



La reproducción del Arapaima gigas: revisión sistemática

Jorge Elías Lopera Salazar

Médico veterinario, estudiante de especialización en medicina bovina
Docente Corporación Universitaria Remington

Carlos Eugenio Delgado Jiménez

Bacteriólogo y laboratorista clínico, Especialista en calidad y Magister en Epidemiología
Docente Corporación Universitaria Remington

Nancy Ester Lemos Caro

Medico veterinario
Corporación Universitaria Remington

Daniel Darío Ricardo Marin

Medico veterinario
Corporación Universitaria Remington
jorge.lopera@uniremington.edu.co

La reproducción del Arapaima gigas: revisión sistemática

Resumen

El Arapaima gigas generalmente habita ríos de corriente suave y lagunas poco profundas con abundante vegetación flotante, influenciadas por ríos de aguas blancas, negras y claras. Este pez posee un rendimiento de 57 % de su carne, buena textura, color blanco, sabor neutro, por lo cual su filete es muy apetecido. En consecuencia, la sobrepesca que ha sufrido por años y su difícil reproducción en cautiverio son las razones principales por las cuales se encuentren en vía de extinción. El objetivo de esta revisión fue realizar una compilación de artículos científicos de la reproducción del Arapaima gigas resaltando las prácticas adecuadas para esta especie en cautiverio, de esta manera mostrar de manera consolidada datos teóricos claros para la práctica y futuras investigaciones. El estudio se llevó a cabo en el mes de febrero del 2018, mediante una búsqueda sistemática en diferentes bases de datos, se incluyeron solo artículos originales y revisiones sistemáticas reportadas en la literatura científica en los últimos 48 años (1970 a 2018). De los 65 artículos revisados 5 cumplieron con los criterios de selección, estos determinaron los manejos reproductivos más utilizados para el arapaima gigas. En los resultados se encuentran manejos hormonales y comportamentales, además de los conocimientos que poseen las personas que habitan y trabajan con este animal en las zonas endémicas de la especie. Como resultado se obtuvo que el método más efectivo para sexar al arapaima es la medición de niveles de vitelogenina en plasma con una eficacia del 100%, seguida por niveles de 17 b-estradiol y 11-Ketotestosterona con una eficacia del 95%, de igual manera se reportó que esta especie no es completamente monógama, pero en cautiverio y sin las condiciones adecuadas dejarlos convivir de forma polígama puede traer repercusiones negativas y no ser efectiva su reproducción.

Palabras clave: Sexaje, apareamiento, reproducción, piscicultura, monogamia, poligamia.

INTRODUCCIÓN

La piscicultura es uno de los grandes bionegocios con mayores perspectivas en el país para el mercado regional, nacional e internacional, tiene por objetivo el cultivo racional de los peces, lo que comprende particularmente el control de su crecimiento y su reproducción, esta se practica en estanques naturales o artificiales, se encarga de vigilar y regular la multiplicación y alimentación de los peces (HIDALGO, 2013). Existen especies que en cautiverio tienen excelentes resultados en cuanto a la producción y reproducción como la tilapia, cachama, trucha, salmón y el Arapaima gigas que es una especie la cual en los últimos años ha generado gran interés en los piscicultores locales. (Monteiro L, et al, 2004).

El Arapaima gigas es el único representante reconocido de la familia Arapaimatidae del orden primitivo Osteoglossiformes (“bonytongues”) en América del Sur (Van Damme P, et al ,2011). Es uno de los peces de escama más grande de aguas continentales del mundo, alcanzan 3-4 mts de longitud y más de 200 Kg (Ferraris, 2003). A nivel regional es comúnmente conocido con el nombre de pirarucú (Brasil y Colombia), paiche (Perú, Ecuador, Venezuela y Bolivia) y arapaima (Guyana), generalmente habita ríos de corriente suave y lagunas poco profundas con abundante vegetación flotante influenciadas por ríos de aguas blancas, negras y claras (Goulding ,1980).

La reproducción de Arapaima puede ocurrir a lo largo de todo el año, pero se intensifica cuando las aguas comienzan a subir de nivel y las áreas para la construcción de nidos están disponibles en el bosque (Fernandes, et al ,2005) Se ha sugerido que el comienzo de la época lluviosa es uno de los factores que desencadenan la época de reproducción en estos peces. Aunque la mayor problemática en cautiverio es lograr formar parejas reproductivas ya que al momento de escoger lo peces no hay características fenotípicas que diferencien con eficacia un macho de una hembra. (Monteiro L, et al, 2004).

Es preocupante que en varios países hoy día se reporte un riesgo de extinción, ya que muestra una clara tendencia a disminuir su población. Como por ejemplo en Perú, donde las estadísticas de desembarque del A. gigas en el departamento de Loreto, los últimos dieciocho años muestran una clara tendencia negativa con una disminución aproximada 700 a 144 toneladas (Montreuil & García 2003). Cualquier incremento de la presión de pesca de esta especie significa un riesgo considerable. (Renno JF, et al,



2005). En Colombia no se han realizado estudios científicos sobre la reproducción de esta especie teniendo en cuenta la problemática actual, existen estadísticas de pesca artesanal que demuestran ampliamente la destrucción de su hábitat, posiblemente por el avance de la explotación de los recursos agrícolas y forestales en los límites con Brasil, situando esta especie en riesgo de extinción, ubicándose en el Apéndice II de Especies Vulnerables de la Convención sobre Comercio Internacional de Especies Amenazadas (CITES). A pesar de las medidas de protección existentes, la pesca sigue activa, poniendo en riesgo la existencia de la especie. (Ortiz W, et al 2007).

Existen investigaciones que proponen diferentes técnicas reproductivas para formar parejas de arapaima gigas: teniendo en cuenta la monogamia (una pareja) o poligamia (varias parejas), realizando sexajes para el establecimiento de parejas o grupos y analizando los factores naturales que pueden interferir en las etapas reproductivas (como el tipo de suelo donde realizarán los nidos). Basados en los artículos existentes sobre la reproducción del Arapaima gigas se reunió la información accesible para conocer su manejo adecuado en cautiverio. (Farias, et al, 2015; Monteiro, et al, 2010; Chu-Koo, et al, 2009; et al; Ferreira, 2018; Limal, et al, 2012; Garcial, et al, 2008). El objetivo de esta revisión fue realizar una compilación de artículos acerca de la reproducción del Arapaima gigas resaltando las prácticas adecuadas para esta especie en cautiverio, de esta manera aportar datos teóricos y prácticos claros para futuras investigaciones por medio de la unificación de conceptos sobre la reproducción de esta especie y registrar los métodos adecuados usados normalmente.

MATERIALES Y METODOS

Estrategia de búsqueda

El estudio se llevó a cabo en conformidad con la declaración PRISMA mediante una búsqueda sistemática de literatura en las bases de datos: ScienceDirect, Scielo, PubMed, Ebsco, Doaj, Dialnet y Lilacs, por sensibilidad, se utilizaron descriptores MESH, por exhaustividad descriptores no MESH y por especificidad la combinación de operadores booleanos de las siguientes palabras clave: Arapaima gigas, pirarucu, paiche, reproducción, con las que previamente se planteó la pregunta de investigación (Urrútia y Bonfill et al., 2010).

La búsqueda de la ruta general utilizada fue: ((arapaima gigas) OR (pirarucu) OR (paiche)) AND (reproduccion) ((Arapaima gigas) OR (pirarucu) OR (paiche)) AND



(reproduction). En las bases de datos ScienceDirect, scielo, pubmed doaj, dialnet y lilacs, utilizando los límites de tiempo “1970 a 2018”.

Las citas encontradas junto con su respectivo resumen se importaron al software Excel, en el que se eliminaron las citas duplicadas entre las bases de datos.

Criterios de inclusión y exclusión

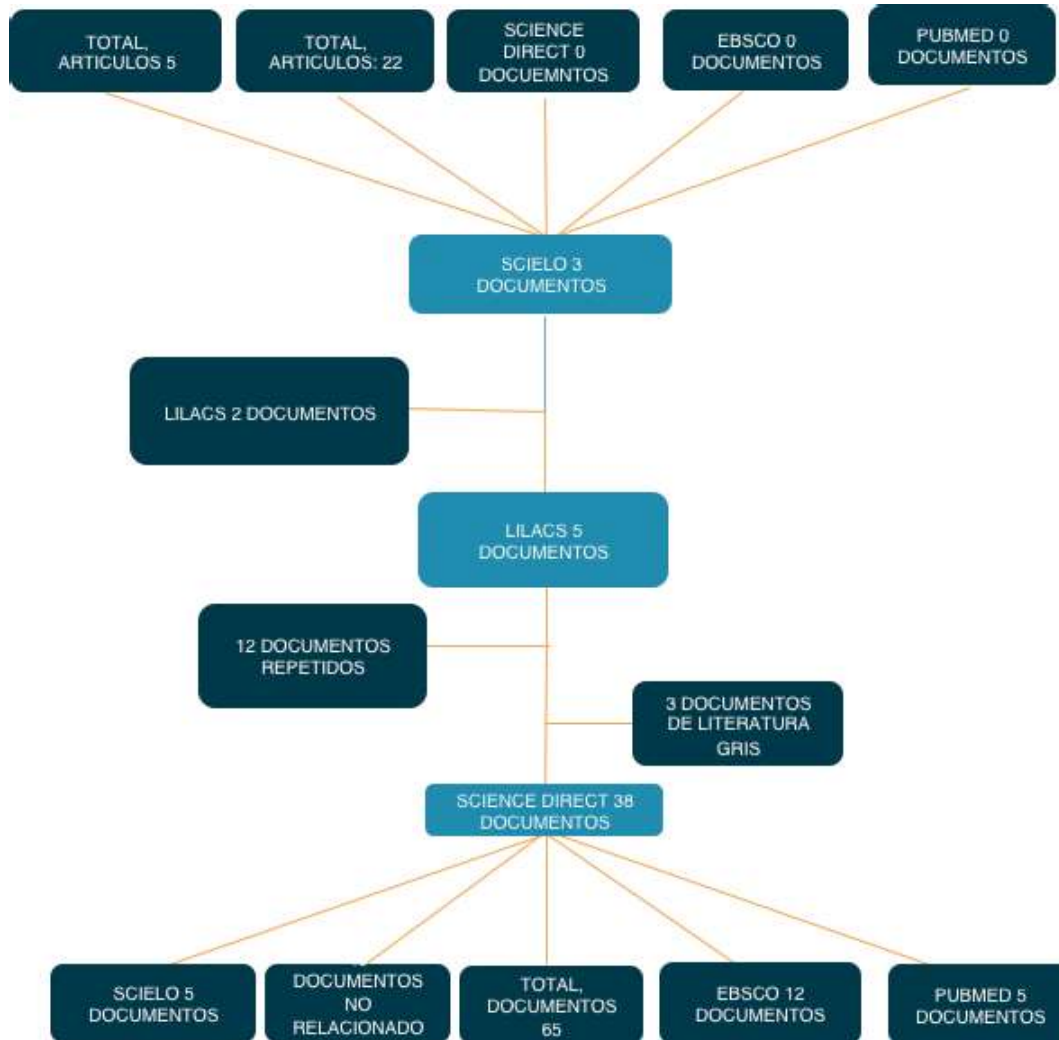
Se incluyeron solo artículos originales y de revisión sistemática reportados en la literatura científica en los últimos 48 años (1970 a 2018), escritos en el idioma inglés portugués y español. Los artículos fueron estudios relacionados con la reproducción del Arapaima gigas, excluyendo la literatura gris.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La implementación de la estrategia de búsqueda mediante las rutas descritas previamente arrojó 65 artículos publicados entre 1970 y 2018 (Scielo 5, Pubmed 5, Lilacs 5, Sciencedirect 38 y EBSCO 12).

Posteriormente se eliminaron 3 documentos de literatura gris, 12 repetidos y 45 fueron descartados por no cumplir con los criterios de inclusión determinados de acuerdo con la pregunta de investigación. De acuerdo con la búsqueda anterior en las cinco bases de datos, se incluyeron 5 artículos en la revisión sistemática. (Figura 1).

Figura 1. Flujograma estrategia de búsqueda



Fuente: Urrútia y Bonfill et al., 2010

Los artículos seleccionados son investigaciones de Sur América (Figura 2).

Figura 2. Mapa con las áreas de estudio, sus autores y año de publicación, encontrada en la revisión sistemática.



Fuente: Elaboración propia

Por el Ministerio de Educación Nacional

VIGILADA

Etnoictiología del arapaima gigas

En Brasil se realizó un estudio en las localidades de manaos y manacapuru que tuvo como objetivo identificar los saberes comunes entre el conocimiento científico y el conocimiento local sobre la ecología y la biología del Arapaima gigas, se realizaron 57 entrevistas semiestructuradas con pescadores profesionales durante el período de junio a diciembre del año 2002 en los aspectos de reproducción, depredación, migración, crecimiento y mortalidad.

Se realizó un análisis comparativo de los datos científicos con el conocimiento local utilizando tablas dinámicas, gráficos de sectores, histogramas, medias e intervalos de confianza.

En los conocimientos relacionados con el comportamiento reproductivo no hubo una diferencia significativa ($p > 0,01$). Los pescadores informaron que el pescado alcanza su madurez sexual con un promedio de 257 ± 72 cm de tamaño y 4 ± 2 años



de edad. Se informó también que la especie se reproduce en el período inundación y presenta una fertilidad de hasta 500 huevos por desove, en agujeros en el fondo del río una vez por año.

Para la edad de maduración fue una diferencia significativa ($p < 0,01$), los habitantes de las ciudades de pesca baja indicaron que alcanza la madurez completa entre $8 \pm 1,6$ años de edad y $6 \pm 2,1$ años de edad dependiendo la zona donde habite. Estos datos son confirmados por la literatura científica que informó un tamaño de 212 cm para la primera etapa de maduración, (McConnell ,1975), se informó que su reproducción se produce con un peso de 40-50 kg a los 5 años cuando ya tiene más de 160 cm de longitud total, (Fontenelle, et al,1948; Imbiriba,1994), concluyendo que esta especie comienza su reproducción cuando alcanza el peso de 40-50 kg entre 160-185 cm después de 4 a 5 años. (Neves ,2000).

Aspectos reproductivos

Determinar el sexo del *A. gigas* no es posible mediante criterios morfológicos, esto dificulta optimizar la reproducción y las condiciones de producción en estanques, lo que dificulta seriamente el cultivo de esta especie (imbiriba, et al, 1991). Esta situación llevó a desarrollar sexajes a partir de mediciones hormonales en sangre de los niveles de 17 β - estradiol (E2) ,11-Ketotesterona (KT) y vitelogenina (VTG) en plasma tanto en animales jóvenes menores de 3 años y animales mayores de 6 años de edad en Perú en el año 2009, donde la determinación del sexo en Arapaimas de 6 años de edad se consiguió con éxito mediante la determinación VTG en el 100% de los peces evaluados, donde un resultado menor de 0.250 pg/ml se consideran como hembras y resultados mayores a 0.250 pg/ml se consideran como machos, mientras que con 11 KT / E2 la cantidad determinada fue del 95% de éxito y resultados de 0.4 a 2.5 pg/ml se consideran hembras, resultados superiores se consideran machos, sin embargo, la determinación del sexo en animales más jóvenes también es posible a los 3 años de edad ya que presentaron inmunorreactividad a la VTG en el plasma pero los niveles oscilan entre 15 a 30 veces por debajo de los niveles de arapaimas adultos, estos resultados tan bajos pueden tener relación con la madurez sexual que los animales de 3 años aún no han desarrollado.(Monteiro, et al,2010).

En otra investigación en la Hacienda Santo Antonio II de Brasil en el período de febrero de 2004 a febrero de 2005, se caracterizó la reproducción y el perfil hormonal



de los esteroides sexuales del Arapaima gigas, además se evaluó un aspecto de dimorfismo sexual secundario, seleccionando 24 ejemplares divididos (hembras y machos) en tres grupos de ocho peces (grupo A, B y C), con Arapaimas de más de cuatro años de edad, con tres años y dos años, respectivamente. Se tomaron muestras de sangre mensualmente de todos los peces y se observó la presencia de una mancha anaranjada en el macho como una característica sexual secundaria; de igual manera se midieron los niveles de testosterona (T), 17beta-estradiol (E2) y 17alfa-hidroxi-progesterona (17aOHP) a través de radioinmunoensayo (RIA) de fase sólida.

Todos los machos de los grupos “A” y “B” pudieron ser identificados por la mancha anaranjada en la región inferior de la cabeza, corroborada por la concentración de testosterona, comprobando el conocimiento empírico de los ribereños. Los niveles de T y E2 en los peces del grupo “A” y “B” tuvieron mayores picos al inicio del período de lluvia, mientras que el 17aOHP tuvo oscilaciones constantes y pequeños picos al final del período lluvioso, los peces del grupo “C” acompañaron esta tendencia en concentraciones menores y las concentraciones de testosterona total, 17beta-estradiol y 17aOHP de las hembras de grupos diferentes ocurrieron diferencias significativas ($p < 0,05$).

Un factor fundamental para tener en cuenta es la alimentación, ya que en cautiverio podemos manipular las kilocalorías que le damos a los peces y con una dieta balanceada la cual tenga 400 kcal/kg día aumenta las tasas hormonales para la reproducción. (F. Chu-Koo, et al, 2009).

Comportamiento reproductivo

El Arapaima gigas es un pez socialmente monógamo, forma pareja, construye nidos y proporciona cuidado parental. Para comprobar o desmentir esta información en Brasil se realizó un análisis de paternidad en el año 2015 bajo tres escenarios en áreas cautivas, seminaturales y naturales usando 10 marcadores de microsatélites. (Farias, et al, 2015)

Como control positivo, se analizaron tres parejas y sus crías aisladas individualmente en estanques de reproducción artificial (alta probabilidad de monogamia), luego dos muestras de crías de estanques artificiales grandes con adultos múltiples pero solo un par reproductivo (probabilidad de monogamia), dos muestras de una estación de cría seminatural con adultos múltiples pero solo un par reproductivo (probabilidad



de monogamia), y una muestra de un lago natural con múltiples adultos, algunos potencialmente reproductores (probabilidad media de monogamia). El análisis de los patrones de la herencia mendeliana sugirió una contribución extra a la de los padres para todas las crías. De forma similar, los resultados basados en análisis multilocus estimaron al menos dos grupos de hermanos por nido. Estos resultados rechazan la monogamia como un sistema de reproducción en *Arapaima gigas*. (Farias, et al, 2015)

La proporción sexual de reproductores puede influir en el comportamiento reproductivo de una especie. En función de ello, se puede evaluar el efecto del almacenamiento de reproductores en diferentes proporciones sexuales para el éxito reproductivo, en este caso del *Arapaima gigas* en cautiverio. Para comprobar esto en un estudio realizado en una granja comercial en el norte de la Amazonía brasileña entre mayo de 2014 y diciembre de 2015, se almacenaron reproductores en viveros de 0,10-0,13 hectáreas, distribuidos de tres maneras, cuatro repeticiones de un macho y una hembra(1M1F), un macho y dos hembras(1M2F); y dos machos y una hembra(2M1F). Durante el estudio, el agua del estanque no fue reemplazada, solo se agregó cuando se perdió por evaporación y filtración, los eventos reproductivos se detectaron con la observación de las crías emergiendo a la superficie del agua para respirar y se registró como éxito reproductivo. Todos los días cuando se alimentaban los peces se analizaba su comportamiento, finalmente se aisló un pez en un área del estanque y se observó evidencia de agresión. Registrando así un comportamiento de agresividad. (Ferreira,2018).

Los datos de éxito reproductivo se clasificaron en tablas de contingencia y se analizaron mediante la prueba exacta de Fisher a un nivel de significación del 5% utilizando el software estadístico R (R Core Team 2015), de esta manera el éxito reproductivo del *Arapaima gigas* está influenciado por la proporción de sexos en las condiciones experimentales. Ocho eventos de desove ocurrieron durante el período de estudio, siete de los cuales en los estanques se encontraban 1M1F con un promedio entre 60 a 65 días por desove y uno en un estanque 2M1F. El evento de desove en el estanque de 2M1F ocurrió después de que uno de los machos murió debido a un comportamiento agresivo entre los reproductores y este pez no fue sustituido. El éxito reproductivo fue significativamente mayor en los estanques 1M1F ($p < 0.05$). En conclusión, el almacenamiento de tres peces en una proporción de sexo desbalanceada de 1:2 puede resultar en mortalidad de peces, los resultados sugieren que mantener solo un par de peces dentro de una proporción de sexo de 1:1 mejora



la reproducción del Arapaima en cautiverio. Además, el manejo de reproductores en cautiverio necesita mejoras para permitir múltiples eventos de desove en cada ciclo reproductivo. (Ferreira,2018).

CONCLUSIONES

Los pescadores de la Amazonia central poseen los conocimientos necesarios que posibilitan el manejo participativo del arapaima, con un profundo conocimiento en los aspectos comportamentales, biológicos y ecológicos de esta especie, pudiendo así contribuir de hecho con la participación de gestión en los recursos pesqueros locales. (Livay, et al,2012).

La VTG representa una herramienta valiosa para la diferenciación sexual en peces siendo la hormona más eficaz al momento de sexar especímenes de Arapaima gigas con una especificidad del 100%, es una buena técnica ya que esta especie no siempre se logra diferenciar fenotípicamente, logrando sexar individuos jóvenes con aproximadamente tres años, así al momento de alcanzar una madurez reproductiva ya se podrán tener parejas establecidas. (F. Chu-Koo, et al,2009).

Otra técnica valiosa es el sexaje por medio de las hormonas 17beta-estradiol (E2) y 17alfa-hidroxi-progesterona (17aOHP) ocupando el segundo lugar de especificidad con un 95% al momento de sexar, siendo más específico para animales mayores de 4 años, menos específico para animales de 3 años y sin validez para animales menores de 2 años. Un factor fundamental en cautiverio al trabajar con perfiles hormonales es manipular la alimentación, con una dieta balanceada la cual proporcione 400 kcal/kg día aumenta las tasas hormonales para la reproducción (F. Chu-Koo, et al,2009; Monteiro, et al, 2010).

En cuanto al manejo en cautiverio Varios autores han discutido los diversos comportamientos y tácticas reproductivas encontradas en peces a través de evaluaciones genéticas de parentesco apoyando la convivencia de varias parejas en un mismo estanque, queda demostrado que tanto en lagos artificiales como naturales por diferentes causas se da poligamia en el arapaima gigas, lo cual puede tener un gran cambio en la forma como estructuramos nuestros estanques en cautiverio y así poder aumentar la tasa de fertilidad.(Farias, et al, 2015)(Wilso et al, 2002)(Hain et al, 2007) (Taborsky, 2008).



Por el contrario, otros estudios demuestran que se tienen tasas de fertilidad más altas al tener estanques de solo una hembra y un macho adultos con periodos entre cada desove de 60 a 65 días, este tipo de manejo disminuye el riesgo de comportamientos agresivos por dominio de territorio y la competencia por alimento. Concluyendo que en cautiverio se recomienda más el manejo monógamo de esta especie ya que en situaciones de agresión no tendrían suficiente espacio de huida como en su hábitat natural generando pérdida de ejemplares. (Ferreira, 2018).

Una práctica efectiva es retirar los alevinos de los padres apenas estos se puedan ver en el agua, así se evitará un desgaste físico de los padres, no tendrán excesiva pérdida de peso y por ende entraran en etapa reproductiva más rápido. (Ferreira,2018).

BIBLIOGRAFÍA

Carvajal Fernando M. & van damme Paul & Cordova Leslie & coca Claudia (2011) LA INTRODUCCIÓN DE ARAPAIMA GIGAS (PAICHE) EN LA AMAZONÍA BOLIVIANA. Capítulo 15. Arapaima gigas en la Amazonía boliviana.

F. Chu-Koo & R. Duguè & Aguilar Alvan & Daza Casanova M. & Bocanegra Alca'ntara F. & Chavez Veintemilla C. & Duponchelle F. & Renno J.F. & Salvador T. & Núñez J. (2009), Gender determination in the Paiche or Pirarucu (*Arapaima gigas*) using plasma vitellogenin, 17β -estradiol, and 11-ketotestosterone levels. *Fish Physiology and Biochemistry*.

Farias Izeni P. & Leão Adam & Santos Almeida Y. & Tovar Verba J. & Crossa Marcelo & Honczaryk Alexandre & Hrbek Tomas (2015), Evidence of polygamy in the socially monogamous Amazonian fish *Arapaima gigas* (Schinz, 1822) (Osteoglossiformes, Arapaimidae) *Neotropical Ictiología, Sociedad Brasileña Ictiología*.

Fernandes, D. (2005). "More eyes watching ...". Lessons from the community-based management of a giant fish, *Arapaima gigas*, in Central Guyana. Unpublished Master dissertation. University of Manitoba. Winnipeg, Canada. 180 p.

Ferraris Jr., J.& Kullander (2003). Family Arapaimatidae. p. 31-32. Check list of the Freshwater Fishes of South and Central America. EDIPUCRS, Porto Alegre, Brasil.

Ferreia Adriana (2018), The influence of sex ratio on the reproduction of pirarucu, *Arapaima gigas*, in captivity. *ANIMAL SCIENCES AND FISHERIES*.

Galvão de Limal Liane & Vandick da Silva Batista (2012), Estudos etnoictiológicos sobre o pirarucu *Arapaima gigas* na Amazônia Central. *CIÊNCIAS DO AMBIENTE*.

Goulding, M. (1980). *Fishes and the forest*. University of California Press. Los Angeles, CA.

HIDALGO FERNANDO (2013). *La industria pesquera en el Perú*. Universidad de Lima.

Monteiro Barbosa L. & Soares Maria do Carmoueredo & Catanho Maria T. & Honczaryk Alexandre (2010), Aspectos reprodutivos e perfil hormonal dos esteróides sexuais do pirarucu, *Arapaima gigas* (SCHINZ, 1822), em condições de cativeiro, *Acta Amazonica*.



Montreuil, V & García, A. (2003), La veda como instrumento de manejo de las poblaciones naturales de paiche en Loreto. In: Alcántara, F.; Montreuil, V. (Eds). Seminario Taller Internacional de Manejo de Paiche o Pirarucu. Russel E. Train. Education for Nature Program. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. p. 83-89.

Renno J, F & García Carmen & Núñez Jesús (2005) Biología de las Poblaciones de Peces de la Amazonía y Piscicultura. Biología de las Poblaciones de Peces de la Amazonía y Piscicultura.

Urrutia Gerard & Bonfill Xavier (2010), Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y meta análisis. Med Clin (Barc). 2010;135(11):507–511