



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOMAS DE ZAMORA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**



Práctica Profesional Asistida para obtener el título de:

Licenciatura en Gestión de la Calidad e Inocuidad de los Alimentos

**Estudio de la acumulación y detoxificación de la aflatoxina B1
en el musculo del Pacú (*Piaractus mesopotamicus*)**

Alumna: Tec. Ruiz Maria Juana

Director: Dr. Ing. Zoot. Luciano F. Montenegro Gallazzi

Codirector: Dr. Diego Cristos

Lomas de Zamora, Julio del 2024

“Estudio de la acumulación y detoxificación de la aflatoxina B1 en el musculo del Pacú (*Piaractus mesopotamicus*)”

Identificación del proyecto

Carrera: Licenciatura en Gestión de la Calidad e Inocuidad de los Alimentos

Unidades ejecutoras:

- Facultad de Ciencias Agrarias de la UNLZ
- Institución externa INTA - ITA

Palabras clave: Micotoxinas, aflatoxinas, acuicultura, seguridad alimentaria, contaminación, regulación, prevención.

Director

Apellido y Nombre: **Montenegro Luciano**

Cargo: secretario de Posgrado

Co-director

Apellido y Nombre: **Cristos Diego**

Cargo: Coordinador de Área del laboratorio de Contaminantes Químicos INTA - ITA

“Las opiniones expresadas por el autor de este Trabajo no representan necesariamente los criterios de la Carrera de gestión de la Calidad e inocuidad de los alimentos. de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Lomas de Zamora”

Índice	
Resumen	5
Agradecimientos	6
Introducción	7
Micotoxinas	8
Aflatoxinas	9
Legislación	11
Consecuencias de la contaminación por micotoxinas	15
La acuicultura a nivel mundial	15
Acuicultura en la argentina	16
Dificultades en la acuicultura	17
Presencia de micotoxinas en la alimentación de especies acuáticas	18
Producción de Pacú	19
El Pacú	20
Situación del problema	22
Actividades Realizadas	23
Resultados	28
Conclusión	30
Propuesta de mejora	31
Referencias	32
Plan de Formación / capacitación	38
Producción	39

Resumen

La presencia de micotoxinas en los alimentos puede generar diversos efectos adversos en la salud humana y animal, incluyendo enfermedades agudas y crónicas, especialmente en niños y poblaciones vulnerables. En países en vías de desarrollo, la falta de regulación y control efectivo aumenta el riesgo de exposición a micotoxinas, lo cual tiene un impacto significativo en la salud pública y en los sistemas de salud. El uso de proteínas vegetales en la alimentación acuícola ha incrementado el riesgo de contaminación por micotoxinas. Estas toxinas pueden afectar el crecimiento, la salud y la calidad del pescado. La presencia de micotoxinas en la alimentación de peces es un problema global que requiere medidas de control y estrategias de prevención. El presente trabajo evalúa a través de ensayo de laboratorio la acumulación y detoxificación de aflatoxina B1 (AFB1) y su metabolito aflatoxina M1 (AFM1) en el músculo de Pacú (*Piaractus mesopotamicus*) a los cuales se les suministró una dieta basada en alimento balanceado contaminado con AFB1 en concentraciones subletales. Los resultados indicaron que el valor máximo de residuos de AFB1 y AFM1 se alcanza de manera independiente de la dosis de AFB1 en el alimento, aunque el tiempo requerido para alcanzar ese equilibrio es menor a medida que aumenta la dosis de AFB1 en la alimentación. La evaluación de la eliminación de la toxina, indicó que esta se metaboliza y elimina rápidamente dentro de las primeras 72 horas después de comenzar la alimentación libre de AFB1. Este trabajo, permitió estudiar la dinámica de acumulación y eliminación de la AFB1 para una especie de importancia para la acuicultura de Argentina, los resultados obtenidos aportan información relevante para el diseño de protocolos y futuras investigaciones en la temática.

Palabras clave: Micotoxinas, aflatoxinas, acuicultura, seguridad alimentaria, contaminación, regulación, prevención.

Agradecimientos

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de esta tesis de grado. En primer lugar, agradezco a mis directores de tesis, el Dr. Diego Cristos, por su orientación experta, paciencia y apoyo continuo que fueron fundamentales para cerrar este ciclo. Asimismo, agradezco al Dr. Luciano Montenegro por su ayuda para completar este proceso.

Mi profundo agradecimiento a INTA por su apoyo financiero, el cual fue fundamental para llevar a cabo esta investigación.

Un agradecimiento muy especial a mis compañeras, algunas amigas y compinches que siempre estuvieron a mi lado, me brindaron su ayuda y aliento para que pudiera culminar este proceso. Mi cariño y respeto hacia ellas. Gracias a Nati, Sol, Albita y Cinti, cada una de ustedes fue un pilar fundamental para mí.

No puedo dejar de mencionar el apoyo incondicional de mi familia por sobre todo a mi compañero de vida Albert que fue mi mejor sponsor, siempre con una palabra de aliento o un mate para acompañarme.

Tampoco quiero dejar de mencionar a mi Madre que también me acompañó parte de la cursada. A “las popus” mis compañeras de la facultad, gracias por esos mates, alegrías, llantos y nervios compartidos durante la cursada Ceci-Carito-Vilmi-Valu y Cristi.

Finalmente, agradezco a todos aquellos que, de una forma u otra, contribuyeron a la realización de esta tesis.

Esta tesis está dedicada especialmente a mis hijos y nietos.

Introducción

Las micotoxinas son metabolitos secundarios producidos por ciertas especies de hongos en matrices alimentarias las cuales representan una amenaza tóxica tanto para humanos como para animales. La principal vía de exposición es a través de la ingesta de alimentos contaminados. Estos metabolitos pueden manifestarse en todas las etapas de la cadena productiva, desde la contaminación inicial de los cultivos por patógenos fúngicos, hasta el almacenamiento de las materias primas agrícolas y la distribución del producto final, entre otros procesos (Pitt, Taniwaki, & Cole, 2013).

Desde el comienzo de la agricultura, la presencia de hongos toxigénicos y sus micotoxinas se ha vinculado estrechamente con la práctica de cultivar y almacenar alimentos de una temporada a otra. Este desarrollo ofreció un vasto y nuevo hábitat para los hongos micotoxigénicos, especialmente en los granos almacenados. A lo largo de la historia, los granos han sido consistentemente identificados como la principal fuente de micotoxinas en la dieta humana y animal (Pitt & Miller, 2017).

El almacenamiento de cereales probablemente se inició durante la transición de la humanidad de cazador-recolector a cultivador. Desde hace aproximadamente 12 mil años, la humanidad basa su alimentación en productos cultivados (Salamini et al., 2002).

Los cereales se cultivan en un gran número de países y en zonas climáticas muy diversas que permiten su producción tanto a pequeña como a gran escala. Las condiciones ambientales altamente variables a las que están expuestos los cereales antes y después de la cosecha, junto con la tecnología utilizada para su manejo, determinan el nivel de riesgo asociado con la contaminación fúngica y la acumulación de toxinas. Estos factores son las principales causas de deterioro en los granos de cereales y en los alimentos derivados de ellos (Fleurat-Lessard, 2017).

Al finalizar la campaña de comercialización de 2023/24 (julio/junio), la FAO estima que la producción mundial de cereales alcanzará un récord de 2.847 millones de toneladas, representando un aumento del 1,2 % respecto al año anterior. Este incremento se debe principalmente a un notable aumento en la producción global de maíz, que compensa los descensos en la producción de sorgo y trigo a nivel mundial. Las

estimaciones también indican que la utilización mundial de cereales en 2023/24 llegará a 2.836 millones de toneladas, superando en un 1,6 % los niveles del año anterior. Este crecimiento se atribuye al aumento del uso de cereales secundarios y trigo, especialmente como pienso, impulsado por la abundancia en la oferta y la disminución de precios en comparación con la campaña anterior, mientras que el arroz disminuyó. (FAO,2024). Los cereales constituyen la base de la alimentación mundial, por lo tanto, es crucial prevenir su deterioro y desperdicio.

Micotoxinas

Las micotoxinas halladas en los productos alimenticios son metabolitos secundarios de bajo peso molecular, generados por hongos que contaminan los alimentos, y pueden surgir a lo largo de toda la cadena de producción. Aunque se conocen cientos de metabolitos que podrían actuar como toxinas fúngicas, se considera un número más limitado por su alta toxicidad y presencia frecuente en alimentos y materias primas, lo que representa un importante factor de riesgo para su inocuidad. Las micotoxinas mencionadas incluyen aflatoxinas, fumonisinas, ocratoxinas, tricotecenos, zearalenona, toxinas de *Alternaria* y patulina, mayormente producidas por especies de los géneros *Alternaria*, *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium*. Pueden infectar tanto los cultivos en campo como las materias primas durante el almacenamiento poscosecha, el procesamiento o la distribución de los alimentos (Alshannaq & Yu, 2017).

Se han propuesto hipótesis sobre múltiples funciones biológicas desempeñadas por las micotoxinas. Se ha observado que algunas de estas sustancias son perjudiciales para los microorganismos o plantas que compiten con el moho productor por el mismo nicho. Además, investigaciones recientes respaldan su papel en el inicio y desarrollo de la patogénesis, lo que sugiere que una posible reducción en la producción de micotoxinas podría tener implicaciones significativas en el control de la infección por parte del moho productor (Sanzani, et al., 2016).

Otros factores ambientales, como la temperatura, la actividad de agua (a_w) y el pH, influyen fuertemente en la biosíntesis de las micotoxinas. Además, la aplicación de concentraciones subóptimas de fungicidas puede aumentar la biosíntesis de estas al actuar como un factor de estrés (Reverberi et al.,2010).

Una vez producidas, la mayoría de las micotoxinas son estables a las altas temperaturas, la presión y la luz, entre otros factores, siendo difícil eliminarlas en el

proceso productivo de un alimento, durante el cual pueden sufrir variaciones en su estructura, su conformación o la formación de complejos con la matriz alimentaria. Es por esto que la forma más segura de obtener alimentos libres de micotoxinas es evitar que estos se contaminen durante todas las etapas de su procesamiento, aplicando sistemas de gestión de calidad y controlando especialmente las condiciones durante la producción primaria y almacenamiento de estos (García et al ., 2012).

Aflatoxinas

Las aflatoxinas (AFs) son un grupo de moléculas lipofílicas producidas por numerosas especies de mohos pertenecientes al género *Aspergillus sp.* Su estructura química incorpora restos dihidrofurano y tetrahydrofurano acoplados a una estructura tipo cumarina (JECFA, 2007).

Se han encontrado productores de AFs en tres grupos filogenéticamente diferentes de aspergilli, aunque aún no hay evidencia de que sean producidas por otras especies fuera del género *Aspergillus*. Son capaces de producirlas, entre otros, *A. flavus*, *A. parasiticus*, *A. parvisclerotigenus*, *A. nomius*, *A. bombycis* y *A. pseudotamarii* pertenecientes a la sección *Flavi*, *A. ochraceoroseus* y *A. rambellii* en la sección *Ochraceorosei* y *Emericella astellata* y *E. venezuelensis* en la sección *Nidulantes* (Varga, Frisvad, & Samson, 2009). Asimismo, algunos de los genes necesarios para la producción de AFs están presentes en especies de *Aspergillus* que todavía no han sido reportados como productores de AFs o sus precursores, como *A. terreus*, *A. niger* y *A. fumigatus* (Frisvad et al., 2007).

Las AFs más importantes, debido a su ocurrencia y toxicidad, son las aflatoxinas AFB1 y AFB2, las aflatoxinas AFG1, AFG2 y los subproductos metabólicos aflatoxinas AFM1, AFM2. De estas AFs, AFB1 presenta mayor ocurrencia en muestras contaminadas, mientras que AFB2, AFG1 y AFG2 generalmente no se informan en ausencia de AFB1 (JECFA, 2018; Santini & Ritieni, 2013). Su nomenclatura deriva de los primeros ensayos realizados sobre las mismas, en función de su fluorescencia azul (B *blue*) o verde (G *green*) bajo luz UV. En cambio, AFM1 y AFM2 se denominaron así ya que son subproductos metabólicos descubiertos originalmente en leche (M *milk*) de vacas alimentadas con granos contaminados con AFB1 o AFB2. En áreas de alta exposición a AFs, los humanos están expuestos a AFM1 casi exclusivamente a través de la leche y los productos lácteos, incluida la leche materna (Iha, Barbosa, Okada, &

Trucksess, 2013; JECFA, 2001). En la (figura 1.1) se muestra las estructuras químicas de las AFs mencionadas.

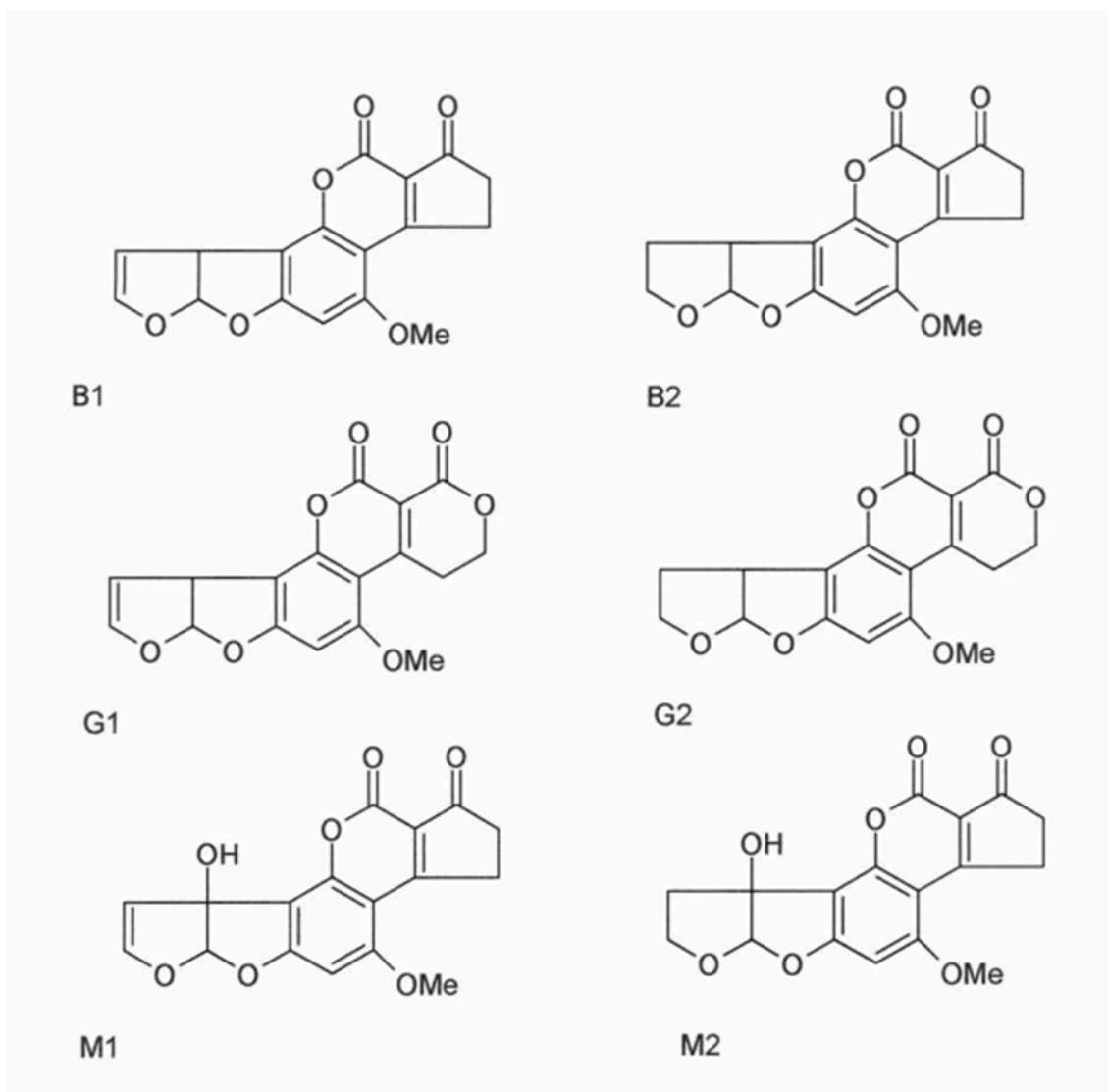


Figura1.1 Moléculas de Aflatoxinas.

La AFB1 puede ser producida junto con AFB2 tanto por *A. flavus* como por *A. parasiticus*. Sin embargo, AFG1 y AFG2 son producidas únicamente por *A. parasiticus* y no por *A. flavus* (Frisvad et al., 2019). La presencia de *Aspergillus* spp. en los productos alimenticios no garantiza niveles peligrosos de AFs, ya que existen cepas que no las producen. Del mismo modo, la ausencia de estos mohos no asegura la ausencia de AFs en el alimento, dado que son compuestos altamente estables que pueden persistir en él a pesar de los rigurosos procesos de producción. (Bullerman & Bianchini, 2007).

Entre las variables de proceso más relevantes para evitar la acumulación de AFs durante el almacenamiento se consideran el contenido de humedad del sustrato y la humedad relativa del entorno (Montani, Vaamonde, Resnik, & Buera, 1988).

Las AFs, y especialmente la AFB1, se asocian con toxicidad y carcinogenicidad en poblaciones humanas y animales. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha clasificado la aflatoxina B1 como carcinógeno del grupo I (IARC, 1993, 2002). La exposición a las AFs en la dieta se considera un factor de riesgo importante para el desarrollo de carcinoma hepatocelular primario, particularmente en individuos que ya están expuestos a la hepatitis B. Para la WHO, entre los contaminantes químicos estudiados, las AFs tienen la mayor carga negativa en la salud de la población, estando asociadas con el mayor número de años de vida perdidos (WHO, 2015).

Legislación

Los mohos contaminantes de alimentos son capaces de producir numerosos metabolitos secundarios, pero solo algunas micotoxinas están reguladas ya sea por sus efectos adversos en la salud humana y animal o a su importancia económica en el comercio mundial (FAO, 2004a).

A nivel internacional, la Comisión del Codex Alimentarius (CAC), establecida por la FAO y la WHO, ha adoptado directrices y normas alimentarias, así como códigos de buenas prácticas para evitar las micotoxinas en alimentos y piensos, con el objetivo de alcanzar la inocuidad de estos y la equidad en su comercialización mundial. La Norma General del Codex para Contaminantes y Toxinas en Alimentos y Piensos, adoptada en 1995 y actualizada varias veces desde entonces, establece los niveles máximos recomendados para 17 toxinas, entre las que se encuentran aflatoxinas, deoxinivalenol (DON), fumonisinas B1 (FB1) y fumonisina B2 (FB2), zearalenona (ZEA), nivalenol (NIV), Ocratoxina A (OTA) y patulina (PAT) en varias matrices alimentarias (Codex Alimentarius Commission, 2015).

También se especifican los protocolos para el muestreo, los criterios analíticos de los métodos de cuantificación y los códigos de prácticas basadas en Buenas Prácticas Agrícolas y Buenas Prácticas de Fabricación alineados con los principios de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control del proceso. Las normas del Codex Alimentarius,

basadas en evidencia científica y consideradas neutrales, son ampliamente aceptadas como estándares internacionales. Sin embargo, su aplicación por parte de los estados miembros es voluntaria y, si bien se han incorporado a algunas legislaciones nacionales, aún no están internalizadas en todas.

El Comité Mixto FAO/WHO de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA), como organismo científico independiente, realiza evaluaciones de riesgos y proporciona asesoramiento científico a la CAC. También lo hace la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) la cual asesora como agencia independiente a la Comisión Europea (EC) y a los Estados miembros de la Unión Europea (EU), los cuales tienen normativas propias respecto a los niveles máximos de micotoxinas en diversas matrices alimentarias.

En Argentina, hasta julio de 2019, las únicas micotoxinas reguladas por el Código Alimentario Argentino (CAA), en cumplimiento con una norma del Mercado Común del Sur (MERCOSUR) del cual Argentina es miembro, eran las aflatoxinas. Estas incluían la aflatoxina B1 (AFB1), la suma de las aflatoxinas B1+B2+G1+G2 (AFs), y la aflatoxina M1 (AFM1). Estas regulaciones se aplicaban a las siguientes categorías:

Maní y alimentos a base de maní (AFB1 y AFs).

- ☐ Maíz y alimentos a base de maíz (AFB1 y AFs).
- ☐ Alimentos para lactantes, a base de cereales y fórmulas lácteas (AFs y AFM1).
- ☐ Leche fluida y en polvo (AFM1).
- ☐ Harinas proteínicas de origen vegetal, harina de soja (AFs).
- ☐ Harina de chía (AFs).
- ☐ Baño de repostería (AFs).

Mediante la Resolución Conjunta 22/2019 RESFC-2019-22-APN de la Secretaría De Regulación y Gestión Sanitaria y la Secretaría De Alimentos y Bioeconomía se establecieron a partir de julio de 2019 nuevos límites respecto a deoxinivalenol (DON), fumonisinas totales, como la suma de fumonisina B1 (FB1) y fumonisina B2 (FB2), y

OTA dispuestos en el artículo 156 quater del CAA, para las siguientes categorías (CONAL, 2019b):

- Alimentos a base de cereales para lactantes y niños pequeños (DON y OTA)
- Harina de maíz y sémola de maíz (DON, FB1+FB2 y OTA)
- Harina, sémola, semolina y hojuelas o copos de trigo (DON y OTA)
- Café (OTA)
- Uvas pasas (OTA)

También en la legislación argentina existen normativas más estrictas en cuanto a la presencia de micotoxinas para casos en los cuales el productor decida optar por algún sello de calidad, como por ejemplo el sello Alimentos Argentinos, aunque esto es específico para ciertos productos de interés y no es de aplicación obligatoria.

La legislación concerniente a AFs en Argentina, RESOLUCIÓN GMC N° 025/02 en MERCOSUR, se encuentra especificada en el CAA, del cual se transcriben extractos de los artículos correspondientes:

"Capítulo III. Artículo 156 bis - (Res. 612, 10.05.88) Se considerarán como no aptos para el consumo los siguientes alimentos cuyo contenido en aflatoxinas exceda los límites indicados a continuación:

Maní y alimentos a base de maní: 20 microgramos/kg de aflatoxinas B1 + B2 + G1 + G2 ó 5 microgramos/kg de aflatoxina B1. (AOAC. 14° Ed. DF 26.032 y CB 26.026).

Maíz y alimentos a base de maíz: 20 microgramos/kg de aflatoxinas B1 + B2 + G1 + G2 ó 5 microgramos/kg de aflatoxina B1. (AOAC. 14ª Ed BF 26.032 y CB 26.026).

Alimentos para lactantes; aflatoxinas no detectables. a) Alimentos a base de cereales: Aflatoxinas B1 + B2 + G1 + G2. (AOAC. 14ª Ed BF 26.032 y CB 26.026) b) Fórmulas lácteas: Aflatoxina M1 (Método de Stubblefield, JAOCS 56, 800-802 (1979))."

"RESOLUCIÓN GMC N° 025/02 Incorporada por Resolución Conjunta N° 66/02 y N° 344/02. Se deroga toda legislación del Código Alimentario Argentino que se oponga al dictado de la presente resolución. Reglamento Técnico MERCOSUR sobre límites máximos de aflatoxinas admisibles en leche, maní y maíz" (tabla 1.1).

Alimento	Aflatoxina	Límite
1. Leche		
1.1 Leche fluida	M1	0,5 µg/L
1.2. Leche en polvo	M1	5,0 µg/kg
2. Maíz		
2.1. Maíz en grano (entero, partido, aplastado, mondado)	B1+B2+G1+G2	20 µg/kg
2.2. Harinas o sémolas de maíz	B1+B2+G1+G2	20 µg/kg
3. Maní		
3.1. Maní (sin descascarar, descascarado, crudo o tostado)	B1+B2+G1+G2	20 µg/kg
3.2. Maní en pasta (Pasta de maní o manteca de maní)	B1+B2+G1+G2	20 µg/kg

Tabla 1.1 Límites máximos admisibles de concentración de aflatoxinas según CAA

“Capítulo VIII. Artículo 563 - (Res MSyAS N° 047, 28.01.98) Artículo 556 - (Resolución Conjunta SPRyRS y SAGPyA N° 33/2006 y N° 563/2006). Repite el valor legislado para AFM1 en leche.”

“Capítulo XIX. Artículo 1407 - (Res 126, 29.1.80). Harinas Proteínicas de origen vegetal (harina de soja). Aflatoxinas, inferior a 0,03 µg/g.”

“Capítulo XIX. Artículo 1407 bis – (Resolución Conjunta SPReI N° 86/2009 y SAGPyA N° 711/2009) Harina de Chía, producto proveniente de la molienda de la semilla de chía (*Salvia hispana* L.). Aflatoxinas máximo 0,03 µg/kg.”

“Capítulo X. Artículo 787bis - (Resolución Conjunta N° 31/03 y N° 286/03) Modificado por Resolución Conjunta SPRyRS y SAGPyA N° 108/07 y N° 12/07 (incorporación de la RESOLUCIÓN GMC N° 15/05). Baño de repostería. Aflatoxinas máximo 0,005 mg/kg.”

Otros límites regulatorios aplicados para AFs varían entre 2 y 12 µg/kg para AFB1, 4 y 15 µg/ kg para AFB2, 4 y 15 µg/kg para AFs totales, en matrices tales como cereales y frutos secos y sus derivados. Los límites para AFM1 varían entre 0,05 y 0,5 µg/kg en leche y derivados (EC, 2010; FAO, 2004b; MERCOSUR, 2002). Los valores recomendados por CAC para frutos secos como nueces, almendras, maní y pistachos están entre 10 y 15 µg/kg (Codex Alimentarius Comission, 2015).

Consecuencias de la contaminación por micotoxinas

A pesar de los esfuerzos para controlar la contaminación por hongos en cereales y oleaginosas, se ha informado sobre la presencia de micotoxinas en las materias primas o

en alimentos procesados en diversas regiones del mundo. Esta situación se presenta independientemente del clima o del nivel de desarrollo tecnológico, pudiendo incluso haber concurrencia de dos o más micotoxinas en una misma matriz y picos de alta contaminación ante cambios inusuales, ya sean meteorológicos durante el cultivo o relacionados con el proceso productivo (Schatzmayr & Streit, 2013).

Como consecuencia de la contaminación de las materias primas, las micotoxinas ingresan en la cadena alimentaria. Cuando no son detectadas en etapas tempranas, especialmente en regiones con normas poco estrictas o falta de regulaciones, la calidad de los productos alimenticios finales se ve afectada, junto con un estatus socioeconómico inestable y la escasez de tecnología agrícola. Es fundamental implementar un adecuado manejo de los cultivos antes y después de la cosecha para prevenir eficazmente la presencia de micotoxinas, lo que contribuirá a reducir la inseguridad alimentaria de los consumidores (Alberts *et al.*, 2017).

La acuicultura a nivel mundial

Según la FAO (2020) en el último informe, aproximadamente el 82% del pescado consumido anualmente se destina al consumo humano directo, mientras que el restante se utiliza en la producción de harinas y aceites. De la cantidad total consumida directamente (115 millones de toneladas), el 53% proviene de instalaciones de acuicultura, y se espera que esta proporción aumente en los próximos años.

El aumento en la demanda de pescado para consumo humano está impulsando a la acuicultura a desempeñar un rol cada vez más relevante en la oferta global de productos pesqueros. Se proyecta que la acuicultura contribuirá de manera significativa al suministro mundial en aumento de proteínas de origen animal.

En realidad, en los últimos 30 años, la acuicultura ha sido el sector de producción de alimentos con el crecimiento anual más rápido. (Hua *et al.*, 2019). Este incremento en la producción ha provocado una creciente necesidad de nuevas formulaciones de alimentos que no solo optimicen la rentabilidad, sino que también promuevan la sostenibilidad (Dirican, 2015; Montoya-Camacho *et al.*, 2019).

La mayoría de los expertos coinciden en resaltar a la acuicultura como uno de los sistemas más eficientes en la transformación de energía. No obstante, también señalan

que el incremento en los niveles de producción conlleva el agotamiento de los recursos naturales. (Bardach, 1997; Valenti et al., 2011; FAO, 2020).

La industria acuícola en Sudamérica desempeña un rol crucial en la exportación global de productos pesqueros. Aunque aún no ha alcanzado su pleno potencial, Chile y Brasil sobresalen como dos de los principales productores de peces de cultivo intensivo a nivel mundial, cada uno con enfoques de producción distintos.

Chile se enfoca principalmente en la acuicultura marina, mientras que Brasil sobresale por su producción en aguas continentales. Es importante destacar que, en algunos países sudamericanos como Argentina, Bolivia, Brasil y Perú, la producción de peces nativos en aguas continentales está superando actualmente a la producción de especies exóticas. (Valladão et al., 2018).

Acuicultura en la argentina

Argentina en la actividad acuícola se encuentra todavía en proceso de desarrollo, con una producción anual de aproximadamente 4 mil toneladas, alcanzando su punto máximo en 2014. La exploración comercial semiindustrial en la acuicultura comenzó a ganar impulso a partir de la década de 1990. Los cultivos principales desarrollados en el país incluyen trucha arco iris, pacú y moluscos bivalvos como el ostión japonés y el mejillón. Además, la producción se ve complementada por el cultivo de otras especies a pequeña escala en la acuicultura rural y por productos pesqueros obtenidos de siembras extensivas. (Carciofi and Rossi, 2021).

En 2014, según datos de la Dirección de Acuicultura del Ministerio de Agricultura, la producción acuícola de Argentina destinada al consumo directo alcanzó su máximo en ese año, llegando a 4.027,7 toneladas. Esta producción abarcó el cultivo de 24 especies, que incluyen peces, moluscos bivalvos, reptiles y anfibios. El 85% de esta producción estuvo representada por el pacú y la trucha, mientras que el resto correspondió a carpas, surubí, tilapia, pejerrey, esturión, yacaré, rana, mejillones, ostras, sábalos, boga, dorado y randia. En cuanto a la distribución geográfica de la producción, las provincias de Misiones y Neuquén son las de mayor participación relativa, contribuyendo con el 49,4% y 35% respectivamente a la producción nacional. Le siguen Chaco (6,3%) y Formosa (4,3%).

Entre las especies de peces de agua dulce cultivadas, el pacú es la más extendida en el área noreste del país y es la más importante en volumen de producción en esta

zona, alcanzando las 2,119.2 toneladas en 2014. Desde 2012 hasta 2019, el cultivo de pacú ha superado a la trucha, que históricamente lideraba el sector nacional. En la actualidad, el pacú representa el 45% de la producción acuícola nacional. (Carciofi and Rossi 2021).

Las distintas producciones mencionadas emplean sistemas de cultivo totalmente diferentes. El cultivo de Trucha ha logrado un grado de desarrollo importante y los dos métodos de cultivos más utilizados es el uso de *raceways* contruidos en cemento sobre tierra, para producción de carne a bajo tonelaje y el cultivo es intensivo mediante el uso de jaulas suspendidas en cuerpos de aguas provinciales, que son concesionados para este fin (MAGyP 2020).

El sistema de producción utilizado en la producción de moluscos bivalvos en el litoral marítimo varía según el tipo de litoral y de especie. En la acuicultura del Pacú el perfil de los productores lo forman pequeños minifundistas (sobre todo en la zona norte del país) que incorporan la piscicultura como opción productiva para mejorar la rentabilidad del campo (FAO 2016). El principal sistema de cultivo es el semi-intensivo, en estanques excavados en tierra arcillosa de dimensiones variables.

Dificultades en la acuicultura

Alimento Balanceado

La mayoría de los análisis sobre la sustentabilidad de los sistemas de producción intensiva de acuicultura destacan la alimentación acuícola como un tema central. Históricamente, los subproductos de la pesca, como harinas y aceites de pescado, han sido fundamentales para la alimentación de peces y crustáceos. Sin embargo, la creciente presión sobre las poblaciones pesqueras en mares y ríos ha llevado a una alarmante disminución en las capturas de estos recursos, lo que ha generado escasez en la producción de harinas y aceites de pescado y ha impulsado la búsqueda de fuentes alternativas de proteínas (Naylor et al., 2009).

En los últimos años, el rápido desarrollo de la industria acuícola a nivel mundial ha impulsado el incremento en la utilización de proteínas vegetales como sustituto de la harina de pescado en los piensos acuícolas comerciales, lo que ha generado un aumento en el riesgo de contaminación por micotoxinas (Bu et al., 2017; FAO, 2020).

El amplio uso de piensos vegetales plantea riesgos para el crecimiento y la salud de los peces, ya que puede incrementar el riesgo de contaminación por micotoxinas en sus dietas (Anater et al., 2016). Hoy, aproximadamente el 50 % de las proteínas alternativas usadas en las dietas para acuicultura son de origen vegetal. Las proteínas representan habitualmente el mayor costo en los piensos acuícolas y contribuyen significativamente a los gastos generales de producción. A nivel mundial, las proteínas vegetales han sustituido a fuentes tradicionales como la harina y el aceite de pescado. Esta transición no solo busca reducir los costos de las materias primas, sino también asegurar insumos con alto contenido proteico provenientes de fuentes sostenibles. (Al-Souti et al. 2019, Hua et al. 2019, Gonçalves et al. 2020).

En Argentina, uno de los principales desafíos en la producción acuícola es el elevado costo del alimento balanceado, el cual constituye aproximadamente el 60% de los costos totales de producción (Carciofi y Rossi, 2021). En estudios recientes se han evaluado diversas fórmulas de dietas, tanto pelletizadas como extruidas, con el objetivo de optimizar los costos alimentarios en comparación con los productos comerciales disponibles en el mercado argentino. (Wicki et al. 2003, Wicki et al. 2008, Sal et al. 2009, Sal et al. 2015).

Para lograr óptimos resultados de crecimiento durante el período de cultivo, es crucial disponer no solo de un alimento balanceado que satisfaga los requerimientos nutricionales de la especie, sino también considerar la cantidad y la forma en que se ofrece a los animales durante la fase de engorde, para regular su consumo y maximizar las ganancias. Por este motivo, muchos productores encuentran más adecuado elaborar su propio alimento, lo que les permite desarrollar un conocimiento profundo en esta área específica.

Presencia de micotoxinas en la alimentación de especies acuáticas

Estudios realizados por BIOMIN desde el año 2009, que involucraron un total de 45.000 análisis a nivel mundial alertaron sobre la presencia de micotoxinas en los componentes de los alimentos para peces. Estos estudios indicaron que el 74% de las muestras analizadas estaban contaminadas con al menos una micotoxina (Santos et al., 2010; Gonçalves et al., 2018b). Las micotoxinas más significativas, en términos de su presencia y toxicidad, incluyen las aflatoxinas, la ocratoxina A, los tricotecenos (DON,

toxina T-2), la zearalenona, las fumonisinas y la moniliformina (Barug et al., 2004). Aunque existen un número limitado de estudios sobre el efecto de las micotoxinas en las especies acuícolas, cada vez hay más pruebas de que estas pueden causar diversas patologías y problemas de crecimiento en diferentes especies de peces (Gonçalves et al., 2018b).

Producción de Pacú

El Pacú, un pez emblemático de la Cuenca del Plata, se encuentra en los ríos Paraná, Paraguay, Uruguay y de la Plata, aunque su presencia en la parte baja de esta cuenca ha disminuido. Desde la década de 1990, se ha establecido el cultivo comercial de esta especie en las provincias del noreste argentino. La de utilizar insumos económicos en la elaboración de su dieta lo convierte en una opción interesante para el desarrollo de la piscicultura (Agricultura y Acuicultura, 2010).

En cuanto a la producción de estos peces, los productores se caracterizan por ser minifundistas, es decir, destinan parte de sus tierras a la piscicultura con el objetivo de mejorar la rentabilidad del campo. (FAO, 2015).

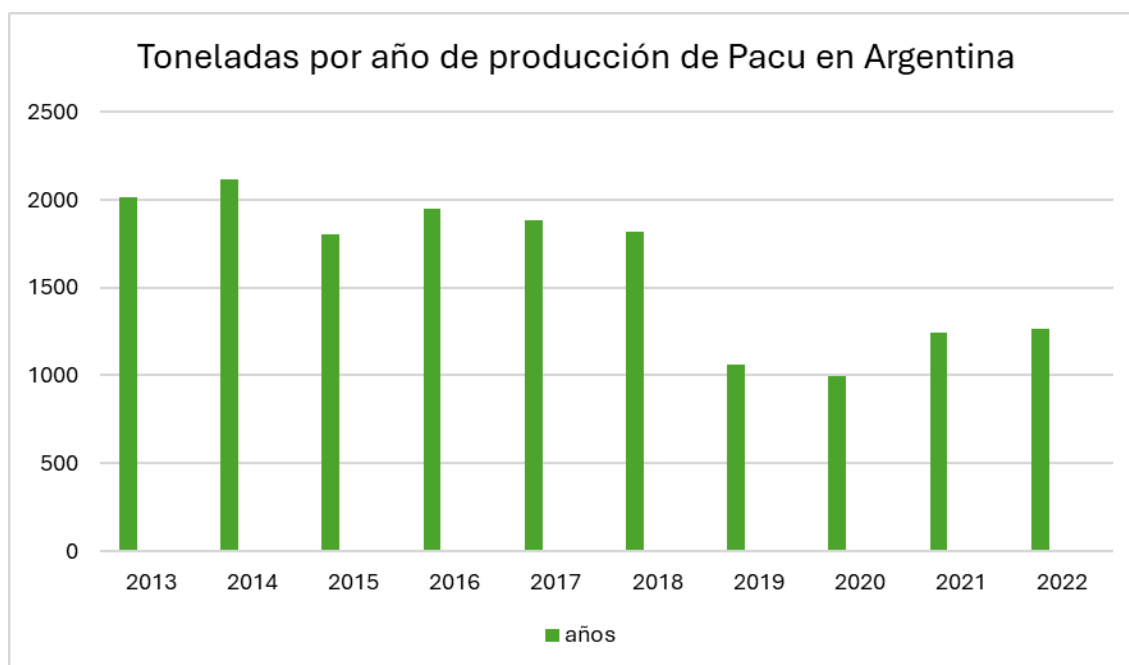


Gráfico de producción 2013-2022 Fuente: Ministerio de Economía. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Dirección Nacional de Acuicultura. Publicación: Anuario Estadístico de la República Argentina 2022.

El Pacú

El Pacú (*Piaractus mesopotamicus*, Holmberg, 1887). Es una especie con hábitos alimentarios omnívoros y tendencia a la herbívora. Presenta una dentición de tipo molariforme, especializada para el corte y molienda de los alimentos a ingerir, presentando un tubo digestivo relativamente largo lo que implica cuidados especiales en la alimentación y la amplitud térmica (Wicki et al. 2003).

Su cultivo se realiza en forma comercial en las provincias del noreste argentino desde la década del '90. Es una especie que se adapta al cultivo en zonas de clima templado-cálido, con temporadas de crecimiento durante las épocas estivales (primavera - verano). El período de mayor crecimiento para esta especie es de 180 a 240 días; dependiendo de la latitud del sitio seleccionado y el ciclo de cultivo es de 16 meses en áreas donde las temperaturas oscilen entre los 24 y 28°C. (Wicki et al. 2003). La especie muestra excelentes tasas de crecimiento en las regiones tropicales y subtropicales de Latinoamérica y la posibilidad de utilizar insumos de bajo costo para la elaboración de su dieta hace de la especie una interesante opción a la hora de escogerla para el desarrollo de la piscicultura (MAGyP 2010).

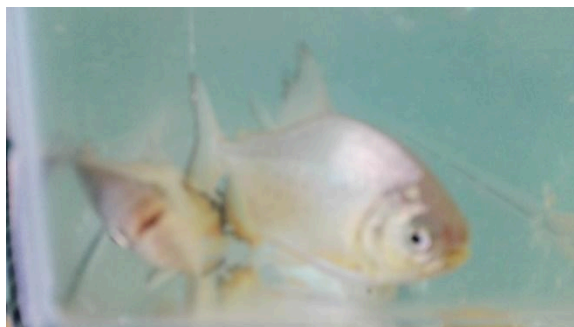
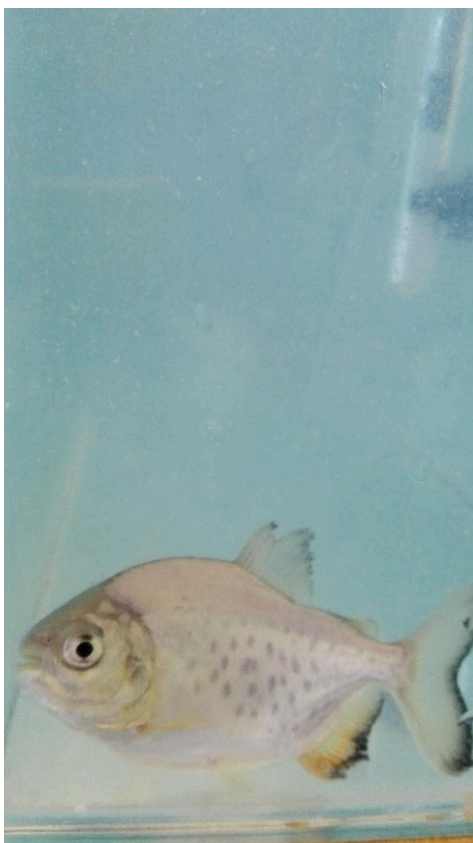
Entre las especies nativas el Pacú ha mostrado un incremento exponencial en los últimos años debido a la rápida tasa de crecimiento y a la gran cantidad de emprendimientos productivos de acuicultura rural de la zona. En los últimos años, la producción de Pacú ha registrado tasas de incremento, entre las más altas reportadas para especies nativas a nivel mundial. Se han registrado aumentos de producción de hasta 17% anual en Brasil entre 2010 y 2012 (Brande 2019), y siendo las especies más cultivada en Argentina, Paraguay y Sur de Brasil desde 2014 (Carciofi and Rossi 2021).

El mercado del Pacú en Argentina es importante, ya que tiene elevada presencia en todas las provincias de la cuenca del río Paraná y Uruguay. Actualmente, se lo comercializa entero eviscerado, en corte por mitades con piel y sin espinas, y también procesado como hamburguesa. Los restaurantes constituyen un buen mercado, principalmente en la región del Litoral Argentino. Las grandes cadenas de supermercados ofrecen el producto congelado en el resto del País (Carciofi and Rossi 2021).

En Argentina, tres firmas del NEA concentran el 89% de la producción nacional de Pacú. Rosamonte y Romance, dos yerbateras que diversifican su producción

tradicional con acuicultura, y el Grupo Puerto Las Palmas, que desarrolló un cultivo de rotación de arroz (su principal producto) con Pacú, utilizando un sistema semiintensivo en grandes estanques. El resto de la producción corresponde a pequeños acuicultores rurales.

En cuanto al destino de la producción de pacú se comercializa la totalidad en el mercado interno como pieza entera eviscerada (siendo el tamaño ideal de al menos 1,2 kg), de a mitades con piel y sin espinas, y en varias otras presentaciones como hamburguesas, filetes, nuggets, etc. Posee un mercado importante, y actualmente se lo puede encontrar en comercios prácticamente de casi todo el país. La única experiencia de exportación se realizó en el año 2016 a Bolivia en una cantidad limitada, mientras que recientemente se realizó un envío de muestras de pacú a Dubai (filetes y cortes premium), donde el producto fue bien recibido, aunque no llegaron al volumen mínimo necesario para poder realizar exportaciones periódicas, dado que su producción actual sería insuficiente para insertarse en el mercado internacional (Carciofi and Rossi 2021).



Fotos tomadas en el Instituto de Tecnología de Alimentos en el cuarto del Bioensayo de peces (INTA)

Situación del problema

El almacenamiento inadecuado del alimento balanceado, como dejarlo a la intemperie o en lugares no preparados para su correcto resguardo, especialmente en ambientes cálidos y húmedos, puede crear condiciones ideales para el crecimiento de hongos. Estas condiciones favorecen la proliferación de especies fúngicas que pueden contaminar el alimento y producir toxinas peligrosas para la salud, tanto humana como animal.

En este trabajo se evaluará la acumulación y la detoxificación de AFB1 en el músculo de Pacú. Expuesto a (47 días) de AFB1 en concentraciones subletales.



Sistema de producción mediante estanques. provincia Entre ríos.



Fotos
(INTA)



tomadas en el Instituto de Tecnología de Alimentos

Actividades Realizadas

El ensayo se llevó a cabo en las instalaciones del Instituto de Tecnología de Alimentos (ITA)-dependiente del Centro de Investigaciones de Agroindustria (CIA)-del Instituto Nacional de tecnología Agropecuaria (INTA) en el área de protección de alimentos en el laboratorio de contaminantes químicos.

En mi lugar de trabajo en el laboratorio de contaminantes químicos INTA-CIA-ITA, llevamos a cabo investigaciones y ofrecemos servicios de análisis en diversas matrices de alimentos, centrados en la detección y cuantificación de residuos de plaguicidas, micotoxinas y otros contaminantes. etc

Adquisición de los organismos y adaptación.

Los juveniles de pacú empleados en el bioensayo fueron donados por Teko Pacu (Av. Italia 215, Resistencia, Chaco, Argentina) y adquiridos en el establecimiento productivo Pez Campero - Complejo Ipicola (Paraná, Entre Ríos, Argentina), con una edad de 20 días (estadio alevín). Los alevines fueron criados y adaptados en el laboratorio del área de protección de alimentos del ITA-CIA-INTA.

El estanque tenía una capacidad de 2500 litros y se mantuvo a una temperatura de 25 ± 3 °C, con una concentración de oxígeno disuelto de al menos 5 mg/L y un pH del agua entre 7.0 y 7.5.

La iluminación en el cuarto fue controlada mediante un PLC para ofrecer 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad. Los alevines fueron alimentados ocho veces al día con un alimentador automático.

El proceso de aclimatación de los peces se extendió aproximadamente durante 2 meses. Durante este periodo, los peces alcanzaron un peso promedio de 12 gramos y entraron en el estadio juvenil.

El ensayo se dividió en dos etapas:

- ✓ Un período de acumulación de 47 días, en el que se suministró alimento con 4 concentraciones de AFB1.
- ✓ Un período de depuración de 72 horas, en el que se suministró alimento libre de AFB1.

Las concentraciones de residuos de AFB1 y AFM1 en el músculo de los peces se midieron a los siguientes tiempos:

- ✓ 0, 3, 7, 14, 22, 29, 37, 44 y 47 días del período de acumulación.
- ✓ 24, 48 y 72 horas del período de depuración.

Las concentraciones de AFB1 utilizadas en las dietas se establecieron en base a:

Datos bibliográficos de estudios con otras especies (Santacroce et al. 2007, Deng et al. 2010, Nomura et al. 2011, Zychowski et al. 2013, Wang 2016, Jalilour et al. 2018).

El diseño del estudio se basó en las guías serie 870 de la EPA para pruebas de pesticidas y sustancias tóxicas, adaptadas a los objetivos y requisitos específicos de este estudio. (EPA 2009).

Para evaluar la toxicidad de la AFB1 y AFM1 en alimentos se trabajó de la siguiente manera:

En el ensayo destinado a estudiar la acumulación de residuos de aflatoxinas en tejidos con un total de 264 juveniles de Pacú se distribuyeron en 2 grupos (bloques) compuestos por 4 peceras de vidrio, con 33 individuos en cada una. con un peso promedio de $13,9 \pm 4,1$ g.

Los tratamientos se dividieron en cuatro grupos: Se describen en la siguiente (tabla 1.2).

Grupos	Concentración de AFB1 en µg/kg
Grupo 1	Peces alimentados con una ración libre de AFB1 (R-0).
Grupo 2	Peces alimentados con una ración que contenía AFB1 en una dosis de 1 µg/kg (R-1).

Grupo 3	Peces alimentados con una ración que contenía AFB1 en una dosis de 100 $\mu\text{g/kg}$ (R-100).
Grupo 4	Peces alimentados con una ración que contenía AFB1 en una dosis de 1000 $\mu\text{g/kg}$ (R-1000)

Tabla 1.2. Concentraciones de AFB1 para los distintos tratamientos

Todos los grupos recibieron los cuatro tratamientos, y el orden de las peceras dentro de cada grupo se determinó mediante un muestreo aleatorio. como se muestra en la figura 1.2 Las condiciones de mantenimiento y control diario de las peceras incluyeron el registro de temperaturas, oxígeno disuelto, pH y una tasa de renovación de agua del 30%. En cada punto de tiempo del ensayo, se sacrificaron tres peces de cada pecera y se tomaron muestras de músculo para realizar las determinaciones cuantitativas de AFB1.

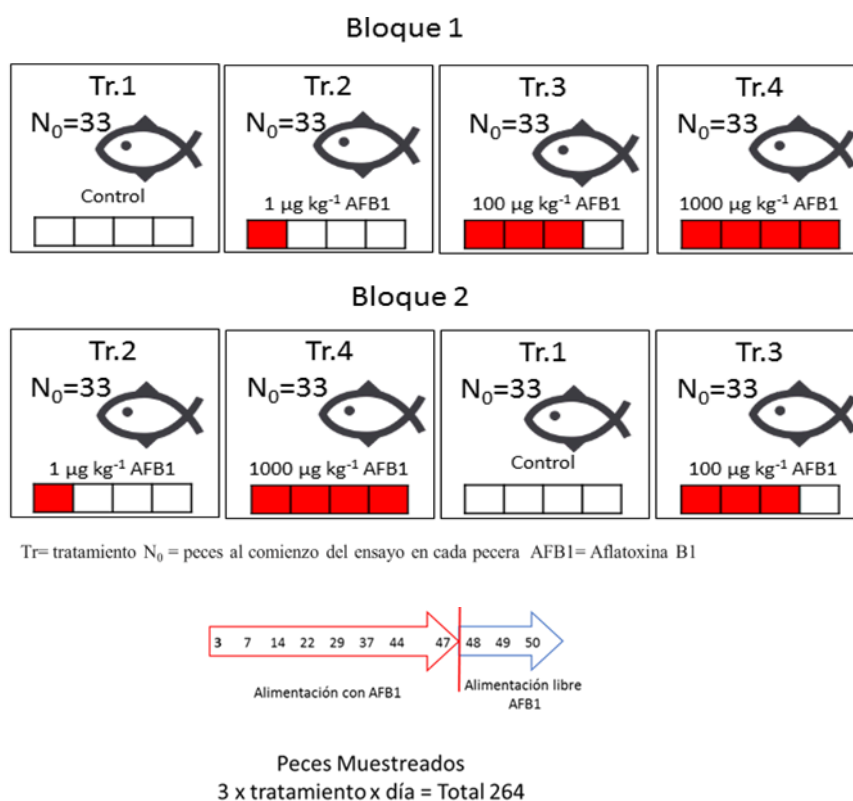


Figura 1.2 Diseño experimental

Análisis del efecto de AFB1 en musculo de pacú

Toma de muestra

Materiales:

- ☐ Redes rectangulares para acuario
- ☐ Vasos de precipitado de 2 litros
- ☐ Agua con hielo
- ☐ Jeringa heparinizada

Procedimiento:

Los peces fueron retirados de las peceras utilizando redes rectangulares para acuario, los peces se colocaron rápidamente en vasos precipitado de 2 litros que contenían agua con hielo, con el fin de anestesiarnos durante 10 minutos. Se utilizó una balanza digital para medir el peso corporal de los peces. Se tomó una muestra de sangre utilizando una jeringa heparinizada para ser utilizada en posteriores análisis. Para sacrificar a los peces, se cortó el cordón neural detrás del cerebro y se retiraron ambos arcos branquiales. Luego, se realizó un corte longitudinal en el abdomen para extirpar el hígado que fue utilizado para posteriores análisis. Finalmente, se tomaron muestras de músculo dorsal de ambos lados del pez. Las muestras de tejido se almacenaron a -80 °C hasta que se realizaron los análisis correspondientes.

"Todos los procedimientos realizados con peces vivos se hicieron según las directrices del Consejo Canadiense para el Cuidado de los Animales (CCAC 2005). Además, todas las manipulaciones de animales se realizaron de acuerdo con el protocolo aprobado por el Comité Local de Ética Institucional para el Cuidado y Uso de Animales de Laboratorio (CICUAL 006-26-17, Universidad Nacional de La Plata)."

Evaluación de la presencia de aflatoxinas en tejidos

Para detectar las aflatoxinas (AFB1 y AFM1) en tejidos, se llevaron a cabo los siguientes pasos en el Ensayo.

Se purificaron y concentraron muestras de tejido disecado utilizando métodos previamente desarrollados en el laboratorio. Se pesaron 2,0 g de músculo y se extrajeron con 10 ml de solvente (acetonitrilo/agua/ácido acético 79+20+1). Se realizó un proceso

de "Salting-out" con 1 g de NaCl. Las muestras se homogeneizaron con un molino estilo ultraturrax y luego se sonicaron durante 60 minutos para favorecer la extracción. La purificación de la muestra se realizó mediante los siguientes pasos:

- ❖ Centrifugación durante 5 minutos a 3000 rpm.
- ❖ Evaporación del sobrenadante con N₂.
- ❖ Resuspendido en 1 ml de acetonitrilo/agua (30:70).
- ❖ Dilución con 9 ml de agua ultrapura.
- ❖ Purificación con un cartucho SPE C18 (Strata C18-E 55um 70 A 100mg Phenomenex).
- ❖ Lavado del cartucho con 2 ml de metanol/agua (1:99).
- ❖ Elución de la muestra en 200 µl de metanol/agua (80:20).
- ❖ Filtración con una membrana de nylon de 0,22 µm

La acumulación de AFB1 y AFM1 se analizaron por HPLC-FLD (Waters Alliance 2695, detector de fluorescencia Waters 996) con derivatización postcolumna con una celda Kobra-Cell (R-Biopharm).

La confirmación de las muestras positivas se realizó por HPLC-MS/MS (Thermo LTQ XL) en modo de ionización ESI positivo y modalidad de escaneo MRM.



Figura 1.3 “Equipos del Instituto de Tecnología de Alimentos”

Resultados

En las siguientes tablas III.1 se muestran los resultados obtenidos de AFB1 en el tejido muscular de Pacú expuestos a 47 días de ensayo.

TABLA III.1 NIVELES DE AFB1 DETECTADOS EN EL TEJIDO MUSCULAR DE PACÚS EXPUESTOS A TRAVÉS DE LA DIETA EN EL ENSAYO

Concentración AFB1 en alimento ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Concentración promedio de AFB1 en músculo ($\mu\text{g kg}^{-1}$)							
	Tiempo de Exposición							
	Día 3	Día 7	Día 14	Día 22	Día 29	Día 37	Día 44	Día 47
Ensayo								
0 (control)	<LQA	<LQA	<LQA	<LQA	<LQA	<LQA	<LQA	<LQA
1	<LQA	<LQA	<LQA	0,02 $\pm$ 0,01	0,03 $\pm$ 0,01	0,04 $\pm$ 0,01	0,04 $\pm$ 0,01	0,04 $\pm$ 0,01
100	<LQA	0,01 $\pm$ 0,00	0,11 $\pm$ 0,04	0,09 $\pm$ 0,02	0,21 $\pm$ 0,04	0,16 $\pm$ 0,02	0,17 $\pm$ 0,03	0,15 $\pm$ 0,03
1.000	<LQA	0,08 $\pm$ 0,01	0,14 $\pm$ 0,04	0,21 $\pm$ 0,01	0,25 $\pm$ 0,04	0,19 $\pm$ 0,02	0,18 $\pm$ 0,02	0,21 $\pm$ 0,02

Los valores se expresan como el promedio $\pm$ el desvío estándar (N = 6).
LQA = Límite de cuantificación analítico

Como se puede observar en la tabla en el control, durante todos los días del ensayo no se detectó AFB1 en el músculo de pacú, como se esperaba. A partir del día 22, se detecta AFB1 en el músculo en la concentración de 1 $\mu\text{g/kg}$. Se puede observar que la acumulación se mantiene constante en los días 37, 44 y 47. Para la concentración de 100 $\mu\text{g/kg}$, se detecta AFB1 en el músculo a partir del día 7, alcanzando su mayor acumulación el día 29.

En el caso de la concentración de 1000 $\mu\text{g/kg}$, la acumulación de AFB1 se detecta a partir del día 7, alcanzando su máximo nivel el día 29.

En la siguiente tabla III.2 se muestran los niveles detectados de AFM1 en el musculo de pacú.

TABLA III.2. NIVELES DE AFM1 DETECTADOS EN EL TEJIDO MUSCULAR DE PACÚES EXPUESTOS A TRAVÉS DE LA DIETA EN EL ENSAYO

CONCENTRACIÓN AFB1 EN ALIMENTO ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE AFM1 EN MÚSCULO ($\mu\text{g kg}^{-1}$)							
	TIEMPO DE EXPOSICIÓN							
	DÍA 3	DÍA 7	DÍA 14	DÍA 22	DÍA 29	DÍA 37	DÍA 44	DÍA 47
ENSAYO								
0 (CONTROL)	<LQA	<LQA	<LQA	<LQA	<LQA	<LQA	<LQA	<LQA
1	<LQA	<LQA	<LQA	<LQA	<LQA	<LQA	<LQA	<LQA
100	<LQA	<LQA	<LQA	0,02±0,00	0,03±0,00	0,02±0,01	0,02±0,01	0,02±0,00
1.000	<LQA	0,03±0,01	0,02±0,01	0,03±0,00	0,05±0,01	0,03±0,01	0,04±0,00	0,04±0,01

Los valores se expresan como el promedio $\pm$ el desvío estándar (N = 6).
LQA = Límite de cuantificación analítico

Como se puede observar en la tabla en el control, durante todos los días del ensayo no se detectó AFM1 en el músculo de pacú, como se esperaba. Tampoco se detecta AFM1 en la concentración de 1 $\mu\text{g/kg}$. Para la concentración de 100 $\mu\text{g/kg}$, se detecta AFM1 en el músculo a partir del día 22 manteniéndose constante para los días 29,37,44,47. En el caso de la concentración de 1000 $\mu\text{g/kg}$, la acumulación de AFM1 se detecta a partir del día 7, alcanzando su máximo nivel el día 29. En la siguiente tabla se muestran los resultados de la detoxificación de AFB1 y AFM1

TABLA. III.3 NIVELES DE AFB1 Y AFM1 DETECTADOS EN EL MÚSCULO DE PACÚS DURANTE EL PERÍODO DE ELIMINACIÓN DEL ENSAYO

Ensayo									
Concentración de AFB1 (µg kg ⁻¹)					Concentración de AFM1 (µg kg ⁻¹)				
Concentración AFB1 en alimento (µg kg ⁻¹)		Tiempo de Exposición							
Músculo		Día 47	Día 48	Día 49	Día 50	Día 47	Día 48	Día 49	Día 50
	0 (control)	<LQA	<LQA	<LQA	<LQA	<LQA	<LQA	<LQA	<LQA
	1	0,04±0,01	<LQA	<LQA	<LQA	<LQA	<LQA	<LQA	<LQA
	100	0,15±0,03	0,05±0,01	0,01±0,00	<LQA	0,02±0,00	<LQA	<LQA	<LQA
	1000	0,21±0,02	0,06±0,02	0,01±0,00	<LQA	0,04±0,01	<LQA	<LQA	<LQA

Los valores se expresan como el promedio $\pm$ el desvío estándar (N = 6).
LQA = Límite de Cuantificación analítico

Durante el periodo de detoxificación de AFB1 en el músculo del pacú, se observa que a partir del día 48 hay una menor acumulación de AFB1 en comparación con el día 47. El día 49 muestra una acumulación mínima, y para el día 50 no se detecta AFB1 en el músculo del pacú. En cuanto a la AFM1, a partir del día 48, 49 y 50 no se observa acumulación en el músculo del pacú.

Conclusión

La incorporación, metabolización y eliminación de la AFB1 se produce rápidamente, por consiguiente, los valores máximos de residuos en músculo se alcanzan independientemente de la dosis y son relativamente bajos, siendo inferiores a los exigidos por la reglamentación internacional para alimentos. Además, la toxina y su metabolito (AFM1), buscados por los organismos de control, son eliminados dentro de las 72 h de alimentación libre de toxinas. Por las características de la molécula y las rutas de metabolización, las concentraciones de AFB1 y AFM1 encontradas en la fracción comestible (músculo) son inferiores a las referencias de la reglamentación internacional para otros alimentos.

Propuesta de mejora

1. Para garantizar la calidad del alimento balanceado destinado a la alimentación de Pacú es fundamental implementar un riguroso control de calidad en las materias primas, asegurando la ausencia de aflatoxinas antes de su procesamiento y envasado.
2. Diseñar, Implementar y cumplir protocolos de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) en todas las etapas de producción del alimento balanceado.
3. Llevar a cabo un monitoreo regular y análisis periódicos de muestras de alimento balanceado para detectar la presencia de micotoxinas en general y de aflatoxinas en particular permitiendo tomar medidas correctivas de forma oportuna.
4. Asegurar un almacenamiento adecuado del alimento balanceado en condiciones óptimas de temperatura, humedad y ventilación para prevenir la proliferación de hongos productores de aflatoxinas.
5. Capacitar al personal que participa en la producción y manipulación del alimento balanceado sobre la importancia de prevenir la contaminación por aflatoxinas y las medidas de control necesarias.
6. Implementar un sistema de trazabilidad que facilite la identificación del origen de cada lote de materias primas y su destino final en el proceso de producción.
7. Se sugiere seguir investigando en otras especies autóctonas del país.
8. Explorar el uso de aditivos antifúngicos naturales en la formulación del alimento balanceado para inhibir el crecimiento de hongos productores de aflatoxinas.
9. Diseñar estudios de análisis de riesgo, en base a los resultados obtenidos.

Referencias

- Alberts, J. F., Lilly, M., Rheeder, J. P., Burger, H. M., Shephard, G. S., & Gelderblom, W. C. A. (2017). Technological and community-based methods to reduce mycotoxin exposure. *Food Control*, 73, 101–109.
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.05.029>
- Alshannaq, A., & Yu, J. H. (2017). Occurrence, toxicity, and analysis of major mycotoxins in food.
- Al-Souti, A., W. Gallardo, M. Claereboudt, and O. Mahgoub. 2019. Attractability and palatability of formulated diets incorporated with chicken feather and algal meals for juvenile gilthead seabream, *Sparus aurata*. *Aquaculture Reports* 14:100199.
- Anater, A., L. Manyes, G. Meca, E. Ferrer, F. B. Luciano, C. T. Pimpão, and G. Font. 2016. Mycotoxins and their consequences in aquaculture: A review. *Aquaculture* 451:1-10.
- Bardach, J. E. 1997. Aquaculture, pollution and biodiversity. *Sustainable Aquaculture*. New York, John Wiley & Sons, Inc, 87-99.
- Barug, D., van Egmond, H. P., López-García, R., van Osenbruggen, W. A., & Visconti, A. (2004). Meeting the mycotoxin menace: Proceedings of the 2nd World Mycotoxin Forum held in Nordwijk, the Netherlands, 17-18 February 2003. Wageningen Academic Publishers.
- Bu, X., A. Chen, X. Lian, F. Chen, Y. Zhang, I. Muhammad, X. Ge, and Y. Yang. 2017. An evaluation of replacing fish meal with cottonseed meal in the diet of juvenile Ussuri catfish *Pseudobagrus ussuriensis*: Growth, antioxidant capacity, nonspecific immunity and resistance to *Aeromonas hydrophila*. *Aquaculture* 479:829-837.
- Bullerman, L. B., & Bianchini, A. (2007). Stability of mycotoxins during food processing. *International Journal of Food Microbiology*, 119(1–2), 140–146.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.07.035>
- Carciofi, I., and L. Rossi. 2021. Acuicultura en Argentina: red de actores, procesos de producción y espacios para el agregado de valor. . En búsqueda del impulso exportador para los productos acuícolas. Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación.
- Carciofi, I., and L. Rossi. 2021. Acuicultura en Argentina: red de actores, procesos de producción y espacios para el agregado de valor. . En búsqueda del impulso exportador para los productos acuícolas. Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación.
- Codex Alimentarius Commission. (2015). General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed (Codex Stan 193-1995).
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- CODEX. 2006. Programa conjunto fao/oms sobre normas alimentarias comité del codex sobre aditivos alimentarios y contaminantes de los alimentos. 38º período de sesiones La Haya, Países Bajos, 24–28 de abril de 2006.
- CONAL. (2019a). Artículo 1414 tris: Parámetros de referencia para la determinación de micotoxinas en alimentos. En Código Alimentario Argentino. Capítulo III. De los productos alimenticios . Recuperado de www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/211799/20190722
- Dirican, S. 2015. A review of effects of aflatoxins in aquaculture. Applied Research Journal 1:192-196.
- EC. (2006). Commission Regulation (EC) No 1881/2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuff. Official Journal of the European Union (Vol. L364). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1573>
- EC. (2007). Commission Regulation (EC) 1126/2007 amending Regulation (EC) No 1881/2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs as regards Fusarium toxins in maize and maize products. Official Journal of the European Union (Vol. L 255). Recuperado de <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32007R1126>
- EC. (2010). Commission Regulation (EU) No 165/2010. Amending Regulation (EC) No 1881/2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs as regards aflatoxins. Official Journal of the European Union.
- EC. (2013). Commission recommendation on the presence of T-2 and HT-2 toxin in cereals and cereal products. Official Journal of the European Union. Recuperado de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013H0165&from=EN>
- EFSA. 2018b. Guidance on the assessment of the efficacy of feed additives. EFSA Journal 16:e05274.
- FAO. (2004a). Worldwide regulations for mycotoxins in food and feed. FAO Food and Nutrition papers 81. Rome, Italy. Recuperado de www.fao.org
- FAO. (2004b). Worldwide regulations of mycotoxins in food and feed in 2003. FAO Food and Nutrition papers 81. Rome, Italy. Recuperado de www.fao.org/3/a-y5499e07.htm
- FAO. (2019a). Food Outlook - Biannual Report on Global Food Markets. Rome, Italy. Recuperado de <http://www.fao.org/3/ca4526en/ca4526en.pdf>
- FAO. 2004. Reglamentos a Nivel Mundial Para las Micotoxinas en Los Alimentos y en Las Raciones en el Año 2003.in N. Division, editor. FAO Food and Nutrition Paper, Rome Italy.

- FAO. 2016. Estadísticas sobre Costos de Producción Agrícola Lineamientos para la Recolección, Compilación y Difusión de Datos. Roma.
- FAO. 2020. Fisheries and Aquaculture topics. The State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA). Rome. Updated 1 July 2020.
- Fleurat-Lessard, F. (2017). Integrated management of the risks of stored grain spoilage by seedborne fungi and contamination by storage mould mycotoxins – An update. *Journal of Stored Products Research*, 71, 32-40.
<https://doi.org/10.1016/j.jspr.2016.10.002>
- Frisvad, J C, Hubka, V., Ezekiel, C. N., Hong, S. B., Nováková, A., Chen, A. J., ... Houbraken, J. (2019). Taxonomy of *Aspergillus* section *Flavi* and their production of aflatoxins, ochratoxins and other mycotoxins. *Studies in Mycology*, 93, 1–63.
<https://doi.org/10.1016/j.simyco.2018.06.001>
- Frisvad, J C, Larsen, T. O., De Vries, R., Meijer, M., Houbraken, J., Cabañes, F. J., ... Samson, R. A. (2007). Secondary metabolite profiling, growth profiles and other tools for species recognition and important *Aspergillus* mycotoxins. *Studies in Mycology*, 59, 31–37. <https://doi.org/10.3114/sim.2007.59.04>
- García-Cela, E., Ramos, A. J., Sanchis, V., & Marin, S. (2012). Emerging risk management metrics in food safety: FSO, PO. How do they apply to the mycotoxin hazard? *Food Control*, 25(2), 797–808.
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.12.009>
- Gonçalves, R. A., D. Schatzmayr, A. Albalat, and S. Mackenzie. 2020. Mycotoxins in aquaculture: feed and food. *Reviews in Aquaculture* 12:145-175.
- Gonçalves, R. A., K. Naehrer, and G. A. Santos. 2018b. Occurrence of mycotoxins in commercial aquafeeds in Asia and Europe: a real risk to aquaculture? *Reviews in Aquaculture* 10:263-280.
- Gonçalves, R. A., T. Do Cam, N. N. Tri, G. A. Santos, P. Encarnação, and L. T. Hung. 2018a. Aflatoxin B1 (AFB1) reduces growth performance, physiological response, and disease resistance in Tra catfish (*Pangasius hypophthalmus*). *Aquaculture International* 26:921-936.
- Hua, K., J. M. Cobcroft, A. Cole, K. Condon, D. R. Jerry, A. Mangott, C. Praeger, M. J. Vucko, C. Zeng, and K. J. O. E. Zenger. 2019. The future of aquatic protein: implications for protein sources in aquaculture diets. *One Earth*. 1:316-329.
- Hua, K., J. M. Cobcroft, A. Cole, K. Condon, D. R. Jerry, A. Mangott, C. Praeger, M. J. Vucko, C. Zeng, and K. J. O. E. Zenger. 2019. The future of aquatic protein: implications for protein sources in aquaculture diets. *One Earth*. 1:316-329.
- IARC. (1993). Volume 56. Some Naturally Occurring Substances: Food Items and Constituents, Heterocyclic Aromatic Amines and Mycotoxins. (IARC working group on the evaluation of carcinogenic & risks to humans, Eds.), IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Lyon, France.

- IARC. (2002). Volume 82. Some Traditional Herbal Medicines, Some Mycotoxins, Naphthalene and Styrene. (IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Ed.), IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon, France.
- IARC. (2012). Chemical Agents and Related Occupations. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. (IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Ed.), IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon, France.
- IARC. (2015). Mycotoxin control in low- and middle- income countries. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27030861>
- IARC. 2012. A Review of Human Carcinogens. F. Chemical Agents and Related Occupations: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans.
- Iha, M. H., Barbosa, C. B., Okada, I. A., & Trucksess, M. W. (2013). Aflatoxin M1 in milk and distribution and stability of aflatoxin M1 during production and storage of yoghurt and cheese. Food Control, 29(1), 1–6.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2012.05.058>
- JECFA. (2001). Evaluation of certain mycotoxins in food: fifty-sixth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). WHO technical report series 906. Geneva.
- JECFA. (2007). Evaluation of certain food additives and contaminants: sixty-eighth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). WHO technical report series 947. Geneva.
- JECFA. (2011). Safety evaluation of certain contaminants in food: seventy-second meeting of the Joint FAO/ WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). WHO food additives series 63. Geneva.
- JECFA. (2018). Safety evaluation of certain contaminants in food: eighty-third meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). WHO Food Additives Series 74. Geneva.
- JECFA. 2017. Evaluation of certain contaminants in food: eighty-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. World Health Organization.
- MAGyP. 2010. La acuicultura en el agro: un proyecto de desarrollo de acuicultura en aguas calidas y templadas.in d. D. Acuicultura. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca
- MAGyP. 2020. Análisis del sector acuícola argentino, Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca.

- MERCOSUR. (2002). Reglamento técnico MERCOSUR sobre límites máximos de Aflatoxinas admisibles en leche, maní y maíz. MERCOSUR/GMS/RES. N 25/02.
- Montani, M L, Vaamonde, G., Resnik, S. L., & Buera, P. (1988). Water activity influence on aflatoxin accumulation in corn. *International Journal of Food Microbiology*, 6(4), 349–353. [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(88\)90029-3](https://doi.org/10.1016/0168-1605(88)90029-3)
- Montoya-Camacho, N., Marquez-Ríos, E., Castillo-Yáñez, F. J., Cárdenas López, J. L., López-Elías, J. A., Ruíz-Cruz, S. & Ocaño-Higuera, V. M. 2019. Advances in the use of alternative protein sources for tilapia feeding. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 515-526.
- Naylor, R. L., R. W. Hardy, D. P. Bureau, A. Chiu, M. Elliott, A. P. Farrell, I. Forster, D. M. Gatlin, R. J. Goldberg, and K. Hua. 2009. Feeding aquaculture in an era of finite resources. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106:15103-15110.
- Pitt, J. I., Taniwaki, M. H., & Cole, M. B. (2013). Mycotoxin production in major crops as influenced by growing, harvesting, storage and processing, with emphasis on the achievement of Food Safety Objectives. *Food Control*, 32(1). <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.11.023>
- Reverberi, Massimo, Ricelli, A., Zjalic, S., Fabbri, A. A., & Fanelli, C. (2010). Natural functions of mycotoxins and control of their biosynthesis in fungi. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 87(3), 899–911. <https://doi.org/10.1007/s00253-010-2657-5>
- Sal, F., G. Wicki, and O. Merino. 2009. Evaluación del crecimiento del Amur (*Ctenopharyngodon idella*) en dos fases, pre-engorde y engorde, con diferentes dietas y densidades de cultivo. *Natura Neotropicalis* 40:29-42.
- Sal, F., G. Wicki, O. G. Merino, P. Candarle, and L. Luchini. 2015. inclusión de ensilado ácido en dietas extruidas para el engorde de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) En jaulas en el nordeste argentino. *Natura Neotropicalis* 46:15.
- Salamini, F., Özkan, H., Brandolini, A., Schäfer-Pregl, R., & Martin, W. (2002). Genetics and geography of wild cereal domestication in the near east. *Nature Reviews Genetics*, 3(6), 429–441. <https://doi.org/10.1038/nrg817>
- Santini, A., & Ritieni, A. (2013). Aflatoxins: Risk, Exposure and Remediation. En M. Razzaghi-Abyaneh (Ed.), *Aflatoxins - Recent Advances and Future Prospects* (pp. 333–376). London, UK: IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/52866>
- Santos, G.A.; Rodrigues, I.; Naehrer, K.; Encarnacao, P. Mycotoxins in aquaculture: Occurrence in feed components and impact on animal performance. *Aquac. Eur.* 2010, 35, 6–10.
- Sanzani, S. M., Reverberi, M., & Geisen, R. (2016). Mycotoxins in harvested fruits and vegetables: Insights in producing fungi, biological role, conducive conditions, and

- tools to manage postharvest contamination. *Postharvest Biology and Technology*, 122, 95–105. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.07.003>
- Schatzmayr, G., & Streit, E. (2013). Global occurrence of mycotoxins in the food and feed chain: Facts and figures. *World Mycotoxin Journal*, 6(3), 213–222. <https://doi.org/10.3920/WMJ2013.1572>
- Valenti, W. C., Kimpara, J. M., & de L Preto, B. 2011. Measuring aquaculture sustainability. *World Aquaculture*, 42(3), 26.
- Valladão, G., S. Gallani, and F. Pilarski. 2018. South American fish for continental aquaculture. *Reviews in Aquaculture* 10:351-369.
- Varga, J., Frisvad, J., & Samson, R. (2009). A reappraisal of fungi producing aflatoxin. *World Mycotoxin Journal*, 2, 263–277. <https://doi.org/10.3920/WMJ2008.1094>
- WHO. (2015). WHO estimates of the global burden of foodborne diseases: foodborne disease burden epidemiology reference group 2007-2015. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.07.009>
- Wicki, G., E. Wiltchiensky, and L. Luchini. 2003. Cultivo y producción de Pacu (*Piaractus mesopotamicus*): Incidencia de dos dietas de diferente composición y de la densidad de siembra, en sistema de cultivo semi-intensivo. Dirección de Acuicultura. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGPyA).
- Wicki, G., F. Rossi, S. Panné, and L. Luchini. 2008. Cultivo intensivo del randiá (*Rhamdia quelen*) en jaulas suspendidas en estanques, con empleo de diferentes raciones balanceadas y distinta elaboración. *Desarrollo de Tecnologías para Producción del Randiá*:9-43.

Plan de Formación / capacitación

- Taller de Bioseguridad general y buenas prácticas de laboratorio. Organizado por el servicio de Higiene y seguridad, Dr. Oscar Taboga-Lic. Pablo Huertas- Lic. Ricardo Fernandez (INTA) Año 2024.
- Curso El Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA) Año 2024.
- La resolución de las Superintendencia de Riesgo del trabajo (SRT) N° 801/15 de cumplimiento obligatorio en el ámbito laboral en Argentina y muchos otros países, es un sistema de clasificación de sustancias, mezclas y aleaciones. Dictado por Ing. Daniel Marthi. Año 2024.
- 1er Congreso Nacional de Alimentos ANMAT 1° Congreso Nacional de Alimentos dictado en Palacio San Miguel. Suipacha 84, CABA Año 2019.
- La II Cumbre de Alimentos, que organizó el Ministerio de Salud bonaerense en la Universidad Católica Argentina (UCA) Año 2015.

Producción

- Presentación de Posters en CYTAL en Mar del Plata año 2017

Tema: SIMULACION DE DEGRADACION DE INSECTICIDA UTILIZADO EN EL ACOPIO DE TRIGO

- V Jornadas de Actualización Técnica del Instituto de Tecnología de Alimentos - Tema: Curva de disipación en grano de trigo almacenado. Disertante: Maria Juana Ruiz - Año 2019.
- SESION DE POSTERS VII Congreso Argentino de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC ARG, Capitulo Argentina) octubre 2018 San Luis. Biomarcadores y mecanismos de Toxicidad EVALUACION DE MATERIA FECAL COMO MATRIZ PARA LA DETECCION DE SARM, POSIBLES CONTAMINANTES EMERGENTES.