



Facultad de Veterinaria  
**Universidad** Zaragoza



# Trabajo Fin de Grado en Veterinaria

Reproducción, cría y manejo de *Arapaima gigas*

*Arapaima gigas* breeding, rearing and management

Autor/es

Buzzi Rozalén, Carla

Director/es

Martí Jiménez, José Ignacio

Facultad de Veterinaria

2023

---

## ÍNDICE

1. Resumen /Abstract.....	1
2. Introducción .....	3
◇ Descripción de <i>Arapaima gigas</i> .....	3
◇ Anatomía de <i>Arapaima gigas</i> .....	6
◇ Distribución de <i>Arapaima gigas</i> .....	11
3. Justificación y objetivo .....	13
4. Metodología .....	14
5. Resultados y discusión.....	15
◇ Aspectos reproductivos y de cría .....	15
◇ Piscicultura y manejo .....	17
◇ Acuariofilia .....	22
◇ Carne de <i>Arapaima gigas</i> .....	23
◇ Subproductos a partir de <i>Arapaima gigas</i> .....	25
◇ Paradoja de la conservación.....	27
6. Conclusiones/Conclusions.....	30
7. Valoración personal .....	31
8. Bibliografía.....	32

## 1. Resumen

El *Arapaima gigas* es un pez de gran envergadura que habita en la cuenca Amazónica, este pez tiene importancia tanto por su relevancia ecológica, como por su potencial comercial para productos cárnicos principalmente. La carne del *Arapaima gigas* es preciada por los conocedores de ésta debido a sus cualidades organolépticas y sensoriales, y por los comerciantes que ven un mercado creciente con esta especie.

Se han desarrollado manuales para el manejo y cría de estos particulares peces, con la intención de fundamentar protocolos que mejoren el sistema de producción. Este resulta ser un desafío debido a características de la especie, principalmente las reproductivas, como es falta de dimorfismo sexual aparente.

Conviene nombrar que, en las zonas autóctonas del *Arapaima gigas*, este gigante se está viendo mermado por la sobrepesca y degradación del ecosistema amazónico fluvial, generando preocupación en las instituciones, que a raíz de ello han generado periodos de veda y vigilancia de las crías. Por otro lado, a causa del ser humano, la introducción de esta especie en otras regiones supone una alarma, debido a la evidencia de la aptitud invasora y mayoritariamente piscívora de este pez. Este dilema exige un manejo cuidadoso y estratégico para equilibrar la conservación en su lugar de origen, mientras se previenen los impactos negativos en nuevos ecosistemas.

## ABSTRACT

The *Arapaima gigas* is a significant fish species in the Amazon Basin due to its ecological significance and commercial potential, particularly in the meat industry. The meat of the *Arapaima gigas* is coveted by connoisseurs for its exceptional organoleptic and sensory qualities, and it is increasingly sought after by traders who see a growing market.

Manuals have been produced for the management and breeding of these specific fish, designed to develop protocols that enhance production systems. This is a challenging task due to certain characteristics of the species, notably the absence of apparent sexual dimorphism.

It should be noted that in the natural habitats of *Arapaima gigas*, this species is being overfished and the Amazonian River ecosystem is suffering from degradation. This has resulted in concerns from institutions, leading to periods of closure and monitoring of offspring. Additionally, the introduction of this species to other regions is alarming due to evidence of their invasive and mainly piscivorous behaviour. This predicament necessitates meticulous and strategic management to achieve a balance between preservation in its original habitat and averting adverse consequences in novel ecosystems.

## 2. Introducción

### ◇ Descripción de *Arapaima gigas*

El pez *Arapaima gigas* (Cuvier, 1829) es una especie única en su género, se trata del pez con escamas de agua dulce más grande del mundo y de toda la cuenca del Amazonas (Figura 1). No solo resulta de interés por su gran tamaño (pudiendo llegar a medir más de 3 m de longitud) sino también por ser una especie prehistórica que tiene una gran importancia científica y ambiental, por no hablar de la cultural y económica en países de la cuenca Amazónica como Perú, Brasil, Ecuador, Colombia y Guayana principalmente (Torati et al., 2019).



Figura 1. Fotografía de *Arapaima gigas* (<https://tnaqua.org/animal/arapaima/>)

Filogenéticamente este pez ha generado controversia. Por un lado, *Osteoglossomorpha* junto con *Elopomorpha* y *Clupeocephala* comprenden los tres principales grupos de peces primitivos tropicales, pertenecientes a los teleósteos (caracterizados por su lengua ósea). Se cree que *Osteoglossomorpha* y *Elopomorpha* son grupos hermanos que divergieron en el Jurásico. (Vialle et al., 2018). *A. gigas* había sido considerado hasta hace diez años como el único representante conocido de la familia *Arapaimatidae* del orden Osteoglossiformes en América del Sur (Guevara, 2022). Más tarde, se describió la existencia de hasta seis especies de *Arapaima* encontradas en diferentes zonas del Amazonas (*A. gigas*, *A. mapae*, *A. arapaima*, *A. agassizii*, *A. leposoma* y *Arapaima sp. Incertae sedis*) (Stewart, 2013). En contraposición a esto, análisis moleculares y de diversidad genética posteriores de especímenes no encontraron evidencia de la coexistencia de múltiples especies de *Arapaima* en la cuenca del Amazonas y ríos cercanos, siendo considerada, en última instancia, a *A. gigas* como la única especie (Farias et al., 2019).

Esta especie tiene cualidades curiosas como su antigüedad, ya que se han encontrado restos de este animal en el periodo del cretácico o jurásico superior (65 a 136 millones de años) y se cree que descienden de los peces óseos primitivos (Figura 2) (Campos, 2001; Lavouè, 2016). Además, es considerado el pez dulceacuícola más grande del mundo, llegando a alcanzar en la etapa adulta hasta 250 kg y más de 3 m de longitud total (Queiroz, 2000).

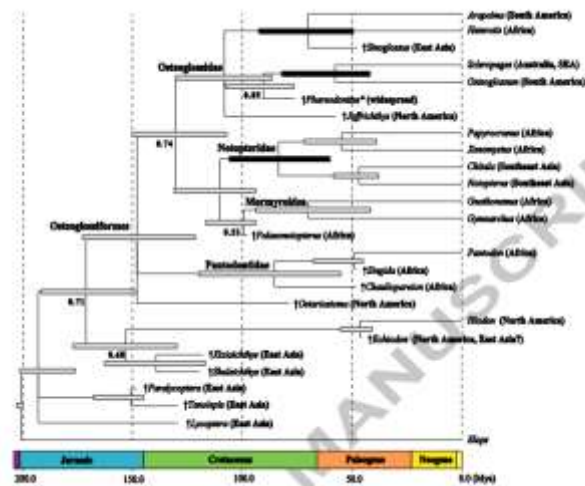


Figure 2 (Lavoie)

Figura 2 . Cronograma filogenético de los Osteoglossomorpha (Jurásico: azul, Cretácico: verde, Paleógeno: naranja, Neógeno: amarillo. Mya =Millones de años) (Lavoué,2016)

Según Imbiriba (1994), la clasificación taxonómica de *Arapaima gigas* es:

Clase	Actinopterygii
Súper orden	Osteoglossomorpha
Orden	Osteoglossiforme (Cupeiformes)
Superfamilia	Osteoglossidae (Arapaimidae)
Familia	Arapaimidae
Género	Arapaima
Especie	Arapaima gigas (Cuvier, 1829)

El nombre vulgar varía según el país en el que se nombre, conocido como “paiche” en Perú y Bolivia, “pirarucú” en Brasil y Colombia, “warapaima” en Colombia también y “de-chi” en Guyana (FONDEPES, 2021). En el presente trabajo se utilizará el nombre común “paiche” para nombrar al pez de la especie *Arapaima gigas*.

En cuanto a la morfología, la cabeza del paiche es de tamaño pequeño con relación al cuerpo (Figura 3), correspondiéndole aproximadamente el 10% del peso total. Posee una lengua ósea la cual llega a medir 25 cm de longitud total y 5 cm de ancho (Barrenechea, 2019).



Figura 3. Cabeza de *A. gigas* (FAO)

El cuerpo del paiche es alargado, circular y elipsoidal en sección (Figura 3), revestido de grandes y gruesas escamas cicloideas. Las aletas pectorales y ventrales están separadas, así como las dorsales y anales se encuentran cerca de la aleta caudal (Rebaza, Alcántara y Valdivieso, 1999; Alcántara et al., 2006). La región de la cola del paiche es comprimida y comprende el tercio posterior del cuerpo, y en él se insertan las aletas dorsal y anal, que confluyen hacia la aleta caudal sin unirse (Alcántara et al., 2006), como se observa en la Figura 4.



Figura 4. Dibujo de *Arapaima gigas* (FAO)

La pigmentación del paiche puede variar de acuerdo con la calidad de agua, naturaleza del suelo y partículas en suspensión de su ambiente (Rebaza, Alcántara y Valdivieso, 1999). En ambientes de agua clara, los colores del pez son menos intensos, así como en aguas negras los colores se acentúan (Alcántara et al., 2006). Tanto las larvas, post-larvas y alevines son de color negro y gradualmente sobre el octavo mes de edad el paiche pasará a tener un color castaño y un color pardo negruzco en la cabeza y en el dorso (Franco, 2005). Además, comienzan a tener una coloración clara en la parte ventral al entrar en la etapa adulta que, en época de reproducción, el macho cambia a un color rojo ladrillo en la zona inferior de la cabeza y lateral del cuerpo y cola, el color blanquecino ventral que tenía en etapas no reproductivas (Alcántara et al., 2006).

Destacan las escamas ribeteadas en rojo, en la zona abdominal a partir de la mitad posterior del cuerpo, que empiezan a aparecer al acabar el periodo de cuidado parental, iniciando así su vida

juvenil. Sus aletas ventrales tienen manchas negras y amarillas en forma de ondas irregulares. (Rebaza, Alcántara y Valdivieso, 1999)

*A. gigas* es considerado el pez más emblemático de la cuenca amazónica peruana (PNIPA, 2020) no solo por sus particularidades biológicas, anatómicas y fisiológicas a raíz de su evolución y adaptación, sino también por la importancia comercial que ha tenido y tiene en la cuenca Amazónica, convirtiéndose en una especie única en la ictiofauna mundial con gran potencial de cultivo y desarrollo en acuicultura.

#### ◇ Anatomía de *Arapaima gigas*

El paiche se caracteriza por ser respirador aéreo si bien, como todos los peces que respiran aire, cuando las larvas eclosionan, extraen el oxígeno del agua utilizando su piel y branquias. El tejido branquial desarrolla cambios conforme la larva pasa a ser un juvenil, disminuyen en longitud las laminillas y filamentos branquiales mientras se engrosan y aparecen células interlaminares como se observa en la Figura 5.

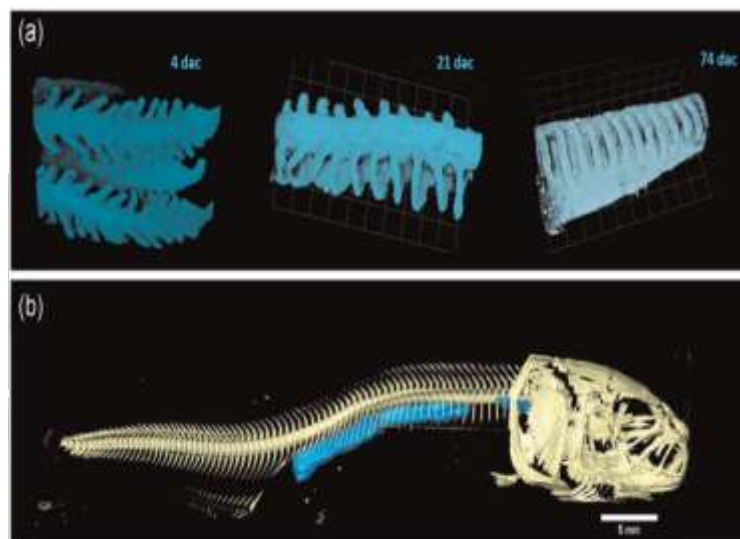


Figura 5. a) Representación de filamentos y laminillas branquiales de juveniles de *A. gigas* a los 10, 16, 27 y 80 días después de la eclosión aprox. b) Vista lateral de un juvenil de *A. gigas* a los 27 días, reconstruida a partir de medidas de volumen obtenidas mediante microtomografía computarizada. El azul representa el órgano respiratorio, el amarillo indica el hueso. (dac=días tras la captura) (Frommel et al., 2021)

Mientras tanto, la piel también se engrosa, aumentando la distancia de difusión entre el agua y la sangre (Frommel et al., 2021) Una semana después de la eclosión, cuando las larvas miden alrededor de 1,7 cm, respiran aire por primera vez, guiadas por el parental a la superficie; 2-3 semanas después de la eclosión más del 60% de su consumo de oxígeno procede del aire (Pelster et al., 2020).



Ya en adultos, con un peso de 0,70-2 Kg, cerca del 80% del oxígeno se absorbe en la vejiga natatoria (Figura 6), la cual presenta numerosas trabéculas haciendo una función de “pulmón” (Frommel, 2021), ya que anatómicamente presenta un sistema branquial con cierto grado de atrofia que le impide abastecer de oxígeno a todo su cuerpo (Franco y Peláez-Rodríguez, 2007)

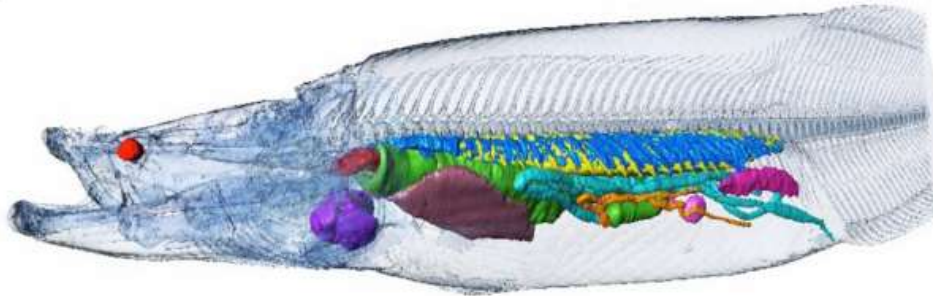


Figura 6. Anatomía por imagen 3D de hembra de *A. gigas* de 190 cm. Corazón: púrpura, hígado: rosa oscuro; bazo: rosa; ovario: magenta; esófago y estómago: verde; intestino: turquesa; ciegos pilóricos: naranja; tejido respiratorio: azul, aire en la vejiga natatoria: amarillo (Frommel et al., 2021)

El riñón del paiche forma un papel muy importante en la osmo- e ionoregulacion, mayor que el que tiene las branquias, además en relación con los teleósteos de agua dulce el riñón del paiche contribuye de forma inusualmente grande a la excreción de residuos de nitrógeno (Wood, 2020). Los riñones están emparejados en contacto entre sí y discurren medialmente a lo largo de la columna vertebral dentro de la vejiga natatoria (Figura 7) (Scadeng et al., 2020).



Figura 7. Sistema respiratorio de *A. gigas*, vejiga natatoria (GB), tejido respiratorio y riñones (K) (Scadeng et al., 2020)

La vejiga natatoria es compleja, en ella se ha desarrollado un gran tejido vascular y está subdividida en muchos túbulos irregulares que aumentan la superficie gaseosa enormemente, realizándose un intercambio gaseoso parecido al que podría ocurrir en los pulmones (Scadeng et al., 2020). Pese a ello esta vejiga no es un verdadero pulmón, como se podría observar en los peces pulmonados (*Dipnoi*), ya que ésta tiene un origen diferente, no está emparejada y ocupa la parte dorsal de la cavidad abdominal (Perry et al., 2001).

La vejiga de la especie se comunica cranealmente con el esófago a través de un esfínter muscular (saliendo frente a la glotis) y con la cavidad abdominal (Rebaza, Alcántara, y Valdivieso 1999; Alcántara et al., 2006; Scadeng et al., 2020).

Las características de su sistema respiratorio determinan su comportamiento, ya que, en condiciones normales, los paiches salen a la superficie cada 10-15 minutos para respirar, aunque un adulto puede permanecer sumergido un máximo de 40 minutos si es perseguido. Estos tiempos varían según su edad: los alevines de 2,5 cm salen cada 2-3 segundos a la superficie; los de 5 cm cada 6-8 segundos y los de 8-10 cm cada minuto aproximadamente (Guerra, 2002).

Los paiches tienen cuatro pares branquiales con cortos filamentos que solo tienen unas laminillas rudimentarias, muy anchas y romas en comparación con los peces que respiran en el agua (Scadeng et al., 2020).

Como el nombre del orden indica (*osteo-hueso-, glosi-lengua-, formes*), estos se caracterizan por la osificación de la lengua, bien estructurada y que utilizan para la deglución (Stone, 2007). El hueso interno de la lengua está achatado y sutilmente arqueado, denominado hioides, con una longitud que oscila entre 10 y 20 cm. La lengua está recubierta por una infinidad de conos esmaltados (denticúlos) pequeños muy resistentes. La



Figura 8. Boca de *A. gigas* (Franco y Peláez-Rodríguez, 2007).

La boca está orientada hacia la superficie, es grande y oblicua, con dientes filiformes (relativamente pequeños y similares) como se observa en la Figura 8 y posee dos placas óseas laterales que funcionan como verdaderos dientes, los cuales ayudan a detener la presa, matándola antes de la deglución.

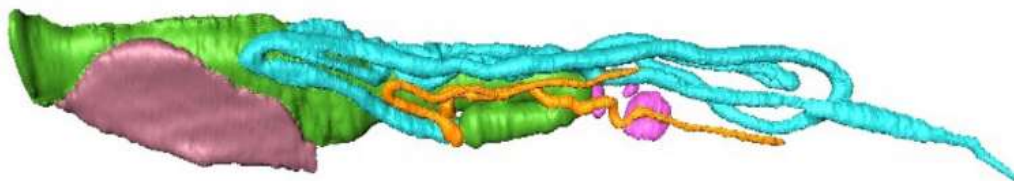


Figura 9. Lateral izquierdo, sistema digestivo de *A. gigas* en 3D a partir de TC. Verde: estómago y esófago, azul: asas intestinales, naranja: ciego pilórico, hígado: rosa oscuro, bazo: rosa claro (Scadeng et al. 2020)

El aparato digestivo es grueso, corto y con forma de “v” (Figura 9, color verde), típico de los peces carnívoros (Rebaza, Alcántara, y Valdivieso, 1999; Scadeng et al., 2020). Tienen una longitud de esófago de unos 20 cm, el estómago tiene alrededor de 30 cm y unos 3 m de intestino delgado (datos obtenidos en necropsias realizadas en el Acuario de Zaragoza. Comunicación personal).

La especie se alimenta de peces pequeños y medianos principalmente, preferiblemente de las familias *Curimatidae* y *Characidae* (orden Characiformes) aunque la alimentación de estos peces realmente depende más de la oferta de las especies disponibles que de la preferencia alimentaria (Villafán et al., 2020). También se han encontrado restos vegetales y de invertebrados en contenidos estomacales, entendiéndose así que *A. gigas* es una especie omnívora (Villafán et al., 2020), al contrario de lo que describían previamente que la determinaban como carnívora autores, como (Rebaza, Alcántara, y Valdivieso, 1999; Alcántara et al., 2006). En cuanto a sus hábitos alimentarios, antes de ingerir su presa, los paiches la presionan hasta matarla, para lo cual poseen los dentículos afilados en la lengua, que sirven para atrapar y triturar (Guevara, 2022).

Cuando son alevines, en el medio natural se alimentan de plancton, después aprovechan insectos, y más adelante seleccionan presas según su tamaño de boca (Guevara, 2022); durante su fase de crecimiento inicial ingiere un 3-5% de su peso vivo, de 8 a 10% de su peso cuando es joven, disminuyendo al 6% cuando ya es adulto (Villafán et al., 2020; Guevara, 2022). Este pez durante el primer año de su vida puede alcanzar hasta 10 kg (Rebaza, Alcántara, y Valdivieso, 1999). En cautiverio, se pueden alimentar de peces vivos, muertos, enteros o en trozos; también pueden aceptar vísceras, embriones muertos de pollos (Rebaza, Alcántara, y Valdivieso, 1999; Guevara, 2022). Son alimentados también por piensos especializados, como por ejemplo el alimento extrusionado que observamos en la Figura 10.



Figura 8. Personal ofreciendo alimento extrudido a ejemplares de *A. gigas* (Alcántara et al. (2006))

Como la mayor parte de peces dulceacuícolas, en su hábitat natural el paiche procura alimentarse en el atardecer o amanecer ya que, cuando hay calor intenso, se mete debajo de la vegetación acuática en busca de cualquier sombra que pueda protegerlo de los fuertes rayos solares, ahí se mantienen inmóviles en el fondo del agua, saliendo únicamente para respirar (IIAP, 2017).

En cuanto al aparato reproductor, el paiche presenta únicamente una gónada desarrollada en el lado izquierdo ya sean hembras o machos (Godinho et al., 2005).



*Figura 9. Gónada de macho de A. gigas (Alcantara, 2006)*

Los machos de esta especie tienen adherido al peritoneo el testículo, que es alargado casi cilíndrico (Figura 11) (Alcántara et al., 2006). Los machos que han llegado a su madurez sexual presentan un testículo de color rosado marronáceo, siendo de color rojo vinoso en el desove (Campos et al., 2001). Anatómicamente el ovario es parecido a las hojas de un libro, adherido por los bordes foliar (Fontenele, 1948). Se localiza en la cavidad abdominal ocupando dos tercios de la parte media del lado izquierdo y carece de cápsula, por lo que, los ovocitos son liberados a la cavidad celómica cuando llegan a su madurez, de aquí son guiados a un ligamento que conducirá los ovocitos a la papila genital (Godhino et al., 2005; Torati et al., 2015).

El color del ovario es verde intenso en las hembras con actividad sexual, con punteado amarillento (Figura 12). Como promedio hay unos 180.000 óvulos en una hembra de 1,90 m de longitud y 62 Kg de peso, de los que solo el 25% llegan a las condiciones de maduración para ser liberados para su fecundación (Franco y Peláez, 2007)



*Figura 10. Gónada de hembra de A. gigas (Alcantara, 2006)*

### ◇ Distribución de *Arapaima gigas*

La cuenca amazónica se precia de ser el ecosistema de agua dulce más extenso del planeta y a la vez el que posee la mayor diversidad de peces. Se estima que ésta puede llegar a superar las 3.000 especies (Franco y Peláez, 2007).

La Amazonía es sin duda una de las regiones más ricas en fauna y flora del mundo (Figura 13). Tanto es así que desde 1978 existe un Tratado de Cooperación Amazónica que suscribieron 8 países que más adelante crearon la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica para promover el desarrollo sostenible y sustentable de la Región Amazónica (OTCA, 2023).



Figura 11. La región amazónica (OTCA)

La diversidad en la Amazonía ha sido un gran proceso evolutivo del cual destaca la llamada Gondwana, que era la antigua y gran corteza continental que incluía lo que actualmente es América del Sur, África y la mayor parte de la Antártida y Australia, así como Madagascar y el subcontinente indio (que representa el 64% de la superficie terrestre actual) (Torsvik y Cocks, 2013). A pesar de la hipótesis de que fue este curso geológico lo que derivó en la diversificación y distribución de los teleósteos de agua dulce, Lavoué (2016) concluyó que la fragmentación de Gondwana tuvo poca importancia en ello.

La distribución geográfica natural de *A. gigas* incluye las cuencas de los ríos Amazonas, Tocantins-Araguaia y Esequibo que cubren Brasil, Ecuador, Guyana y Perú (Torati et al., 2019) (Figura 14), llegando a ocupar alrededor de 2 millones de km<sup>2</sup> si se incluyen Colombia y Venezuela (Saavedra et al., 2005).



En estas zonas amazónicas el clima es tropical, cálido y húmedo, tiene un rango de precipitación anual de 1750 a 2500 mm y un rango de temperatura anual de 20 a 30 °C (Nisin et al., 2023).



Figura 12. Distribución geográfica de *Arapaima gigas* (FONDEPES, 2021)

Este pez habita en ambientes con poca corriente de agua (IIAP, 2017), lugares llamados cochas o cahuelas (del portugués *cachoeiras* que significa rápidos de agua o pequeñas cascadas) (Stone, 2007). Los paiches también han sido vistos en zonas poco profundas y con abundante vegetación flotante de ríos de la cuenca del Amazonas en Perú, Brasil, Colombia y Guyana (Chaves, 2009). Estas zonas habían hecho de barrera natural impidiendo que la especie cruzase a ciertas zonas río arriba de Bolivia. En los últimos años, los arapaimas han colonizado los ríos de Bolivia, resultando uno de los casos más espectaculares de introducción de una especie no-nativa en una subcuenca amazónica (Carvajal-Vallejos et al., 2017). Resulta interesante porque esta especie siempre es vulnerable a la extinción en las zonas que eran su hábitat natural por su rango natural de distribución, sobre todo en los lugares donde ha sido eliminada por la alta explotación comercial como es Perú y Brasil (Castello et al., 2015). Pero en Bolivia, la pesca comercial es menor, provocando que la especie haya ocupado un importante segmento de la cadena de valor del pescado en el norte amazónico (Carvajal-Vallejos et al., 2017).

### 3. Justificación y objetivo

La especie *A. gigas*, es un pez del que destaca su gran tamaño y llamativa coloración, a la que pude aproximar y observar de cerca en mis *prácticas tuteladas* en el Acuario de Zaragoza, creando un interés en mí que ha conllevado el presente trabajo. Profundizando en la especie, cabe resaltar que no resulta únicamente interesante por su morfología sino también su historia evolutiva, papel en los ecosistemas acuáticos, importancia económica y ecológica en las regiones de la cuenca Amazónica, que actualmente debido a su intensa captura y pérdida de hábitat se encuentra en el apéndice II de especies nombradas en el CITES. A pesar de ello, este gran pez ha formado parte de la dieta de las personas indígenas cercanas a lagos y ríos de la Amazonia, y su preciada carne ha desarrollado un gran interés en la cría de este pez, que ha implicado una mejora en la piscicultura local enfocada a esta especie de especial reproducción y manejo.

La finalidad de este trabajo es manifestar la existencia de esta especie del Sur de América desconocida en nuestro entorno y exponer los sistemas de reproducción, cría y manejo de *A. gigas* utilizados en esas regiones.

Por lo consiguiente, los objetivos específicos que se plantean en esta revisión bibliográfica son:

1. Conocer la especie *A. gigas*, describiéndola demográfica y anatómicamente.
2. Estudiar la reproducción, y manejo tanto natural como en cautividad de estos peces exponiendo la relevancia de esta especie en sectores económicos y ecológicos.
3. Analizar la importancia del desarrollo de sistemas sostenibles de cría y conservación evitando los cambios en sus hábitats e introducciones en otras zonas.

## 4. Metodología

La realización y redacción de esta revisión bibliográfica se ha llevado a cabo mediante la búsqueda de información y su posterior análisis. Se han consultado artículos y revistas científicas relacionados y procedentes de bases de datos científicas como PubMed, ScienceDirect, Google Scholar, Alcorze, SciELO y revistas científicas como Wiley Online Library. También, se ha consultado en la plataforma Moodle, la Guía de herramientas y pautas para un buen TFG.

Para obtener una búsqueda precisa se han utilizado palabras clave en inglés como “*Arapaima gigas anatomy*” “*Arapaima gigas reproduction*” “*Arapaima gigas breeding*” “*Arapaima gigas management*”. Para filtrar la información se han utilizado diferentes criterios, como la fecha de publicación y la relevancia de la misma.

	ALCORZE		PUBMED		GOOGLE ACADÉMICO	
	TOTAL	<10 años	TOTAL	<10 años	TOTAL	<10 años
<b><i>Arapaima gigas</i></b>	1697	1204	119	82	10700	6700
<b><i>Arapaima gigas anatomy</i></b>	68	44	34	17	1120	654
<b><i>Arapaima gigas Reproduction</i></b>	73	54	12	11	3450	2410
<b><i>Arapaima gigas breeding</i></b>	16	13	2	2	1760	1200
<b><i>Arapaima gigas management</i></b>	209	157	12	11	4470	3160



## 5. Resultados y discusión

### ◇ Aspectos reproductivos y de cría

La madurez sexual de *A. gigas* se alcanza de los tres a cinco años, cuando la gónada izquierda se desarrolla funcionalmente (Godinho et al., 2005), comenzando su reproducción cuando alcanza un peso de unos 40–50 kg entre 160–185 cm de longitud (Lopera, 2018). El desarrollo de los ovocitos es asincrónico, pudiendo desovar varias veces en la temporada, con una cifra entre 10.000 y 20.000 ovocitos por oviposición (Núñez, 2011).



Figura 13. Laguna amazónica (Alcántara et al. (2006))

A pesar de poder suceder a lo largo de todo el año (Lima, 2018), suele producirse desde noviembre a abril, que coincide con la estación lluviosa en la Amazonía (Núñez et al., 2011), intensificándose la reproducción por el aumento del nivel del agua y de las zonas del bosque inundadas (Fernandes et al., 2005). Durante este periodo, las parejas buscan regiones poco profundas inundadas para aparearse y construir sus nidos, preferentemente en sustratos arcillosos, arenosos o fangosos (Castello, 2008). El comportamiento reproductivo, inicia con el marcaje del territorio por parte de los machos durante dos o tres días, (Franco y Peláez-Rodríguez, 2007). Para ello, estos realizan grandes saltos golpeando con fuerza el agua con su cola, marcando así su espacio y cortejando a las hembras, en este cortejo nupcial ambos sincronizan sus movimientos y finalmente procede el emparejamiento (IIAP, 2017). Los paiches presentan una fecundidad de hasta 1500 huevos por desove (Guevara, 2022), siendo este fraccionado (solo madura un pequeño grupo de óvulos) (Franco y Peláez-Rodríguez, 2007). Dada la situación, los peces forman los nidos durante 3-5 días en zonas poco profundas, de 1 a 1,5 m, con fondo arcilloso o arenoso sin vegetación (Figura 15), creando depresiones de una profundidad de 12 a 20 cm y con un diámetro de 30 cm a 75 cm (Fontenele, 1948; Imbiriba, 1994; Queiroz, 1999; Castello, 2008). Los machos protegen el nido, saliendo a respirar cada 20 minutos (Franco y Peláez-Rodríguez, 2007); externamente se observan siempre en el mismo

lugar mientras la hembra nada lentamente cerca del nido vigilando a los posibles depredadores (PNIPA, 2020), impidiendo que se acerque ningún pez. Una vez depositados por la hembra en el nido, la fecundación de los óvulos es externa, vertiendo el macho su semen sobre estos, agitando posteriormente de forma continua sus aletas sobre el nido para asegurar la oxigenación de los huevos. Tres días después de haberse establecido la pareja se produce la eclosión de las larvas, que días después abandonaran el nido siempre junto a su parental, que las guía nadando muy lentamente (Franco y Peláez-Rodríguez, 2007). Los paiches secretan un líquido blanquecino por la cabeza, llamado “leche de pirarucú” según los indígenas amazónicos, que creían que era el alimento de las crías, actualmente hay hipótesis de que pueden ser de esteroides con función de feromona excretada por los canales cefálicos. (Torati et al., 2020).

*A. gigas* es un pez determinado como socialmente monógamo, siendo así su manejo más complicado. Con la intención confirmar esta hipótesis, se analizaron en 2015 diferentes parejas en Brasil, y finalmente concluyeron que estos peces en situaciones naturales no son monógamos y, por lo tanto, no es necesario mantener a una única pareja en los tanques de reproducción (Farias et al., 2015). Sin embargo, estudios más actuales (Lima, 2018) demuestran que las tasas de fertilidad más altas se producen en los estanques de solo una hembra junto a un macho, con periodos de desove cada 60-65 días debido a la reducción de la agresividad por dominio de territorio y competencia por los alimentos. Además de con dicho manejo, Lopera et al. (2018) también describieron mejoras con la retirada de los alevines cuando apenas se pueden ver en el agua, ya que parece evitar el desgaste físico de los padres en los cuidados sobre ellos, y así pueden entrar más rápido en la etapa reproductiva por menor pérdida de peso (Lima, 2018). Así como en otras especies de Centroamérica, como el *Cichlasoma cyanoguttatum*, la adición de un macho o hembra aumentan los índices de reproducción, en los paiches esta misma estrategia no promueve la reproducción sino más bien fomenta comportamientos agresivos, situación que refuerza la hipótesis de la poligamia en esta especie. En animales polígamos, la competencia puede ocurrir en ambos sexos y, por lo tanto, se observa agresividad entre individuos al añadir tanto, hembras como machos (Lima, 2018).

Respecto a la poligamia en *A. gigas*, describieron la probabilidad de la existencia de machos satélite, que son aquellos que tienen una actividad periférica a un macho dominante, pero sin interactuar con él, aprovechándose de su territorio y de las hembras que hay en él, lo que podría explicar los resultados genéticos que demuestran la poligamia en esta especie. Los machos satélites podrían realizar actividades como la inseminación en el momento que el dominante no se da cuenta, y el escabullimiento. En los paiches, como los machos son los principales cuidadores del nido, podría darse la reproducción de un macho con varias hembras mientras

otro macho cuida del nido, siendo esta otra posibilidad planteada en el estudio, es decir, la existencia de cuidado alop parental (Farias et al., 2015).

La problemática para el cautiverio de estos peces es debida a la dificultad de formar parejas reproductivas ya que no existe dimorfismo sexual. El uso de métodos, como puede ser la laparoscopia, no son útiles para su producción al ser invasivos (Torati, 2015). Por esta razón, es necesario el uso de marcadores para la diferenciación entre machos y hembras, utilizándose por un lado las hormonas como la vitelogenina, que tiene un 100% de especificidad, pudiendo sexar así animales jóvenes de unos 3 años (Chu-Koo et al., 2008); o las hormonas 17beta-estradiol y 17alfa-hidroxi-progesterona con un 95% de especificidad, siendo este más específico para animales mayores de 3 años, pero sin validez a menores de 2 (Chu-Koo et al., 2008; Lopera et al., 2018). También se ha descrito como método eficaz para la determinación de sexo los esteroides 11-cetotestosterona y estradiol con un éxito al 95% (Chu-Koo et al., 2008). Por otro lado, estudios recientes han identificado secuencias sexuales específicas genómicas y desarrollado una qPCR dúplex para identificar el sexo genotípico, que coincide al 100% con el biológico. La gran ventaja es que, al igual que los métodos hormonales, no es una técnica invasiva, resultando ser una solución al problema de diferenciación sexual entre individuos (López-Landavery et al., 2022).

Con la finalidad de la mejora productiva se han comprobado los efectos de implantes hormonales de mGnRHa, analizando la secreción cefálica y plasmática de testosterona, 11-cetotestosterona y 17beta-estradiol en la muestra. En comparación con el control, los implantados mostraron un aumento significativo de dichas hormonas. Esta respuesta positiva podría ser una solución para la inducción y evolución de la acuicultura reproductiva de *A. gigas* que, debido a las conocidas dificultades por la diferenciación sexual resulta complicado llevar a cabo. A raíz del estudio se sugiere que, tras la investigación futura más a fondo de la endoscopia, canulación y monitorización del desarrollo gonadal de la especie, se podrían llevar a cabo inseminaciones artificiales dando lugar a la posibilidad de reproducir ejemplares fuera del periodo de lluvias (Torati et al., 2020).

#### ◇ Piscicultura y manejo

Los paiches son una especie de la que es necesario obtener más conocimientos sobre su manejo, debido a que al ser explotada surgen problemas de salud, principalmente de parasitosis. Los problemas sanitarios surgen sobre todo al principio de la producción, cuando están más expuestos a condiciones adversas, con un sistema inmunológico que no responde óptimamente (Murrieta, Pereira y Yunis, 2020).

*A. gigas* posee una gran rusticidad y capacidad de adaptación en condiciones de cautiverio, cultivándose mayormente en estanques de tierra, aunque también se hace en jaulas flotantes y tanques cerámicos (Lalupú, 2019). Las condiciones fisiológicas respiratorias del paiche hacen que sea un pez especial para su cría ya que les permiten su adaptación a aguas pobres en oxígeno o de altas concentraciones en CO<sub>2</sub> (Ortiz et al., 2007). Sin embargo, si es una especie relativamente sensible a los niveles de amoníaco, que deben ser más controlados. Por eso, es un reto la disminución de amoníaco en las aguas de producción de paiche para evitar pérdidas económicas ya que, el aumento a la exposición de amoníaco afecta a su crecimiento al reducirse la ganancia de masa corporal y el consumo de alimento (Ramírez y Val, 2023). El aumento de las temperaturas debido al cambio climático genera un problema añadido puesto que altas temperaturas aumentan la tasa metabólica de los peces y, por lo tanto, catabolizan más proteínas que se transforman en amoníaco finalmente, lo cual sumado a las altas concentraciones existentes en el agua dificultan la excreción del mismo por parte del pez, acumulándose así en su cuerpo (Ramírez y Val, 2023).

Los parámetros óptimos del cultivo de paiche oscilan en grandes rangos debido a su gran rusticidad, tal como se muestra en la Figura 16 (Arévalo, 2014).

Valores promedios de los parámetros físicos y químicos del agua. Parámetros físicos y químicos	Media $\pm$ DS
Temperatura (°C)	25.78 $\pm$ 4.18
Potencial de Hidrógeno (pH)	6.1 $\pm$ 0.50
Oxígeno disuelto (mg/l)	4.33 $\pm$ 1
Dióxido de Carbono (mg/l)	22.33 $\pm$ 2.18
Amonio (mg/l)	0.2 $\pm$ 0
Dureza (CaCo <sub>3</sub> )	21.78 $\pm$ 2.91

Figura 14. Parámetros óptimos del cultivo de paiche  
(Arévalo, 2014)

Económicamente este pez resulta interesante, además de por sus rendimientos en filete, por su rápido crecimiento, alcanzando pesos entre 8 y 12 kg al año. Esto junto a su preciado sabor, color y textura hace que resulte muy atractivo en el mercado no solo de los países conocedores del producto, sino también externos (IIAP, 2017).



Figura 15. Estanques rectangulares (FONDEPES, 2016)

Para el manejo de los reproductores, según el FONDEPES (2016), los estanques más apropiados son los rectangulares (Figura 17) con agua que debe poder evacuarse, de unos 300 a 500 m<sup>2</sup> si se separan parejas para mejorar el manejo (IIAP, 2017). El área mínima por reproductor es de 125 m<sup>2</sup>, teniendo en cuenta que los grandes estanques se pueden dividir para facilitar el manejo. La alimentación, dependiendo de si la procedencia de los reproductores es de criadero o no, varía, pudiendo ser únicamente de pescado fresco si son de medio natural, a introducir un 45% de la dieta de alimento equilibrado comercial si son de cautividad. La alimentación debe ser del 0,5 al 2% de su peso vivo, ofreciéndoles de dos a tres veces al día. Además, como medida de monitoreo, los reproductores se pueden marcar con microchips implantados intramuscularmente (IIAP, 2017).

La fase entre alevines y juveniles resulta una de las etapas más críticas para su cría debido a la baja supervivencia que no supera el 10%, principalmente por la deficiencia de calidad de alimento y por la depredación de estos a pesar de que los alevines y las post-larvas tienen un comportamiento de agregación, sugiriendo la autoprotección entre ellos, además de la proporcionada por su progenitor cuando nadan alrededor de su cabeza (Franco, 2005). En el momento de nidificación, los animales disminuyen su consumo de alimento y llegado el estadio larvario o post-larvario se lleva a cabo el “levantamiento de la semilla del paiche”, es decir, el momento en el que se recogen las larvas del nido, que debe estar acreditado por la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, Apéndice II.

Así bien a las 3 semanas se puede producir de nuevo una freza si los reproductores se encuentran en óptimas condiciones nutricionales y de manejo (FONDEPES, 2016). Para la colecta de los huevos, se debe esperar a que los reproductores se alejen cuando respiran, pudiendo capturarlos momentáneamente mientras se retiran los huevos. Es extremadamente importante la calidad del agua en el establecimiento al que se llevarán, que debe ser casi transparente, con una concentración de oxígeno mayor a 4 mg/l, pH cercano a 7 y concentración de CO<sub>2</sub> menor a 5 mg/l (FONDEPES, 2021). Si la colecta se hace cuando son huevos o larvas (0,9 cm longitud), es necesario que haya incubadoras con nidos artificiales (Figura 18), que deben atemperarse para

que no haya un gran cambio de temperatura. Más adelante, a los 5 días después de la eclosión, las larvas son trasladadas a unidades de cultivo circulares donde puede haber de 250 a 500 ejemplares en cada uno.



Figura 16. Óvulos de paiche, huevos extraídos de un nido, larva 48h post-eclosión y larvas (IIAP) (FONDEPES, 2021)

Cuando miden alrededor de 1,70 cm se les empieza a suministrar alimento que consta de microalgas, nauplios recién eclosionados, *Artemia* sp. y *Moina* sp. (Silva, 2016; FONDEPES, 2021). Más o menos a los 6 días (1,80 cm), la mayoría han reabsorbido su saco vitelino por lo que el apetito se incrementa. Con una longitud de 2,5 cm ya son alevines (sobre los 16 días tras la eclosión) y se puede iniciar un entrenamiento para la introducción paulatina del alimento equilibrado extruido (Silva, 2016) además, se seleccionan por tallas para homogeneizar los tanques, siguiendo los protocolos profilácticos y sanitarios pertinentes. (FONDEPES, 2016). En ciertos estudios se considera que el consumo diario promedio de los alevines (Figura 19) de paiche es de 5% de la biomasa, así como que la periodicidad en la alimentación es primordial,



Figura 17. Alevín de *A. gigas* (Fishblog (2019))

administrándose el alimento entre 6 a 8 raciones diarias para post-larvas y alevines (Silva, 2016).

Sobre la preparación de los estanques, según el Instituto del Bien Común en su Manual de Piscicultura para Comunidades Amazónicas describe los siguientes procedimientos para preparar un estanque para cultivo (Lalupú, 2019):



- Limpieza: se debe limpiar el terreno de raíces, troncos y rasar toda el área, quitar el barro, los palos y raíces.
- Secado: para la recepción de larvas y alevines, no debe tener barro descompuesto el fondo del estanque, el contorno del estanque debe estar limpio, sin ningún tipo de maleza, y debe permanecer sin agua y expuesto al sol 5 días.
- Encalado: para corregir el pH del suelo se debe poner cal en el fondo y las paredes del estanque. Los suelos arcillosos son ácidos por naturaleza y la cal neutraliza esa acidez
- Desinfectado de paredes y fondo de hongos y bacterias.
- Abonamiento y fertilización: en el fondo del estanque colocar pasto seco de manera uniforme. Luego se fertiliza el estanque con abono animal distribuido de manera uniforme en todo el estanque.
- Llenado de agua: después de abonar y fertilizar el estanque, se llena con agua, hasta alcanzar una profundidad de entre 30 y 40 cm. Se deja el agua a este nivel durante 2 días, para la producción natural de plancton que sirve para alimentar a los alevines. Luego se llena al 100% el estanque con agua.

Generalmente el área de cultivo para juveniles preparados para etapa de engorde varía de 700 a 12000 m<sup>2</sup>. Desde el punto de vista de la infraestructura el parámetro más importante es la profundidad del agua. De media, el paiche se desarrolla entre 8 a 10 kg en un ciclo de producción de 1 año, a partir de juveniles de 15 a 20 cm adaptados al alimento. (Lalupú, 2019)

Cuando se comparó el crecimiento de los paiches con dos densidades de población diferentes en estanques de tierra, concluyeron que la densidad de peces por m<sup>2</sup> es un parámetro muy importante para tener en cuenta, ya que el crecimiento diario y el peso promedio de los peces varía con importancia, obteniendo mejores parámetros los tanques con mayor densidad de animales (Lalupú, 2019).

También se realizó un estudio de comparación de densidades en jaulas (Figura 20), dando de igual manera mejores resultados de ganancia de peso diaria las jaulas con mayor densidad de peces y una mayor eficiencia alimentaria, lo que indica probablemente una mejor distribución de alimento y reducción de pérdidas (Alcántara et al., 2005).



Figura 18. Jaulas flotantes de paiche (Alcántara et al. (2006)

Por otro lado, se analizaron, además, condiciones del agua para la cría y manejo de paiches, donde describieron que la turbidez (que indica la presencia de partículas y sustancias disueltas en el agua), dificulta la transmisión de la luz, y eso podía afectar a la alimentación al obstaculizar la visión para la captura del alimento (Silva, 2016). Este estudio también indica la importancia del factor del oxígeno en el agua, cuya solubilidad varía con la temperatura del agua, las larvas requieren de concentraciones de oxígeno superiores a 4 mg/l. (Silva, 2016)

#### ◇ Acuariofilia

Se debe promover la exportación del paiche como alimento y no como pez vivo ornamental, dado que son comercializados en estados tempranos de desarrollo lo que conllevaría una aceleración de la extinción de la especie (ARANA, 2005).

En cuanto a las conductas y manejo de estos peces con finalidad ornamental, en el Acuario de Zaragoza, pude observar durante mi estancia de dos meses el comportamiento de estos peces en cautiverio. Los ejemplares llegaron en marzo del 2008, traídos desde Perú. Estos peces se encuentran en un gran tanque de unos 9 m de profundidad y más de 40 m de longitud, tienen un comportamiento tranquilo en general, conviviendo con otros peces (*Pangasius hypophthalmus*, *Colossoma macropomum*, *Atractosteus spatula*, especies de cíclidos...). Los paiches se encuentran en el estrato superior del tanque, profundizando en muy raras ocasiones, entendiéndose que se debe a su necesidad de respirar y por su naturaleza de estancias en zonas





Figura 19. *A. gigas* alimentándose tras el apagado de bombas (Acuario de Zaragoza)

poco profundas del Amazonas. Estos peces resultan interesantes por su aprendizaje, ya que los ejemplares relacionan conductas, asociando, por ejemplo, que el apagado de las bombas de agua del tanque implica su alimentación (Figura 21), que es a base de peces en su gran mayoría (rutilo, panga, pota...) con aporte de complementos vitamínicos. Por otro lado, de forma experimental, por análisis diario del personal del acuario, se han descrito comportamientos curiosos de estos animales, como, por ejemplo, conductas de ataque en grupo, observando que se disponen en grupos de 3, dos de ellos en el lateral del objetivo y uno sobre este, intentando arrinconarlo. Respecto a su

comportamiento durante la alimentación, se ha apreciado un apetito voraz, con cierta jerarquía a la hora de comer, y agresividad entre los ejemplares durante este momento, en el que se acercan a la presa y realizan una succión seguida de un fuerte golpe de mandíbulas, evitando de esta forma la huida si fuese un animal vivo. Por otro lado, en el Acuario de Zaragoza se realizan buceos casi diarios en este tanque y no resultan agresivos con los buceadores, aunque siempre se realizan con precaución.

#### ◇ Carne de *Arapaima gigas*

En la dieta de las poblaciones amazónicas, especialmente de las personas que viven cerca de grandes lagos, el paiche ha formado parte de la dieta tradicionalmente, ya en el siglo XIX y XX se exportaron más de 3.000 toneladas de peces (150.000 ejemplares) desde Brasil (Menezes, 1951), pero a partir de los años 70 y 80, *A. gigas* se convirtió en una especie escasa debido a la sobrepesca (Goulding, 1980). Así en 1975 el paiche se convirtió en una de las especies vulnerables del CITES, II.

La explotación comercial del paiche comenzó a principios del siglo XVIII, debido principalmente a la calidad de su carne (García-Dávila et al., 2011), que contiene un 36,5% de proteínas totales, 1,6% de grasa bruta, 2,4% de carbohidratos, 24,5% sales minerales, y 35% humedad, con un valor energético de 1,47 kcal (Reinoso, 2021), lo que hacen de la carne de paiche un producto de calidad para el consumo humano. Por esta razón, en Brasil es considerado como sustituto del bacalao seco salado (*Gadus morhua*) (García-Dávila et al., 2011).



**AMAZON FISH PRODUCTS S.A.**

DEFINICIÓN DEL PRODUCTO

**PRODUCTO:** Paiche (*Arapaima gigas*)

**CULTIVO:** Acuicultura

**ORIGEN:** Pucallpa, Perú

**PERIODO CULTIVO:** 18 meses (18.0 Kg)

**VALOR NUTRICIONAL (por cada 100 gr de porción de carne):**

Humedad	: 78.7 g
Proteína	: 19.3 g
Lípidos	: 0.51 g
Carbohidratos	: 0.24 g
Valor energético	: 82.75 Kcal

Figura 20. Ficha técnica de *Arapaima gigas* como alimento (Amazon fish products S.A.)

El paiche es considerado como la especie de agua dulce con mayor potencial económico para la exportación por su apreciado gusto, textura y altas propiedades nutritivas estables (Barrenechea, 2019), a pesar de ser sometida a alimentación artificial por medio del cultivo. Además, el pez tiene buenos rendimientos de carne razón por la que también resulta interesante comercialmente. Santos et al. (2018) encontraron un rendimiento promedio de 41% de filete en peces de 3 a 9 Kg. En estudios posteriores, se obtuvieron rendimientos que oscilaron entre el 38% y el 57% de rendimiento de filete en animales de entre 30 y 40 Kg (Cavali et al., 2020, 2023).

Firmas como Amazon Fish Products S.A han puesto su interés en la protección y comercialización de esta especie. La empresa se describe como una de las pioneras en la domesticación de ejemplares silvestres para transformarlos en reproductores de los peces que se crían para su comercialización tanto dentro como fuera de Perú. En esta compañía se ofrecen fichas técnicas (Figura 22) para sus clientes para que puedan ver las características del producto como Amazon Fish Products S.A. Pero no es la única, otras como American Quality S.A, y Piscícola El Rincón (Figura 23) comercializan la carne y empresas como: Fundo San Luis, Amazon Harvest S.A.C, Selva Amazon Breeder S.A.C, Fundo Tony, Peces y Pescados y The Tiger Ranch E.I.R.L comercializan con la semilla de paiche (Barrenechea, 2019).

Además de la venta de carne de este pescado fresco o congelado, existen otros productos como surimi de paiche o filete de paiche ahumado a baja temperatura, que no dejan de ser vías alternativas de venta a esta producción (Magalhães *et al.*, 2023; Leite, 2023; Roldán-Acero et al., 2020).



Figura 21. Ficha técnica de la empresa "Piscícola El Rincón", mostrando las características sensoriales de cada zona del pez ( extraído de "Piscícola El Rincón" )

Dentro de este orden de ideas, en 2021 Brasil produjo 1.859 TN de paiche en cautiverio (datos extraídos del Sistema IBGE de Recuperación Automática de Brasil), por lo que tiene gran importancia económica (cada Kg de paiche son 3\$ aproximadamente (Departamento de inteligencia de mercados, 2017) lo que supondría un total de casi 5.580.000 \$ en total). Las toneladas de paiche se mantienen relativamente estables desde el 2016, sin poder comparar con las que se obtenían años anteriores (8.388 TN en 2015 y 11.762 TN en 2014) (S.I.D.R.A., 2023). La carne de paiche es un producto preciado en Sudamérica, y conocidas las capacidades comerciales de este pez, dado que es un producto que se exporta, existen proyectos para lanzar el producto a gran escala (Departamento de inteligencia de mercados, 2017).

#### ◇ Subproductos a partir de *Arapaima gigas*

Como ya se ha comentado, el paiche es preciado, además de por su carne, por los subproductos que se pueden obtener a partir de él. Por ejemplo, su singular lengua ósea es utilizada como lija en los hogares y para rayar yuca, y también los bastones o pastas de guaraná, una planta de la que se extraen sus semillas para hacer una bebida. En la Figura 24 se observa el uso de su piel como cuero dando así una alternativa sostenible a tejidos para confección de zapatos, bolsos,



Figura 22. Cuero de paiche mediante curtientes vegetales (gob.pe, 2023)

carteras y otras artesanías, constituyéndose como materia prima codiciada. La piel del paiche supone el 10% del peso del animal, generando más ingresos para la cadena de productores (INPA, 2009). A su vez presenta ventajas con respecto al bovino, pues sustenta más tensión ya que sus fibras son entrelazadas, mientras que las de la piel vacuna están se disponen en paralelo (Berrenechea, 2019).

Por otro lado, las escamas de los peces muchas veces funcionan como eficaces armaduras dérmicas naturales, que protegen a los peces de los depredadores sin impedir su flexibilidad. Los paiches tienen unas escamas especialmente eficaces ya que les permiten la supervivencia en aguas infestadas de pirañas. Las escamas constan de una capa exterior altamente mineralizada para resistir la penetración y una capa inferior más dura con una disposición retorcida de fibrillas de colágeno mineralizado para absorber la deformación (Figura 25), siendo así uno de los materiales flexibles más resistentes que encontramos en la naturaleza (Yang et al., 2019). Las escamas están dispuestas jerárquicamente absorbiendo gran cantidad de energía antes de fracturarse y, por esa razón, se valoró la resistencia al impacto de compuestos reforzados con escamas de arapaima obteniendo resultados favorables para su uso en sistemas de autoprotección balística (Bezerra et al., 2023).

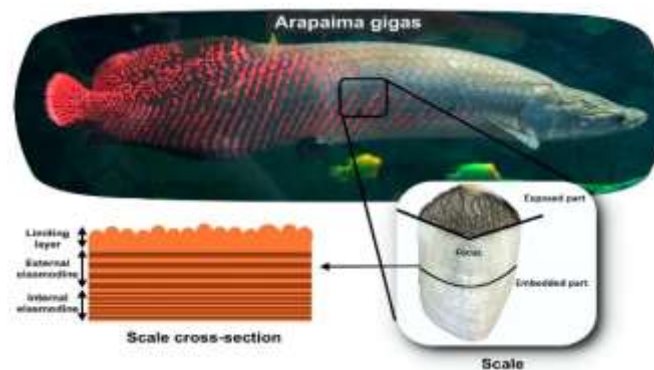


Figura 23. Escamas de *Arapaima gigas* (Bezerra et al., 2023)

La piel de los peces es un mecanismo de defensa primario contra el entorno, es por eso por lo que contiene muchos minerales, proteínas, ácidos grasos y vitaminas, que ya son bien conocidos y forman parte de la dieta humana. No obstante, se ha demostrado la utilidad de la piel, escamas y huesos de los peces para la extracción de subproductos, como es en este caso el colágeno que podría utilizarse como alternativa a la extraída de los mamíferos (Barrenechea, 2019; Bezerra et al., 2023)

Cabe destacar que a partir de las escamas de arapaima se pueden extraer hidroxiapatita, que se trata de una biomateria cerámica utilizada en medicina por su biocompatibilidad y propiedades

osteoconductoras utilizado para traumatismos óseos (Oliveira et al., 2020). Además, también se puede extraer quitosano (adyuvante de vacunas para estimulación inmunitaria, fungicida y para la industria vitivinícola para evitar el deterioro del vino) y quitina (adyuvante de vacunas para estimular respuesta inmunitaria, materiales quirúrgicos, vendajes, suturas...). (Davison, 2022)

#### ◇ Paradoja de la conservación

El paiche es una especie que, por un lado, se encuentra en vigilancia por el descenso de individuos en su zona nativa, mientras se considera invasora en otras localidades debido a su introducción.

Todavía se desconocen las consecuencias que podría conllevar la introducción del paiche en lugares donde no era originario, ya que es una situación relativamente reciente (Villafan et al., 2020). En los años 60, ejemplares de *A. gigas* fueron introducidos de forma voluntaria en lagunas del sistema de “Madre de Dios” en Bolivia, cerca de Perú, con fines piscicultores. A raíz de esto, se produjo la fuga de algunos especímenes al medio natural y desplazamiento de especies autóctonas. Los paiches encontraron estas zonas como lugares para su desarrollo con éxito, lo que podría ser beneficioso para las economías locales, si bien puede provocar impactos en dichos ecosistemas (Valdés, 2009) ya que, según estudios realizados en Brasil, la introducción de especies puede conllevar la disminución o extinción de las especies pertenecientes a esas localidades (Menezes, 1951).



Figura 25. Presencia de *Arapaima gigas* en el mundo (Nisin, 2023)

Existen más registros que señalan a los paiches como una especie exótica invasora fuera de su distribución normal, como ha ocurrido en la Reserva Nacional de Vida Silvestre Amazónica Manuripi (RNVSAM) en Bolivia (Hermoza et al., 2021).

Actualmente, de modo similar, se están observando invasiones por paiche con éxito en nuevos entornos asiáticos como son los Ghats occidentales en India y Sri Lanka (Figura 25) debido a

importaciones no reguladas. El escenario da lugar a la preocupación, por la alta probabilidad de que la invasión por parte de *A. gigas* en esa zona pueda dañar la biodiversidad de la región. (Nisin et al., 2023). Las altas inundaciones en los Ghats occidentales donde los paiches se encuentran es otro de los motivos de alarma de esta situación, ya que hay una gran conectividad entre los sistemas fluviales y una elevada semejanza ambiental entre esta zona de la India y el Amazonas, caracterizadas ambas por un clima tropical cálido y húmedo (Nisin et al., 2023). Así mismo, en Indonesia se está dando una situación paralela, donde se ha evidenciado la presencia de paiches en Java y Sumatra, pudiendo significar una seria amenaza para la fauna nativa y endémica y pérdidas socioeconómicas debido a la depredación de los animales, además del miedo de las personas a este pez de gran tamaño (Marková et al., 2020).

En contraposición a esta situación y paradójicamente, ya en 1999 hablaban de la importante presión pesquera que llevaba sufriendo el paiche desde 1800 en sus zonas nativas (Rebaza, Alcántara y Valdivieso, 1999). La disminución de la especie de su medio autóctono de forma paulatina ha generado preocupación, por lo que se realizaron estudios como de caracterización genotípica de ejemplares con la finalidad de repoblar el lago Imiría con ejemplares que disminuyan la consanguinidad provocada por la actividad piscicultora (García-Davilla et al., 2011). La actividad de captura (Figura 26) junto a la pérdida del hábitat es la que ha llevado a *A. gigas* a ser una especie vigilada, ya que, según el CITES (Apéndice II) se trata de una especie que, si bien no está en peligro de extinción necesita ser protegida para no llegar a ello en su zona nativa, siendo un gran desafío su conservación (Hermoza et al, 2021).



Ilustración 26. Ejemplar de *A. gigas* pescado del río Manupare (Carvajal-Vallejos, 2017)

En Perú, se presentan periodos de veda como una medida para la conservación de *A. gigas*, que se extiende de octubre a febrero para proteger el periodo reproductivo. Hay programas de control y protección tanto en cochas como en ríos, y programas de manejo de crías y repoblamiento (Rebaza, Rebaza y Deza, 2006), además de un control de “levante de semilla”, porque que existen evidencias de que la pesca ilegal de juveniles inmaduros promueve un

retraso en la maduración sexual de la población y, por lo tanto, disminuyen las tasas de crecimiento poblacional, perjudicando la recuperación de esta especie (Amaral.2019).



## 6. Conclusiones

- 1.- *A. gigas* es una especie de lengua ósea, evolucionada fisiológicamente para respirar oxígeno directamente del aire y adaptarse a las condiciones de la cuenca amazónica.
- 2.- Se precisan más estudios sobre la reproducción de estos peces con la intención de solventar el problema de la ausencia de dimorfismo sexual aparente y la reproducción aleatoria.
- 3.- La cría de esta especie resulta positiva económica y ambientalmente en las regiones amazónicas de la que es autóctona, al mismo tiempo es necesaria la vigilancia de la introducción de la especie en otros hábitats ya que resulta adaptable e invasiva.

## CONCLUSIONS

- 1.- *Arapaima gigas* is a physiologically evolved bony-tongued species adapted for air oxygen respiration and suited to the conditions of the Amazon basin.
- 2.-Further investigations are required regarding the reproduction of these fish, aiming to address the challenges posed by the lack of apparent sexual dimorphism absence and random reproduction.
- 3.-The breeding of this species is economically and environmentally favourable within its native Amazonian regions. Simultaneously, vigilance is imperative to monitor its introduction into other habitats, as it demonstrates adaptability and invasiveness potential.



## 7. Valoración personal

La realización del presente trabajo me ha permitido ampliar mis conocimientos sobre la piscicultura y especialmente sobre la de esta especie vagamente conocida en Europa. Ya desde el primer momento en el que tuve un acercamiento a este gran pez me generó interés, y ese ha sido uno de los motivos por los que escogí este tema, sumado a la fascinación por los diferentes sistemas reproductivos existentes en la ictiofauna que siempre me habían llamado la atención. En este caso, conocer el comportamiento parental y de nidificación de esta especie junto a sus peculiaridades anatómicas me han abierto la mente de la infinidad de posibilidades reproductivas que pueden existir.

Poder investigar a fondo sobre este tema me ha aportado no solo la satisfacción por realizar una revisión bibliográfica, sino también la posibilidad de aprender sobre un animal realmente especial que forma parte de la tradición y forma de vida de poblaciones amazónicas. Los sistemas de producción europeos difieren de los del Sur de América por cuestiones geográficas obvias, pero en especial el sistema de cría de este gigante amazónico me ha ilustrado formas de manejar peces de gran tamaño y factores para la cría y producción de peces fluviales. Si bien es cierto que ya tenía constancia de la importancia del mantenimiento de los hábitats naturales, a raíz de este trabajo he podido descubrir las situaciones paradójicas que se dan en el medio ambiente provocadas por el ser humano y reflexionar sobre la importancia de la conservación de la biodiversidad.

Además, gracias a la elaboración del trabajo he podido aprender nuevas herramientas de trabajo y la organización de ideas y diferentes bibliografías, adquiriendo habilidad para la ser selectiva con la información recabada.

Para acabar quería agradecer en primer lugar a mi tutor, José Ignacio Martí Jiménez por su ayuda, al Acuario de Zaragoza por mi estancia durante dos meses en los que pude contemplar de cerca a estos peces, y a toda persona que haya leído esta revisión.

Finalmente me gustaría despedirme dando (cómo no) las gracias a mis seres queridos que me han ayudado en todo momento, a las personas que he conocido gracias a la veterinaria que tanto me han aportado y especialmente a mis padres y mi querida hermana, que han estado para ayudarme y confiar en mí en todo momento durante esta bonita carrera. Gracias por haberme dado el apoyo necesario para poder llegar a estar aquí escribiendo este punto final .

## 8. Bibliografía

- Alcántara, F. et al. (2006) Paiche. El gigante del Amazonas. Perú: IIAP. Disponible en: [https://repositorio.iiap.gob.pe/bitstream/20.500.12921/117/1/Alcantara\\_Libro\\_2006.pdf](https://repositorio.iiap.gob.pe/bitstream/20.500.12921/117/1/Alcantara_Libro_2006.pdf) [Consultado 03-08-2023]
- Amazon Fish Productos S.A. (2023) Amazon Fish Productos S.A. Disponible en: <https://www.amazonfish.com.pe/ficha-tecnica-2/> [Consultado 31-07-2023]
- Amaral, J. S., Venturieri, R. L. y Moreira, R. G. (2019) "Gonadal steroids and energy availability during ovarian maturation stages of the Amazonian pirarucu *Arapaima gigas* (Teleostei: Osteoglossidae) in the wild". *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*, 230, pp. 106-114. Disponible en: [https://www.sciencedirect-com.cuadro.unizar.es:9443/science/article/pii/S1095643318302162](https://www.sciencedirect.com/cuadro.unizar.es:9443/science/article/pii/S1095643318302162) [Consultado 21-08-2023]
- Arana, M. (2005). Informe sobre la Maca y el paiche. BioTrade Facilitation Programme; El uso de indicaciones geográficas, denominaciones de origen o marcas colectivas para promover el biocomercio. 28p. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/218512441/Informe-Sobre-La-Maca#>
- Arévalo J. (2014). "Efecto de tres Tasas de Alimentación en el Crecimiento de Juveniles de paiche, *Arapaima Gigas*, Cultivados en Corrales". (Tesis para Optar Título Profesional, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana) Disponible en: <http://iiap.org.pe/Archivos/publicaciones/PUBL1076.pdf>
- Barrenechea, E. J. (2019) *Aprovechamiento de la piel de Paiche (Arapaima gigas) para la obtención de colágeno*. Tesis. Universidad Nacional Agraria La Molina. Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3945> [Consultado 19-07-2023]
- Bezerra, W. B. A. et al. (2023). "Energy Absorption and Ballistic Performance of Epoxy Composite Reinforced with Arapaima Scales" *MDPI Polymers* 15 (7), pp. 1614. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/polym15071614> [Consultado 17-07-2023]
- Campos Baca, L. (2001). *Historia Biológica del Paiche o Pirarucu Arapaima gigas (Cuvier) y bases para su cultivo en la Amazonía*. Iquitos - Perú: Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (Programa de Biodiversidad). Disponible en: <https://repositorio.iiap.gob.pe/handle/20.500.12921/184> [Consultado: 21-08-2023].
- Carvajal-Vallejos M. et al. (2017). *Bases técnicas para el manejo y aprovechamiento del paiche (Arapaima gigas) en la cuenca Amazónica Boliviana*. Bolivia: INIAF Disponible en: [https://www.academia.edu/33266761/BASES\\_T%C3%89CNICAS\\_PARA\\_EL\\_MANEJO\\_Y\\_A](https://www.academia.edu/33266761/BASES_T%C3%89CNICAS_PARA_EL_MANEJO_Y_A)

[PROVECHAMIENTO DEL PAICHE \*Arapaima gigas\* EN LA CUENCA AMAZONICA BOLIVIANA](#) [Consultado 12-07-2023]

- Castello, L. (2008), Nesting habitat of *Arapaima gigas* (Schinz) in Amazonian floodplains. *Journal of Fish Biology*, 72: 1520-1528. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2007.01778.x>
- Castello, L., (2015) Understanding fishing-induced extinctions in the Amazon. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.*, 25: 587–598. doi: [10.1002/aqc.2491](https://doi.org/10.1002/aqc.2491).
- Cavali, J et al. (2020) Benefits of adding virginiamycin to *Arapaima gigas* (Schinz, 1822) diet cultivated in the Brazilian Amazon. *Scientifica*, v.2020, e 5953720. <https://doi.org/10.1155/2020/5953720>.
- Cavali, J., Andrade, B., Vieira, J., Ferreira, E., Oliveira, M., y Tadeu, R. (2023). !Avaliações morfológicas e rendimentos de cortes comerciais de pirarucu ("*Arapaima gigas*") em diferentes classes de peso". *Revista Brasileira De Ciências Agrárias*, 18(1), e1621. DOI:[10.5039/agraria.v18i1a1621](https://doi.org/10.5039/agraria.v18i1a1621)
- Chaves A. C (2009). Ecología do pirarucu *Arapaima gigas* (Schinz, 1822) na várzea da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, Amazonas, Brasil (Tesis doctoral, Universidade Estadual de Santa Cruz, 85p).
- Chu-Koo, F. et al. (2008) "Gender determination in the Paiche or Pirarucu (*Arapaima gigas*) using plasma vitellogenin, 17 $\beta$ -estradiol, and 11-ketotestosterone levels". *Fish Physiology and Biochemistry*, 35, pp. 125-136. DOI:10.1007/s10695-008-9211-8
- Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (2023). CITES Disponible en: <https://cites.org/esp> [Consultado 6-08-2023]
- Davison, C (2022). *Extração de quitina e quitosana de escamas de pirarucu (Arapaima gigas)*. Brasil: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/9019>
- Departamento de inteligencia de mercados (2017). *Informe Especializado Oportunidades Comerciales para el Paiche en Europa*. Perú: PromPerú. Disponible en: <https://boletines.exportemos.pe/recursos/boletin/218104393radE8554.pdf> [Consultado 03-09-2023]
- Farias, I. P., et al. (2015) "Evidence of polygamy in the socially monogamous Amazonian fish *Arapaima gigas* (Schinz, 1822) (Osteoglossiformes, Arapaimidae)". *Neotropical Ichthyology*, 13(1), pp. 195-204. DOI: 10.1590/1982-0224-20140010.
- Farias I. P., et al. (2019) The largest fish in the world's biggest river: Genetic connectivity and conservation of *Arapaima gigas* in the Amazon and Araguaia-Tocantins drainages. *PLOS ONE* 14(8): e0220882. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220882> [Consultado 21-08-2023]

- Fernandes, D. (2005). "More eyes watching ...". Lessons from the community-based management of a giant fish, *Arapaima gigas*, in Central Guyana. University of Manitoba. Winnipeg, Canada. 180 p
- Fish Blog (2019) Seafish. Disponible en: <https://www.seafishpool.com/arapaima-gigas/> [Consultado 20-08-2023]
- Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero (FONDEPES) (2016). *Protocolo de Reproducción del Paiche. Arapaima gigas*. Perú: Ministerio de producción. Disponible en: <https://siar.minam.gob.pe/apurimac/download/file/fid/63836> [Consultado: 05-09-2023]
- Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero (FONDEPES) (2021). *Protocolo de Manejo de Semilla de Paiche. Arapaima gigas*. Perú: Ministerio de la Producción. Disponible en: <https://1library.co/document/qoo7e9kq-protocolo-de-manejo-de-semilla-de-paiche-arapaima-gigas.html> [Consultado: 26-06-2023]
- Fontenele, O. (1948) "Contribución a la biología del arapaima *Arapaima gigas* (Cuvier) en cautiverio (Actinopterygii, Osteoglossidae)" Rev. Bras. Biol., 8 (1948 ), págs. 445 – 459
- Franco, H. (2005). Contribución al conocimiento de la Reproducción del Pirarucú *Arapaima gigas* (CUVIER, 1817) (Pisces: Arapaimidae) en cautiverio. Trabajo de grado, Programa de Biología. Universidad de la Amazonía. Florencia – Caqueta
- Franco, H. y Peláez-Rodríguez, M. (2007). *Cría y reproducción de Pirarucú en cautiverio. Experiencias en el Piedemonte Caqueteño*. Colombia: Universidad de la Amazonia. Disponible en: <https://www.uniamazonia.edu.co/documentos/docs/ViceRectoria%20de%20Investigaciones%20y%20Posgrados/Publicaciones/Libros/Manual%20pirarucu.pdf> [Consultado 21-07-2023]
- Frommel, A. Y. et al. (2021) "Changes in gill and air-breathing organ characteristics during the transition from water- to air-breathing in juvenile *Arapaima gigas*". *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology* 335 (9-10) pp.801-813. DOI: 10.1002/jez.2456
- García - Davilla, C. et al (2011). "Caracterización genética de ejemplares de Paiche *Arapaima gigas* (Cuvier, 1829) utilizados en el repoblamiento del Lago Imiria (Cuenca del Río Ucayali)" *Folia Amazónica*, 20 (1-2 2011) pp. 67-75. Disponible en: <https://doi.org/10.24841/fa.v20i1-2.352> [Consultado: 03-07-2023]
- Godinho, H. P, et al. (2005): Gonadal morphology and reproductive traits of the Amazonian fish *Arapaima gigas* (Schinz, 1822). *Acta Zool Stockolm* 86, 289–294 Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1463-6395.2005.00213.x> [Consultado 6-08-2023]

- Goulding, M. 1980 *Fishes and the Forest*. University of California press. Los Angeles. CA.
- Guerra, H. et al. (2002). *Manual de producción y manejo de alevinos de Paiche*; Instituto De Investigaciones De La Amazonia Peruana. IIAP. Lima, Perú. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12921/98> [Consultado 29-08-2023]
- Guevara, L. M. (2022) *Niveles de proteína y relación energía proteína sobre el desempeño productivo y composición corporal de juveniles de Paiche (Arapaima gigas)*". Tesis. Universidad Nacional Agraria La Molina. Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5616/guevara-gutierrez-lelis-masuli.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Consultado 17-07-2023]
- Hermoza, G. F. et al (2021). "Paiche (*Arapaima gigas*) (Cuvier, 1829) (Osteoglossiformes: Arapaimidae): una revisión sistemática de la diversidad genética para la conservación del pez gigante del Amazonas" *Campus*, 26 (31), pp. 13 - 26. DOI:[10.24265/campus.2021.v26n31.01](https://doi.org/10.24265/campus.2021.v26n31.01) [Consultado 13-07-2023]
- Imbiriba, E (1994). *Reproducao, larva e alevinagem do Pirarucu (Arapaima gigas)*. Recomendacoes No 26. Belem-Brasil. 4 p.
- Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana (IIAP) (2017). *El cultivo del paiche. Biología, procesos productivos, tecnologías y estadísticas*. Iquitos: Ministerio de Ambiente. Disponible en: [https://repositorio.iiap.gob.pe/bitstream/20.500.12921/267/1/Chu\\_Libro\\_2017.pdf](https://repositorio.iiap.gob.pe/bitstream/20.500.12921/267/1/Chu_Libro_2017.pdf) [Consultado 24-07-2023]
- Lavoué, S. (2016) "Was Gondwanan breakup the cause of the intercontinental distribution of Osteoglossiformes? A time-calibrated phylogenetic test combining molecular, morphological, and paleontological evidence" *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 99, pp. 34-43. DOI: 10.1016/j.ympev.2016.03.008
- Lalupú, D. J. (2016). *Crecimiento de Arapaima gigas (Cuvier 1829) "Paiche" cultivado a dos densidades, fase juvenil en estanques de tierra, en las Lomas – Piura – Perú*". Trabajo final de grado. Universidad Nacional de Piura. Disponible en: <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/2248/FIP-LAL-COR-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Consultado en 20-08-2023]
- Leite, G. et al. (2023). "Yield and Technological Quality of Pirarucu Trimming Surimi According to the Number of Washing Cycles, Rice Flour Content, and Cooking Temperature" *MDIP Foods*, 12 (14: 2748), pp. 1-17. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/foods12142748> [Consultado 12-08-2023]

- Lima, A. (2018). "The influence of sex ratio on the reproduction of pirarucu, | *Arapaima gigas*, in captivity." *Acta Amazonica*, 48 (1), pp. 38-41. DOI:[10.1590/1809-4392201701181](https://doi.org/10.1590/1809-4392201701181) [Consultado 4-07-2023]
- Lopera, J. E. et al. (2018) "La reproducción de *Arapaima Gigas*: Revisión Sistemática" *Revista Sinergia*, 2, pp. 96-109. Disponible en: <http://sinergia.colmayor.edu.co/ojs/index.php/Revistasinergia/article/view/39/23> [Consultado 20-07-2023]
- López- Landvery, E. A., et al. (2022) "Non-invasive sex genotyping of paiche *Arapaima gigas* by qPCR: An applied bioinformatic approach for identifying sex differences" *Aquaculture*, 546 (737388) DOI: 10.1016/j.aquaculture.2021.737388. [Consultado 20-07-2023]
- Magalhães, G.L., Soares, M., Caliaei, M., Guerra, M. L. y Teixeira, E. (2023) "Yield and Technological Quality of Pirarucu Trimming Surimi According to the Number of Washing Cycles, Rice Flour Content, and Cooking Temperature", *Foods*, 12(14), pp. 2748. doi:10.3390/foods12142748 [Consultado: 5-09-2023]
- Marková J, Jerikho R, Wardiatno Y, Kamal MM, Magalhães ALB, Bohatá L, Kalous L, Patoka J. (2020). "Conservation paradox of giant arapaima *Arapaima gigas* (Schinz, 1822) (Pisces: Arapaimidae): endangered in its native range in Brazil and invasive in Indonesia". *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.*, 421, (47). Disponible en: [https://www.kmae-journal.org/articles/kmae/full\\_html/2020/01/kmae200124/kmae200124.html](https://www.kmae-journal.org/articles/kmae/full_html/2020/01/kmae200124/kmae200124.html) [Consultado 05-09-2023]
- Menezes, R.S. 1951 Notas biológicas e econômicas sobre o pirarucu *Arapaima gigas* (Cuvier) (Actinopterygii. Arapaimidae). Serviço de Informação Agrícola / Ministerio da Agricultura. Serie estudos técnicos. 3: 9-39
- Murrieta, G. A., Pereira, J. N. y Yunis, J. (2020) *Principales problemas sanitarios y enfermedades parasitarias en la crianza del Paiche Arapaima gigas en la Amazonía* Iquitos - Perú: IIAP. Disponible en: [https://repositorio.iiap.gob.pe/bitstream/20.500.12921/553/5/murrieta\\_report\\_2020.pdf](https://repositorio.iiap.gob.pe/bitstream/20.500.12921/553/5/murrieta_report_2020.pdf) en [Consultado 13-07-2023]
- Nisin, KMN M. , Ramanathan, SK. , Sreeram, MP. y Sudheesan, D. ( 2023 ). "Modelado conjunto de la distribución del Pirarucú ( *Arapaima gigas* ) en un hotspot de biodiversidad para comprender su riesgo de invasión." *Ecología de los peces de agua dulce*, 32 pp., 528 – 537. Disponible en: <https://doi-org.cuarzo.unizar.es:9443/10.1111/eff.12704> [Consultado 4-09-2023]

- Núñez, J. et al. (2011), Reproductive success and fry production of the paiche or pirarucu, *Arapaima gigas* (Schinz), in the region of Iquitos, Perú. *Aquaculture Research*, 42: 815-822. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02886.x>
- Oliveira, M., Meazza, K, Oliveira, A. A., Calado, J. C., Leyet, Y. y Silva, J. C. (2020) “Síntese e caracterização de hidroxapatita natural extraída de escamas de pirarucu (*Arapaima gigas*)” *Matéria (Rio de Janeiro)* 25 (1) DOI: 10.1590/S1517-707620200001.0917 [Consultado 21-07-2023]
- Organización del Tratado de Cooperación Amazónica. (2023) La OTCA. Disponible en: <http://otca.org/la-amazonia/> [Consultado 05-08-2023]
- Ortíz, W. S. (2007). Potencial acuícola de pirarucú (*Arapaima gigas*) en la cuenca Amazónica. *Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola*, 3(3). Disponible en: <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/reipa/article/view/1618/1991>
- Pelster B. et al. (2020). “Gills and air-breathing organ in O<sub>2</sub> uptake, CO<sub>2</sub> excretion, N-waste excretion, and ionoregulation in small and large pirarucu (*Arapaima gigas*)” *Journal of Comparative Physiology B*, 190 pp. 569- 583. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00360-020-01286-1> [Consultado 13-07-2023]
- Perry, S. F., et al. (2001). Which came first, the lung or the breath?. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 129(1), 37-47. [https://doi.org/10.1016/S1095-6433\(01\)00304-X](https://doi.org/10.1016/S1095-6433(01)00304-X) [Consultado 27-08-2023]
- Piscícola El Rincón (2017) Piscícola El Rincón. Disponible en: [https://connectamericas.com/sites/default/files/company\\_files/FICHA%20T%C3%89CNICA%20PISC%C3%8DOLA%20EL%20RINC%C3%93N.pdf](https://connectamericas.com/sites/default/files/company_files/FICHA%20T%C3%89CNICA%20PISC%C3%8DOLA%20EL%20RINC%C3%93N.pdf) [Consultado 04-09-2023]
- Plataforma digital única del Estado Peruano (2023) Instituto tecnológico de producción. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/itp/noticias/809211-aprovechamiento-de-pieles-de-paiche-en-cuero-mediante-el-uso-de-curtientes-vegetales-una-alternativa-sostenible-y-prometedora> [Consultado 28-08-2023]
- Programa Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura (2020). (PNIPA). Disponible en: <https://webpnipa.pnipa.gob.pe/> [Consultado 20-08-2023]
- Queiroz, H. L. D. (2000). *Natural history and conservation of pirarucu, Arapaima gigas, at the Amazonian Várzea: red giants in muddy waters* (Doctoral dissertation, University of St Andrews). Disponible en: <https://research-repository.st-andrews.ac.uk/handle/10023/2818> [Consultado 23-06-2023]
- Ramírez, J.F.P., Amanajás, R.D. y Val, A.L. (2023) “Ammonia Increases the Stress of the Amazonian Giant *Arapaima gigas* in a Climate Change Scenario”, *Animals*, 13(12), pp. 1977. DOI: [10.3390/ani13121977](https://doi.org/10.3390/ani13121977) [Consultado 4-09-2023]



- Rebaza, M, Alcántara, F y Valdivieso, M. (1999). Manual de piscicultura del Paiche (Arapaima gigas Cuvier). Caracas, Venezuela: Secretaría Pro Tempe. Disponible en: <http://otca.org/wp-content/uploads/2021/02/Manual-de-Piscicultura-del-Paiche-Arapaima-gigas-Cuvier.pdf> [Consultado: 04-07-2023]
- Rebaza M., Rebaza, C. y Deza S. (2005) Avances en el cultivo de paiche Arapaima gigas en jaulas flotantes en el Lago Imiría, Perú. *Jean François Renno Carmen García Fabrice Duponchelle Jésus Nuñez*, 169. Disponible en: <https://www.academia.edu/download/84721186/L029.pdf#page=168> [Consultado 30-08-2023]
- Reinoso, E. M. (2021) *Potencialidad Zootécnica productiva de la cría del Paiche (Arapaima gigas) en la Amazonía Ecuatoriana*. Proyecto de Investigación. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16269/1/17T01684.pdf> [Consultado 23-08-2023]
- Roldán, D. J., Molleda, A. A., Luján, D. y Omote, J. R. (2020) “Elaboración de filete sin piel de paiche (Arapaima gigas, Cuvier 1829) ahumado a baja temperatura”, *Ingeniería Industrial*, 39(039), pp. 189-203. doi:10.26439/ing.ind2020.n039.4921.
- Saavedra, E., Quintero, L. y Landines, M. (2005). *Aspectos reproductivos. Biología y cultivo del pirarucú Arapaima gigas (Schinz, 1822) (Pisces: Arapaimidae): Aspectos reproductivos. Bases para un aprovechamiento sostenible*. INCODER-UNC: Bogotá, Colombia [Consultado 23-08-2023]
- Scadeng, M. et al. (2020) “Morphology of the Amazonian Teleost Genus Arapaima Using Advanced 3D Imaging”. *Frontiers in Physiology*, 11 (260), pp. 1-19. DOI: 10.3389/fphys.2020.00260 [Consultado 23-08-2023]
- Silva, V. M. (2016) *Efecto de la frecuencia de alimentación con balanceado en el crecimiento y ganancia de peso en la etapa de levante de alevinos de paiche (Arapaima gigas)*. Tesis. Universidad Estatal Amazónica. Disponible en: <https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/79/1/T.%20AGROP.%20B.%20UEA.1072> [Consultado 26-07-2023]
- Sistema IBGE de Recuperação Automática (2022) Tabela 3940 - Produção da aquicultura, por tipo de produto. Disponible en: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940#resultado/> [Consultado: 05-09-2023]
- Stewart, D. J. (2013) “Re-description of Arapaima agassizii (Valenciennes), a Rare Fish from Brazil (Osteoglossomorpha: Osteoglossidae)” *BioOne Digital Library*, 1, pp. 38-51 DOI: 10.1643/CI-12-013 [Consultado: 05-08-2023]



- Stone, R. (2007). "The last of the Leviathans". *Science*, 316 (5832), pp. 1684-1688. DOI: 10.1126/science.316.5832.1684 [Consultado: 05-08-2023]
- Torati L. S. et al. (2015). "Endoscopy application in broodstock management or *Arapaima gigas* (Schinz, 1822)". *Journal of Applied Ichthyology*, 32 (2016) pp. 1-17 353 - 355 Disponible en: <https://doi.org/10.1111/jai.12988> [Consultado 18-05-2023]
- Torati L. S. et al. (2019) Diversidad genética y estructura en poblaciones de *Arapaima gigas* de las cuencas de los ríos Amazonas y Araguaia-Tocantins. *BMC Genética*, 20 (1), art. No.: 13. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12863-018-0711-y> [Consultado: 25-07-2023]
- Torati, L. S. et al. (2020) "GnRHa implants and size pairing effects on plasma and cephalic secretion sex steroids in *Arapaima gigas*". *General and Comparative Endocrinology*, 299 (113614), pp. 1-11. DOI: 10.1016/j.ygcen.2020.113614 [Consultado: 29-08-2023]
- Torsvik, T. H. y Cocks, L. R. M. (2013). "Gondwana from top to base in space and time". *Gondwana Research*, 24 (3-4), pp. 999-1030 DOI:10.1016/j.gr.2013.06.012 [Consultado: 28-08-2023]
- Valdés V. 2009. Impactos positivos y negativos de la introducción de animales exóticos en Panamá. *Tecnología en Marcha*, 22 (2): 91-97. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835850>
- Vialle, R. A. et al. (2018) "Whole Genome Sequencing of the Pirarucu (*Arapaima gigas*) Supports Independent Emergence of Major Teleost Clades". *Genome Biol. Evol.*, 10 (9), pp. 2366-2379. DOI: 10.1093/gbe/evy130 [Consultado: 30-08-2023]
- Villafán S., et al. (2020). "Dieta y posición trófica del paiche (*Arapaima gigas*) en lagunas meándricas de la Amazonía boliviana." *Hidrobiología Neotropical y Conservación Acuática*, 1 (1), pp. 42-58 Disponible en: <https://editorial-inia.com/articulo/posicion-trofica-de-la-especie-introducida-paiche-arapaima-gigas-en-lagunas-de-los-sistemas-madre-de-dios-y-beni-bolivia/> [Consultado: 03-07-2023]
- Wood, C. M., Pelster, B., Braz-Mota, S. y Val, A. L. (2020) "Gills versus kidney for ionoregulation in the obligate air-breathing *Arapaima gigas*, a fish with a kidney in its air-breathing organ". *Journal of Experimental Biology*, 223 (20). Disponible en: <https://journals.biologists.com/jeb/article/223/20/jeb232694/226104/Gills-versus-kidney-for-ionoregulation-in-the> [Consultado en 04-09-2023]
- Yang, W. et al. (2019) "Arapaima Fish Scale: One of the Toughest Flexible Biological Materials" *Matter*, 1 pp. 1557-1566. Disponible en: [https://www.cell.com/matter/pdf/S2590-2385\(19\)30229-2.pdf](https://www.cell.com/matter/pdf/S2590-2385(19)30229-2.pdf) [Consultado 17-07-2023]