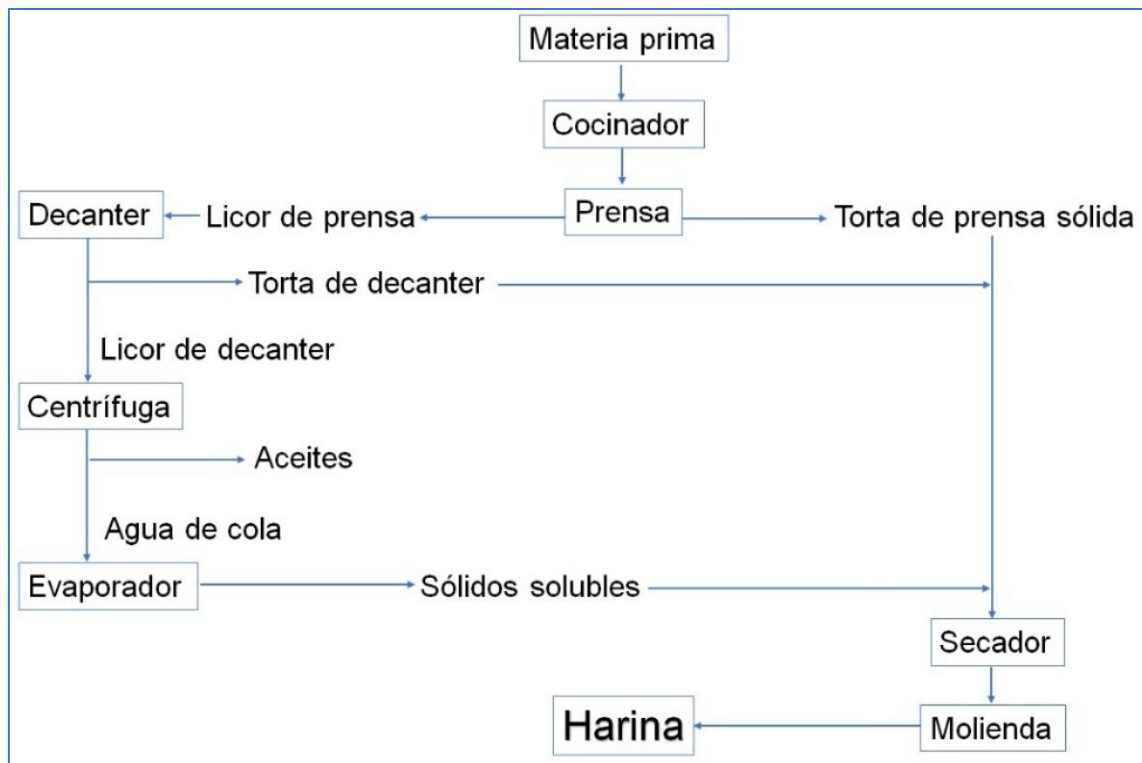


Figura 3. Esquema del proceso de producción de harina de pescado.

Capítulo 4. Distribución temporal encontrada en la concentración de cadmio presente en las harinas de pescado argentinas

Se analizó la concentración de Cd (mg/kg) en 1082 muestras de HP del período 2015-2020 de tres empresas de Argentina. Dos de las empresas trabajan con materia prima de residuos de la industria pesquera de la costa bonaerense (Puerto de Mar del Plata), y la tercera de la costa patagónica (Puertos de: Rawson, Comodoro Rivadavia, Caleta Olivia, Puerto Madryn y Puerto Deseado).

El análisis de la variación estacional de las concentraciones del Cd en el periodo 2015-2020 evidenciaron que en el primer semestre del año los valores son más elevados (>5 mg/kg), mientras que en el segundo semestre son inferiores (Figura 3). Se observa que, durante los meses de enero a marzo, las concentraciones de Cd superan generalmente 6 mg/kg, alcanzando en algunos años valores superiores a 10 mg/kg.

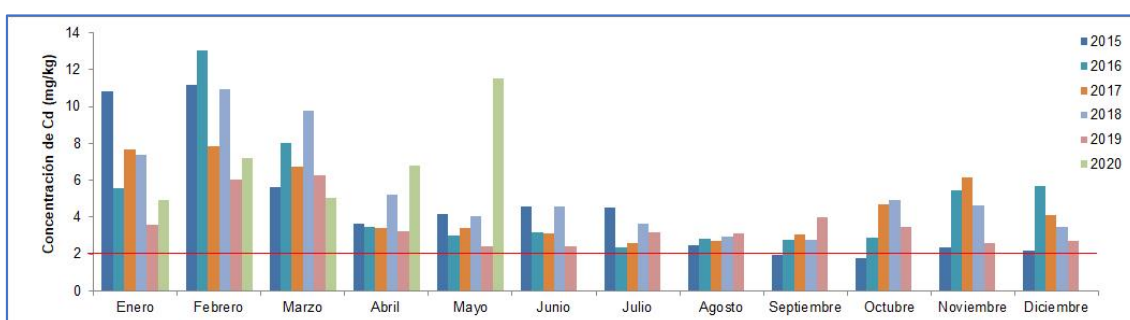


Figura 4. Concentraciones de cadmio (mg/kg) mensuales en el periodo 2015-2020. La línea roja corresponde al Límite Máximo Permitido de Cd en harina de pescado actual (2 mg/kg peso seco).

Considerando que las empresas con sede en Mar del Plata utilizan como insumos pesqueros especies diferentes a las empleadas por la empresa con sede en Puerto Madryn, se realizó un análisis discriminando por región (Figura 5).

En la Figura 5, se observa que las concentraciones de Cd de las harinas procesadas en la costa bonaerense siguen la tendencia general presentada en la Figura 3, donde los meses con concentraciones de Cd más elevadas corresponden a enero, febrero y marzo. La producción de HP de estas plantas se basa en el procesamiento de los residuos de diferentes especies, entre ellos anchoíta (*Engraulis anchoita*) y calamar argentino (*Illex argentinus*), acumuladoras de Cd.

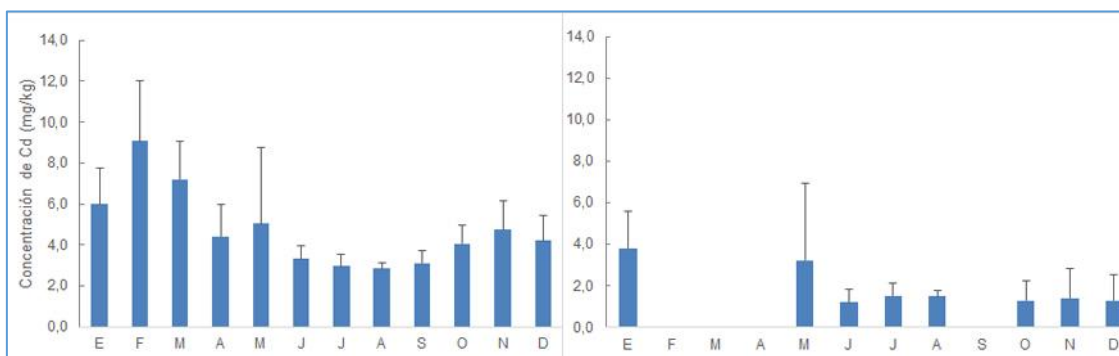


Figura 5. Izquierda: Concentraciones de cadmio (mg/kg) mensuales de harina de pescado procesadas en la costa bonaerense en el periodo 2015-2020. Derecha: harina de pescado procesadas en la costa patagónica en el periodo 2019-2020.

4. Distribución temporal de cadmio en harinas de pescado argentinas

Como se observa en la Tabla 2, los valores medios mensuales están en el rango de 2,85 mg/kg (agosto) a 9,06 mg/kg (febrero), y también valores elevados en los meses de enero y marzo.

Tabla 2. Concentraciones de cadmio (mg/kg) en la harina de pescado producida en la ciudad de Mar del Plata.

COSTA BONAERENSE					
Mes	Media	Desviación estándar	Mínimo	Mediana	Máximo
Enero	5,98	1,80	3,66	5,54	7,93
Febrero	9,06	2,97	5,95	7,83	13,04
Marzo	7,21	1,87	5,05	6,73	9,97
Abril	4,42	1,56	3,21	3,45	6,80
Mayo	5,04	3,73	2,53	3,19	11,50
Junio	3,31	0,65	2,72	3,14	4,23
Julio	2,96	0,61	2,37	2,87	3,74
Agosto	2,85	0,27	2,60	2,78	3,23
Setiembre	3,11	0,63	2,60	2,91	4,01
Octubre	4,05	0,92	2,88	4,24	4,83
Noviembre	4,75	1,42	2,86	5,00	6,14
Diciembre	4,21	1,23	3,04	4,08	5,66

En la Figura 5 se observa que las concentraciones de Cd de las harinas procesadas en la costa patagónica son inferiores (<4 mg/kg) a aquellas correspondientes a la costa bonaerense. La diferencia en las concentraciones entre regiones evidencia, en el análisis global (Figura 3), que el aporte de concentraciones elevadas de Cd en harina estaría proviniendo de la materia prima utilizada en las empresas de Mar del Plata. Además, cabe destacar que la empresa patagónica informó que el componente principal de la materia prima corresponde a residuos de merluza (90 %) y otras especies acompañantes, siendo muy poco frecuente la incorporación de calamar (*Illex argentinus*) y calamarete (*Loligo sanpaulensis*).

Como se observa en la Tabla 3, los valores medios mensuales están en el rango de 1,30 a 3,80 mg/kg, ocurriendo el máximo valor en enero.

Tabla 3. Concentraciones de cadmio (mg/kg) de la harina de pescado producida en las empresas de la costa patagónica.

COSTA PATAGÓNICA					
Mes	Media	Desviación estándar	Mínimo	Mediana	Máximo
Enero	3,80	*	3,80	3,80	3,80
Febrero	sd				
Marzo	sd				
Abril	sd				
Mayo	3,23	2,37	1,55	3,23	4,90
Junio	1,20	*	1,20	1,20	1,20
Julio	1,53	0,61	1,10	1,30	2,40
Agosto	1,50	*	1,50	1,50	1,50
Setiembre	sd				
Octubre	1,30	0,14	1,20	1,30	1,40
Noviembre	1,40	0,32	1,10	1,35	1,80
Diciembre	1,30	0,10	1,20	1,30	1,40

sd: sin datos. *: sin determinación.

La distribución de las concentraciones de Cd en las HP está asociada a las especies capturadas y a los niveles que las mismas presentan. Por ejemplo, en la Figura 6 se observa que del total de especies capturadas en el periodo 2015-2020 (estadísticas anuales del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, MAGyP 2020), el calamar es la especie cuyo pico de captura se presenta en los primeros meses del año. Estas capturas coinciden con las concentraciones más elevadas de Cd en las HP.

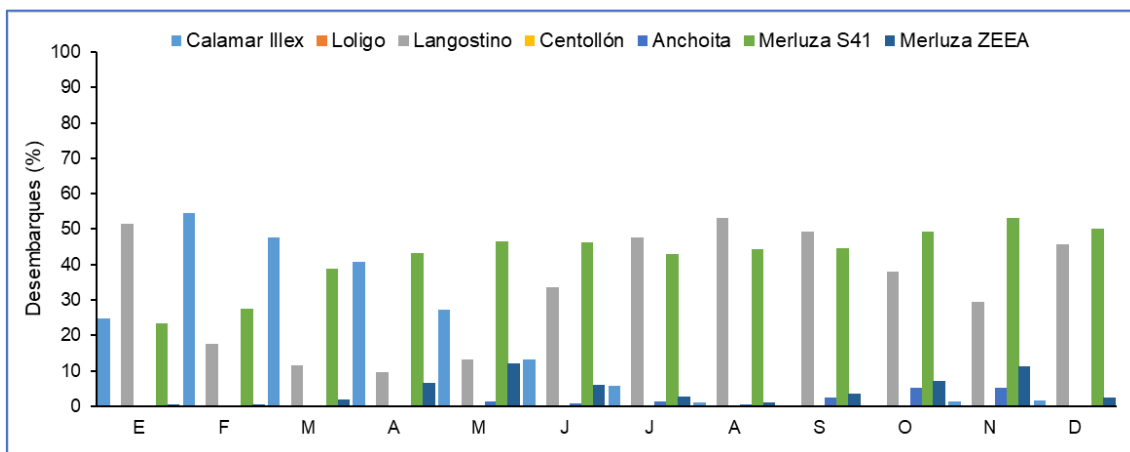


Figura 6. Desembarques (%) de calamar (*Illex argentinus*) en relación a las especies constitutivas de la materia prima más relevantes (2015-2020) (MAGyP 2020). La información de merluza (*Merluccius hubbsi*) corresponde al sur del 41°S y a la Zona Económica Exclusiva Argentina (ZEEA)

Los cefalópodos (calamares y pulpos) son especies que concentran Cd en su hepatopáncreas (Martin y Flegal 1975; Miramand y Guary 1980; Finger y Smith 1987; Castillo y Maita 1991; Miramand y Bentley 1992; Kurihara y col. 1993; Bustamante y col. 1998; Storelli y Marcotrigiano 1999; Gerpe y col. 2000; Lischka y col. 2018). Los residuos del calamar argentino (*Illex argentinus*) es usado como como materia prima de la HP, y se caracteriza por presentar altas concentraciones de Cd en el hepatopáncreas (Falandysz 1988; Gerpe y col. 2000; Dorneles y col. 2007).

Debido a la presencia de Cd en aguas del Océano Atlántico Sudoccidental, las mismas se deben principalmente a un enriquecimiento natural, ya que surgencias de aguas subantárticas constituyen las aguas de plataforma en Argentina (Piola y Rivas 1997), siendo las aguas antárticas ricas en Cd (Honda y col. 1987; Westerlund y Öhman 1991; Ellwood 2004).

Capítulo 5. Composición de piensos y aporte de harina de pescado

El crecimiento de la población humana mundial aumenta la demanda de proteínas animales, siendo aquellas de productos acuáticos muy requeridas. Debido a que la pesca de captura produce una cantidad de proteína animal estable desde los años 70 (FAO 2020), la acuicultura es la producción que más se está desarrollando. En este contexto, la producción acuícola mundial aumenta la demanda de alimentos (piensos) utilizados en esta práctica. Los piensos proporcionan nutrientes a los organismos para que crezcan rápidamente, sobrevivan y mantengan una vida saludable (Hodar y col. 2020). Los componentes principales de los piensos son: humedad, lípidos, proteínas, fibra, carbohidratos, minerales y vitaminas. En la Tabla 4 se presenta el porcentaje de algunos de estos componentes, el cual varía según la especie a cultivar acorde a sus requerimientos nutricionales

Los piensos elaborados se diseñan de acuerdo con los requerimientos nutricionales de especies específicas y son una mezcla sofisticada de ingredientes (materias primas). Estos piensos se componen de una amplia gama de ingredientes de alta calidad que incluyen HP y otras harinas como la de calamar, de plantas, de trigo, de arroz, de desechos de carne, de plumas y de huesos, maíz triturado, solubles secos de destilería, aceite de pescado, aceite vegetal, combinación de vitaminas, suplementos minerales y antioxidantes, entre otros. Normalmente, los piensos se producen controlando el tamaño de los gránulos para adaptarse a las diversas especies y etapas de crecimiento para las que están destinados (Boyd 2015; Turchini y col. 2019).

En la Tabla 5 se proporcionan porcentajes de ingredientes de piensos representativos para algunas especies de acuicultura. Los mismos contienen HP y de otras fuentes, pero la proporción entre ellas varía considerablemente entre especies; es mayor para el salmón y la trucha, intermedia para el camarón y menor para la tilapia y el bagre.

La HP es la fuente de proteínas que más se ha utilizado en los piensos para la acuicultura. La incorporación de la misma en la dieta también aumenta la eficiencia, la calidad y el crecimiento; además, mejora la palatabilidad de los alimentos y digestión y absorción de nutrientes (Hodar y col. 2020). La HP se ha utilizado durante mucho tiempo en diversas clases de alimentos para animales, pero han demostrado ser especialmente valiosas en la formulación de alimentos acuícolas (Gatlin y col. 2007; Tacon y Metian 2008).

Tabla 4. Principales requerimientos nutricionales para las diferentes especies de acuicultura. Adaptado de New (1987)

Especie	Clase de edad	Lípidos (%)	Proteínas (%)	Lisina (% de proteína)	Metionina (% de proteína)	Fósforo disponible (%)	Sales (%)
Salmón y trucha	Alimentos de inicio (alevines)	15,0	50,0			> 0,8	
	Piensos para cultivadores (peces jóvenes)	12,0	40,0	5,0	4,0	> 0,8	
	Piensos de producción (peces más viejos)	9,0	35,0			> 0,8	
Bagre de canal	Adultos y peces de cría	25,0-35,0	28,0-32,0	5,1 (% de dieta)	2,3	0,5	0,5-1,0
Carpa común (omnívoro)		> 18,0	25,0-38,0	5,7 (% de dieta)	3,1	0,6-0,7	
Carpas de India y China	Alevines y juveniles	> 8	> 30	6,7	4,0		
	Juveniles y adultos	> 5	> 25	6,4	3,6		
	Peces de cría	> 5	> 30	6,0	3,3		
Tilapias	Alevín a 0,5 g	10,0	50,0	4,1	1,7		
	0,5-35 g animal	8,0	35,0	4,1	1,7		
	35 g- tamaño de mercado	6,0	30,0	4,1	1,7		
Camarones y langostinos		2,5-10,0	20,0-60,0	9,2	2,7		

5. Composición de piensos y aporte de harina de pescado

Tabla 5. Ingredientes de piensos representativos para algunas especies comunes en acuicultura. Adaptado de Boyd (2015).

	Contenido (%)				
	Salmón del Atlántico	Trucha	Camarón	Tilapia	Bagre de canal
Soja	14	15	24,5	38,3	34,5
Semilla de algodón	-	-	-	-	12,0
Maíz	10,0	-	-	48,8	20,4
Trigo	18,0	27,0	27,5	4,0	20,0
Pescado	30,0	25,0	19,0	6,0	2,0
Cabezas de camarón	-	-	13,5	-	-
Calamar	-	-	5,0	-	-
Productos procesados	-	15,0	-	-	4,0
Aceite	24,0	16,0	4,5	1,5	2,0

Como se mencionó anteriormente, los requerimientos de proteínas, y en consecuencia de HP en los piensos, varían según la especie a cultivar (Figura 7).

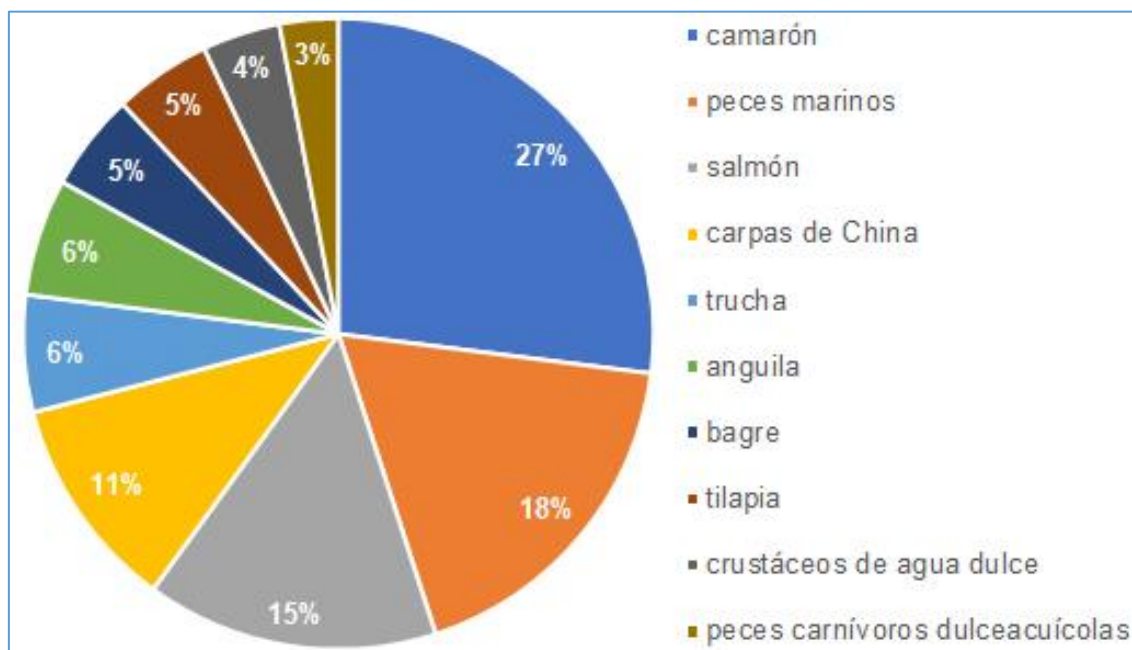


Figura 7. Uso mundial estimado de harina de pescado en piensos de acuicultura en 2006. Extraído de Tacon y Metian (2008).

A pesar de los aumentos en el consumo mundial total de HP por parte del sector de la acuicultura, los niveles promedio de su inclusión en la dieta dentro de los alimentos de acuicultura, han ido disminuyendo de manera constante (New y Wijkström 2002; Tacon y Metian 2008; WorldBank 2013; Tacon y Metian 2015; Turchini y col. 2019). Al igual que en los animales terrestres, las especies acuáticas de cultivo que se alimentan de forma natural en la parte inferior de la cadena alimentaria (la mayoría de las especies de ciprínidos herbívoros, tilapia y bagres omnívoros, todos peces de agua dulce) son más flexibles respecto uso de ingredientes alimentarios, y por lo tanto, son menos dependientes de la utilización de HP en la dieta que los camarones y peces carnívoros

(la mayoría de salmónidos, especies de peces marinos y todas las especies de peces diádromos) (Tacon y Metian 2008; Turchini y col. 2019).

Información actual sobre los requisitos de nutrientes por organismos acuáticos, junto con los avances en la tecnología de piensos, indica que las dietas de peces específicas se pueden producir mediante la sustitución parcial o total de las HP por otras proteínas vegetales y animales. Para mayor información de estudios realizados en el reemplazo de la HP por otro tipo de proteína, ver las revisiones realizadas por Daniel (2018), Gasco y col. (2018) y Turchini y col. (2019), entre otros.

Como se mencionó anteriormente, la HP también es utilizada como ingrediente en los piensos consumidos en animales de granja (Tabla 6)

Tabla 6. Incorporación de la harina de pescado en piensos a nivel mundial. Adaptado de Boyd (2015) y Tacon y Metian (2015)

Aplicación	HP (%)
Acuicultura	63-68
Cerdos	23-25
Aves de corral	7-8
Otros	2-4

Asimismo, el porcentaje de HP varía según la especie producida y acorde a sus requerimientos nutricionales (Tabla 7).

Tabla 7. Tasas típicas de inclusión de harina de pescado en las dietas de animales de granja. Adaptado de FIN (2000a, b, c, d).

Grupo de animales	Clase	Inclusión (%)
Cerdos	Lechones destetados	5-10
	Crecimiento	3-5
	Finalización	3
	Marrana	3
Aves de corral	Crianza pollitos	>3
	De engorde	2-5
	Ponedora	2
	Criador	1-5
	Pavo	3-10
	Faisán	3-7
Vacas	Al final del embarazo	2,5-10
	Lecheras lactantes	5-10
	Terneros	2,5-10
Ovejas	Ovejas reproductoras	Preñadas En lactancia
		2-7,5 5-10
	Corderos en crecimiento	2,5-10

Capítulo 6. Concentraciones de cadmio en peces, bivalvos y crustáceos

En esta sección se analizaron las concentraciones de Cd halladas en peces, bivalvos y crustáceos destinados para consumo humano, obtenidos tanto de cultivo como de capturas, informadas en publicaciones científicas de los últimos 20 años. De esta manera, se pretende evaluar la existencia de diferencias en el contenido de dicho metal, dadas las condiciones contrastantes de alimentación, crecimiento y ambiente entre ambos orígenes.

Por un lado, se recabó información de 20 publicaciones donde se determinó la concentración de Cd en músculo de peces de captura provenientes de diferentes cuerpos de agua marinos y dulceacuícolas: Océano Pacífico sur, Océano Atlántico norte y sur, Mar Mediterráneo, Mar Egeo, Mar de Noruega, Mar Adriático, Mar Báltico, Mar Negro, Mar Amarillo, Río Nilo (Egipto), Río Benue (Nigeria), Lago Taihu (China) y Lago Enne Dame (Turquía) (Falandysz 1988; Gerpe y col. 2000; Sivaperumal y col. 2007; Ikem y Egilla 2008; Storelli 2008; Uysal y col. 2009; Slavka y col. 2011; Akan y col. 2012; Chahid y col. 2014; Abdel-Mohsien y Mahmoud 2015; Mortuza y Al-Misned 2015; Shreadah y col. 2015; Zaza y col. 2015; Yi y col. 2017; Ziyaadini y col. 2017; Barriga-Sánchez y Pariasca 2018; Jiao y col. 2018; Kuplulu y col. 2018; Rajeshkumar y Li 2018; Milenkovic y col. 2019). Por otro lado, para el análisis de la concentración de Cd en músculo de peces de cultivo se utilizaron los valores hallados en 23 publicaciones de centros de cultivo ubicados en distintos países: Perú, México, Brasil, Chile, Estados Unidos, Canadá, Italia, Noruega, España, Portugal, Filipinas, Grecia, Irán, China, Corea, Montenegro, Palestina y Egipto (Páez-Osuna y Tron-Mayen 1996; Foran y col. 2004; Ciardullo y col. 2008; Cirillo y col. 2010; Cretì y col. 2010; Onsanit y col. 2010; Slavka y col. 2011; Tajiri y col. 2011; Lares y col. 2012; Lourenço y col. 2012; Elnabris y col. 2013; Jiang y col. 2014; Nøstbakken y col. 2015; Goutam y col. 2017; Perelonia y col. 2017; Barriga-Sánchez y Pariasca 2018; Hamada y col. 2018; Kim y col. 2019; Majlesi y col. 2019; Mwakalapa y col. 2019; Renieri y col. 2019; Girolametti y col. 2021). También se analizaron datos de concentración de Cd informados en músculo de crustáceos y bivalvos, en este último caso los valores corresponden al organismo entero.

Los datos recabados fueron clasificados según el ambiente donde se desarrolla cada grupo: marino o dulceacuícola, según grupo biológico: peces, bivalvos y crustáceos, y el tipo de alimentación: herbívoro, carnívoro y omnívoro. No se encontraron publicaciones informando concentraciones de Cd en peces marinos omnívoros.

En la Tabla 8 se muestran los valores medios de Cd en músculo de peces y crustáceos de captura y cultivo.

Tabla 8. Concentraciones medias de cadmio en músculo de peces y crustáceos y de bivalvos enteros, provenientes de captura y cultivo. Valores expresados como media $\pm$ desvío estándar (rango, n= número de datos). p.h.: peso húmedo

Ambiente	Grupo biológico	Tipo de alimentación	[Cd]* Captura mg/kg ph	[Cd] Cultivo mg/kg p.h.
Marino	Peces	Herbívoros	2,24 $\pm$ 0,42 (1,72-2,55; n=4)	sd
		Carnívoros	0,019 $\pm$ 0,08 (0,005–0,81; n=99)	0,01 $\pm$ 0,01 (0,001 – 0,021; n=38)
	Bivalvos	Filtradores	0,50 $\pm$ 0,65 (0,03–2,56; n=40)	0,20 $\pm$ 0,09 (0,02 - 0,34; n=19)
	Crustáceos	Filtradores	0,05 $\pm$ 0,02 (0,02–0,091; n=7)	0,02 $\pm$ 0,01 (0,009 – 0,019; n=7)
Dulcea- cuícola	Peces	Herbívoros	0,001 (n=2)	0,004 (n=1)
		Carnívoros	0,12 $\pm$ 0,30 (0,001-1,32; n=22)	0,08 $\pm$ 0,17 (0,001–0,5; n=8)
		Omnívoros	0,18 $\pm$ 0,33 (0,004–1,5; n=34)	0,02 $\pm$ 0,02 (0,0001–0,08; n=13)

* [Cd] Concentración de Cd
sd: sin datos

Para evaluar la existencia de diferencias en el contenido de Cd entre peces de captura y cultivo, se realizaron análisis estadísticos mediante el programa STATISTICA versión 10.0 (Statsoft, Inc.). Para determinar la presencia o ausencia de diferencias significativas se aplicaron pruebas paramétricas: test de t-Student y no-paramétricas: U Mann Wittney y Kruskal-Wallis (Zar 2014); el nivel de significación fue de 0,05. Previo a cada test aplicado, se chequeó la homocedasticidad de las varianzas mediante el test de Levene y la normalidad de los datos mediante el test de Kolmogorov-Smirnov. Debido al escaso número de datos para peces dulceacuícolas omnívoros (Tabla 8), no se pudieron determinar las diferencias estadísticas para esta categoría; así como tampoco pudo llevarse adelante este análisis para peces marinos herbívoros, debido a que sólo se obtuvieron datos de captura.

En la Tabla 9 se muestran los resultados del análisis estadístico, donde se puede observar que en general los organismos de captura presentan concentraciones de Cd significativamente superiores o similares a los provenientes de cultivo. Para ninguna categoría se observaron concentraciones de Cd superiores en peces de cultivo, lo cual concuerda con lo reportado por numerosos autores (Foran y col. 2004; Ureña y col. 2007; Minganti y col. 2010; Taravati y col. 2012; Heshmati y col. 2017; Hamada y col. 2018; Mwakalapa y col. 2019; Girolametti y col. 2021). Lo mismo ocurre para bivalvos y crustáceos, sin embargo, hay que mencionar que en el caso de los bivalvos los datos presentaron una gran dispersión.

Por otra parte, el contenido de Cd en peces de cultivo fue inferior al límite máximo permitido (LMP= 0,1 mg/kg peso húmedo) establecido para consumo humano, así como tampoco se superaron los correspondientes límites para bivalvos (LMP= 2 mg/kg peso húmedo) estipulados por la Organización Mundial de la Salud (WHO, por su denominación en inglés, World Health Organization) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por su denominación en inglés, Food and Agricultural Organization) (FAO/WHO 1995). Esto sugiere que la toxicidad del Cd a través del consumo de pescado de cultivo no constituye una preocupación para la salud humana.

6. Concentraciones de cadmio en peces, bivalvos y crustáceos

Tabla 9. Comparación de la concentración de Cd entre organismos de captura vs de cultivo, dentro de cada grupo biológico y para los diferentes ambientes. gl: grados de libertad.

Ambiente	Grupo biológico	Test –t	Mann-Whitney U test	Significancia: [Cd] Captura>[Cd] Cultivo
Marino	Peces carnívoros	t: 2,12; p: 0,0357; gl: 135	x	Si
	Bivalvos	x	Z: 0,84; p: 0,39	No
	Crustáceos	t: 2,24; p: 0,048; gl: 10	x	Si
Dulcea-cuícula	Peces carnívoros	t: 0,39; p: 0,69; gl: 28	x	No
	Peces omnívoros	x	Z: 3,008; p: 0,0026	Sí

Capítulo 7. Límites Máximos Permitidos de cadmio en productos de la pesca

En las Tablas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 (Anexo I. , se pueden observar los Límites Máximos Permitidos (LMP) de Cd para diferentes categorías dentro de los Productos de la Pesca. Las concentraciones máximas permitidas según las legislaciones por países corresponden a la categoría de MOLUSCOS, tanto para los bivalvos como para los cefalópodos. El Código de Australia (F2015C00052), el CODEX (FAO/WHO 1995) *enmienda 2015*, los Estándares de China (GB 2762-2017) y el Código Alimentario Argentino (CAA 2017), coinciden en el valor de 2 mg/kg. Por otro lado, la Regulación de la Unión Europea (UE 488-2014) y la de Tailandia (FIQD. 66/2003) poseen un límite inferior a 1 mg/kg.

Para el producto CRUSTÁCEOS, las cuatro normativas que regulan el contenido de cadmio (UE, China, CAA y Tailandia) coinciden en el valor 0,5 mg/kg.

Ni el Código de Australia ni el CODEX presentan LMP de Cd en PESCADOS o sus PRODUCTOS.

En la categoría CARNE de PESCADO, UE, China y CAA, regulan sus niveles máximos en 0,05, 0,1 y 0,05 mg/kg, respectivamente. Otro pescado como la anchoa, es admitido en China con un valor superior de Cd de 0,3 mg/kg, agrupando además en esta categoría, a los productos del pez vela. En el caso de la UE, en el cual el Cd presenta un límite superior de 0,25 mg/kg, la anchoa se asocia con el pez espada y la sardina, mientras que en el CAA lo hace con el pez espada solamente y posee un LMP de 0,30 mg/kg. En Tailandia, esta misma especie se encuentra agrupada en la categoría con especies tales como caballa, sardina y acedía, siendo su nivel máximo fijado en 0,10 mg/kg. El contenido máximo permitido de 0,10 mg/kg de cadmio, es el que la UE y el CAA establecen también para caballa y atún.

Las conservas de pescado según la legislación China admiten valores máximos de contenido de Cd entre 0,2 y 0,3 mg/kg.

Finalmente, la normativa de Tailandia establece una categoría denominada PRODUCTOS DE PESCADO (sin especificar cuáles), a la cual le fija un máximo en 0,05 mg/kg.

En la Figura 8 se presentan los LMP de Cd en Productos de Pescado, de manera comparativa entre países, por especie y por legislación.

7. Límites máximos permitidos de cadmio en productos de la pesca

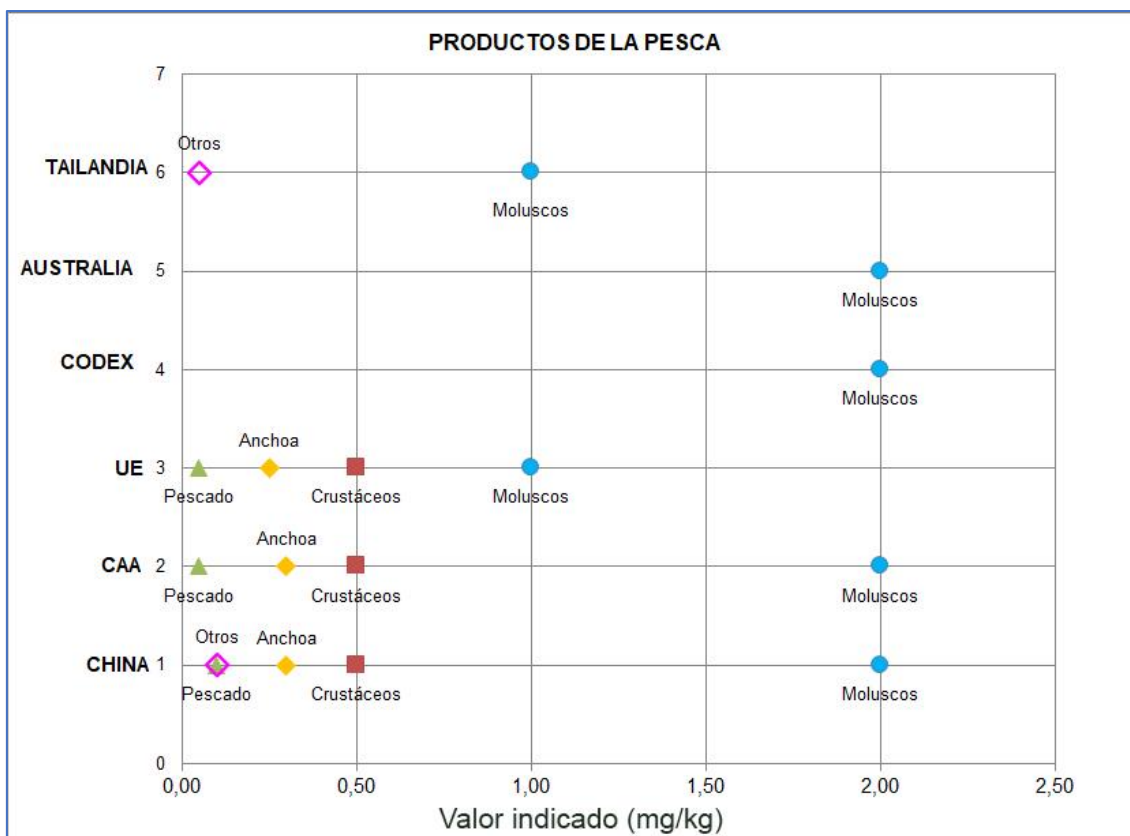


Figura 8. Límites Máximos Permitidos (mg/kg) en productos de la Pesca en distintos países - autoridades sanitarias. Valor indicado: puede referirse a valores máximos o límites máximos permitidos, nivel guía o nivel de alarma, niveles recomendados o niveles de protección, dependiendo de la ley y país que corresponda.

Límites Máximos Permitidos de cadmio en carnes

Para los PRODUCTOS CÁRNICOS, las diferentes legislaciones establecen un máximo de Cd de 0,05 mg/kg, exceptuando China que permite hasta 0,1 mg/kg. Para vísceras como riñón, las legislaciones establecieron un máximo de 1 mg/kg de Cd, excepto la legislación de Nueva Zelanda que permite hasta 2,5 mg/kg. Lo mismo ocurre para la carne de hígado, en el cual las legislaciones permiten hasta 0,5 mg/kg y la legislación de Nueva Zelanda permite hasta 1,25 mg/kg de Cd. En la Figura 9 se presentan los LMP de Cd en carnes de ANIMALES DE GRANJA, de manera comparativa entre países, por especie y por legislación.

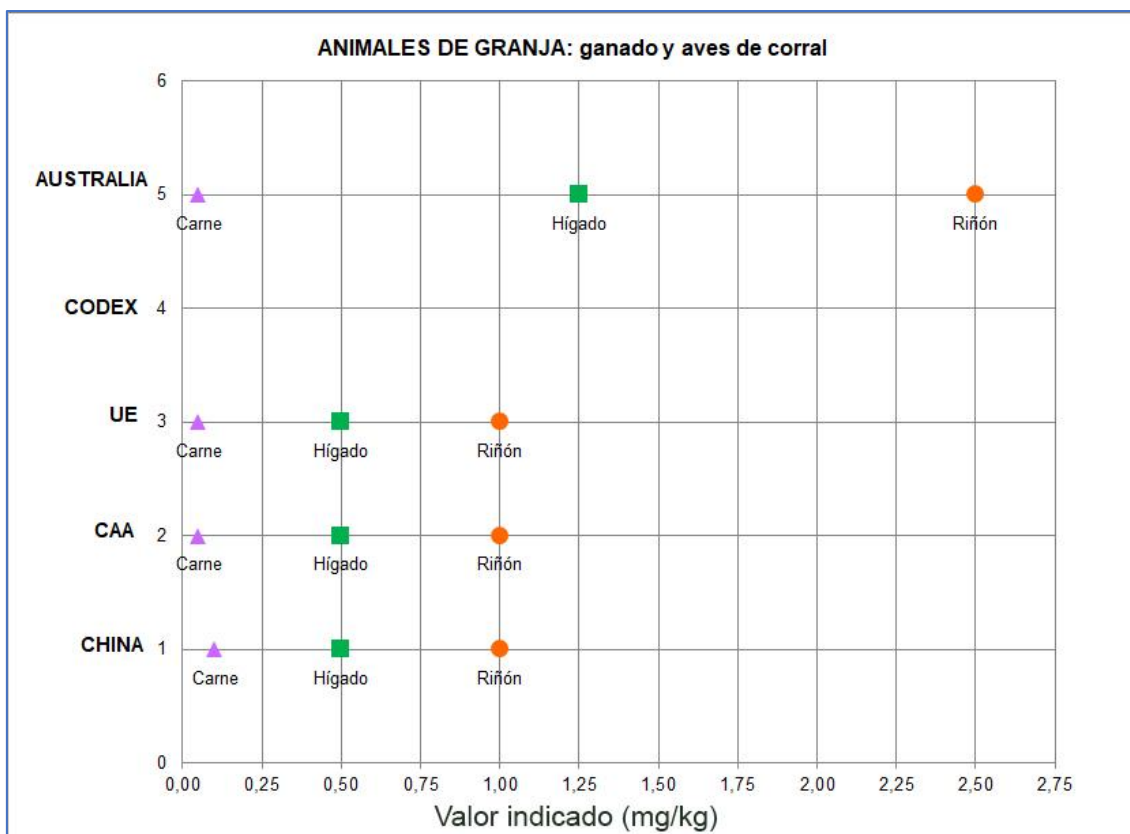


Figura 9. Límites Máximos Permitidos (mg/kg) en carnes de animales de granja. Valor indicado: puede referirse a valores máximos o límites máximos permitidos, nivel guía o nivel de alarma, niveles recomendados o niveles de protección, dependiendo de la ley y país que corresponda.

Límites Máximos Permitidos de cadmio en otros ítems alimenticios: cereales, vegetales y otros

En el caso de los CEREALES (arroz, trigo y cereales en general), la legislación establece rangos de Cd comprendidos entre 0,10 y 0,20 mg/kg, excepto el CAA y la legislación de Nueva Zelanda que permiten hasta 0,40 mg/kg en cereales como arroz.

En la Figura 10 se presentan los LMP de Cd en CEREALES, de manera comparativa entre países, por especie y por legislación.

Los VEGETALES, en general se dividen en: vegetales de hoja, tubérculos y raíces, tallos y brotes, de bulbo, de fruto.

Excepto para los vegetales de bulbo y de fruto, el LMP según diferentes legislaciones, es de 0,1 mg/kg.

En particular los hongos varían desde 0,05 y 1 mg/kg, siendo el LMP el de la Unión Europea.

Para las LEGUMBRES (exceptuando la soja, 0,2 mg/kg) el límite es de 0,1 mg/kg.

En lo que respecta a FORMULACIONES, los límites se encuentran entre 0,05 y 0,1 mg/kg para fórmulas de proteína de leche animal, entre 0,1 y 0,2 mg/kg para formulaciones a base de soja o soja en combinación con proteína de leche animal, 0,04 mg/kg para formulaciones de cereales infantiles y 1 mg/kg para formulaciones de suplementos. Específicamente la UE establece un límite máximo de 3 mg/kg para suplementos a base de algas y/o moluscos desecados.

7. Límites máximos permitidos de cadmio en productos de la pesca

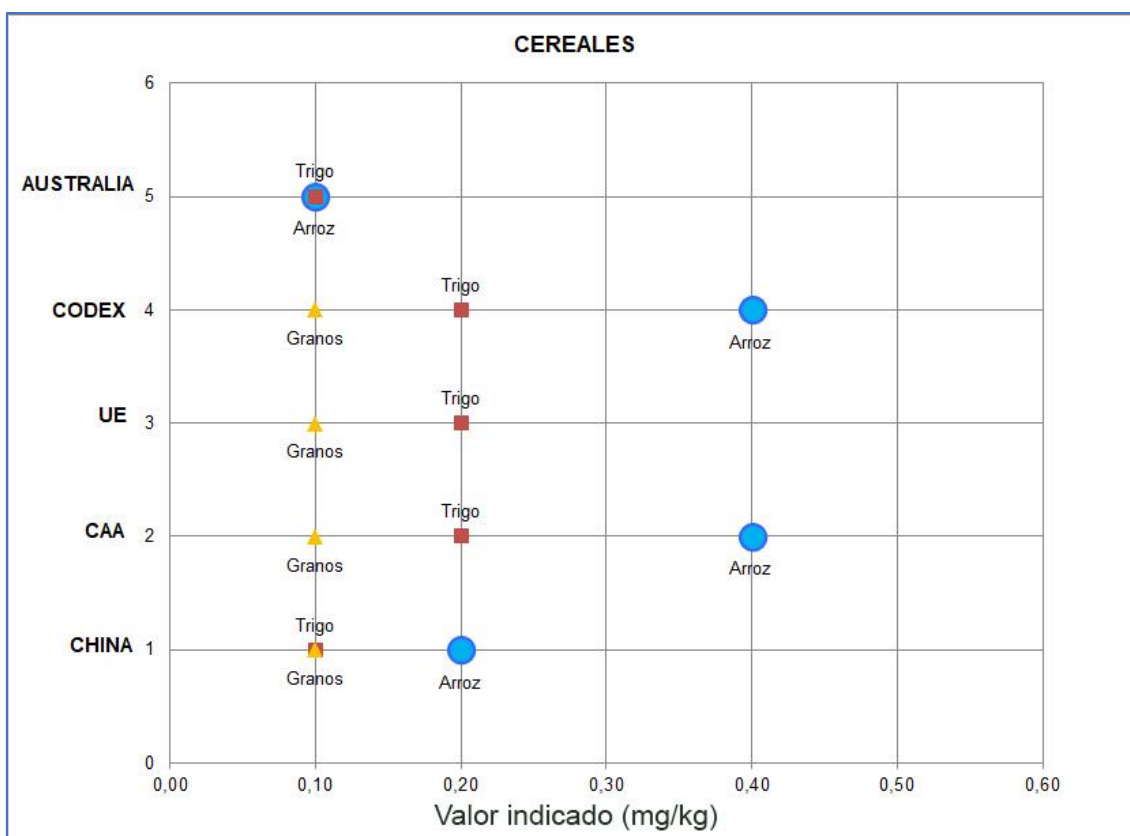


Figura 10. Límites Máximos Permitidos en cereales. Valor indicado: puede referirse a valores máximos o límites máximos permitidos, nivel guía o nivel de alarma, niveles recomendados o niveles de protección, dependiendo de la ley y país que corresponda.

Los CONDIMENTOS en general admiten un máximo de 0,5 mg/kg y los productos a base de CACAO varían entre 0,1 y 0,8 mg/kg, dependiendo la proporción de sólidos de cacao en su composición.

Para PRODUCTOS LÁCTEOS los límites de Cd establecidos en el CAA varían desde 0,05 mg/kg para leches y crema de leche, y hasta 0,5 mg/kg para quesos, mientras que para productos helados los límites varían entre 0,01 y 0,05 mg/kg.

En lo que se refiere a BEBIDAS, la legislación china establece un máximo de 0,003 mg/kg para el agua mineral, mientras que el CAA establece un rango de 0,01 y 0,05 mg/kg, siendo el mínimo correspondiente al vino y el máximo correspondiente a jugos de frutas.

Para INFUSIONES tipo té, yerba y café, la legislación argentina establece un rango entre 0,1 y 0,4 mg/kg.

Por último, el CAA también estableció un límite máximo de Cd en MIEL de 0,1 mg/kg.

La legislación de China y la UE no contempla LMP para LECHES y productos derivados, mientras que sí lo considera el CAA. La legislación de China no contempla LMP para otras bebidas distintas del agua mineral.

Capítulo 8. Evaluación de riesgo

Fundamentos y Marco Conceptual

Para llevar a cabo una Evaluación de Riesgo (ER) se debe considerar que las rutas alimentarias representan una vía de exposición importante para los metales como el Cd (Choudhury y col. 2001). Para la estimación de la ingesta de metales a través de los alimentos, no sólo se requiere información sobre sus concentraciones sino también es fundamental contar con una estimación de las cantidades de alimentos consumidas (NAS/IOM 2003).

Debido a la diversidad de la dieta humana, puede haber una gran variabilidad en la ingesta de algunos alimentos (por ej., los mariscos), lo que resulta en una variabilidad temporal en la incorporación de metales (por ej., picos de concentración después de una comida con mariscos), que sumado a una variabilidad geográfica y cultural lleva a la necesidad de realizar evaluaciones de riesgo específicas para cada grupo de individuos (USEPA 2007).

Una herramienta ampliamente utilizada para visualizar las complejas relaciones entre la exposición dietaria a los metales y los receptores humanos son los Modelos Conceptuales (MC).

En una ER, los MC aplicados a los estudios de riesgo toxicológico son representaciones de los medios hipotéticos por los cuales una actividad o un conjunto de actividades pueden aportar sustancias con efectos negativos potenciales sobre los receptores a evaluar. Estos MC permiten resumir la formulación de un problema en términos de las relaciones causa-efecto, dado que vinculan las fuentes con los receptores. Además, ayudan a conducir a través de un diagrama de flujo el proceso de la ER y constituyen una herramienta comunicacional de gran utilidad.

El desarrollo de los MC en el contexto de una ER es crítico para determinar las diferentes rutas y vías de exposición, tanto directas como indirectas, tanto reales como potenciales, a fin de prever los posibles efectos de los contaminantes sobre la salud humana (o grupos particularmente vulnerables) y sobre el ambiente. Con el fin de disminuir las incertidumbres que se generan a niveles aceptables, es necesario identificar primero claramente todas las rutas y vías de exposición.

Los MC consisten en un diagrama, generalmente en forma de un diagrama de flujo, y un texto explicativo adjunto. Estos diagramas pueden contener flechas bidireccionales, las cuales representan el hecho que las funciones de transición se pueden aplicar de manera prospectiva (es decir, de izquierda a derecha, para determinar los riesgos asociados con una carga o exposición determinada) o de manera retrospectiva (de dirección de derecha a izquierda, para determinar la carga o exposición asociada con un nivel predeterminado de riesgo). Esto último se suele realizar para generar criterios de calidad humana y ecológica expresados como concentraciones en distintas matrices (USEPA 2007).

Las primeras versiones de los modelos que se desarrollan en una ER, generalmente se basan en información limitada o incompleta. Los MC permiten identificar y resaltar las incertidumbres, que constituyen una necesidad de generación de información a fin de minimizarlas. Las incertidumbres que no pueden ser resueltas, deben ser transformadas en factores a tomar en consideración. Por lo cual, estos modelos se usan para integrar toda la información, determinar los datos faltantes y si es necesario, obtener información

adicional específica y facilitar el proceso de toma de decisiones sobre una problemática en estudio.

En resumen, el MC considera una serie de hipótesis de trabajo sobre cómo el metal en cuestión puede vincularse *mecánicamente* desde las fuentes hasta la entidad biológica evaluada. Integra las distintas rutas que convergen y podrían inducir efectos adversos en los seres humanos o en los sistemas ecológicos. Estas hipótesis se examinan mediante análisis de datos, modelos u otras herramientas predictivas para determinar el riesgo asociado.

El análisis de las dietas de los seres humanos, y otros animales con diferente rol en las tramas tróficas, demuestra que las dietas generalistas son diversas en función de la disponibilidad de alimentos, y en el ser humano en particular, dependerá de sus costumbres y nivel socioeconómico, entre otros factores. Un ejemplo claro de la utilidad de los MC, es cuando son empleados para analizar la exposición a metales pesados por la dieta, ya que la transferencia trófica puede generar numerosas rutas para la exposición a los mismos. Por lo tanto, en la construcción del MC se debe ver reflejada la variabilidad en la ingesta de los metales debido a éstos y otros factores.

Descripción del Modelo Conceptual para el cadmio

Las vías clásicas del riesgo toxicológico para el ser humano incluyen las vías de ingreso inhalatoria, dérmica y oral (Klaassen 2019). Nos centraremos en esta última dado que podemos vincularla con la HP como fuente de Cd, aunque existen reportes de relevancia de otras vías (Nordberg y col. 2007), pero no podemos asociarlas con el objetivo de la evaluación. Adicionalmente, existe evidencia de varios estudios donde se pudo comprobar que la ruta de exposición de mayor relevancia es la ingesta de alimentos (He y col. 2013; Klaassen 2019; Du y col. 2020). Por estas razones, en el MC propuesto se abordó solo la ruta dietaria y, paralelamente, se clasificó según la asociación de los distintos tipos de alimentos con la fuente potencial de interés. De esta manera, se generaron tres grupos:

- **Rutas A** - Convergen en los Productos Acuáticos (PA) para consumo humano.
- **Rutas B** - Convergen en los Productos Animales de Cría (PAC), excluyendo los PA, para consumo humano.
- **Rutas C** - Converge en los Productos Alimentarios, excluyendo los PA y los PAC, que podrían aportar Cd a la dieta.

En la presente ER se abordó la ruta dietaria, la cual permite vincular la HP como fuente potencial de Cd al ser humano. Dentro del MC (Figura 11), las Rutas A y B consideran componentes que se pueden vincular de manera directa con la HP.

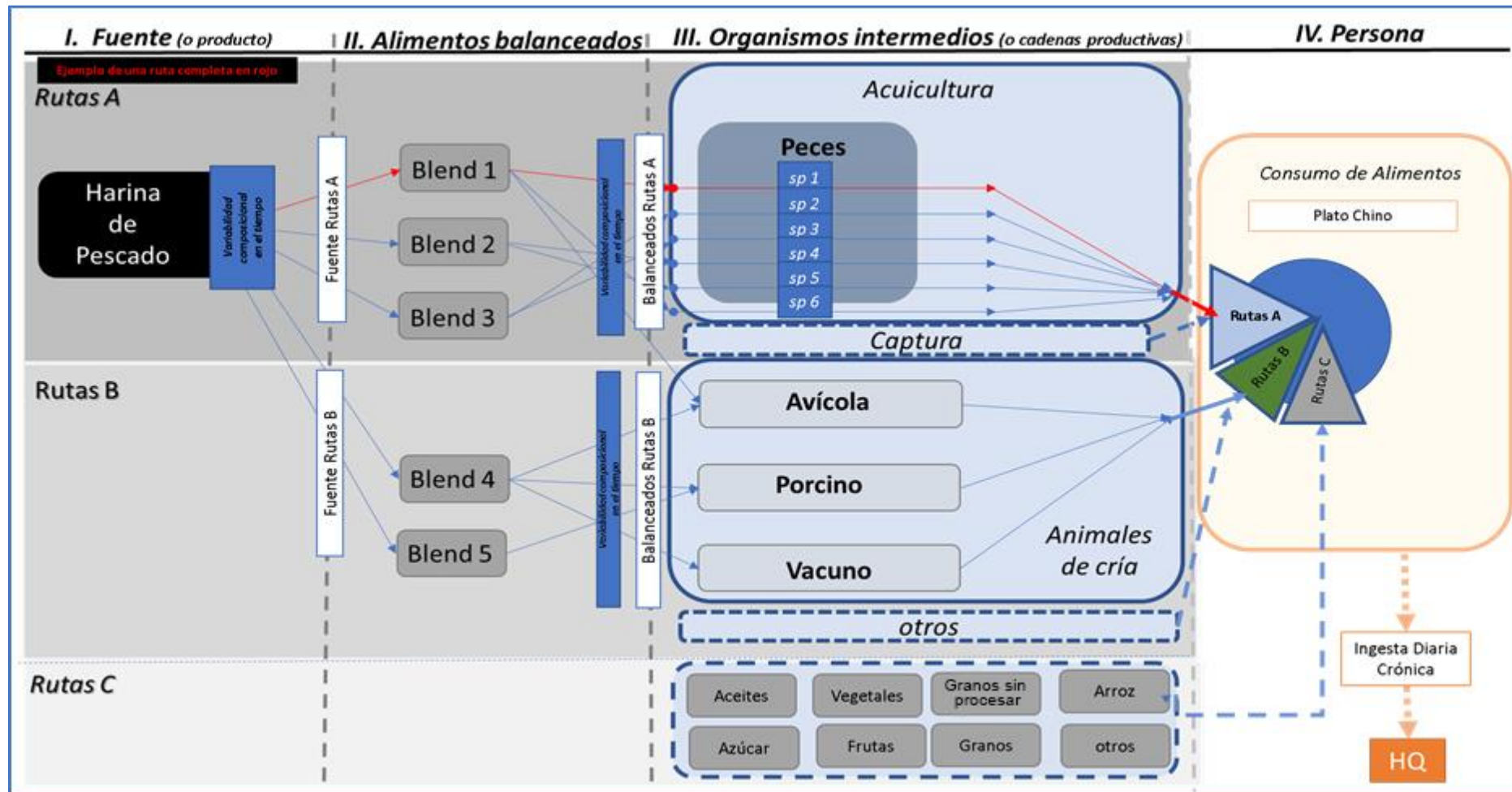


Figura 11. Modelo Conceptual para la Evaluación de Riesgo de cadmio en harina de pescado. HQ: Hazard Quotient.

Objetivo 1. Establecer el consumo de alimentos promedio de la dieta china para determinar la exposición a cadmio por la ingesta de alimentos.

A partir de las siguientes preguntas sobre la población de China, se realizó una búsqueda bibliográfica para realizar las hipótesis y estimaciones necesarias para la formulación del modelo del riesgo:

- ¿Existe variación en la dieta entre las distintas jurisdicciones administrativas de China?
- ¿Existe variación en la dieta con la edad?
- ¿Qué criterios se emplearán para clasificar a los grupos etarios y estimar el riesgo dietario?
- ¿Cuál es el peso corporal promedio de cada grupo etario?
- ¿Existen variaciones del peso corporal de acuerdo al sexo en cada grupo etario?
- ¿Existen diferencias dietarias entre la población urbana y rural?

Los datos oficiales publicados por la Oficina Nacional de Estadísticas de China ([Anexo II - Tabla 1](#)) permiten acceder al número de habitantes por región, proporción según edad/sexo (Figura 11) y también brinda información de la ingesta anual segregado en categorías de alimentos de las 31 jurisdicciones administrativas (China 2018)

Se consideraron 16 categorías de alimentos en función de los datos de consumo obtenidos a partir del censo chino realizado en el año 2018 ([Anexo III- Tabla 1](#)). Para estimar el consumo de la categoría “arroz”, que estaba agregada en la categoría “granos sin procesar”, se consideró que corresponde al 72,5 % del consumo de los mismos (Song y col. 2017).

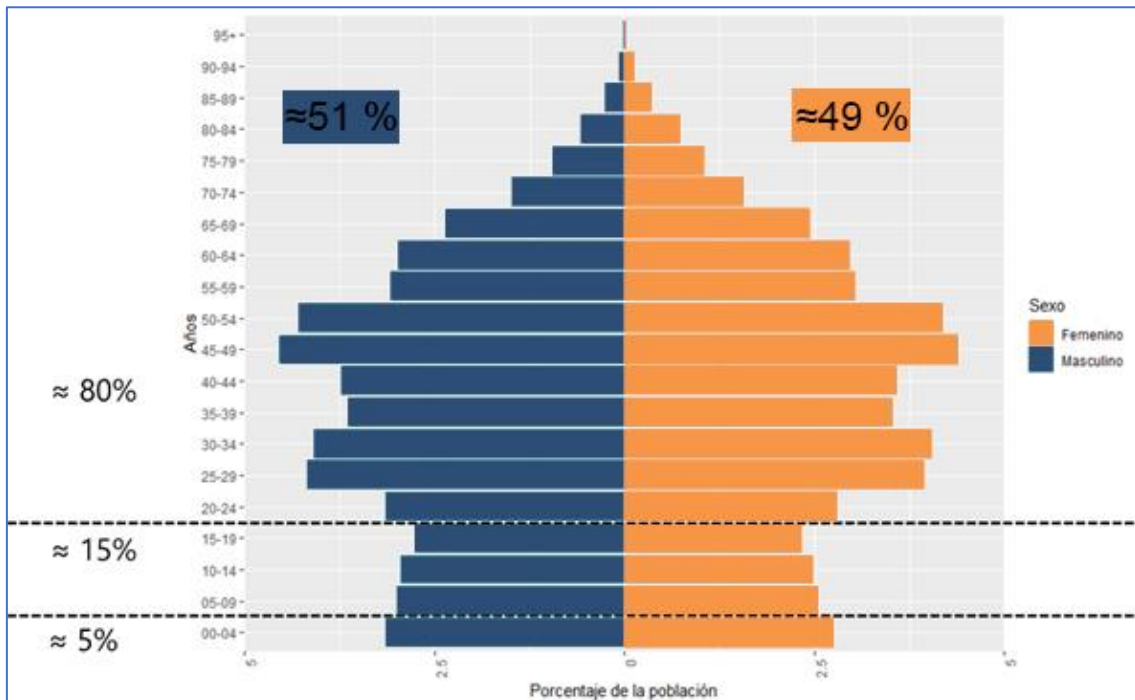


Figura 12. Pirámide etaria en función del sexo. Los porcentajes a la izquierda (números en color negro) hacen referencia a las tres franjas etarias utilizadas en la evaluación. (<5, 5-19, ≥ 20 años). Los porcentajes en color azul y naranja indican la proporción masculina y femenina respectivamente. Extraído de China (2018).

Al analizar la ingesta anual *per cápita*, se observó que existen diferencias relevantes entre provincias en lo que respecta a hábitos alimenticios. Por esta razón, se trabajó en una estimación promedio del plato chino a nivel nacional y en paralelo, se utilizaron los datos de las distintas provincias para incorporar la variabilidad y el estudio de zonas calientes para riesgo toxicológico según se presentará en el Objetivo 2. Es decir, se consideraron las diferencias en la ingesta de los distintos productos alimenticios, de acuerdo con los diferentes hábitos de consumo de cada provincia.

Además de la variabilidad geográfica asociada con el número de habitantes de cada provincia (Figura 13), se observa una marcada diferencia en la ingesta anual de las categorías de alimento según se trate de población rural o urbana (Figura 14, [Anexo II - Tabla 1](#)). Esto último es concordante con la información bibliográfica relevada (Leppman 1999; Cao y col. 2013; Zhang y col. 2016). De esta manera, fue necesario analizar los datos considerando la proporción general de la población urbana y rural en la ingesta de alimentos y fueron considerados como grupos separados para los cálculos.

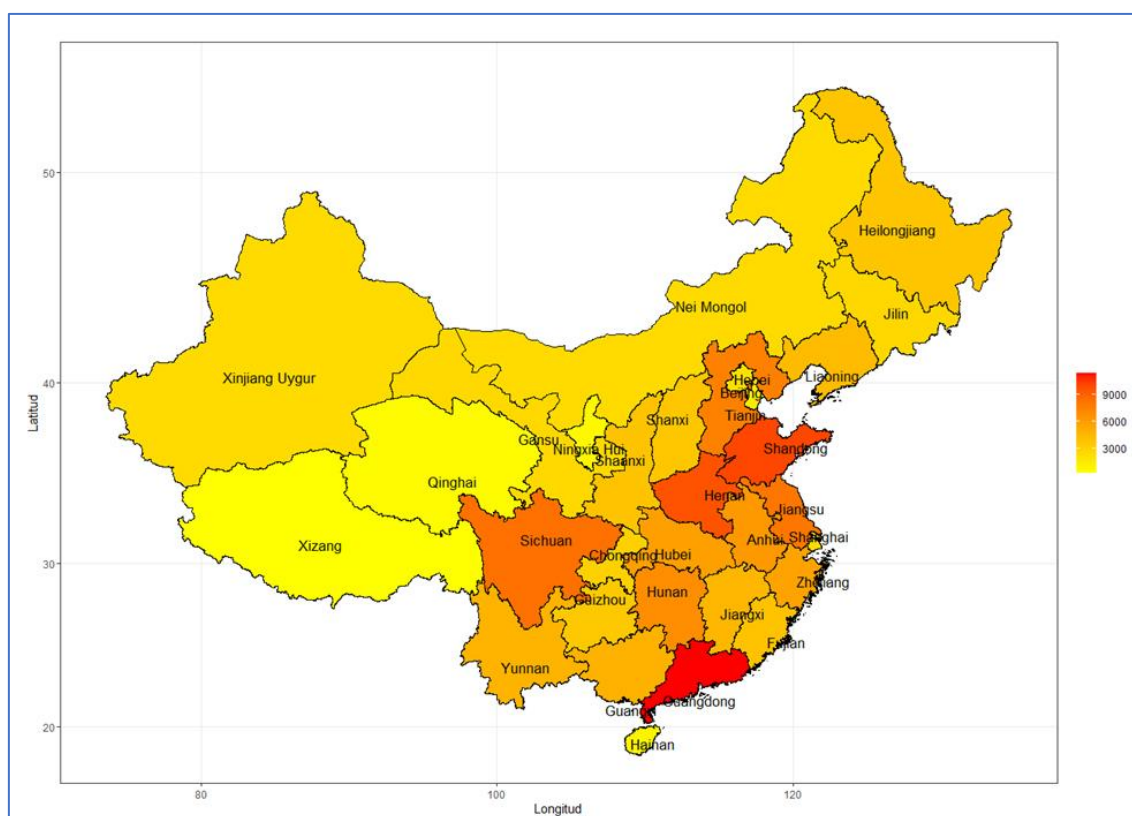


Figura 13. Mapa del número de habitantes (x10000) por cada jurisdicción de China. Extraído de China (2018)

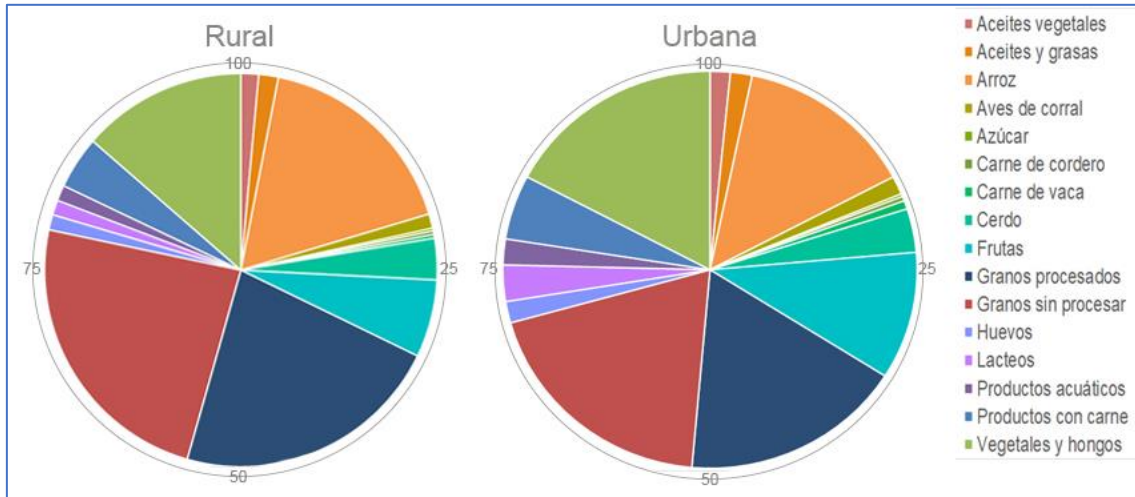


Figura 14. Proporción de las categorías de alimentos en la dieta de la población rural y la urbana de China. Adaptado de China (2018)

En primera instancia, se trabajó en una fórmula inicial para la estimación del plato promedio chino a partir de la población total. La ingesta teórica por persona y el porcentaje que representan se observa en la Tabla 10.

Tabla 10. Ingesta y porcentaje de las Rutas para la población urbana y rural.

Rutas	Ingesta kg alimento/año.persona			Ingesta alimento/persona (%)		
	Urbano	Rural	Promedio	Urbano	Rural	Promedio
A	14,30	7,80	11,1	2,84	1,51	2,2
B	104,60	85,80	95,2	20,80	16,58	18,7
C	384,10	423,74	403,9	76,36	81,91	79,1

Objetivo 2. Construir a partir de la bibliografía la ingesta teórica estimada de cadmio por alimentos

De acuerdo con los datos publicados, se estableció como ingesta diaria admisible para cadmio la dosis de referencia (DRf) de 1×10^{-3} mg Cd/kg PC.día (USEPA 1986). No se trabajó con los niveles máximos permitidos debido a que existen variaciones entre países, agencias regulatorias y entre productos para cada uno de los alimentos de la dieta, tampoco se incluyó masa de cadmio por ingesta de agua o de bebidas. Estas decisiones se fundamentan en que el proceso de estimación del riesgo, en este caso, consiste en un proceso deconstructivo a partir de la fórmula de estimación de la dosis de referencia con la cual se trabajó y se detalla a continuación (ecuación 1).

Se trabajó a partir de la fórmula clásica para el cálculo de dosis de referencia en el caso de ingesta crónica diaria para riesgo no carcinogénico.

$$DRf = \frac{C.TI.FI.DE}{PC.TEE} \quad (1)$$

Donde, DRf= dosis de referencia (mg Cd/kg PC. día); C= concentración de Cd en el alimento (mg/kg); TI= tiempo de exposición (días/año); FI= frecuencia de ingesta del alimento (kg/día); DE = duración de la exposición (años); PC= peso corporal (kg); TEE= tiempo específico de exposición (días, se estiman 30 años para adulto en riesgo no carcinogénico).

Dentro de las variables biométricas de la población china consideradas en la evaluación (Tabla 11), los infantes con edad < 5 años no fueron considerados (≈5 % de la población total, Figura 11) porque existe una alta incertidumbre respecto a los datos biométricos y de dieta.

Tabla 11. Variables biométricas de la población china utilizadas para la evaluación. Valores de peso corporal promedio expresados como media ± desvío estándar.

Grupo etario	Sexo	Rango de edades (años)	Peso corporal promedio (kg)	Referencia
Niño-joven	Masculino	5-19	45,05±8,50	(Wang y col. 2012)
Niño-joven	Femenino	5-19	40,24±6,46	
Adulto	Masculino	≥ 20	63,8±13,9	(Yap y col. 2001)
Adulto	Femenino	≥ 20	54,1±11,0	

Si bien se estimó el riesgo para el grupo etario de 5 a 19 y a partir de 20 años, debido a que en las publicaciones no se observaron diferencias significativas en los hábitos alimentarios entre estos dos grupos, en el modelo final se consideró la variación provincial, pero uniforme para ambas categorías (estas dos franjas etarias representan el ≈95% del total de la población, Figura 11).

Dado que se dispone de los datos de ingesta anual de los distintos grupos alimentarios a partir del censo ([Anexo III - Tabla 1](#)), se reemplazó el producto (TIxFIXDE) de la ecuación (1) y se refirió toda la ecuación a la dosis de referencia anual (DRf_{anual}) es decir 0,365 mg Cd/año.kg PC ([Anexo III - Tabla 1](#)).

En síntesis, la cantidad de Cd anual por kilogramo de peso corporal proveniente de la dieta puede expresarse a partir de la DRf_{anual} de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$0,365 = \frac{\sum_{i=1}^n Ci. Mi}{PC} \quad (2)$$

Donde el término de tiempo de exposición y la frecuencia diaria de ingesta no aparecen en la fórmula final, ya que se considera la exposición total anual y por lo tanto una DRf_{anual}. Con el mismo criterio, la duración de la exposición y tiempo específico de exposición también son excluidos en la fórmula final, ya que es carente de sentido asumir un periodo vital de exposición, debido a que se trabaja con riesgo a partir de datos anualizados y no se considera riesgo carcinogénico; y además, se considera toda la ingesta dietaria que incluye 95% de la pirámide poblacional. Cabe aclarar, que la ecuación (2) se aplica a cada jurisdicción y a cada grupo etario, donde *i* representa el tipo de alimento, *Ci* la concentración de Cd en cada tipo de alimento (Tabla 12), *Mi* la cantidad ingerida en kg por individuo por año ([Anexo III - Tabla 1](#)) y *PC* representa el peso corporal promedio de cada grupo etario y de acuerdo con su género (Tabla 11).

Las concentraciones de Cd en los distintos alimentos (*C_i*) fueron estimadas a partir de trabajos científicos publicados en revistas internacionales con revisión por pares. A partir de los mismos, se seleccionaron los valores de concentraciones de Cd en alimentos (Tabla 12) según criterios de representatividad geográfica de las muestras, tamaño muestral e información de QA/QC (por su denominación en inglés, Quality Assurance / Quality Control) de los métodos analíticos (ver sección 2 de este informe) empleados en cada determinación.

Tabla 12. Tabla de concentraciones de cadmio expresada en mg Cd/kg de alimento. Valores expresados como media $\pm$ desvío estándar.

Alimento	<i>C_i</i> =[Cd] mg/kg	Fuente
Arroz	0,0620 $\pm$ 0,128	Song y col. (2017)
Granos sin procesar	0,0145 $\pm$ 0,022	Song y col. (2017)
Granos de cereales	0,0180 $\pm$ 0,014	Zhong y col. (2015)
Aceites y grasas comestibles	0,0010 $\pm$ 0,003	Chen y col. (2014); He y col. (2013)
Aceites vegetales comestibles	0,0010 $\pm$ 0,003	Chen y col. (2014)
Vegetales y hongos comestibles	0,0340 $\pm$ 0,135	Song y col. (2017)
Productos con carne	0,0090 $\pm$ 0,031	Song y col. (2017)
Cerdo	0,0105 $\pm$ 0,017	He y col. (2013); Liang y col. (2019)
Carne de vaca	0,0098 $\pm$ 0,005	Liang y col. (2019); Zhang y col. (2018)
Carne de cordero	0,0100 $\pm$ 0,004	Liang y col. (2019)
Aves de corral	0,0070 $\pm$ 0,018	Song y col. (2017)
Productos acuáticos	0,2583 $\pm$ 0,199	Song y col. (2017)
Huevos	0,0075 $\pm$ 0,020	Song y col. (2017)
Leche y productos lácteos	0,0040 $\pm$ 0,006	Song y col. (2017)
Frutas y melones secos y frescos	0,0040 $\pm$ 0,009	Song y col. (2017)
Azúcar	0,0390 $\pm$ 0,035	Song y col. (2017)

En función de la ingesta media en cada jurisdicción ([Anexo III - Tabla 1](#)) y la concentración media de Cd (Tabla 12), se estimó la ingesta relativa del metal asociada a cada tipo de alimento (Figura 15). Se observó que aproximadamente el 90 % del Cd de origen alimentario puede asociarse con la ingesta de arroz, granos procesados, vegetales/hongos y productos acuáticos (Figura 15, [Anexo III - Tabla 1](#)). El aporte de Cd a través de los productos acuáticos es significativamente diferente entre la población urbana (24 %) y la rural (13 %).

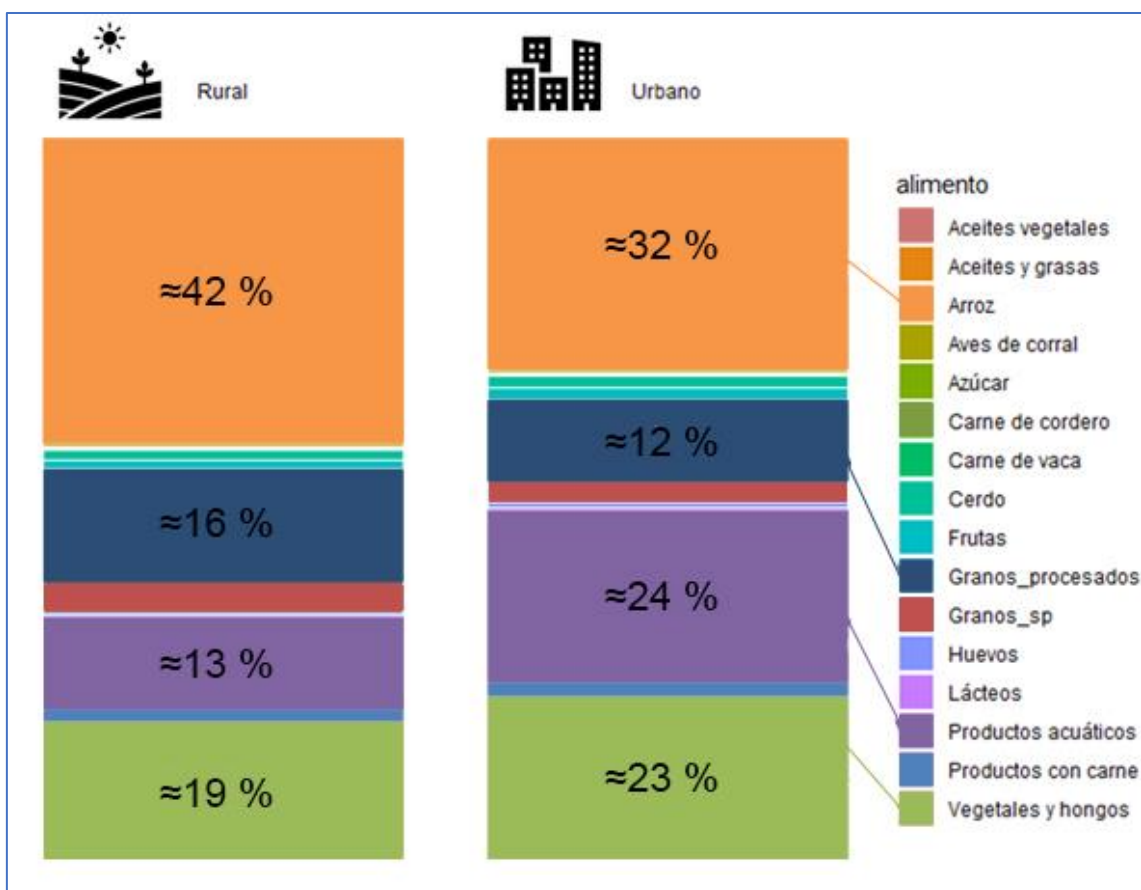


Figura 15. Ingesta relativa de cadmio según tipo de alimento para la población china rural y urbana.

Cuando se integra el aporte de mg Cd/año por persona (Tabla 13), se observa que, de las rutas asociadas con la HP, las Rutas A son las que tienen mayor contribución (Figura 16) ([Anexo III - Tabla 1](#)).

Tabla 13. Ingesta de cadmio anual (mg Cd/año) y relación porcentual en las 3 Rutas por las poblaciones urbana y rural. PAC: Productos Animales de Cría

Rutas	Ítem	Ingesta mg Cd/año			Ingesta mg Cd/año (%)		
		Urbano	Rural	Promedio	Urbano	Rural	Promedio
A	Productos Acuáticos (PA)	3,69	2,01	2,85	23,90	12,95	18,40
B	Productos Animales de Cría (PAC) (Excluye PA)	0,79	0,67	0,73	5,08	4,28	4,70
C	Productos Alimentarios (Excluye PA y PAC)	10,98	12,87	11,92	71,02	82,76	76,9

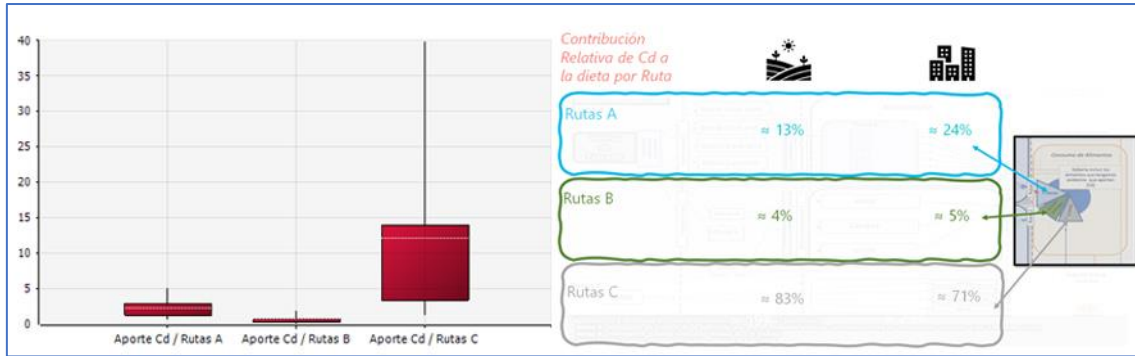


Figura 16. Aporte a la exposición dietaria (mg Cd/año) para las tres Rutas (izquierda) y contribución relativa Urbana/Rural (derecha).

Objetivo 3. Estimar la Ingesta Diaria de cadmio proveniente de las Rutas A (Productos Acuáticos (PA))

Para incluir la variabilidad de la ingesta de PA en función del tipo de población y ubicación geográfica (Figura 17), se calculó el consumo en cada provincia de manera discriminada para las poblaciones rural y urbana.

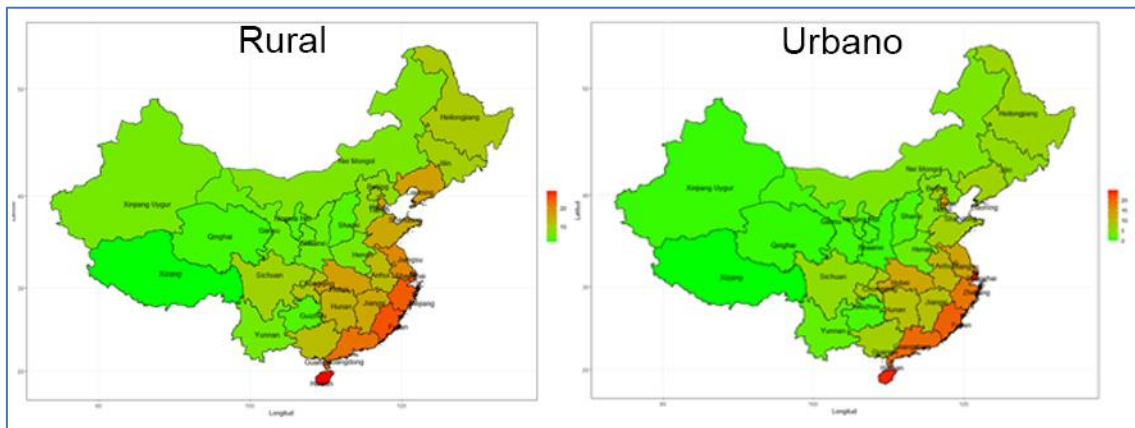


Figura 17. Consumo (kg/año) de Productos Acuáticos (Rutas A) por provincia.

En esta etapa se descompuso la sumatoria de la ecuación (2) en dos términos como muestra la ecuación (3): donde “ac” representa la suma de todos los productos acuáticos que incluyen los provenientes de aguas dulceacuícolas y marinas, tanto de peces de captura como de cultivo, “pac” la diferencia entre la ingesta de todas las categorías alimentarias y productos acuáticos y n representa el número total de categorías de alimentos consideradas en esta evaluación. Referimos a C como la concentración en mg/kg y M a la masa en kg consumida en un año.

$$0,365 = \frac{\sum_{i=ac=1}^n Ci - pac.Mi - pac + \sum_{ac=1}^n Cpac.Mpac}{PC} \quad (3)$$

$$Cpac(*) = \frac{0,365.PC - \sum_{i=ac=1}^n Ci - pac.Mi - pac}{\sum_{i=1}^n Mi} \quad (4)$$

(*)=provincial para cada edad

Donde: *pac* representa todos los alimentos menos aquellos que provienen del agua dulce o marina independiente de si han sido cultivados o capturados (*ac*).
Entonces, la ecuación (4) queda representada por provincia y por grupo etario de la siguiente manera:

$$C_{pac} = \sum_{l=1}^n C_{pac,l} = \frac{0,365.PC - (\sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^n PR(Ci-pac,l.Mi-pac,l).DE)}{(\sum_{l=1}^n PRMi,l).TEE} \quad (5)$$

Donde “*l*” representa el grupo etario y “*PR*” la proporción relativa de la población para cada grupo etario.

Entonces se puede calcular un valor para contribución anual máxima aceptable de cadmio por productos alimenticios de origen acuático (*Cpac*) que se presenta en la Figura 17.

Objetivo 4. Deconstrucción del riesgo alimentario total hacia el riesgo proveniente de la ingesta de cadmio a partir de organismos acuáticos cultivados (PAC)

Una vez obtenida la contribución relativa anual máxima aceptable de Cd para la porción de productos alimenticios acuáticos (*Cpac*), se requirió determinar ¿Cuál es la contribución relativa a la ingesta total de Cd anual de las especies acuáticas cultivadas ya que han sido alimentadas con HP? Para ello, se estimó la proporción en la dieta de especies marinas y dulceacuícolas cultivadas a partir de bibliografía como se muestra en la ecuación (6).

$$\sum_{ac=1}^n C_{pac}.M_{pac} = \sum_{cult=1}^n C_{cult}.M_{cult} + \sum_{cap=1}^n C_{cap}.M_{cap} \quad (6)$$

Donde:

$$\sum_{cult=1}^n C_{cult}.M_{cult} = \sum_{ac=1}^n C_{pac}.M_{pac} - \sum_{cap=1}^n C_{cap}.M_{cap} \quad (7)$$

En la Tabla 14. se muestran las concentraciones de Cd presentes en los distintos alimentos de origen acuático (Song y col. 2017) comercializados en China. Existiría un Factor de Incertidumbre que responde a importaciones/exportaciones, pero que no fue incluido en el cálculo de riesgo.

Tabla 14. Concentración de cadmio (mg/kg) en grupos de alimentos de China. Valores expresados como media $\pm$ desvío estándar. Adaptado de Song y col. (2017).

Tipo de alimento	Concentración de Cd
Pescados marinos	0,022 $\pm$ 0,199
Pescados dulceacuícolas	0,007 $\pm$ 0,026
Moluscos	0,377 $\pm$ 1,008
Camarones dulceacuícolas	0,043 $\pm$ 0,173
Camarones marinos	0,067 $\pm$ 0,274
Cangrejos dulceacuícolas	0,101 $\pm$ 0,323
Cangrejos marinos	0,544 $\pm$ 1,203
Algas rojas	1,034 $\pm$ 0,947
Quelpo (macroalgas)	0,168 $\pm$ 0,366
Quelpo seco	0,252 $\pm$ 0,360

La producción de alimentos acuáticos que ingresa al mercado de China está distribuida entre pesca de captura y producción acuícola de especies de ambientes dulceacuícolas y marinos (Tabla 15) (Crona y col. 2020).

Tabla 15. Productos acuáticos (millones de toneladas anuales) marinos y dulceacuícolas, de captura y cultivo. Adaptado de Crona y col, (2020).

Procedencia	Marina	Dulceacuícola	%
Acuicultura	16	30	73
Captura			27
Doméstica	9,5	1,5	
Fuera de Zona Comercial Exclusiva	4		
Altamar	2		

Como resultado se obtuvieron los mg Cd/kg de Productos Acuáticos que serían necesarios para superar la DRf_{anual} por provincia ([Anexo II – Tabla 1](#) y Figura 18). Los menores valores indican situaciones próximas a la DRf sin considerar la ingesta de PA.

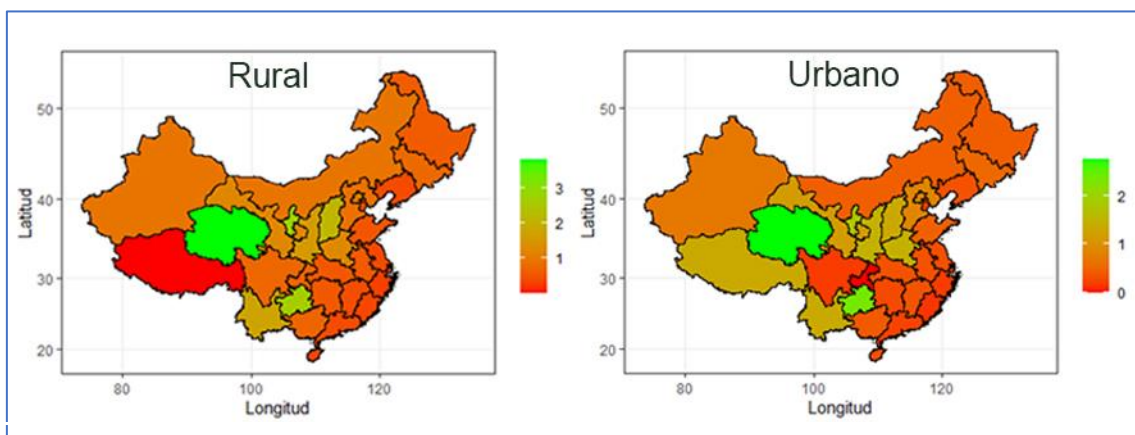


Figura 18. Cantidad de cadmio mg Cd/kg de Productos Acuáticos para llegar a la DRf_{anual} en adultos.

Objetivo 5. Estimación de la exposición dietaria a cadmio y asociación con las harinas de pescado utilizadas en la producción de animales de cría

El escenario planteado en base al MC (Figura 11) considera 3 grupos de Rutas y 4 bloques que convergen en la exposición dietaria. Es de interés vincular la HP con la ingesta de alimentos de las Rutas A y B, lo cual se desarrolló para considerar posibles escenarios en base a cambios en la concentración de Cd en la misma. En la Figura 19 se presenta el modelo establecido, en color celeste se representan los compartimentos asociados con los bloques y las flechas los vinculan mediante las fórmulas antes mencionadas.

8. Evaluación de riesgo

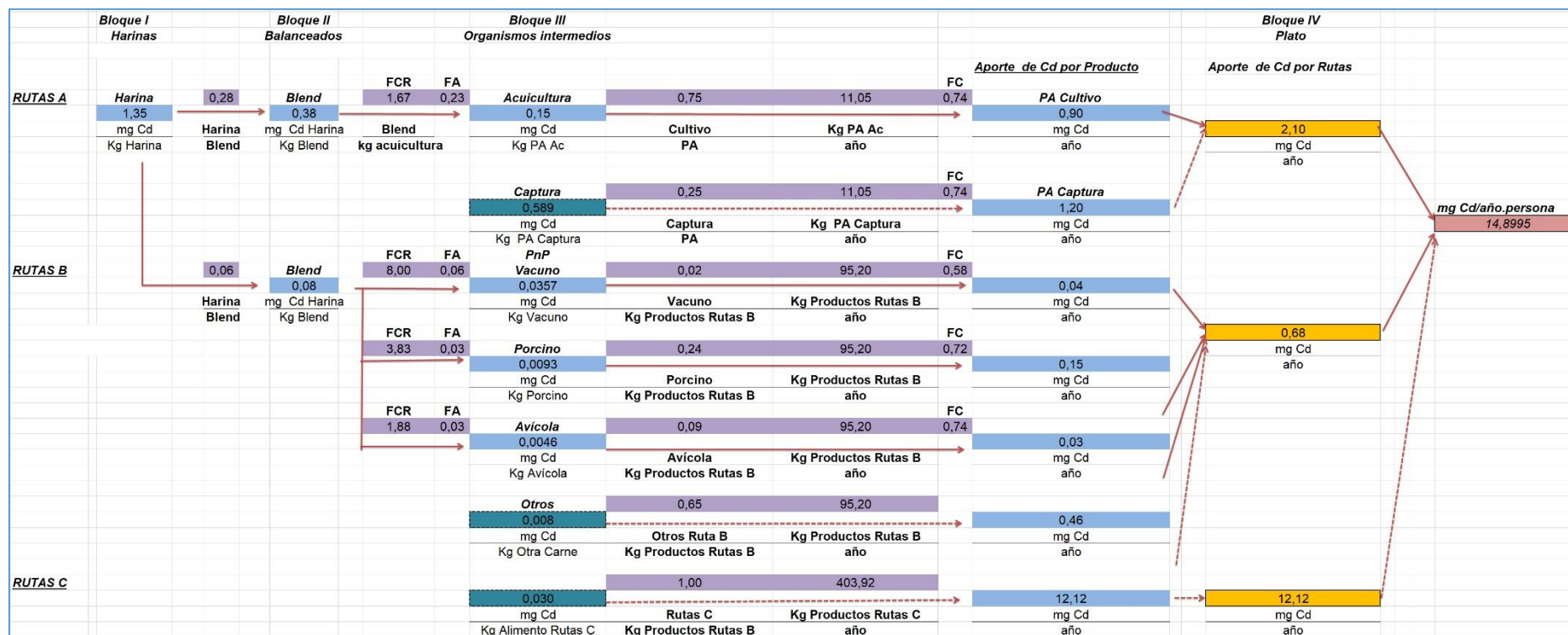


Figura 19. Modelo establecido para generar los distintos escenarios.

La vinculación entre el Bloque I y II, se construyó a partir de información de las fracciones de HP (f_{HP}) en la composición de los piensos (blends) para acuicultura y producción animal. De esta manera, se estimó la concentración de Cd en los piensos para la cría de animales (Rutas A y B).

Se utilizó la siguiente fórmula:

$$[Cd]_{piensos} = f_{HP} * [Cd]_{HP} \quad (8)$$

La vinculación entre el Bloque II y III, se construyó mediante la siguiente fórmula:

$$[Cd]_{alimento} = f_{asim} * FCR * [Cd]_{piensos} \quad (9)$$

siendo f_{asim} la fracción asimilada y FCR (por su denominación en inglés, *Feed Conversion Ratio*) la relación entre la ingesta de alimento y la ganancia de peso, es decir,

$$FCR = \frac{\text{alimento ingerido}}{\text{ganancia en peso}}$$

Los valores utilizados (Fry y col. 2018; Pouil y col. 2018) se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16. Factores empleados para la vinculación entre Bloques.

Grupos de consumo	FCR	Fracción asimilada (f_{asim})	Fracción consumida (f_{con})
Productos acuáticos	1,5–2,4	0,24 (0,04-0,42)	0,32-0,88
Vacuno	6,0–10	0,05 -0,06	0,52–0,64
Aves	1,7–2,0	0,01-0,05	0,70–0,78
Cerdo	2,7–5,0	0,01-0,05	0,68–0,76

En las Rutas A se discrimina el aporte de Productos Acuáticos según su origen, PA cultivo y PA captura, asumiendo la proporción de consumo y el aporte relativo de especies marinas y de agua dulce, según los datos de Crona y col. (2020), visto en la sección anterior. En las Rutas B se pondera la relación con las HP en la formulación de piensos en las líneas de producción vacuna, porcina y avícola. Se modeló el resto de los aportes de las Rutas B como Otros (distintos tipos de carnes y productos derivados de la carne). Las Rutas C, dado que no presentaban relación directa con las HP, fue modelada con los datos de la sección anterior (ver objetivo 4), obtenidos de la investigación bibliográfica. Las fórmulas utilizadas para el aporte de Cd (mg/año) por alimento y por Rutas son las siguientes:

$$Cd = f_{con} * C_{anual} * [Cd]_{alimento} \quad (10)$$

$$Cd_{Rutas} = \sum [Cd]_{alimento} \quad (11)$$

Siendo f_{con} la estimación de la fracción consumida del alimento y C_{anual} es el consumo anual del mismo. En los casos necesarios el aporte anual de Cd en cada ruta fue generado por la sumatoria de los aportes del metal de todos los alimentos correspondientes.

En el modelo se presentan los aportes de Cd (mg Cd anuales) por persona para cada una de las Rutas (recuadros naranja Figura 19). Las líneas discontinuas indican que no se estableció relación de manera directa desde las HP, las cuales fueron modeladas desde los datos en bibliografía dado que el modelo no establece vínculo con las HP. En el Anexo IV se presentan las distribuciones utilizadas para el modelo presentado.

El modelo fue generado bajo entorno de una planilla de cálculo e implementado mediante @Risk (versión 5.5) utilizando 10000 iteraciones con muestreo Hipercubo Latino. Para el planteo de los escenarios se mantuvieron los supuestos, las distribuciones y relaciones entre las variables modeladas, a excepción de la variable concentración de Cd en las HP (input: [Cd] HP); de esa manera, más allá de las incertidumbres de parámetros y del modelado, poder estimar, bajo estos escenarios, el impacto del aumento de la [Cd] en las HP en la ingesta de la población china (output: mg Cd/año.persona).

A partir de los datos provistos por las empresas argentinas (ver Capítulo 4 de este informe), se modeló la concentración de Cd en la HP (Cd_{HP}); para constituir el Bloque I, se generaron 3 escenarios para la concentración de Cd en HP, con un máximo de 2 mg/kg (verde) y dos escenarios con un máximo de 6 mg/kg: uno promedio (azul) y uno de máxima concentración (rojo), considerado este último como la situación de escenario más perjudicial. El valor de la relación entre el máximo y el valor medio de [Cd] fue obtenido de los datos de las HP argentinas.

Frente a este modelo, se observa en la Figura 20 el cambio en la ingesta de Cd por persona (mg de Cd/año.persona) al considerar el aumento de LMP de 2 a 6 mg/kg para la HP. Se observa un incremento de $\approx 2-3$ mg/año.persona en el escenario promedio (< 5 mg/año.persona en el escenario de máxima). La línea vertical indicada en la Figura 20 (21,9 mg/año.persona) corresponde a la DRf anualizada y considerando a un adulto promedio de 60 kg.

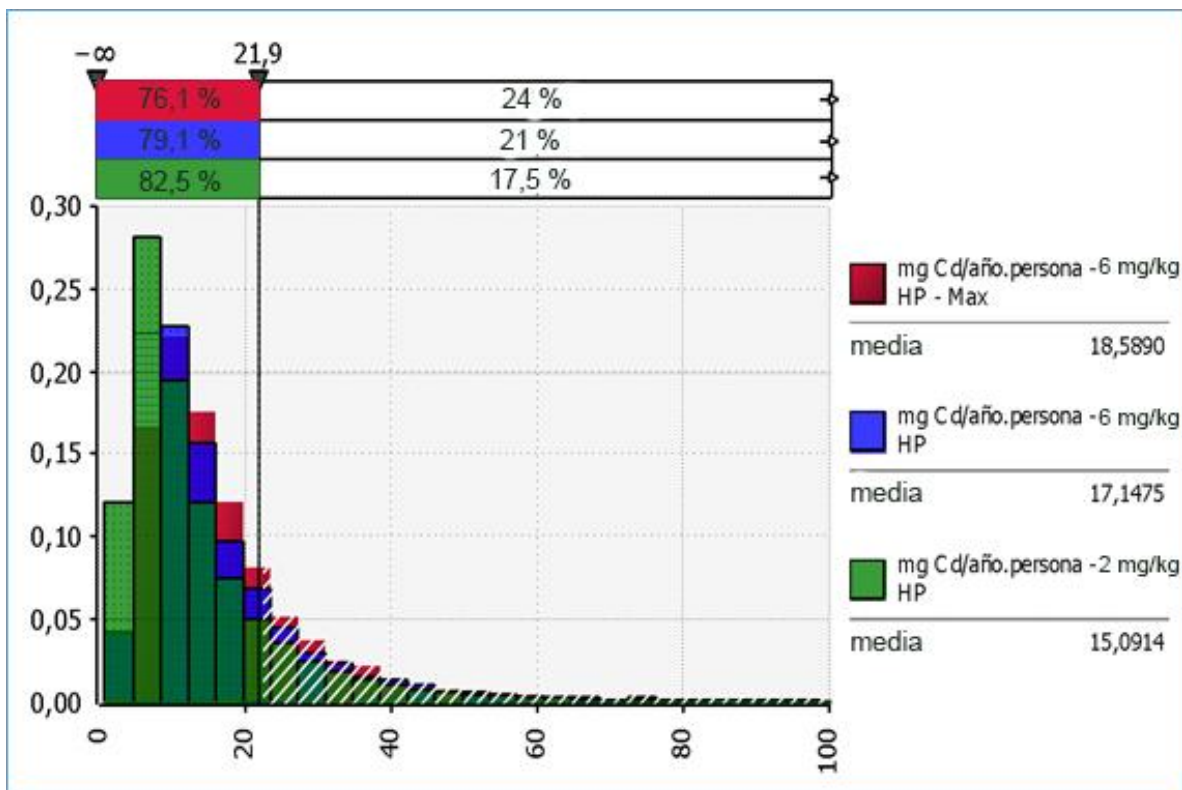


Figura 20. Frecuencia relativa de la ingesta por persona en mg Cd/año para los tres escenarios planteados.

En referencia a la exposición dietaria (Figura 21), existiría un aumento de 0,03-0,04 mg/(año.kg PC) (< 0,07 mg/(año.kg PC) en escenario de máxima). Al comparar con la DRf anualizada (0,365 mg/ año.kg. PC.adulto) se observa un aumento de 3-4 % (< 8 % en el escenario de máxima).

En función de la contribución relativa de Cd dietario (Figura 19), observamos que el mayor aporte es el conjunto de alimentos de las Rutas C (sin relación con HP), posteriormente las Rutas A (Productos Acuáticos relacionados directamente con HP), y por último las Rutas B (Productos Animales de Cría con piensos que contienen HP).

Al realizar el análisis de sensibilidad del modelo (Cd HP – 6 mg/kg), con la variable de salida “ingesta mg Cd/año” se evidencia que la primera variable en importancia es el aporte de las Rutas C. Pequeños cambios en el aporte de Cd por las Rutas C implica cambios importantes en los mg de Cd ingeridos al año, lo que era de esperarse considerando la contribución relativa de esa ruta en la dieta (Figura 19). Dado que las Rutas C no están vinculadas en el MC con las HP y que, además, el impacto de sus valores de entrada modifica notablemente, se realizó el análisis excluyendo el aporte de las Rutas C (Rutas A+B). En este caso, la [Cd] en la HP, el porcentaje de HP en los piensos y la [Cd] en los organismos de Captura de las Rutas A, indicaron que son las más significativas (Figura 22).

8. Evaluación de riesgo

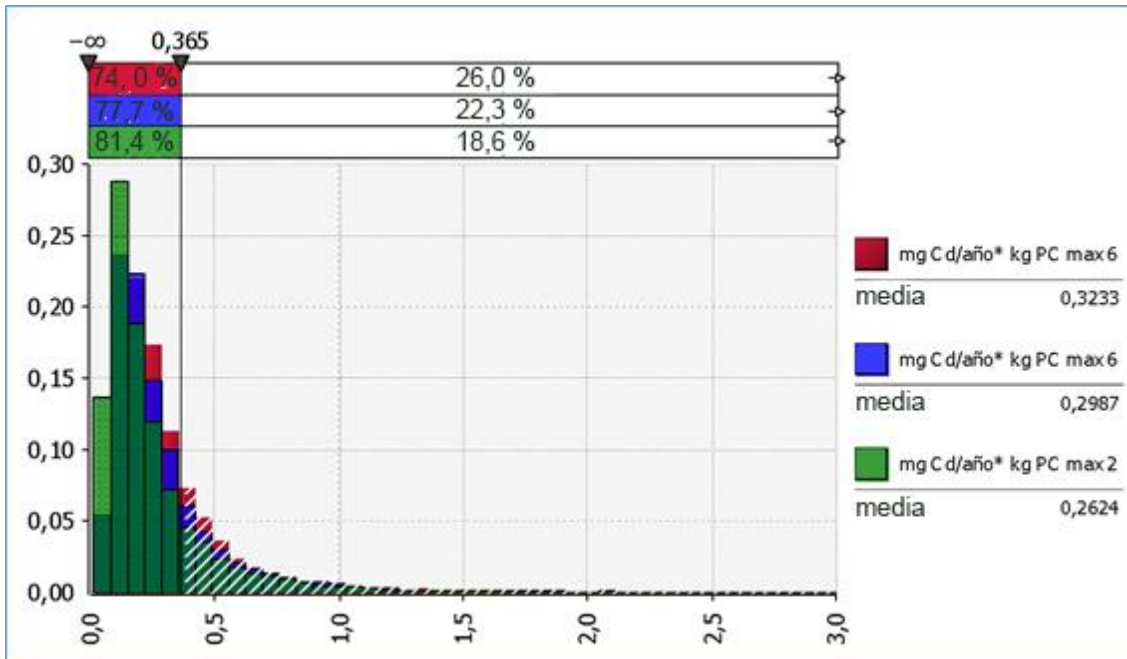


Figura 21. Frecuencia relativa de la exposición dietaria (mg de Cd/año.kg PC) para los tres escenarios planteados. Línea Vertical DRf anualizada.

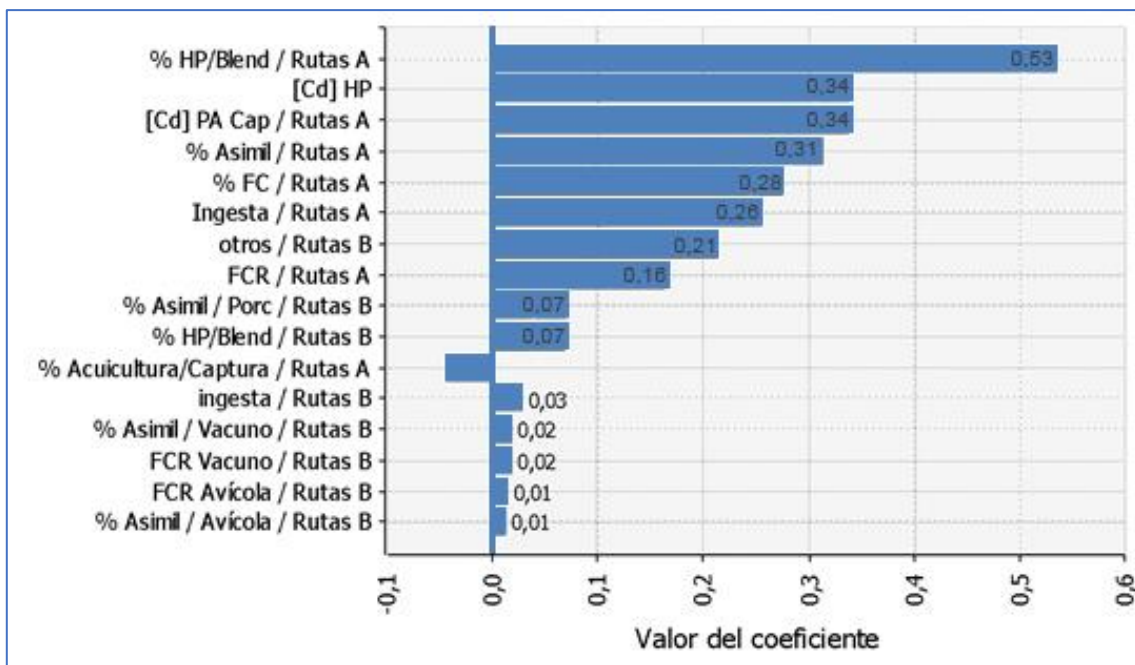


Figura 22. Coeficientes de correlación de Spearman. Output: ingesta mg Cd/año, considerando sólo las rutas A+B.

El modelo presentado considera un conjunto de relaciones complejas basadas en supuestos, de relaciones entre variables y de escenarios considerados, que otorgan los alcances y limitaciones de este. El modelo asume que los LMP para la [Cd] en las HP efectivamente se cumplirían en los tres escenarios comparados. Si los LMP son sobrepasados, el aporte no sería capturado en el modelo.

Además, se asume que el único aporte de Cd en los piensos es de la HP sin contemplar su ingreso por otras harinas. Tampoco se contemplan factores de dilución del Cd en procesos productivos, como podrían ser mezclas de HP de distintos orígenes que pudieran tener concentraciones medias menores.

En las Rutas modeladas se considera que las únicas entradas de Cd al sistema son: de las HP provenientes de Argentina, del Cd incorporado en los alimentos de las Rutas C, del ítem *otros* en las Rutas B y de los PA *Captura* en las Rutas A. Las diferencias en los resultados de los tres escenarios planteados (hipótesis contrafácticas), al considerar que el conjunto de relaciones en el modelo se mantiene constante, se las podría atribuir al cambio en las distribuciones de [Cd] en las HP.

Riesgo dietario actual a cadmio

Se calculó el riesgo dietario no carcinogénico de Cd para la población china utilizando un abordaje estocástico mediante las siguientes fórmulas (EPA):

$$CDI = \frac{C \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (12)$$

donde CDI es la dosis crónica diaria ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ días}^{-1}$), C representa la concentración de cadmio (mg/kg); IR (kg/días) es la tasa de ingestión, EF es la frecuencia de la exposición (días/año); ED es la duración de la exposición (años) que representa el número de años que la persona está expuesta al peligro; BW representa el peso corporal de la persona y AT es el período específico de exposición ($ED \times 365 \text{ días}$).

$$HQ = \frac{CDI}{DRf} \quad (13)$$

El coeficiente de riesgo (HQ) es la relación entre la dosis crónica diaria ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ días}^{-1}$) (CDI), es decir, la exposición potencial a una sustancia y el nivel al que no se esperan efectos adversos (DRf, ver ecuación (1)). La CDI es la dosis diaria de Cd a la que pueden estar expuestos las personas de manera crónica, y la DRf es la dosis de referencia oral para alimentos, es decir, la dosis diaria que permite al individuo mantener este nivel de exposición durante un largo periodo de tiempo sin experimentar efectos perjudiciales. La DRf oral para alimentos utilizada fue $1 \times 10^{-3} \text{ mg/kg PC.día}$ como se mencionó anteriormente (USEPA 1989).

Considerando el modelado estocástico del Objetivo 5, se obtuvieron los perfiles de exposición a Cd. Se calculó para la población urbana y rural de ambos sexos, niños-jóvenes (5-19 años, aproximadamente 15 % de la población) y adultos (>20 años, aproximadamente 80 % de la población) dado que son las franjas etarias con la mejor caracterización en cuanto a dieta (C e IR) y peso corporal (PC). Los valores utilizados para estos parámetros fueron obtenidos a partir del Objetivo 5 (Anexo II – Tabla 1).

Los resultados (Tabla 17y Figura 23) indican estimadores de tendencia central (media y P50) y extremos (P90 y P95) asociados con los perfiles de exposición calculados para los distintos grupos poblacionales. Los valores promedios para mujeres desde los 5 hasta 20

8. Evaluación de riesgo

años exceden la DRf observándose $HQ > 1$ (Tabla 17). Para el resto de los grupos poblacionales en los escenarios extremos ($>P90$) se observa también el mismo comportamiento (Tabla 17). Al menos el 15 % (P85) de los escenarios de exposición dietaria a Cd sobrepasaron la DRf oral para todos los grupos poblacionales evaluados (Figura 23).

Tabla 17. Dosis crónica diaria (CDI) expresada en mg/kg PC.día y Hazard Quotient (HQ) para la población china.

			CDI	HQ
Adulto Masculino	Urbano	media	6,996E-04	0,70
		P50	5,169E-04	0,52
		P90	1,251E-03	1,25
		P95	1,687E-03	1,69
	Rural	media	7,036E-04	0,70
		P50	4,996E-04	0,50
		P90	1,281E-03	1,28
		P95	1,787E-03	1,79
Adulto Femenino	Urbano	media	8,182E-04	0,82
		P50	6,092E-04	0,61
		P90	1,433E-03	1,43
		P95	1,969E-03	1,97
	Rural	media	8,237E-04	0,82
		P50	5,907E-04	0,59
		P90	1,486E-03	1,49
		P95	2,049E-03	2,05
Niño-Joven Masculino	Urbano	media	9,776E-04	0,98
		P50	7,264E-04	0,73
		P90	1,708E-03	1,71
		P95	2,340E-03	2,34
	Rural	media	9,831E-04	0,98
		P50	7,081E-04	0,71
		P90	1,771E-03	1,77
		P95	2,456E-03	2,46
Niño-Joven Femenino	Urbano	media	1,080E-03	1,08
		P50	8,086E-04	0,81
		P90	1,880E-03	1,88
		P95	2,585E-03	2,58
	Rural	media	1,087E-03	1,09
		P50	7,824E-04	0,78
		P90	1,982E-03	1,98
		P95	2,738E-03	2,74

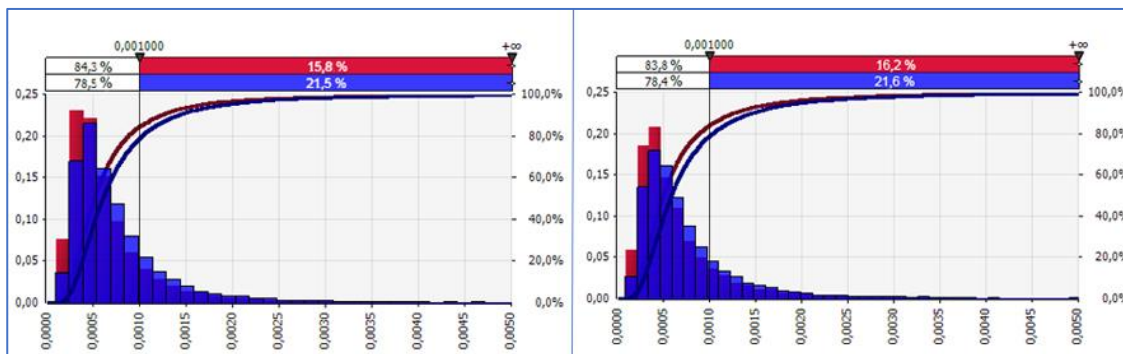


Figura 23. Perfiles de exposición en Adultos. Frecuencia relativa y distribución acumulada de la exposición dietaria (mg Cd/kg PC.día) para mayores de 20 años de zonas rurales (Derecha) y de zonas urbanas (Izquierda). Las barras rojas representan género masculino y las azules género femenino.

Existen distintas fuentes de variabilidad e incertidumbres en el análisis. Se intentó capturar la variabilidad de los perfiles de exposición al considerar diferencias entre los grupos poblacionales (edad, sexo, condición urbano-rural).

En cuanto a las incertidumbres de las categorías de los alimentos están condicionadas a la información disponible, tanto de consumo como de la [Cd] asociada. Los datos de ingesta en algunos casos no se corresponden inequívocamente con productos donde se realizó la determinación analítica. La agregación en categorías de alimentos por las distintas publicaciones consultadas no es totalmente clara y unificada y esto puede tener implicancias en las estimaciones.

Las metodologías de la determinación analítica de Cd y las condiciones de la toma de muestra de alimento son otro punto para considerar. Además, no todas informan los resultados analíticos de manera uniforme, desde ausencia de Límite de Detección (LD) y/o de Cuantificación (LC) hasta la falta de información de los estadísticos asociados con los resultados.

Por otro lado, la tasa de cambio en la dieta china en los últimos años no fue considerada, existiendo evidencia de un cambio profundo que atraviesa los hábitos de consumo de la población. Esto puede tener implicancias al considerar hábitos de consumo similares para distintos grupos poblacionales.

Por último, estamos considerando únicamente el aporte de Cd a las personas mediante ingesta dietaria sin incluir bebidas. El resto de los aportes de Cd por otras vías no son considerados, existiendo evidencia de su relevancia (ej. fumadores).

Capítulo 9. Conclusiones

Se generó por primera vez, y de manera específica, un Modelo Conceptual (MC) para contextualizar el riesgo dietario de Cd para la población china y poder evaluar el impacto del aumento del Límite Máximo Permitido (LMP) en la HP argentinas. La reconstrucción de izquierda a derecha en el modelo fue necesaria para vincular la HP, y el potencial aumento de los LMP en Cd, con alimentos que consume la población objetivo. A partir del bloque IV del MC se pudo establecer la ingesta de Cd en distintos grupos poblacionales de China y establecer los perfiles de exposición dietarios.

Conclusiones asociadas con el consumo actual de alimentos de la población china, el perfil de la exposición dietaria a Cd y el aumento del LMP de 2 a 6 mg/kg de metal.

- Las HP argentinas no representarán la mayor contribución a la exposición dietaria a Cd para la población china.

- Las Rutas C, que no se vinculan con las HP como fuente de Cd, son las que generan el mayor aporte al plato chino.

- De las rutas vinculadas con la HP, las Rutas A se corresponden con el mayor aporte al Cd dietario.

- La contribución relativa a la ingesta de Cd de los Productos Acuáticos varía entre la población de las áreas Urbana y Rural.

- En escenarios promedios de la población china, la exposición dietaria a Cd para mujeres entre 5 a 20 años sobrepasa la Dosis de Referencia (DRf) oral para alimentos.

- La DRf es al menos el 15% de los escenarios, es superada para los demás grupos poblacionales evaluados (mujeres y hombres mayores a 20 años, como así también los niños-jóvenes entre 5 y 20 años).

- Considerando los escenarios evaluados el aumento del LMP de 2 a 6 mg/kg en la concentración de Cd en HP se asociaría con un aumento de la ingesta promedio de Cd (mg/año.persona) en la población china.

Bibliografía

- Abdel-Mohsien H.S., Mahmoud M.A.M. (2015). Accumulation of Some Heavy Metals in *Oreochromis niloticus* from the Nile in Egypt: Potential Hazards to Fish and Consumers. *Journal of Environmental Protection* 06:1003-1013. <https://doi.org/10.4236/jep.2015.69089>
- Akan J.C., Mohmoud S., Yikala B.S., Ogugbuaja V.O. (2012). Bioaccumulation of Some Heavy Metals in Fish Samples from River Benue in Vinikilang, Adamawa State, Nigeria. *American Journal of Analytical Chemistry* 03:727-736. <https://doi.org/10.4236/ajac.2012.311097>
- Amlund H., Berntssen M.H.G., Lunestad B.T., Lundebye A.K. (2012). Aquaculture feed contamination by persistent organic pollutants, heavy metals, additives and drug residues, pp 205-229.
- Angelescu V. (1982). Ecología trófica de la anchoíta del Mar Argentino (*Engraulidae*, *Engraulis anchoita*). Parte II. Alimentación, comportamiento y relaciones tróficas en el ecosistema83.
- AOAC2013.06-2013 Arsenic, Cadmium, Mercury, and Lead in Foods
- AOAC-999.10 (1999). Lead, Cadmium, Zinc, Copper, and Iron in foods. Atomic Absorption Spectrophotometry after microwave digestion. <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis-21st-edition-2019/>
- AOAC-999.11 (1999). Determination of Lead, Cadmium, Copper, Iron, and Zinc in foods. Atomic Absorption Spectrophotometry after dry ashing. <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis-21st-edition-2019/>
- ATSDR (2012). Toxicological profile for cadmium. U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES
- Barriga-Sánchez M., Pariasca D.A. (2018). Bioacumulación de plomo, cadmio y mercurio en *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819) y *Aulacomya ater* (Molina, 1782), especies comerciales del Perú, y su evaluación de riesgo a la salud. *Ecología Aplicada* 17:53-60. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v17i1.1173>
- Berger G.S. (1994). Epidemiology of endometriosis. Springer-Verlag, New York, pp 3-7.
- Berntssen M.H.G., Lundebye A.K. (2008). Environmental contaminants in farmed fish and potential consequences for seafood safety, pp 39-70.
- Boschi E.E. (1998). El Mar Argentino y sus recursos pesqueros - Tomo 2. Los moluscos de interés pesquero, cultivos y estrategias reproductivas de bivalvos y equinoideos
- Boyd C.E. (2015). Overview of aquaculture feeds: Global impacts of ingredient use. En: Davis D.A. (ed) Feed and feeding practices in aquaculture, Woodhead Publishing, pp 3-25.
- Briscoe M., Sullivan D., Alewijn M., Austad J., Boison J., Christiansen S., Cook J.M., De Vries J., Indyk H., Joseph G., Konings E., Krynitsky A., Phillips T., Popping B., Reddy M., Wong J. (2015). Determination of heavy metals in food by inductively coupled plasma-mass spectrometry: First action 2015.01. *Journal of AOAC International* 98:1113-1120. <https://doi.org/10.5740/jaoac.int.2015.01>
- Bustamante P., Caurant F., Fowler S., Miramand P. (1998). Cephalopods as a key of the transfer of cadmium to top marine predators. *Science of the Total Environment* 220:71-80. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(98\)00250-2](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(98)00250-2)

- CAA (2017). CÓDIGO ALIMENTARIO ARGENTINO. Reglamento Técnico Mercosur sobre límites máximos de contaminantes inorgánicos en alimentos ANEXO - Parte II Cap III De los productos alimenticios.
- Cai S., Yue L., Jin T., Nordberg G. (1998). Renal dysfunction from cadmium contamination of irrigation water: dose-response analysis in a Chinese population. *Bulletin of the World Health Organization* 76:153-153.
- Cao L.J., Tian W.-M., Jimin W., Malcolm B., Liu H.-B., Zhou Z. (2013). Recent food consumption trends in China and trade implications to 2020. *Australasian Agribusiness Review* 21:15-44.
- Castillo L.V., Maita Y. (1991). Isolation and partial characterisation of cadmium binding proteins from the oceanic squid, *Ommastrephes bartrami*. *Bulletin of Fisheries Sciences, Hokkaido University* 41:26-34. <http://oceanrep.geomar.de/id/eprint/53476>
- Chahid A., Hilali M., Benlhachimi A., Bouzid T. (2014). Contents of cadmium, mercury and lead in fish from the Atlantic sea (Morocco) determined by atomic absorption spectrometry. *Food Chemistry* 147 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.008>
- Chen H., Tang Z., Wang P., Zhao F.J. (2018). Geographical variations of cadmium and arsenic concentrations and arsenic speciation in Chinese rice. *Environmental Pollution* 238:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.03.048>
- Chen M.Y.Y., Chan B.T.P., Lam C.H., Chung S.W.C., Ho Y.Y., Xiao Y. (2014). Dietary exposures to eight metallic contaminants of the Hong Kong adult population from a total diet study. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment* 31:1539-1549. <https://doi.org/10.1080/19440049.2014.935963>
- China (2018). National Bureau of Statistics of China 2018 <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2018/indexeh.htm>
- Choudhury H., Harvey T., Thayer W.C., Lockwood T.F., Stiteler W.M., Goodrum P.E., Hassett J.M., Diamond G.L. (2001). Urinary cadmium elimination as a biomarker of exposure for evaluating a cadmium dietary exposure - Biokinetics model. *Journal of Toxicology and Environmental Health - Part A* 63:321-350. <https://doi.org/10.1080/15287390152103643>
- Ciardullo S., Aureli F., Coni E., Guandalini E., Iosi F., Raggi A., Rufo G., Cubadda F. (2008). Bioaccumulation potential of dietary arsenic, cadmium, lead, mercury, and selenium in organs and tissues of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) as a function of fish growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56:2442-2451. <https://doi.org/10.1021/jf703572t>
- Cirillo T., Fasano E., Viscardi V., Arnese A., Amodio-Cocchieri R. (2010). Survey of lead, cadmium, mercury and arsenic in seafood purchased in Campania, Italy. *Food Additives and Contaminants: Part B Surveillance* 3:30-38. <https://doi.org/10.1080/19440041003636646>
- Comas g.A., Di Marco s.S., Narvarte a.E., Reynal O'Connor C. (2012). Analisis del sector fileteado de merluza en la industria pesquera. XXXV CONGRESO ARGENTINO DE PROFESORES UNIVERSITARIOS DE COSTOS. Jujuy, Argentina, pp 22.
- Cretì P., Trinchella F., Scudiero R. (2010). Heavy metal bioaccumulation and metallothionein content in tissues of the sea bream *Sparus aurata* from three different fish farming systems. *Environmental Monitoring and Assessment* 165:321-329. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0948-z>

- Crona B., Wassénius E., Troell M., Barclay K., Mallory T., Fabinyi M., Zhang W., Lam V.W.Y., Cao L., Henriksson P.J.G., Eriksson H. (2020). China at a Crossroads: An Analysis of China's Changing Seafood Production and Consumption, pp 32-44.
- CXS150-1985 CODEX STAN 150-1985. Norma para la sal de calidad alimentaria
- Daniel N. (2018). A review on replacing fish meal in aqua feeds using plant protein sources. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 6:164-179. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13085.13285>
- Dorneles P.R., Lailson-Brito J., dos Santos R.A., da Costa P.A.S., Malm O., Azevedo A.F., Torres J.P.M. (2007). Cephalopods and cetaceans as indicators of offshore bioavailability of cadmium off Central South Brazil Bight. *Environmental Pollution* 148:352-359. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.09.022>
- Du B., Zhou J., Lu B., Zhang C., Li D., Zhou J., Jiao S., Zhao K., Zhang H. (2020). Environmental and human health risks from cadmium exposure near an active lead-zinc mine and a copper smelter, China. *Science of the Total Environment* 720 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137585>
- Ellwood M.J. (2004). Zinc and cadmium speciation in subantarctic waters east of New Zealand. *Marine Chemistry* 87:37-58. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2004.01.005>
- Elnabris K.J., Muzyed S.K., El-Ashgar N.M. (2013). Heavy metal concentrations in some commercially important fishes and their contribution to heavy metals exposure in Palestinian people of Gaza Strip (Palestine). *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences* 13:44-51. <https://doi.org/10.1016/j.jaubas.2012.06.001>
- Engström A., Michaëlsson K., Vahter M., Julin B., Wolk A., Åkesson A. (2012). Associations between dietary cadmium exposure and bone mineral density and risk of osteoporosis and fractures among women. *Bone* 50:1372-1378. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2012.03.018>
- Epstein H., Dejmek J., Šubr P., Vitnerová N., Šrám R.J. (2000). Trace metals and pregnancy outcome in the Czech Republic. *Environmental Epidemiology and Toxicology* 2
- F2015C00052 Australia New Zealand Food Standards Code - Standard 1.4.1 - Contaminants and Natural Toxicants
- Falandysz J. (1988). Trace metals in squid *Illex argentinus*. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung* 187:359-361. <https://doi.org/10.1007/BF01454428>
- Falcón M., Vinas P., Osuna E., Luna A. (2002). Environmental Exposures to Lead and Cadmium Measured in Human Placenta. *Archives of Environmental Health* 57:598-602. <https://doi.org/10.1080/00039890209602094>
- FAO (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción, Roma.
- FAO/WHO (1989). Evaluation of certain food additives and contaminants : thirty-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. World Health Organization, 9241207760, Geneva, pp 64.
- FAO/WHO (1995). General Standards for Contaminants and Toxins in Food and Feed. Codex Alimentarius Commission, Rome, pp 66.
- FIN (2000a). Fishmeal for dairy cows. Grain and Feed Trade Association, Sea Fish Industry Authority, Londres, pp 6.
- FIN (2000b). Fishmeal for pigs. Grain and Feed Trade Association, Sea Fish Industry Authority, Londres, pp 6.

- FIN (2000c). Fishmeal for poultry. Grain and Feed Trade Association, Sea Fish Industry Authority, Londres, pp 6.
- FIN (2000d). Fishmeal for sheeps. Grain and Feed Trade Association, Sea Fish Industry Authority, Londres, pp 6.
- Finger J.M., Smith J.D. (1987). Molecular association of Cu, Zn, Cd and ²¹⁰Po in the digestive gland of the squid *Nototodarus gouldi*. Marine Biology 95:87-91. <https://doi.org/10.1007/BF00447489>
- FIQD-Tailandia (2003). Heavy Metals Regulations. Fish Inspection and Quality Control Division. Legal Notice N° 66/2003. Part 1-Art. 6 Cadmium content
- Fischer A.B., Georgieva R., Nikolova V., Halkova J., Bainova A., Hristeva V., Penkov D., Alandjiisk D. (2003). Health risk for children from lead and cadmium near a non-ferrous smelter in Bulgaria. International Journal of Hygiene and Environmental Health 206:25-38. <https://doi.org/10.1078/1438-4639-00194>
- Foran J.A., Hites R.A., Carpenter D.O., Hamilton M.C., Mathews-Amos A., Schwager S.J. (2004). A survey of metals in tissues of farmed Atlantic and Wild Pacific salmon, pp 2108-2110.
- Fry J.P., Mailloux N.A., Love D.C., Milli M.C., Cao L. (2018). Feed conversion efficiency in aquaculture: Do we measure it correctly? Environmental Research Letters 13:1-9. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaa273>
- Gasco L., Gai F., Maricchiolo G., Genovese L., Ragonese S., Bottari T., Caruso G. (2018). Fishmeal Alternative Protein Sources for Aquaculture Feeds, pp 1-28.
- Gatlin D.M., Barrows F.T., Brown P., Dabrowski K., Gaylord T.G., Hardy R.W., Herman E., Hu G., Krogdahl Å., Nelson R., Overturf K., Rust M., Sealey W., Skonberg D., Souza E.J., Stone D., Wilson R., Wurtele E. (2007). Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: A review, pp 551-579.
- GB2762-2017 China Standard for Maximum Levels of Contaminant in food. <http://www.agrichina.org/view.aspx?cid=427>
- GB/T5009.15-2003 Determination of cadmium in foods. Ministry of Health of the People Republic of China. <https://www.chinesestandard.net/PDF/BOOK.aspx/GBT5009.15-2003>
- Gerpe M., De Moreno J., Moreno V., Patat M. (2000). Cadmium, zinc and copper accumulation in the squid *Illex argentinus* from the Southwest Atlantic Ocean. Marine Biology 136:1039-1044. <https://doi.org/10.1007/S002270000308>
- Gerpe M.S. (2006). Monitoring (sampling and analyses) of cadmium in Argentine anchovies (*Engraulis anchoita*), by-catch, zooplankton and particulate matter. Meeting Expert Group European Community:1-89. <https://www.bioresearchcommunications.com/index.php/brc/article/view/95>
- Girolametti F., Annibaldi A., Carnevali O., Pignalosa P., Illuminati S., Truzzi C. (2021). Potential toxic elements (PTEs) in wild and farmed Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) from Mediterranean Sea: Risks and benefits for human consumption. Food Control 125:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108012>
- Giwercman A., Carlsen E., Keiding N., Skakkebaek N.E. (1993). Evidence for increasing incidence of abnormalities of the human testis: A review. Environmental Health Perspectives Supplements 101:65-71. <https://doi.org/10.1289/ehp.93101s265>
- Goutam K.K., Mohammad A., Mosammat S.A., Mohammad S.K., Md M.I., Gouri M., Dipa I., Liton C.M., Huque A. (2017). Metal contamination of commercial fish feed and quality aspects of farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Bangladesh. Bioresearch Communications 3:345-353.

- Gray P.J., Cunningham W. (2019). Inductively coupled plasma collision cell quadrupole mass spectrometric determination of extractable arsenic, cadmium, chromium, lead, mercury, and other elements in food using microwave-assisted digestion: Results from an FDA interlaboratory study. *Journal of AOAC International* 102:590-604. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.18-0129>
- Hall J.M., Greco C.W. (2019). Perturbation of Nuclear Hormone Receptors by Endocrine Disrupting Chemicals: Mechanisms and Pathological Consequences of Exposure, pp 1-28.
- Hamada M., Elbayoumi Z., Khader R., Elbagory A. (2018). Assessment of heavy metal concentration in fish meat of wild and farmed Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), Egypt. *Alexandria Journal of Veterinary Sciences* 59:30-37. <https://doi.org/10.5455/ajvs.295019>
- Han J.-X., Shang Q., Du Y. (2009). Review: effect of environmental cadmium pollution on human health. *Health* 01:493-507. <https://doi.org/10.4236/health.2009.13026>
- Harrison S.E., Klaverkamp J.F. (1989). Uptake, elimination and tissue distribution of dietary and aqueous cadmium by rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson) and lake whitefish (*Coregonus clupeaformis* Mitchell). *Environmental Toxicology and Chemistry* 8:87-97. <https://doi.org/10.1002/etc.5620080110>
- He P., Lu Y., Liang Y., Chen B., Wu M., Li S., He G., Jin T. (2013). Exposure assessment of dietary cadmium: Findings from shanghai residents over 40 years, China. *BMC Public Health* 13:1-11. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-13-590>
- Heshmati A., Karami-Momtaz J., Nili-Ahmadabadi A., Ghadimi S. (2017). Dietary exposure to toxic and essential trace elements by consumption of wild and farmed carp (*Cyprinus carpio*) and Caspian kutum (*Rutilus frisii kutum*) in Iran. *Chemosphere* 173:207-215. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.009>
- Hodar A., Vasava R., Mahavadiya D., Joshi N. (2020). Fish meal and fish oil replacement for aqua feed formulation by using alternative sources : A review. *Journal of Experimental Zoology India* 23:13-21 <http://www.connectjournals.com/jez> .
- Hoel D.G., Davis D.L., Miller A.B., Sondik E.J., Swerdlow A.J. (1992). Trends in cancer mortality in 15 industrialized countries, 1969-1986. *Journal of the National Cancer Institute* 84:313-320. <https://doi.org/10.1093/jnci/84.5.313>
- Honda K., Yamamoto Y., Tatsukawa R. (1987). Distribution Of Heavy Metals in Antarctic Marine Ecosystem. *Polar Biology* 1:184-197.
- IARC (2012). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. A review of human carcinogens. Part C: Arsenic, metals, fibres, and dusts Cadmium and CadmiumCompounds <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100C/mono100C-8.pdf> . WHO
- Ikem A., Egilla J. (2008). Trace element content of fish feed and bluegill sunfish (*Lepomis macrochirus*) from aquaculture and wild source in Missouri. *Food Chemistry* 110 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.003>
- ISO27085:2009 Animal feeding stuffs — Determination of calcium, sodium, phosphorus, magnesium, potassium, iron, zinc, copper, manganese, cobalt, molybdenum, arsenic, lead and cadmium by ICP-AES. <https://www.iso.org/standard/51114.html>
- Ivanovic M., Brunetti N.E. (1994). Food and feeding of *Illex argentine*s. *Antarctic Science* 6:185-193.
- Järup L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin* 68:167-182. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldq032>

- Jeckel W.H., Roth R.R., Ricci L. (1996). Patterns of trace-metal distribution in tissues of *Pleoticus muelleri* (Crustacea: Decapoda: Solenoceridae). *Marine Biology* 125:297-306. <https://doi.org/10.1007/BF00346310>
- Jiang D., Hu Z., Liu F., Zhang R., Duo B., Fu J., Cui Y., Li M. (2014). Heavy metals levels in fish from aquaculture farms and risk assessment in Lhasa, Tibetan Autonomous Region of China. *Ecotoxicology* 23:1-7. <https://doi.org/10.1007/s10646-014-1229-3>
- Jiao Y., Chen J., Li W., Liu Y., Xin C., Yang L. (2018). Trace elements concentrations in squids consumed in Shandong Province China and their associated risks to the human health. *Marine Pollution Bulletin* 128:267-274. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.038>
- Julshamn K., Maage A., Norli H.S., Grobecker K.H., Jorhem L., Fecher P., Dowell D. (2013). Determination of arsenic, cadmium, mercury, and lead in foods by pressure digestion and inductively coupled plasma/mass spectrometry: First action 2013.06. *Journal of AOAC International* 96:1101-1103. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.13-143>
- Kim K., Park Y., Je H.W., Seong M., Damusaru J.H., Kim S., Jung J.Y., Bai S.C. (2019). Tuna byproducts as a fish-meal in tilapia aquaculture. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 172:364-372. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.01.107>
- King T., Sheridan R. (2019). Determination of 27 elements in animal feed by inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Journal of AOAC International* 102:434-444. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.18-0198>
- Kippler M., Engström K., Jurkovic Mlakar S., Bottai M., Ahmed S., Hossain M.B., Raqib R., Vahter M., Broberg K. (2013). Sex-specific effects of early life cadmium exposure on DNA methylation and implications for birth weight. *Epigenetics* 8:494-503. <https://doi.org/10.4161/epi.24401>
- Klaassen C.D., Liu J., Diwan B.A. (2009). Metallothionein protection of cadmium toxicity. *Toxicology and Applied Pharmacology* 238:215-220. <http://dx.doi.org/10.1016/j.taap.2009.03.026>
- Klaassen C.D. (2019). *Toxicology. The Basic Science of Poisons.* Mac Craw Gill Education
- Kuplulu O., Iplikcioglu Cil G., Korkmaz S.D., Aykut O., Ozansoy G. (2018). Determination of metal contamination in seafood from the black, marmara, aegean and mediterranean sea metal contamination in seafood. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society* 69:748-758. <https://doi.org/10.12681/JHVMS.16400>
- Kurihara H., Togawa H., Hatano M. (1993). Concentration of cadmium in livers of several kinds of squids and an approach to its elimination. *Bulletin of the Faculty of Fisheries Hokkaido University* 44:32-38. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=JP9502010>
- Lares M.L., Huerta-Díaz M.A., Marinone S.G., Valdez-Márquez M. (2012). Mercury and cadmium concentrations in farmed bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) and the suitability of using the caudal peduncle muscle tissue as a monitoring tool. *Journal of Food Protection* 75:725-730. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-11-447>
- Lei L.-J., Chen L., Jin T.-Y., Nordberg M., Chang X.-L. (2007). Estimation of benchmark dose for pancreatic damage in cadmium-exposed smelters. *Toxicological Sciences* 97:189-195. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfm016>
- Leppman E.J. (1999). Urban-rural contrasts in diet: The case of China. *Urban Geography* 20:567-579. <https://doi.org/10.2747/0272-3638.20.6.567>
- Liang G., Gong W., Li B., Zuo J., Pan L., Liu X. (2019). Analysis of heavy metals in foodstuffs and an assessment of the health risks to the general public via consumption

- in Beijing, China. International Journal of Environmental Research and Public Health 16:1-10. <https://doi.org/10.3390/ijerph16060909>
- Lischka A., Lacoue-Labarthe T., Hoving H.J.T., JavidPour J., Pannell J.L., Merten V., Churlaud C., Bustamante P. (2018). High cadmium and mercury concentrations in the tissues of the orange-back flying squid, *Sthenoteuthis pteropus*, from the tropical Eastern Atlantic. Ecotoxicology and Environmental Safety 163:323-330. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.07.087>
- López-Alonso M. (2012). Animal feed contamination by toxic metals Animal Feed Contamination: Effects on Livestock and Food Safety. Woodhead Publishing Limited, pp 183-204.
- López Sánchez J.L. (2021). Implicaciones del etiquetado incorrecto en especies de *Merluccius* con distintos niveles de metales pesados. Tesis de Maestría Universidad de Oviedo. España, 95 pp.
- Lourenço H.M., Afonso C., Anacleto P., Martins M.F., Nunes M.L., Lino A.R. (2012). Elemental composition of four farmed fish produced in Portugal. International Journal of Food Sciences and Nutrition 63:853-859. <https://doi.org/10.3109/09637486.2012.681632>
- MAGyP (2020). Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca Argentina. Pesca marítima: Desembarques de capturas marítimas totales. https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/pesca_maritima/desembarques/
- Mai K., Li H., Ai Q., Duan Q., Xu W., Zhang C., Zhang L., Tan B., Liufu Z. (2006). Effects of dietary squid viscera meal on growth and cadmium accumulation in tissues of Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus* (Cuvier 1828). Aquaculture Research 37:1063-1069. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2006.01529.x>
- Majlesi M., Malekzadeh J., Berizi E., Toori M.A. (2019). Heavy metal content in farmed rainbow trout in relation to aquaculture area and feed pellets. Foods and Raw Materials 7:329-338. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-2-329-338>
- Marcovecchio J.E. (1994). Trace metal residues in tissues of two crustacean species from the Bahía Blanca Estuary, Argentina. Environmental Monitoring and Assessment 29:65-73. <https://doi.org/10.1007/BF00546779>
- Martin J.H., Flegal A.R. (1975). High copper concentrations in squid livers in association with elevated levels of silver, cadmium, and zinc. Marine Biology 30:51-55. <https://doi.org/10.1007/BF00393752>
- Milenkovic B., Stajic J.M., Stojic N., Pucarevic M., Strbac S. (2019). Evaluation of heavy metals and radionuclides in fish and seafood products. Chemosphere 229:324-331. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.189>
- Minganti V., Drava G., Pellegrini R.D., Siccardi C. (2010). Trace elements in farmed and wild gilthead seabream, *Sparus aurata*. Marine Pollution Bulletin 60:2022-2025. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.07.023>
- Miramand P., Guary J.C. (1980). High concentrations of some heavy metals in tissues of the mediterranean octopus. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 24:783-788. <https://doi.org/10.1007/BF01608189>
- Miramand P., Bentley D. (1992). Concentration and distribution of heavy metals in tissues of two cephalopods, *Eledone cirrhosa* and *Sepia officinalis*, from the French coast of the English Channel. Marine Biology 114:407-414. <https://doi.org/10.1007/BF00350031>

- Mortuza M.G., Al-Misned F.A. (2015). Heavy metal concentration in two freshwater fishes from Wadi Hanifah (Riyadh, Saudi Arabia) and evaluation of possible health hazard to consumers. *Pakistan Journal of Zoology* 47:839-845.
- Mwakalapa E.B., Simukoko C.K., Mmochi A.J., Mdegela R.H., Berg V., Bjorge Müller M.H., Lyche J.L., Polder A. (2019). Heavy metals in farmed and wild milkfish (*Chanos chanos*) and wild mullet (*Mugil cephalus*) along the coasts of Tanzania and associated health risk for humans and fish. *Chemosphere* 224:176-186. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.02.063>
- NAS/IOM (2003). Dietary reference intakes: guiding principles for nutrition labeling and fortification. Institute of Medicine, Washington, DC, pp
- New M.B. (1987). Feed and feeding of fish and shrimp. A manual on the preparation and presentation of compound feeds for shrimp and fish in aquaculture. <https://www.fao.org/3/S4314E/S4314E00.htm> . FAO, Rome (Italy) pp
- New M.B., Wijkström U.N. (2002). Use of fishmeal and fish oil in aquafeeds: further thoughts on the fishmeal trap. FAO, Rome, pp 71.
- Nishijo M., Nakagawa H., Honda R., Tanebe K., Saito S., Teranishi H., Tawara K. (2002). Effects of maternal exposure to cadmium on pregnancy outcome and breast milk. *Occupational and Environmental Medicine* 59:394-397. <https://doi.org/10.1136/oem.59.6.394>
- Nordberg G. (2015). Handbook on the Toxicology of Metals. Elsevier
- Nordberg G.F. (2004). Cadmium and health in the 21st Century - Historical remarks and trends for the future.
- Nordberg G.F., Nogawa K., Nordberg M., Friedmann J.M. (2007). Cadmium. En: Nordberg G.F., Fowler B.A., Nordberg M., Friberg L. (eds) Handbook on the Toxicology of Metals. Elsevier, Amsterdam, pp 445–486.
- Nøstbakken O.J., Hove H.T., Duinker A., Lundebye A.-K., Berntssen M.H.G., Hannisdal R., Lunestad B.T., Maage A., Madsen L., Torstensen B.E. (2015). Contaminant levels in Norwegian farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) in the 13-year period from 1999 to 2011. *Environment International* 74:274-280. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.008>
- OECD-FAO (2015). OECD-FAO Agricultural Outlook, 2014-2023. https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=HIGH_AGLINK_2014 . Choice Reviews Online 52
- Olsen R.L., Toppe J., Karunasagar I. (2014). Challenges and realistic opportunities in the use of by-products from processing of fish and shellfish. *Trends in Food Science & Technology* 36:144-151. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.01.007>
- Onsanit S., Ke C., Wang X., Wang K.J., Wang W.X. (2010). Trace elements in two marine fish cultured in fish cages in Fujian province, China. *Environmental Pollution* 158:1334-1342. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.01.012>
- Páez-Osuna F., Tron-Mayen L. (1996). Concentration and distribution of heavy metals in tissues of wild and farmed shrimp *Penaeus vannamei* from the Northwest Coast of Mexico. *Environment International* 22:443-450. [https://doi.org/10.1016/0160-4120\(96\)00032-3](https://doi.org/10.1016/0160-4120(96)00032-3)
- Perelsonia K.B., Abendanio C., Raña J., Opinion A.G., Villeza J., Cambia F. (2017). Heavy metal contamination in water and fishery resources in Manila Bay aquaculture farms. *The Philippine Journal of Fisheries* 24:74-97. <https://doi.org/10.31398/tjpf/24.2.2016A0014>

- Piola A.R., Rivas A.L. (1997). Corrientes de plataforma continental. El mar argentino y sus recursos pesqueros. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero 119-132.
- Pollack A.Z., Ranasinghe S., Sjaarda L.A., Mumford S.L. (2014). Cadmium and Reproductive Health in Women: A Systematic Review of the Epidemiologic Evidence. Current environmental health reports 1:172-184. <https://doi.org/10.1007/s40572-014-0013-0>
- Pouil S., Bustamante P., Warnau M., Metian M. (2018). Overview of trace element trophic transfer in fish through the concept of assimilation efficiency. Marine Ecology Progress Series 588:243-254. <https://doi.org/10.3354/meps12452>
- Rajaganapathy V., Xavier F., Sreekumar D., Mandal P.K. (2011). Heavy metal contamination in soil, water and fodder and their presence in livestock and products: A review. Journal of Environmental Science and Technology 4:234-249. <https://doi.org/10.3923/jest.2011.234.249>
- Rajeshkumar S., Li X. (2018). Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. Toxicology Reports 5:288-295. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2018.01.007>
- Renieri E.A., Safenkova I.V., Alegakis A., Slutskaya E.S., Kokaraki V., Kentouri M., Dzantiev B.B., Tsatsakis A.M. (2019). Cadmium, lead and mercury in muscle tissue of gilthead seabream and seabass: Risk evaluation for consumers. Food and Chemical Toxicology 124:439-449. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.12.020>
- Ritz B., Heinrich J., Wjst M., Wichmann E., Krause C. (1998). Effect of cadmium body burden on immune response of school children. Archives of Environmental Health 53:272-280. <https://doi.org/10.1080/00039899809605708>
- Rodríguez Muñoz A., Villanueva García R. (2017). La normativa agroalimentaria en China 79.
- Roux A., Piñero R., Moriondo P., Fernández M. (2009). Diet of the red shrimp *Pleoticus muelleri* (Bate, 1888) in Patagonian fishing grounds, Argentine Revista de Biología Marina y Oceanografía 44:775-781. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572009000300023>
- Sabbir W., Zillur Rahman M., Nuruzzaman Khan M., Wasim Sabbir C., Halder T., Ray S. (2018). Assessment of heavy metal contamination in fish feed available in three districts of South Western region of Bangladesh. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies 6:100-104.
- SENASA125-2006 (2006). Disposición 125/2006. Control de residuos - Incorporación de parámetros de validación. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/disposici%C3%B3n-125-2006-115884>
- SENASA4238-68 (2000). Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. Decreto 4238/68. Capítulo XXIII del Reglamento sanitario de explotación y comercialización de moluscos y bivalvos vivos para consumo humano directo. Inciso 23.24.2.5: Calidad Química (Res. SAGPYA N°53 del 30/09/98). <http://www.senasa.gov.ar/contenido.php?to=n&in=1092&io=8275> ; <http://infoleg.mecon.gov.ar/infolegInternet/anexos/50000-54999/53420/norma.htm>
- Shahriar S., Rahman M.M., Naidu R. (2020). Geographical variation of cadmium in commercial rice brands in Bangladesh: Human health risk assessment. Science of the Total Environment 716 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137049>

- Shamshad B.Q., Shahidur R.K., Tasrena R.C. (2009). Studies on toxic elements accumulation in shrimp from fish feed used in Bangladesh. *Asian Journal of Food and Agro-Industry* 2:440-444.
- Shang Q., Cai S.W. (1993). Relationship between cadmium intake and renal damage in cadmium-contaminated area population. *Journal of Environmental Health* 10:193-196.
- Shreadah M.A., Fattah L.M.A., Fahmy M.A. (2015). Heavy Metals in Some Fish Species and Bivalves from the Mediterranean Coast of Egypt. *Journal of Environmental Protection* 06:1-9. <https://doi.org/10.4236/jep.2015.61001>
- Sivaperumal P., Sankar T.V., Viswanathan Nair P.G. (2007). Heavy metal concentrations in fish, shellfish and fish products from internal markets of India vis-a-vis international standards. *Food Chemistry* 102:612–620. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.05.041>
- Slavka S., Mihajlo J., Raša M., Danijela J. (2011). Trace elements concentrations (Zn, Cu, Pb, Cd, As and Hg) in the Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis*) and evaluation of mussel quality and possible human health risk from cultivated and wild sites of the southeastern Adriatic Sea, Montenegro. *Journal of the Serbian Chemical Society* 76:1725–1737. <https://doi.org/10.2298/JSC110420095S>
- Song Y., Wang Y., Mao W., Sui H., Yong L., Yang D., Jiang D., Zhang L., Gong Y. (2017). Dietary cadmium exposure assessment among the Chinese population. *PLoS One* 12:1-12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177978>
- Storelli M. (2008). Potential human health risks from metals (Hg, Cd, and Pb) and polychlorinated biphenyls (PCBs) via seafood consumption: estimation of target hazard quotients (THQs) and toxic equivalents (TEQs). *Food and Chemical Toxicology* 46:2782-2788. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.05.011>
- Storelli M.M., Marcotrigiano G.O. (1999). Cadmium and total mercury in some cephalopods from the South Adriatic Sea (Italy). *Food Additives and Contaminants* 16:261-265. <https://doi.org/10.1080/026520399284028>
- Straif K., Benbrahim-Tallaa L., Baan R., Grosse Y., Secretan B., El Ghissassi F., Bouvard V., Guha N., Freeman C., Galichet L., Coglianò V. (2009). A review of human carcinogens--part C: metals, arsenic, dusts, and fibres. 453-454.
- Tacon A.G.J., Metian M. (2008). Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture* 285:50-59. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.08.015>
- Tacon A.G.J., Metian M. (2015). Feed matters: Satisfying the feed demand of aquaculture. *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture* 23:1-10. <https://doi.org/10.1080/23308249.2014.987209>
- Tajiri A.N., Pontes Netto D., Sassahara M., Rodrigues M.S.M., Arruda C.A.C.d. (2011). Determination of presence and quantification of cadmium, lead and copper in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets obtained from three cold storage plants in the state of Parana, Brazil. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 31:361-365. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612011000200013>
- Taravati S., Sary A.A., Baboli M.J. (2012). Determination of lead, mercury and cadmium in wild and farmed *Barbus sharpeyi* from Shadegan wetland and Azadegan aquaculture site, south of Iran. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 89:78-81. <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0604-0>
- Tsukahara T., Ezaki T., Moriguchi J., Furuki K., Shimbo S., Matsuda-Inoguchi N., Ikeda M. (2003). Rice as the most influential source of cadmium intake among general

- Japanese population. The Science of the Total Environment 305:41-51.
[https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00475-8](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00475-8)
- Turchini G.M., Trushenski J.T., Glencross B.D. (2019). Thoughts for the Future of Aquaculture Nutrition: Realigning Perspectives to Reflect Contemporary Issues Related to Judicious Use of Marine Resources in Aquafeeds. North American Journal of Aquaculture 81 <https://doi.org/10.1002/naaq.10067>
- UE-488/2014 UNIÓN EUROPEA 488-2014. Commission Regulation EU N° 488/2014, Amending Regulation (EC) N°1881/2006, as regards max. levels of Cd in foodstuffs
- Ufelle A.C., Barchowsky A. (2019). Toxic effects of metals. En: Klaassen C.D. (ed) Casarett & Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons. <https://accessbiomedicalsscience.mhmedical.com/content.aspx?bookid=2462§ionid=202676441> . McGraw Hill, New York
- UNE-EN14083:2003 Productos alimenticios. Determinación de elementos traza. Determinación de plomo, cadmio y molibdeno mediante espectrometría de absorción atómica en horno de grafito (GFEEA) tras digestión a presión. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0029864>
- UNE-ENISO/IEC17025:2017 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. (ISO/IEC 17025:2017). <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:17025:ed-3:v2:es>; <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0059467>
- Ureña R., Peri S., del Ramo J., Torreblanca A. (2007). Metal and metallothionein content in tissues from wild and farmed *Anguilla anguilla* at commercial size. Environment International 33:532-539. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.10.007>
- USEPA (1986). Drinking Water Criteria Document on Cadmium, Washington, DC, pp
- USEPA (1989). Risk assessment guidance for superfund. Volume I, human health evaluation manual (Part A). Interim final, Washington, DC, pp
- USEPA (2007). Framework for Metals Risk Assessment. EPA 120/R-07/001. Environmental Protection
- Uysal K., Köse E., Bülbül M., Dönmez M., Erdoğan Y., Koyun M., Ömeroğlu Ç., Özmal F. (2009). The comparison of heavy metal accumulation ratios of some fish species in Enne Dame Lake (Kütahya/Turkey). Environmental Monitoring and Assessment 157:355-362. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0540-y>
- Vilahur N., Vahter M., Broberg K. (2015). The Epigenetic Effects of Prenatal Cadmium Exposure. Current environmental health reports 2 <https://doi.org/10.1007/s40572-015-0049-9>
- Vinuesa J.H., Varisco M.A., Balzi P. (2013). Feeding strategy of early juvenile stages of the southern king crab *Lithodes santolla* in the San Jorge Gulf, Argentina. Revista de Biología Marina y Oceanografía 48 <https://doi.org/10.4067/s0718-19572013000200014>
- Wang W.X., Onsanit S., Dang F. (2012). Dietary bioavailability of cadmium, inorganic mercury, and zinc to a marine fish: Effects of food composition and type. Aquaculture 356-357:98–104. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.05.031>
- Westerlund S., Öhman P. (1991). Cadmium, copper, cobalt, nickel, lead, and zinc in the water column of the Weddell Sea, Antarctica. Geochimica et Cosmochimica Acta 55:2127-2146. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(91\)90092-J](https://doi.org/10.1016/0016-7037(91)90092-J)
- WHO (2012). World Health Organization. State of the science of endocrine disrupting chemicals - 2012, Geneva, pp

- WHO/FAO (2011). Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. COMPENDIUM OF FOOD ADDITIVE SPECIFICATIONS, Roma, pp 139.
- Wood C.M., Farrell A.P., Brauner C.J. (2012). Homeostasis and toxicology of essential metals. Academic press, United States of America.
- WorldBank (2013). Fish to 2030: Prospects for Fisheries and Aquaculture. World Bank, Washington, DC, pp
- Yap W.S., Chan C.C., Chan S.P., Wang Y.T. (2001). Ethnic differences in anthropometry among adult Singaporean Chinese, Malays and Indians, and their effects on lung volumes. *Respiratory Medicine* 95:297–304. <https://doi.org/10.1053/rmed.2001.1038>
- Yi Y., Tang C., Yi T., Yang Z., Zhang S. (2017). Health risk assessment of heavy metals in fish and accumulation patterns in food web in the upper Yangtze River, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 145:295-302. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.07.022>
- Zar J.H. (2014). Biostatistical analysis. Pearson Education Limited, Edinburgh.
- Zaza S., de Balogh K., Palmery M., Pastorelli A.A., Stacchini P. (2015). Human exposure in Italy to lead, cadmium and mercury through fish and seafood product consumption from Eastern Central Atlantic Fishing Area. *Journal of Food Composition and Analysis* 40:148-153. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2015.01.007>
- Zhang W., Liu Y., Liu Y., Liang B., Zhou H., Li Y., Zhang Y., Huang J., Yu C., Chen K. (2018). An assessment of dietary exposure to cadmium in residents of Guangzhou, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15:1-10. <https://doi.org/10.3390/ijerph15030556>
- Zhang Y., Liu P., Jin Y., Wang C., Min J., Wu Y. (2016). Dietary exposure and risk assessment to cadmium of the adult population of Jiangsu province, China: Comparing between semi-probabilistic and fully probabilistic approaches. *Human and Ecological Risk Assessment* 22:226-240. <https://doi.org/10.1080/10807039.2015.1057103>
- Zhong M.S., Jiang L., Han D., Xia T.X., Yao J.J., Jia X.Y., Peng C. (2015). Cadmium exposure via diet and its implication on the derivation of health-based soil screening values in China. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* 25:433-442. <https://doi.org/10.1038/jes.2015.5>
- Ziyaadini M., Yousefiyanpour Z., Ghasemzadeh J., Zahedi M.M. (2017). Biota-sediment accumulation factor and concentration of heavy metals (Hg, Cd, As, Ni, Pb and Cu) in sediments and tissues of *Chiton lamyi* (Mollusca: Polyplacophora: Chitonidae) in Chabahar Bay, Iran. *Iranian Journal of Fisheries Sciences* 16:1123-1134. <https://doi.org/10.22092/ijfs.2018.114725>

Anexo I. Tablas Límites Máximos Permitidos (LMP)

Tabla 1. Límites Máximos Permitidos (LMP) en productos alimenticios establecidos por el Código Alimentario Argentino (CAA 2017)

Grupo de alimento	Alimento	LMP (mg/kg)
Carnes	Riñones de bovinos, ovinos, porcinos, caprinos.	1
	Hígado de bovinos, ovinos, porcinos, caprinos y aves de corral	0,5
	Carnes de bovinos, ovinos, porcinos, caprinos y aves de corral, derivados crudos, congelados o refrigerados, embutidos y empanados crudos	0,05
Cereales	Arroz y sus derivados excepto aceite	0,4
	Trigo y sus derivados excepto aceite	0,2
	Cereales y productos de y a base de cereales, excluidos trigo, arroz y sus productos derivados y aceites	0,1
Vegetales	Hortalizas de hoja (incluidas las crucíferas de hoja suelta) y hierbas aromáticas frescas	0,2
	Raíces y tubérculos	0,1
	Tallos jóvenes y pecíolos	0,1
	Hortalizas de bulbo y hojas envainadoras	0,05
	Hortalizas de fruto de la familia Curcubitaceae	0,05
	Hortalizas de fruto, distintas de las de la familia Curcubitaceae	0,05
	Frutas frescas, excluidas las bayas y frutas pequeñas	0,05
	Frutas frescas de bayas y frutas pequeñas	0,05
	Hortalizas del género crucíferas (excluidas las de hojas sueltas)	0,05
	Setas (hongos) excepto las del género Agaricus, Pleurotus y Lentinula o Lentinus	0,05
	Setas (hongos) del género Agaricus, Pleurotus y Lentinula o Lentinus	0,2
	Hortalizas leguminosas	0,1
Legumbres	Legumbres (semillas secas de las leguminosas) excepto soja	0,1
	Poroto (grano) de soja	0,2
Cacao	Chocolates y productos de cacao con menos de 40 % de cacao	0,2
	Chocolates y productos a base de cacao con más de 40 % de cacao	0,3
	Pasta de cacao	0,3
Condimentos	Sal, calidad alimentaria	0,5
Leche y subproductos	Leche fluida lista para el consumo y productos lácteos sin adición, sin diluir ni concentrar	0,05
	Leche condensada y dulce de leche	0,1
	Crema de leche	0,2
	Quesos	0,5
Helados	Helado de leche o crema	0,05
	Helados a base de fruta	0,05
	Hielos comestibles	0,05
	Helados de agua saborizados	0,01
Bebidas	Bebidas analcohólicas (excluidos los jugos)	0,02
	Zumos (Jugos) y néctares de frutas	0,05
	Bebidas alcohólicas fermentadas y fermento-destiladas, excepto vino	0,02
	Vino	0,01
		mg/l
Infusiones	Té, yerba mate, y otros vegetales para infusión	0,4
	Café torrado en granos y polvo	0,1
	Café soluble en polvo o granulado	0,2
Varios	Miel	0,1

Tabla 18. Límites Máximos Permitidos (LMP) en productos alimenticios establecidos por Australia (F2015C00052) y el Codex Alimentarius (FAO/WHO 1995)

LEGISLACIÓN AUSTRALIA			CODEX ALIMENTARIUS	
Grupo de alimento	Alimento	LMP (mg/kg)	Alimento	LMP (mg/kg)
Carnes	Riñón de vaca, oveja, cerdo	2,5		
	Hígado de vaca, oveja, cerdo	1,25		
	Carne de vaca, oveja y cerdo (excluyendo achuras)	0,05		
Cereales	Arroz	0,1	Arroz, pulido: todo el producto	0,4
	Trigo	0,1	Trigo: todo el producto	0,2
			No se aplica al trigo blando, trigo duro, espelta y escanda	
			Cereales en grano; todo el producto	0,1
Vegetales			No es aplicable al trigo sarraceno, cañihua, quinoa, trigo y arroz	
	Vegetales de hoja	0,1	Hortalizas de hoja: Todo el producto que se comercializa normalmente, después de eliminar las hojas claramente descompuestas o marchitas	0,2
			No es aplicable a las hortalizas de hoja crucíferas	
	Raíces y tubérculos	0,1	Raíces y tubérculos: Todo el producto después de eliminar las puntas. Eliminar el suelo adherente (p.ej., enjuagándolo con agua corriente o cepillando suavemente el producto seco)	0,1
			Patatas (papas): patatas peladas	
			No es aplicable al apionabo	
			Hortalizas de tallos y brotes: Todo el producto que se comercializa después de eliminar las partes claramente descompuestas o marchitas	0,1
			Ruibarbo: brotes de hojas sólo	
			Alcachofa: la cabeza solamente	
			Apio y espárragos: eliminar el suelo adherente	
			Hortalizas de bulbos: Cebollas bulbo/secas y ajo: todo el producto después de eliminar las raíces y el suelo adherente y toda la piel apergaminada que se suelte fácilmente	0,05
			Hortalizas de frutos: Todo el producto después de eliminar los tallos	
			Maíz dulce y maíz fresco: granos más mazorca sin la cáscara	0,05
			No es aplicable a los tomates y hongos comestibles	
			Hortalizas crucíferas	
			Coles arrepolladas y colinabos: todo el producto que se comercializa, después de eliminar las hojas claramente descompuestas o marchitas	0,05

LEGISLACIÓN AUSTRALIA			CODEX ALIMENTARIUS	
Grupo de alimento	Alimento	LMP (mg/kg)	Alimento	LMP (mg/kg)
			Coliflor y brócolis: repollos (inflorescencia inmadura solo) Coles de Bruselas: "capullos" sólo No es aplicable a las hortalizas crucíferas de hoja Hortalizas leguminosas: Producto entero que se consume Las formas frescas se pueden consumir como vainas enteras o como el producto sin vaina	0,1
Legumbres	Maní	0,5	Legumbres; todo el producto No es aplicable a la soja (seca)	0,1
Cacao	Chocolate y productos de cacao	0,5		
Condimentos			Sal, calidad alimentaria La norma correspondiente del Codex para productos es CODEX STAN 150-1985 (CXS150-1985)	0,5

Tabla 3. Límites Máximos Permitidos (LMP) en productos alimenticios establecidos por establecidos por la Unión Europea (UE-488/2014) y China (GB2762-2017)

LEGISLACIÓN			UNIÓN EUROPEA		CHINA	
Grupo de alimento	Alimento	LMP (mg/kg)	Alimento	LMP (mg/kg)		
Carnes	Riñón de bovinos, ovejas, cerdos, aves de corral y caballo	1,00	Riñón de ganado y aves de corral	1		
			Productos de vísceras de riñón	1		
	Hígado de bovinos, ovejas, cerdos, aves de corral y caballo	0,50	Hígado de ganado y aves de corral	0,5		
			Productos de vísceras de hígado	0,5		
	Carne (excluyendo achuras) de bovinos, ovejas, cerdos y aves de corral	0,050	Carnes (excepto vísceras de ganado y aves de corral)	0,1		
	Carne de caballo (excluyendo achuras)	0,20	Productos cárnicos (excepto de hígado y riñón)	0,1		
Cereales			Arroz	0,2		
	Salvado de trigo y germen de trigo para consumo directo, poroto de soja	0,20	Cereal (excepto arroz)	0,1		
	Granos de cereal (excluyendo trigo y arroz)	0,10	Granos molienda (excepto arroz)	0,1		
Vegetales	Vegetales de hoja, hierbas frescas, crucíferas de hoja, apio, apionabo, chirivías, aromáticas, rábano picante. Hongos: champiñones comunes, gírgolas, seta china	0,20	Verduras de hoja	0,2		
	Raíces y tubérculos (excluyendo apionabo, chirivías, aromáticas y rábano picante), vegetales de tallo (excluyendo apio)	0,10	Legumbres, raíces, tubérculos y verduras de tallo (excluido el apio)	0,1		
			Apio	0,2		
			Verduras frescas (excluyendo verduras de hoja, legumbres, raíces, tubérculos, vegetales de tallo y bulbo y tallo, hoja)	0,05		
	Vegetales y frutas (excluyendo raíces, vegetales de tubérculos, vegetales de hojas, hierbas frescas, crucíferas de hoja, hortalizas de tallo, hongos y algas)	0,050				
			Fruta fresca	0,05		
			Champiñones frescos (excepto champiñones y <i>Agaricus</i>)	0,2		
	Hongos	1	Champiñones y productos (excepto <i>Agaricus</i>)	0,5		

LEGISLACIÓN			UNIÓN EUROPEA		CHINA	
Grupo de alimento	Alimento	LMP (mg/kg)	Alimento	LMP (mg/kg)		
Legumbres			Maní	0,5		
			Porotos	0,2		
Cacao	Chocolate con leche con < 30 % sólidos secos totales de cacao	0,10				
	Chocolate con < 50 % sólidos secos totales de cacao, Chocolate con leche con ≥ 30 % sólidos secos totales de cacao	0,30				
	Chocolate con ≥ 50 % sólidos secos totales de cacao	0,80				
	Polvo de cacao que se vende al consumidor final o como un ingrediente del cacao endulzado (para chocolate de bebida)	0,60				
Condimentos			Sal de mesa	0,5		
			Condimentos de pescado	0,1		
Fórmulas	Fórmula en polvo fabricada a partir de proteínas de leche de vaca o de hidrolizados de proteína	0,010				
	Fórmula líquida fabricada a partir de proteínas de leche de vaca o de hidrolizados de proteína	0,005				
	Fórmula en polvo fabricada a partir de aislado de proteína de soja, sola o en una mezcla con proteínas de leche de vaca	0,020				
	Fórmula líquida fabricada a partir de aislado de proteína de soja, sola o en una mezcla con proteínas de leche de vaca	0,010				
	Alimentos basados en cereal procesado y alimentos para bebés e infantes	0,040				
Suplementos	Suplementos alimenticios	1,0				
	Suplementos alimenticios consistiendo exclusivamente o principalmente en algas desecadas, productos derivados de las algas o de moluscos bivalvos desecados	3,0				
Huevos			Huevos y productos de huevo	0,05		
Bebidas			Agua envasada (excepto agua mineral)	0,005		
			Agua mineral envasada	0,003		

Tabla 4. Límites Máximos Permitidos (LMP) en productos de la pesca establecidos por Código Alimentario Argentino (CAA 2017) y La División de Control e Inspección de la Calidad de Pescados de Tailandia (FIQD-Tailandia 2003)

Legislación	CÓDIGO ALIMENTARIO ARGENTINO.		FIQD. TAILANDIA	
Grupo de alimento	Alimento	LMP (mg/kg)	Alimento	LMP (mg/kg)
Moluscos	Moluscos bivalvos	2,00	Moluscos bivalvos y cefalópodos sin vísceras	1
	Moluscos Cefalópodos	2,00		
Crustáceos	Crustáceos. Para algunos crustáceos se excluye cabeza y tórax (langosta y crustáceos de gran tamaño)	0,50	Crustáceos (excluyendo carne marrón de cangrejo)	0,5
Peces	Pescados crudos, congelados o refrigerados. Contenido máx hace referencia a pescado o producto de la pesca eviscerado (sin cabeza y sin tórax, cuando corresponda)	0,05		
	Bonito, mojarra, anguila, lisa, jurel, emperador, caballa, sardina, atún, acedia	0,10	Acedia, anguila, caballa, salmonete gris, dorado con dos bandas, sardina europea, sardina, anchoa europea, emperador	0,1
	Melba	0,20		
	Anchoa, pez espada	0,30		
			Productos de la pesca	0,05

Tabla 5. Límites Máximos permitidos (LMP) en productos de la pesca establecidos por la Unión Europea (UE-488/2014) y China (GB2762-2017)

LEGISLACIÓN		UNIÓN EUROPEA		CHINA	
Grupo de alimento	Alimento	LMP (mg/kg)	Alimento	LMP (mg/kg)	
Moluscos	Moluscos bivalvos	1	Bivalvos, Gasterópodos, Cefalópodos, Equinodermos sin vísceras (frescos y congelados)	2,0	
	Cefalópodos sin vísceras	1			
Crustáceos	Carne de músculo de apéndices y de abdomen, carne de músculo de apéndices de cangrejos	0,5	Crustáceos (frescos y congelados)	0,5	
Peces	Pescado (Carne de músculo)	0,05	Pescado (carne de músculo, frescos y congelados)	0,1	
	Caballa, atún, caviar (Carne de músculo)	0,1			
	Melba (Carne de músculo)	0,15			
	Anchoa, pez espada, sardina (Carne de músculo)	0,25	Anchoas y productos de pez vela	0,3	
			Conservas de pescado	0,2	
			Conservas de anchoa y de pez vela	0,3	
			Otros productos de pescado	0,1	

Tabla 6. Límites Máximos Permitidos (LMP) en productos de la pesca establecidos por Australia (F2015C00052) y el Codex Alimentarius (FAO/WHO 1995)

LEGISLACIÓN		AUSTRALIA		CODEX ALIMENTARIUS	
Grupo de alimento	Alimento	LMP (mg/kg)	Alimento	LMP (mg/kg)	
Moluscos	Moluscos (excluyendo ostras chilenas y vieiras reina)	2,0	Moluscos marinos bivalvos (almejas, berberechos y mejillones, nolas ostras y vieiras), Todo el producto después de eliminar el caparazón	2,0	
			Cefalópodos (sepia, pulpo, calamar sin vísceras), Todo el producto después e eliminar el caparazón	2,0	