

UTILIZACIÓN DE LA BIOLOGÍA MOLECULAR COMO MEDIO PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN PISCÍCOLA Y REPOBLAMIENTO DE MEDIOS NATURALES*

Christine M. Hahn-von-Hessberg¹, Myriam Vélez-Marín², Alberto Grajales Quintero³

Resumen

La finalidad de esta publicación es impregnar al lector en los nuevos retos de la piscicultura comercial enmarcados en optimizar la conversión alimenticia, reducir el impacto ambiental y propiciar la resistencia a enfermedades, de igual manera en las relaciones filogenéticas y programas de repoblamiento de peces nativos en el medio ambiente empleando las diferentes herramientas de la biología molecular. Se realizó una selección de información con base en libros, artículos y tesis donde se introduce al lector en métodos y avances de la biotecnología aplicables a la piscicultura y repoblamiento de especies ícticas.

Los sistemas de producción piscícola deben articular nuevos métodos científicos para obtener una mayor producción en un menor tiempo y ser económicamente rentables, igualmente en la diversidad genética de las poblaciones ícticas en el medio ambiente conviene considerar las diferentes tecnologías de vanguardia. Se percibe que aunque la biología molecular comienza a ser utilizada en los diferentes procesos piscícolas y programas de repoblamiento sigue siendo de uso moderado, se requiere incentivar su utilización a través de programas conjuntos entre las entidades gubernamentales y privadas, tomando conciencia de su trascendencia.

Palabras clave: endocruzamientos, repoblamiento, variabilidad genética, biotecnología, filogenia.

USING MOLECULAR BIOLOGY AS A MEANS TO OPTIMIZE FISH FARMING PRODUCTION AND REPOPULATION OF NATURAL RESOURCES

Abstract

The purpose of this publication is to impregnate the reader to the new challenges of commercial farming framed optimize feed conversion, reduce environmental impact and promote disease resistance, just as in the phylogenetic relationships and stocking programs in native fish environment using different tools of molecular

*FR: 17-VIII-2014 . FA: 18-III-2015.

¹ Esp(c) Msc Profesor, Departamento Producción Agropecuaria, Universidad de Caldas. Manizales, Caldas, Colombia. E-mail: christine.hahn@ucaldas.edu.co

² Msc Profesor, Departamento Ciencias Biológicas, Universidad de Caldas. Manizales, Caldas, Colombia. miryam.velez@ucaldas.edu.co

³ Ph Profesor, Departamento Producción Agropecuaria, Universidad de Caldas. Manizales, Caldas, Colombia. alberto.grajales@ucaldas.edu.co

CÓMO CITAR:

HAHN-VON-HESSBERG, C.M., VÉLEZ-MARÍN, M. & GRAJALES QUINTERO, A., 2015.- Utilización de la biología molecular como medio para optimizar la producción piscícola y repoblamiento de medios naturales. ISSN 0123-3068 bol.cient.mus.hist.nat. U. de Caldas, 19 (1): 85-102. DOI: 10.17151/bccm.2015.19.1.6



biology. A selection of information was performed based on books, articles and thesis where the reader is introduced to methods and advances in biotechnology applicable to aquaculture and repopulation of fish species. Fish production systems should articulate new scientific methods to get more output in less time and be economically profitable, also the genetic diversity of fish populations in the environment should consider the different technologies. It is perceived that although the molecular biology begins to be used in different processes and fish stocking programs remains moderate use, requires encourage uptake through joint programs between government and private entities, aware of its importance.

Key words: inbreeding, repopulation, genetic variability, biotechnology, phylogeny.

INTRODUCCIÓN

En la piscicultura tropical, la tilapia es una de las especies más cultivadas en cultivos comerciales y una de las más apropiadas para los programas de seguridad alimentaria (BENTSEN *et al.*, 1998; EL-SAYED, 2006; MOREIRA *et al.*, 2007; MADR *et al.*, 2011). La producción pesquera aumentó a una tasa media de 3,2 por ciento anual entre 1961 y 2009, siendo mayor al índice de crecimiento de la población mundial (1,7 por ciento anual). En América Latina y el Caribe, el cultivo de tilapia presentó un incremento constante y acelerado desde 1993. Se espera que la producción de tilapia se duplique entre 2010 y 2030, además el consumo per cápita mundial pasó de un promedio de 9,9 kg en la década de 1960 a 18,6 kg en 2010 (FAO, 2012, 2013b).

Dentro de la familia Cichlidae, existen tres géneros importantes en producción: *Oreochromis*, *Sarotherodon* y *Tilapia* (HEPHER, 2005), originarios en su mayoría de África; las especies *Oreochromis aureus*, *Oreochromis hornorum*, *Oreochromis mossambicus*, *Oreochromis niloticus*, *Tilapia rendalli* sus cruces son las más importantes, por su adaptabilidad y facilidad de manejo (HILSDORF, 1995; STICKNEY, 1997; DEY & GUPTA, 2000; APPELYARD *et al.*, 2001) siendo *O. niloticus* la de mayor interés zootécnico, por su rápido crecimiento, buena producción de filete, carne de excelentes características organolépticas y adaptable a programas de seguridad alimentaria (EKNATH *et al.*, 1993; BENTSEN *et al.*, 1998).

La actividad de la piscicultura comienza en Colombia a finales de 1930 con la introducción de la especie *Oncorhynchus mykiss*; la Universidad de Caldas, a través de su Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia y su sección de piscicultura son pioneros en el país con el programa de piscicultura campesina e introducen la *Tilapia rendalli* a finales de la década de los sesenta (ÁLVAREZ-LEÓN, 2009). A mediados de 1980 se desarrollan los primeros programas de piscicultura comercial de clima cálido con *Oreochromis* sp. (ALVARADO-FORERO & GUTIÉRREZ-BONILLA, 2002; RESTREPO-SANTAMARÍA & ÁLVAREZ-LEÓN, 2011). Según cifras presentadas por FAO (2013a) para Colombia, en 1981 se registraron 330 T *F (*F: datos estimados a partir de las fuentes disponibles de información o de cálculo basado en supuestos específicos), para 1991 fue de 12.267 T; en 2001 pasa a 57.660 T *F y 10 años después 2011 a 83.681 T.

Aun cuando la tilapia presenta alta producción, la práctica inadecuada de manejo puede llevar a la disminución de la variabilidad genética de los lotes, debido a programas de selección genética deficientes, uso reducido de números de reproductores, aumentando la probabilidad de endocruzamiento, la producción piscícola debe buscar la caracterización de los plántulos de reproductores para establecer programas adecuados de mejoramiento genético de la especie (HILSDORF & DERGAM, 1999; MATHER, 2001). La biotecnología utiliza los marcadores moleculares para el monitoreo genético de peces, el cruzamiento, el flujo genético y la estructura de los lotes reproductivos (YUE & ORBAN, 2002; FESSEHAYE *et al.*,2006), así como para estimar la endocria o parentescos, en poblaciones con especies nativas de peces donde es difícil realizar seguimiento reproductivo para repoblamiento (COLBOURNE *et al.*,1996; BENTSEN & OLESEN, 2002; MOREIRA *et al.*,2007).

En el estudio de los procesos biológicos de interés productivo y económico, se han desarrollado programas de sistematización y modelos matemáticos, que permiten pronosticar, con alguna certeza, el desarrollo de los ejemplares, aspectos nutricionales y genéticos (THORNLEY & FRANCE, 2007; BUREAU & HUA, 2008; DUMAS *et al.*,2010). Es así como se busca situar a la vanguardia los sistemas productivos acuícolas. Además, NACIONES UNIDAS (2012) en la conferencia de Rio+20 enfatizó la necesidad de tomar acciones para un desarrollo sostenible económico y social.

Los diversos trabajos realizados en biología molecular no son suficientes para una producción piscícola en aumento además de una exuberante ictiofauna neotropical existente, por su alta complejidad se busca agrupar los diferentes gremios para optimizar las investigaciones y buscar recursos económicos (CASTIBLANCO, 2003; PAZ *et al.*,2011). Los grandes retos de la piscicultura están enmarcados en optimizar la conversión alimenticia, disminuir enfermedades en el cultivo y reducir el impacto ambiental a través de metodologías como la genética y la biotecnología mediante el uso de marcadores moleculares (MINISTERIO DE ECONOMÍA Y DESARROLLO & SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, PESCA Y ALIMENTOS, 2004).

El propósito de esta publicación es introducir al lector en la importancia de la biotecnología y con ella en la biología molecular, conceptos básicos y su utilidad práctica a los procesos productivos en piscicultura y la necesidad de su aplicación en programas de repoblamiento de especies nativas realizada por entidades privadas y estatales en los diferentes cuerpos de agua y ecosistemas.

IMPORTANCIA DE LA BIOTECNOLOGÍA EN PISCICULTURA

La piscicultura continental ha crecido en los países en desarrollo, en particular para los pequeños productores, en el decenio 2010, la tilapia es una de las especies de mayor importancia, que contribuye a los programas comerciales y de seguridad alimentaria (FAO, 2012).

Para obtener resultados de impacto, los avances genéticos basados en marcadores moleculares ofrecen nuevas oportunidades en recursos zoogenéticos (FAO, 2004). La caracterización genética explora polimorfismos en determinadas proteínas y en marcadores de ADN para medir la variación genética de las poblaciones

(FAO, 2010a, 2010b); se pueden determinar parámetros de diversidad dentro y entre razas, identificar áreas geográficas y rutas migratorias, flujo génico, proporcionar información sobre árboles filogenéticos, determinar cartografía génica, identificación de genes y parentesco (huella de ADN), desarrollar bancos de ADN para investigación y desarrollo (FAO, 2010a, 2010b), mejorar la tasa de crecimiento de especies ícticas de importancia comercial, definir bancos genéticos para conservación de peces silvestres, muchos de ellos en vía de extinción, así como la variación genética de poblaciones disminuidas demográficamente (SMITH & WAYNE, 1996; SUBASINGHE *et al.*, 2000) y efectos de los cambios ambientales sobre la variabilidad genética (LAMPREA *et al.*, 2004). El reto se encuentra en la diversidad de las especies ícticas cultivadas, los diferentes sistemas de producción y los impactos que puedan tener sobre la economía rural y de seguridad alimentaria. Al utilizarse marcadores anónimos pueden proporcionar información indirecta sobre genes funcionales para caracteres importantes, como por ejemplo resultados significativos en el mayor crecimiento y mejor conversión por generación de un 5 a un 20% obtenido en especies de bagre, tilapia y salmón del Atlántico, sin embargo los altos costos, y el desconocimiento de estas técnicas, hacen que esté fuera del alcance de la mayor parte de piscicultores (SUBASINGHE *et al.*, 2000).

La biotecnología es importante para evaluar y mejorar las características organolépticas del pescado, detectar residuos, sustancias tóxicas o contaminantes y realizar la trazabilidad de los mismos (JELLET *et al.*, 1999; FAO, 2001). Los piscicultores comerciales utilizan de manera exigua los avances de los estudios en biología molecular para sus producciones (CASTIBLANCO, 2003).

CONCEPTOS DE LAS HERRAMIENTAS DE LA BIOLOGÍA MOLECULAR

Marcador molecular: Son metodologías, de nuevas áreas de estudio como: proteómica, genómica, transcriptómica, metabolómica, interactómica y biología de sistemas (LAMPREA *et al.*, 2004), para promover el uso de estas, la FAO (2010a, 2010b) propone una lista actualizada y jerarquizada de locus de microsatélites para las especies pecuarias. En peces se ha utilizado con éxito en el monitoreo genético, el cruzamiento, el flujo génico, la diversidad genética, la estructura genética de los stocks, la conservación de la biodiversidad, la tasa de crecimiento, la resistencia a enfermedades y la tolerancia al frío (MOORE *et al.*, 1999; AGRETI *et al.*, 2000; YUE & ORBAN, 2002; ROMANA-EGUIA *et al.*, 2004; ALAM & ISLAM, 2005; YAN *et al.*, 2005). Para ello se utilizan marcadores genéticos como ADN mitocondrial, locus isoenzimáticos (QUELLER *et al.*, 1993), microsatélites o repeticiones cortas en tándem (ESTOUP *et al.*, 1998), polimorfismos de amplificación al azar de ADN (RAPD) de longitud (AFLP) y de restricción (RFLP) (VOS *et al.*, 1995) relacionados a la técnica de PCR, los cuales se desarrollarán en el texto y su aplicación e importancia en la piscicultura.

PCR (Polymerase Chain Reaction): consiste en la replicación de ADN *in vitro*, se debe conocer previamente la secuencia de los nucleótidos o las extremidades del mismo (REGITANO, 2001a); en 1983 se revolucionó la biología molecular por Mullis (SAIKI *et al.*, 1985; SAIKI *et al.*, 1988; MULLIS, 1990; REGITANO, 2001a). Por su alta especificidad y sensibilidad, es una de las principales técnicas de diagnóstico molecular y de investigación genética (FERREIRA & GRATAPAGLIA, 1998). Para obtener un PCR de calidad los protocolos deben ser fácilmente realizables, económicos y no contaminantes. LOPERA-BARRERO *et al.*, (2008a) utilizaron un

protocolo modificado de extracción con sal común, lo cual les permitió obtener el ADN genómico de muestras de aletas y larvas de peces.

RAPD(Random Amplified Polymorphic DNA): Propuesto por WELSH & McCLELLAND (1990) y WILLIAMS *et al.*(1990), muy usada por la facilidad para realizar las pruebas, rapidez, alto polimorfismo y bajo costo, no requiere de grandes cantidades de ADN para su amplificación y no es preciso conocer el genoma de la especie (BÁRTFAI *et al.*, 2003). Normalmente se analiza el ADN en bloques de 10 pares de bases, generándose considerable información respecto de la variabilidad de los nucleótidos en el genoma (DINESH *et al.*, 1996; BOROWSKY, 2001). Los fragmentos del marcador RAPD son ilimitados (MLACH, 1998; OLIVEIRA *et al.*, 2002), su limitante es aislar el ADN de pequeñas muestras de tejidos (YUE & ORBAN, 2002; WASKO *et al.*, 2003; ARANISHI, 2006; LOPERA-BARRERO *et al.*, 2008a,b), es altamente sensible a cambios de concentración y poco reproducible (MACPHERSON *et al.*, 1993; PÉREZ *et al.*, 1998). El marcador RAPD y microsatélites permiten el análisis de la variación genética de las poblaciones y diferentes lotes de peces, se puede emplear como técnica complementaria en el manejo reproductivo, para disminuir la pérdida de variabilidad genética de la progenie, prácticas de manejo y para la conservación de peces (MOREIRA *et al.*, 2003; LIU & CORDES, 2004; LOPERA-BARRERO *et al.*, 2006; POVH *et al.*, 2008a).

Marcador microsatélite(SSR, Simple Sequence Repeats) o STR (Repeticiones Simples en Tándem): Consisten en un tramo de ADN de uno a ocho pares de bases de nucleótidos de longitud (ALAM & ISLAM, 2005), que se repiten en tándem, poseen un alto polimorfismo diseminado por todo el genoma (REGITANO, 2001b), de fácil manejo en condiciones de laboratorio (GOLDSTEIN & POLLOCK, 1997; FERREIRA & GRATTAPAGLIA, 1998); la diferencia entre alelos debe ser únicamente de nucleótidos, para obtener finalmente marcadores unilocales, altamente polimórficos y de herencia codominante (POVH *et al.*, 2007); no es un proceso económico, se requiere de secuenciación y primers específicos para cada uno de los locus, además de la secuencia del genoma a investigar (MONTAÑO-PÉREZ *et al.*, 2006). Por su información polimórfico (>20 alelos por locus), son importantes en la búsqueda de paternidad, localización de niveles de variación y alelos especiales siendo valiosos para el análisis de genética poblacional, filogenia y mapas genéticos (FERREIRA & GRATTAPAGLIA, 1998; REGITANO, 2001a; MIA *et al.*, 2005; ORTÍ, 2009), utilizados para la identificación de enfermedades monogénicas, tamaño y peso (REGITANO, 2001b; YAN *et al.*, 2005). Su alta tasa de mutación y naturaleza codominante permiten la estimación de la diversidad genética dentro y entre razas, importante para evaluar relaciones genéticas entre individuos y poblaciones utilizando las distancias genéticas de NEI (D2) y de Cavalli-Sforza modificada (DA4), usadas en la búsqueda de la diversidad genética en organismos acuáticos, de poblaciones cercanas, importante tanto para programas comerciales como para programas de conservación (ALAM & ISLAM, 2005).

SNP: (Single Nucleotide Polymorphism): Variaciones en nucleótidos únicos, afecta a una sola base (A,T,G,C,) de la secuencia de un genoma, no cambian la longitud total de la secuencia de ADN en la región (SACHINANDAM *et al.*, 2001), marcadores bialélicos, es necesario usar mínimo 30 locus. Los SNP poseen igual origen, diferenciándose de los microsatélites, pueden estar en regiones codificantes o intergénicas, no impactan directamente el fenotipo del individuo, utilizados en diversidad genética de peces y en estudios farmacológicos (FAO, 2010 a, 2010b).

AFLP: (Amplified Fragment Length Polymorphism): marcadores bialélicos dominantes (VOS *et al.*, 1995) y marcadores codominantes, no dependen de los estados alélicos ni de la expresión génica (MUELLER & WOLFENBARGER, 1999); las variaciones en los locus se detectan al mismo tiempo en nucleótidos únicos en regiones genómicas desconocidas; por su dominancia, no se usa en análisis genético poblacional de una raza y en la endogamia, pero sí en la relación entre razas y especies emparentadas, estudios sistemáticos, huella génica y mapeo de rasgos cuantitativos (BUNTJER *et al.*, 2002; DE MARCHI *et al.*, 2006; MONTAÑO-PÉREZ *et al.*, 2006; FAO, 2010a, 2010b); es importante en la identificación de los genes que codifican para una característica cuantitativa deseable o QTL y usados como indicadores para programas de mejoramiento genético en repoblamiento y producción comercial de peces (HULATA, 2001; MONTAÑO-PÉREZ *et al.*, 2006).

Marcadores de ADN mitocondrial: El ADNmt es una molécula circular con 16569 pares de nucleótidos que codifican para 13 polipéptidos necesarios para la expresión de los mARNs, se considera un 93% del ADN mitocondrial como codificante, a diferencia del 1,5% del ADN nuclear (ATTARDI, 1993). El ADNmt es de transmisión materna (GILES *et al.*, 1980), no se recombina, para obtener la variación de la secuencia del ADNmt es por medio de la acumulación secuencial de mutaciones en diferentes linajes maternos (CORAL *et al.*, 1995); la tasa evolutiva del ADNmt es consecuencia de su elevada frecuencia de mutación y tasa de fijación (WALLACE *et al.*, 1994). Se utiliza en estudios filogenéticos, relaciones evolutivas y diversidad genética de una especie, permite detectar la hibridación entre especies o subespecies (NIJMAN *et al.*, 2003), calcular el tamaño efectivo de una población y establecer pautas geográficas de diversidad genética entre otros (TROY *et al.*, 2001; BRUFORD *et al.*, 2003; GUO *et al.*, 2005; OCHOA-ORREGO *et al.*, 2009; FAO, 2010a, 2010b).

Para lograr que las pruebas técnicas sean satisfactorias, es importante una correcta toma de muestras. En peces, para obtener muestras adecuadas de ADN se han utilizado aletas, sangre, tejido hepático, escamas, óvulos, células bucales, larvas y músculo entre otros (CUMMINGS & THORGAARD, 1994; RAMÍREZ-GIL, 2001; GALLO & DÍAZ-SARMIENTO, 2003; WASKO *et al.*, 2003; ARANISHI, 2006; CHAKRABORTY *et al.*, 2006; LIVIA *et al.*, 2006). Los cuales han sido usados con los diferentes marcadores moleculares, para determinar estudios poblacionales, filogenia, taxonómico, muestreos de descendencia para programas de mejoramiento y repoblamiento (WASKO *et al.*, *et al.*, 2003; LOPERA-BARRERO, 2005; POVH *et al.*, 2005; VIEIRA *et al.*, 2005; AHO *et al.*, 2006; BASAVARAJU *et al.*, 2007; GOMES, 2007), así POVH *et al.* (2007) y LOPERA-BARRERO *et al.* (2008a) y obtuvieron el ADN genómico de muestras de aletas y larvas de algunas especies como *Bryconor bignyanus*, *Leporinus elongatus*, *O. niloticus*, *Piaractus mesopotamicus* y *Prochilodus lineatus*, con óptimo resultado.

UTILIDAD DE LOS MARCADORES MOLECULARES EN PROGRAMAS DE PISCICULTURA Y DE REPOBLAMIENTO

La acuicultura produjo para 2011, a la industria alimentaria mundial, 154 millones de toneladas de pescado (FAO, 2012), siendo cada vez más importante intensificar su producción, así la ecología molecular cobra importancia en la biología evolutiva, utilizando técnicas moleculares del PCR-RFLP, secuenciación, análisis de microsatélites, para abordar la genética de poblaciones y filogenia. El

enfoque genómico ha aportado información relevante a incógnitas de la ecología, diferenciación genética, especiación y adaptación de las especies acuícolas (CHE, 2013). La preferencia de los marcadores moleculares para piscicultura debe basarse en la evolución genética de la especie y los locus propios (FERGUSON & DANZMANN, 1998). En algunas producciones acuícolas se utilizan técnicas moleculares para obtener producciones de alta calidad, reproducciones fiables, disminuir endogamias y pérdidas de variabilidad genética (POVH *et al.*, 2008a; TORRES *et al.*, 2010), usados con frecuencia en diversidad genética en tilapia (BARDAKCI *et al.*, 1995; DINESH *et al.*, 1996; MOHAMED *et al.*, 2004).

En los programas de repoblamiento y conservación de la ictiofauna en los ríos donde no se realiza seguimiento de reproductores, sin un apoyo científico serio que permita su correcta orientación genética y reproductiva, puede afectar rápidamente la variabilidad genética ocasionando baja supervivencia de juveniles en el medio, endogamia, adaptabilidad y proporcionar impactos genéticos irreversibles a poblaciones naturales de peces y al ecosistema en sí (AGOSTINHO & GOMES, 2006; HILSDORF *et al.*, 2006; POVH *et al.*, 2008a), tornándose en una amenaza para los ecosistemas y para la población, siendo necesario usar nuevas tecnologías (POVH *et al.*, 2008b).

Las producciones piscícolas hoy en día deben mejorar los índices productivos y participar en la conservación del recurso pesquero en los ambientes acuáticos naturales, a través de la innovación de las diferentes herramientas de la biotecnología, describiéndose brevemente su uso y aplicaciones así:

Las tilapias pertenecen a la familia Cichlidae, con cerca de 3000 especies, por lo que han sido modelo para estudios evolutivos y especiación genética (HOFMANN & FERNALD, 2001; ALBERTSON *et al.*, 2003a, 2003b). El peso corporal y rendimiento en filete ha sido el principal objetivo de selección en programas de mejoramiento genético (TURRA *et al.*, 2010; BRÍÑEZ *et al.*, 2011); los marcadores microsatélites son utilizados en reproducción y producción en piscicultura comercial (HASSANIEN & GILBEY, 2005; MELO *et al.*, 2006) y en buscar poblaciones aptas para programas de mejoramiento genético (BRÍÑEZ *et al.*, 2011). Al evaluar la diversidad genética de poblaciones egipcias de *O. niloticus* para buscar características de producción, se obtuvieron variaciones genéticas que pueden ser incluidas en futuros programas de Marker-Assisted Selection (MAS) (HASSANIEN & GILBEY, 2005); también usadas para determinar la variabilidad genética en líneas de *O. niloticus* y líneas Gift (LUPCHINSKI, 2007). En ciprínidos se observó que el marcador microsatelital arrojó más información sobre la diversidad genética que el marcador RAPD (BÁRTFAI *et al.*, 2003; YAN *et al.*, 2005).

En trabajos realizados con *Oncorhynchus nerka*, se sugiere el uso de marcadores RAPD (ZELENINA *et al.*, 2006), igualmente fue utilizado para *Brycon cephalus* (WASKO *et al.*, 2004), *Brycon henni* (HURTADO-ALARCÓN & MANCERA-RODRÍGUEZ, 2009); con *Prochilodus magdalenae* realizaron estudios genético-poblacionales (BUILES *et al.*, 2008; CUARTAS, 2008; HERNÁNDEZ-ESCOBAR *et al.*, 2008; CUARTAS & BURBANO, 2009; FERNÁNDEZ-GARCÍA *et al.*, 2009).

Se utilizaron marcadores microsatélites para *Brycon moorei sinuensis*, *Caquetaia kraussii* *Prochilodus magdalenae* (LAMPREA *et al.*, 2004), *Colossoma macropomum* (SANTOS *et al.*, 2009), *Hoplias malabaricus* (BERTOLLO *et al.*, 2000; USECHE,

2010), *Piaractus brachypomus* (PINEDA-SANTÍS *et al.*, 2006), *Piaractus mesopotamicus* (CALCAGNOTTO *et al.*, 2001; POVH *et al.*, 2008b), *Pimelodus grosskopfii* (CARRILLO-ÁVILA *et al.*, 2009), *Plagioscion magdalenae* (BAYONA-VÁSQUEZ & BURBANO, 2007), *Osteoglossum ferreirai* (OLIVEIRA *et al.*, 2010), *Sorubim cuspicaudus* (CABARCAS, 2008; CABARCAS & BURBANO, 2008) y sugerir estrategias de conservación de *Arapaima gigas* (HRBEK *et al.*, 2007).

Los mapas genéticos son una importante herramienta para localizar regiones genómicas asociadas con rasgos importantes o buscados y relacionarlos con parámetros productivos, por ejemplo se utilizó el mapa genético del rodaballo (*Psetta maxima*), como punto de partida para el brill (*Scophthalmus rhombus*) con la amplificación de microsátélites para obtener marcadores informativos de producción (HERMIDDA *et al.*, 2014).

De igual manera, los marcadores AFLP se han utilizado en diferentes especies de peces, por ejemplo se construyeron mapas génicos del *Clarias macrocephalus*, *Ictalurus punctatus*, *Mystus nemurus*, *Onchorhynchus mykiss*, *Oreochromis niloticus*, *Prochilodus magdalenae*, *Salmo salar*, *Sorubim cuspicaudus* donde se buscan genes que confieren la resistencia a la anemia del salmón, diversos QTLs de tolerancia al frío, salinidad y ganancia de peso corporal (KOCHER *et al.*, 1998; YOUNG *et al.*, 1998; AGRESTI *et al.*, 2000; CHONG *et al.*, 2000; GUERRERO, 2003; LIU *et al.*, 2003; NICHOLS, 2003; GUERRERO & BURBANO, 2004; LAMPREA *et al.*, 2004; MOEN *et al.*, 2004a; MOEN *et al.*, 2004b, MOEN *et al.*, 2004c; POOMPUANG & NA-NAKORN, 2004; LÓPEZ-MACÍAS *et al.*, 2009). Los genes involucrados en la conversión alimenticia y desarrollo muscular (ZIMMERMAN & WHEELER, 2005), marcadores ligados al sexo (EZAZ *et al.*, 2004), en *Moronesaxitilis M. chrysops* para la verificación de ginogénesis (FELIPET *et al.*, 2000). Asimismo, en *Ictalurus punctatus* e *I. furcatus* se utilizó para determinar la diversidad genética y la huella genética en stocks de cultivo y poblaciones salvajes (LIU *et al.*, 1998; MICKETT *et al.*, 2003). En camaronicultura han tenido especial importancia para construir mapas genéticos e identificación de QTLs para *Penaeus japonicus* y *P. monodon* (MOORE *et al.*, 1999; WILSON *et al.*, 2002; LIET *et al.*, 2003), filogénesis (WANG *et al.*, 2004); en *Artemia* para buscar diversidad genética (SUN *et al.*, 1999). En peces silvestres se utilizó en Arawana asiática (*Scleropages formosus*) para diversidad genética con fines de conservación (YUE *et al.*, 2004).

Las pruebas RAPD se han utilizado en trabajos realizados con *O. aureus*, *O. niloticus*, *Sarotherodon galilaeus*, *Tilapia zillii*, encontrando diferencias significativas entre los tres géneros (MOHAMED *et al.*, 2004), *Oreochromis niloticus* estudiada por POVH *et al.* (2005); se analizó la diversidad genética de *O. niloticus* en cinco áreas de Egipto destinados para programas de mejoramiento de piscicultura comercial (HASSANIEN *et al.*, 2004). MASSAGO *et al.* (2010) y LUPCHINSKI *et al.* (2011) analizaron la diversidad genética de cuatro linajes de *O. niloticus* (GIFT, Chitralada, Supreme y Bouaké) respectivamente, para determinar lineamientos del manejo reproductivo y genético. Para determinar la diversidad genética de *O. niloticus* y tres especies de tilapia, las distancias genéticas y la diferenciación de especies se utilizaron técnicas moleculares que revelan polimorfismos de ADN altamente variables como el RAPD huellas dactilares y ADN multilocus (NAISH *et al.*, 1995; DINESH *et al.*, 1996). TORRES *et al.* (2010), utilizaron el marcador RAPD para determinar la diversidad genética y niveles de introgresión de *O. aureus*, *O. mossambicus* y *O. niloticus* en líneas de *Oreochromis* sp. mostró un alto grado de polimorfismo

y una alta estructuración genética, además de una introgresión significativa para *O. mossambicus* y *O. niloticus*. Con líneas Bouaké y Chitralada de *O. niloticus*, se obtuvo una variabilidad genética confiable, al compararlas se verificó una alta diferenciación genética, corroborado con la divergencia genética, explicada por el origen de cada línea, el número de individuos iniciales y el tiempo de introducción de cada línea (LUPCHINSKI, 2007). Fue usado para *Pangasius hypophthalmus* para determinar sus niveles de hibridación (LIU *et al.*, 1999); utilizado en especies del género *Brycon* (HURTADO-ALARCÓN, 2009; HURTADO-ALARCÓN *et al.*, 2011), *B. orbignyanus* (LOPERA-BARRERO *et al.*, 2006; LOPERA-BARRERO *et al.*, 2008b), *B. moorei sinuensis* (LÓPEZ, 2006), *B. lundii* (WASKO & GALETTI, 2002).

Para ALVES-COSTA *et al.* (2006), las secuencias de 5S ADNr han demostrado ser efectivas como marcadores genéticos para determinar la dinámica evolutiva de los genomas de *O. niloticus*, *O. urolepis hornorum* x *O. mossambicus*, *Tilapia rendalli* y sugiriendo que los eventos evolutivos de duplicación se han producido antes de la divergencia de los principales grupos de peces teleosteos.

MicroRNA (miARN) de cadena sencilla, no codificantes de ARN que regulan la expresión de ARNm en el nivel post-transcripcional, importantes en procesos biológicos, como la proliferación y migración de los peces. Como se conocen poco los caracteres productivos de desarrollo de filete, se sugiere usar estos como marcadores moleculares en *O. niloticus*, ya que pueden ser predictivos en implicaciones funcionales específicas y en diagnóstico (HUANG *et al.*, 2012).

HENNING *et al.* (2013), trabajaron con el cíclido midas (*Amphilophus citrinellus*) para determinar la pigmentación en peces, la cual es importante para la biología evolutiva, debido a su fuerte implicación para la adaptación y la especiación, se utilizó la secuenciación de análisis de próxima generación (Illumina) RNAseq obteniendo resultados importantes como marcadores potenciales para el desarrollo de melanoma y otros trastornos de la pigmentación en humanos.

Con la ayuda de los marcadores moleculares se busca realizar una cartografía del mero blanco (*Epinephelus aeneus*) de alto valor comercial (DOR *et al.*, 2014). Con *Oncorhynchus masou* se analizaron los efectos de ayuno y de re-alimentación tanto en los niveles de ARNm y de la proteína junto con IGF-I y ARN/ADN (KAWAGUCHI *et al.*, 2013). Para *Arapaima gigas* (HRBEK *et al.*, 2005; HRBEK *et al.*, 2007), *Brycon amazonicus* (PARADA *et al.*, 2003), *Brycon henni* (PINEDA-SANTIS *et al.*, 2004; PINEDA-SANTIS *et al.*, 2007; MANCERA-RODRÍGUEZ *et al.*, 2012), *Brycon moorei sinuensis* (LÓPEZ, 2003; LÓPEZ *et al.*, 2004), *Plagioscion squamosissimus* (GALETTI *et al.*, 2009), *Prochilodus nigricans* (MACHADO *et al.*, 2009), *Pseudoplatystoma* (PERDOMO *et al.*, 2009) se utilizaron estudios de DNA mitocondrial, igualmente para los análisis genéticos y filogenéticos de *Prochilodus lineatus*, *P. nigricans*, *P. rubrotaeniatus*, *P. mariae* y *P. magdalenae* (SIVASUNDAR *et al.*, 2001; TURNER *et al.*, 2004; ORTÍ *et al.*, 2005), *Pseudoplatystoma magdaleniatum* (TORRICO *et al.*, 2009); y OCHOA-ORREGO *et al.* (2009) trabajaron 14 especies de peces migratorios del río Magdalena usando el código de barras genético. En *Piaractus brachyomus* MONTAÑO-ARIAS & FORERO (2003) utilizaron isoenzimas en sus estudios.

Se realizaron trabajos de variabilidad genética en *Brycon moorei sinuensis* (LÓPEZ, 2003; LÓPEZ *et al.*, 2004), *Caquetaia krausii* (LAMPREA 2003; LAMPREA *et al.*, 2004), *Prochilodus magdalenae* (SANTACRUZ, 2003; SANTACRUZ *et al.*, 2004),

Pseudoplatystoma fasciatum, *P. magdaleniatum*, *P. orinocoense*, *P. punctifer*, *P. tigrinum* (GALLO, 2000; RAMÍREZ-GIL, 2001; MONTAÑO-ARIAS, 2001, 2003, 2008; MONTAÑO-ARIAS *et al.*, 2002; GALLO & DÍAZ-SARMIENTO, 2003; MONTAÑO-ARIAS & GALLO, 2003; PERDOMO, 2008; PERDOMO *et al.*, 2009; MONTAÑO-ARIAS *et al.*, 2010).

La biotecnología ha ido en aumento, se han realizado trabajos con otras especies afines, así el PCR-RFLP fue importante en dos especies de crustáceos: *Macrobrachium rosebergii* y *Nephrops norvegicus*, para conocer la variabilidad genética y su estructuración geográfica y tomar decisiones en programas productivos, de conservación y recuperación (CHE, 2013). El genoma mitocondrial completo (mitogenoma) de *Gomphocerus sibiricus*, fue determinado y analizado por marcadores moleculares (ZHANG *et al.*, 2013). Los lípidos neutros (NLS) que se almacenan en el ooplasma de los ovocitos de los peces, se buscaron en la expresión de genes en el ARNm (RYU *et al.*, 2013). Igualmente, en anfibios se ha utilizado la transcripción inversa de reacción en cadena de polimerasa (RT-PCR), para determinar péptidos antimicrobianos (AMP)-homólogos en *Rana catesbeiana* (KONISHI *et al.*, 2013).

CONCLUSIONES

El incremento en la demanda de productos piscícolas, como consecuencia del aumento en la población y una disminución de la oferta ambiental de los ríos y océanos deberá ser más competitiva y sostenible, para ello se tendrá que sistematizar su información, utilizar las herramientas que proporciona la biotecnología, entre ellas los marcadores moleculares, para aumentar la producción y dar posibles soluciones a diferentes tipos de efectos medioambientales adversos y enfermedades. Se considera que un 10% de aumento en la endogamia puede producir una reducción de la capacidad de supervivencia alrededor de un 3 a un 15%, por tanto el manejo reproductivo puede ocasionar, en apenas una generación, una pérdida importante de la variabilidad genética, lo que consecuentemente aumenta el coeficiente de endogamia con el efecto de boca de botella (AHO *et al.*, 2006; MOREIRA *et al.*, 2007; MEDINA *et al.*, 2009). En Colombia se ha creado la necesidad de unir esfuerzos entre los diferentes entes de investigación para generar de forma conjunta los códigos de barras de la biodiversidad del país (PELAYO *et al.*, 2009; PAZ *et al.*, 2011), elaborar inventarios de la diversidad genética y su conservación en las estaciones piscícolas comerciales además de las poblaciones nativas de peces en cautiverio y en medios naturales, para aplicar los avances de la biotecnología molecular en la producción comercial y recuperación dirigida de la población en el medioambiente. Siendo algunos de los inconvenientes a superar, el acceso de permisos para la recolección de especímenes, la financiación y la publicación de los resultados (PAZ *et al.*, 2011).

BIBLIOGRAFÍA

- AGOSTINHO, A.A. & GOMES, L.C., 2006.- O manejo da pesca em reservatórios da bacia do alto rio Paraná: avaliação e perspectivas: 23-55 (in) NOGUEIRA, M.G., HENRY, R. & JORCIN, A. (eds.) *Ecología de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascatas*. RiMA, Sao Carlos, Brasil.
- AGRESTI, J.J., SEKI, S., CNAANI, A., POOMPUANG, S., HALLERMAN, E.M., UMIEL, N., 2000.- Breeding new strains of tilapia: development of an artificial center of origin and linkage map based on AFLP and microsatellite loci. *Aquaculture*, 185: 43-56.
- AHO, T., RÖNN, I., PIIRONEN, J. & BJÖRKLUND, M., 2006.- Impacts of effective population size on genetic diversity in hatchery reared Brown trout (*Salmo trutta*L.) populations. *Aquaculture*, 253: 244-248.
- ALAM, M.S. & ISLAM, M.S., 2005.- Population genetic structure of *Catla catla* (Hamilton) revealed by microsatellite DNA markers. *Aquaculture*, 246: 151-160.
- ALBERTSON, R.C., STREELMAN, J.T. & KOCHER, T.D., 2003a.- Directional selection has shaped the oral jaws of Lake Malawi cichlid fishes. *Proc. Nat. Acad. Sci., USA*, 100: 5252-5257.
- , 2003b.- Genetic basis of adaptive shape differences in the cichlid head. *J. Heredity*, 94: 291-301.
- ALVARADO-FORERO, H. & GUTIÉRREZ-BONILLA, F. DE P., 2002.- *Especies hidrobiológicas continentales introducidas y trasplantadas y su distribución en Colombia*. Ministerio del Medio Ambiente, Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá D.C., Colombia.
- ÁLVAREZ-LEÓN, R., 2009.- La piscicultura en Caldas y su labor pionera en la adopción de los biosistemas integrados en Colombia. Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo. Línea de Investigación sobre Biosistemas Integrados. Universidad de Manizales, Manizales (Caldas), Colombia. Informe Técnico.
- ALVES-COSTA, F.A., WASKO, A.P., OLIVEIRA, C., FORESTI, F. & MARTINS, C., 2006.- Genomic organization and evolution of the 5S ribosomal DNA in Tilapiini fishes. *Genética*, 127(1-3): 243-252.
- APPLEYARD, S.A., RENWICK, J.M. & MATHER, P.B., 2001.- Individual heterozygosity levels and relative growth performance in *Oreochromis niloticus* (L.) cultured under Fijian conditions. *Aquaculture Research*, 32: 287-296.
- ARANISHI, F., 2006.- Single fish egg DNA extraction for PCR amplification. *Conservation Genetics*, 7: 153-156.
- ATTARDI, G., 1993.- The human mitochondrial genetic system: 9-25 (in) DI MAURO, S. & WALLACE, D.C. (eds.) *Mitochondrial ADN in human pathology*. Raven Press, New York.
- BARDAKCI, F., SKIBINSKI, D.O.F., CARAVALHO, G.R. & MAIR, G.C., 1995.- Multilocus DNA fingerprinting and RAPD reveal similar genetic relationships between strains of *Oreochromis niloticus* (Pisces: Cichlidae). *Mol. Ecol.*, 4: 271-274.
- BÁRTFAI, R., EGEDI, S., YUE, G.H., KOVÁCS, B., URBÁNYI, B., TAMAS, G., 2003.- Genetic analysis of two common carp broodstocks by RAPD and microsatellite markers. *Aquaculture*, 219: 157-167.
- BASAVARAJU, Y., PRASAD, D.T., RANI, K., KUMAR, K.P., NAIKA, U.D., JAHAGEERDAR, S., 2007.- Genetic diversity in common carp stocks assayed by random-amplified polymorphic DNA markers. *Aquaculture Research*, 38: 147-155.
- BAYONA-VÁSQUEZ, N.J. & BURBANO, M., 2007.- Obtención de secuencias microsatelitales específicas para *Plasgioscion magdalenae* (Pisces: Sciaenidae). *Acta Biológica Colombiana*, 12S: 122-123.
- BENTSEN, H.B. & OLESEN, I., 2002.- Designing aquaculture mass selection programs to avoid high inbreeding rates. *Aquaculture*, 204: 349-359.
- BENTSEN, H.B., EKNATH, A.E., PALADA-DE VERA, M.S., DANTING, J.C., BOLÍVAR, H.L., REYES, R.A., 1998.- Genetic improvement of farmed tilapias: growth performance in a complete diallel cross experiment with eight strains of *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 160(1/2): 145-173.
- BERTOLLO, L., BORN, G.G., DERGAM, J.A., FENOCCHIO, A.S. & MOREIRA, FILHO-O., 2000.- A biodiversity approach in the neotropical Erythrinidae, *Hoplias malabaricus*. Karyotypic survey, geographic distribution of cytotypes and cytotaxonomic considerations. *Chromosome Research*, 8: 603-613.
- BOROWSKY, R.L., 2001.- Estimating nucleotide diversity from Random Amplified Polymorphic DNA and Amplified Fragment Length Polymorphism data. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 18: 143-148.
- BRÍÑEZ, B.R., CARABALLO, O.X. & SALAZAR, V.M., 2011.- Diversidad genética en seis poblaciones de tilapia roja, usando microsatélites como marcadores genéticos. *Rev. MVZ Córdoba*, 16(2): 2491-2498.
- BRUFORD, M.W., BRADLEY, D.G. & LUIKART, G., 2003.- DNA markers reveal the complexity of livestock domestication. *Nature Reviews Genetics*, 4: 900-910.
- BUILES, J.J., ARANGO, A., MANRIQUE, A., PUERTO, Y., JIMÉNEZ, L.F. & AGUIRRE, D., 2008.- Utilización de microsatélites interspecíficos para el estudio genético-poblacional del bocachico (*Prochilodus magdalenae*) en la cuenca del río Cauca, Colombia. En: Memorias I Congreso Latinoamericano de Genética Humana/IX Congreso Colombiano de Genética. Cartagena de Indias, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 13(3): 127.
- BUNTJER, J.B., OTSEN, M., NIJMAN, I.J., KUIPER, M.T. & LENSTRA, J.A., 2002.- Phylogeny of bovine species based on AFLP fingerprinting. *Heredity*, 88: 46-51.
- BUREAU, D.P. & HUA, K., 2008.- Models of nutrient utilization by fish and potential applications for fish culture operations (in) FRANCE, J. & KEBREAB, E. (eds.) *Mathematical modeling in animal nutrition*. CAB Internacional.
- CABARCAS, M.P., 2008.- Variabilidad y estructura genética de *Sorubimcuspicaudus* (Orden Siluriformes)

- en el río San Jorge Colombia. Un paso hacia la conservación: Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- CABARCAS, M.P. & BURBANO, C., 2008.- Variabilidad y estructura genética de *Sorubimcuspicaudus* (Orden: Siluriformes) en el Río San Jorge, Colombia: Un paso hacia la conservación, En: Memorias I Congreso latinoamericano de Genética Humana y IX Congreso Colombiano de Genética. *Acta Biológica Colombiana*, 13 (3): 131-132.
- CALCAGNOTTO, D., RUSSELLO, M. & DESALLE, R., 2001.- Isolation and characterization of microsatellite loci in *Piaractus mesopotamicus* and their applicability in other Serrasalminae fish. *Molecular Ecology Notes*, 1: 245-247.
- CARRILLO-ÁVILA, M.B., HERNÁNDEZ, C.A., OSTOS, H.A., VALBUENA, R.A. & GALETTI, P.M., 2009.- Prospección de locimicrosatélites de *Pimelodus grosskopfii* (Siluriformes: Pimelodidae). *Actual Biol*, 31 (1): 119.
- CASTIBLANCO, J., 2003.- Caracterización genética de dos poblaciones de Tilapia (*Oreochromis niloticus*) en la cuenca del río Sinú: Tesis, Departamento de Biología, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
- CHAKRABORTY, A., SAKAI, M. & IWATSUKI, Y., 2006.- Museum fish specimens and molecular taxonomy: A comparative study on DNA extraction protocols and preservation techniques. *Journal of Applied Ichthyology*, 22: 160-166.
- CHE, H.B., 2013.- Molecular ecology of two commercially important crustacean species, *Nephrops norvegicus* and *Macrobrachium rosenbergii*: implications for the management of fisheries and aquaculture: PhD thesis, University of Glasgow.
- CHONG, L.K., TAN, S.G., YUSOFF, K. & SIRAJ, S.S., 2000.- Identification and characterization of Malaysian River catfish, *Mystus nemurus* (C&V): RAPD and AFLP analysis. *Biochem. Genet.*, 38: 63-76.
- COLBOURNE, J.K., NEFF, B.D., WRIGHT, J.M. & GROSS, M.R., 1996.- DNA fingerprinting of bluegill sunfish (*Lepomis macrochirus*) using (GT)_n microsatellites and its potential for assessment of mating success. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53: 342-349.
- CORAL V., R., SALAMANCA G., F. & BUENTELLO M., L., 1995.- *Aportación del ADN Mitocondrial en el Estudio Filogenético de las Poblaciones Indígenas de América*. Instituto de Investigaciones Antropológicas, Anales de Antropología, Universidad Nacional Autónoma de México, Volumen XXXII. México.
- CUARTAS, D.M., 2008.- Caracterización genética de *Prochilodus magdalenae* (Pisces: Prochilodontidae), en la cuenca del río San Jorge, utilizando marcadores microsatélites: Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- CUARTAS, D. & BURBANO, C., 2009.- Genetic characterization of *Prochilodus magdalenae* (Characiformes: Prochilodontidae), from San Jorge River, an endangered fish species from Colombia. *Actual Biol*, 31 (1): 118.
- CUMMINGS, A.S. & THORGAARD, G.H., 1994.- Extraction of DNA from fish blood and sperm. *Biotechniques*, 17:426.
- DE MARCHI, M., DALVIT, C., TARGHETTA, C. & CASSANDRO, M., 2006.- Assessing genetic diversity in indigenous Veneto chicken breeds using AFLP markers. *Animal Genetics*, 37: 101-105.
- DEY, M.M. & GUPTA, M.V., 2000.- Socioeconomics of disseminating genetically improved Nile tilapia in Asia: an introduction. *Aquaculture Economic and Management*, 4: 5-12.
- DINESH, K.R., LIM, T.M., CHAN, W.K. & PHANG, V.P.E., 1996.- Genetic variation inferred from RAPD fingerprinting in three species of tilapia. *Aquaculture International*, 4(1): 19-30.
- DOR, L., SHIRAK, A., GORSHKOV, S., RON, M. & HULATA, G., 2014.- Development of genetic markers for the white grouper (*Epinephelus aeneus*). *Aquaculture*, 420-421: 104-110.
- DUMAS, A., FRANCE, J. & BUREAU, D., 2010.- Review article: Modelling growth and body composition in fish nutrition: where have we been and where are we going? *Aquaculture Research*, 41(1): 61-181.
- EKNATH, A.E., TAYAMEN, M.M., PALADA-DE VERA, M.S., DANTING, J.C., REYES, R.A., DINOSIO, E.E., 1993.- Genetic improvement of farmed tilapia: the growth performance of eight strains of *Oreochromis niloticus* tested in different farm environments. *Aquaculture*, 111: 171-188.
- EL-SAYED, A.-F.M., 2006.- *Tilapia Culture*. CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK.
- ESTOUP, A., ROUSSET, F., MICHALAKIS, Y., CORNUET, J.M., ADRIAMANGA, M. & GUYOMARD, R., 1998.- Comparative analysis of microsatellite and allozyme markers: a case study investigating microgeographic differentiation in brown trout (*Salmo trutta*). *Molecular Ecology*, 7: 339-353.
- FAO - ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN., 2001. El Papel de la Acuicultura en el Desarrollo Rural. Disponible en: <http://ftp.fao.org/docrep/fao/006/y4490s/y4490s01.pdf>
- , 2004.- State of World Fisheries and Aquaculture. Roma: FAO Fisheries Department. Disponible en: <http://www.fao.org/fishery/sofia/en>
- , 2010a.- Estado de la Cuestión en la Gestión de los Recursos Zoogenéticos, Marcadores Moleculares: Una Herramienta para explorar la Diversidad Genética: 393-416. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/012/a1250s/a1250s17.pdf>
- , 2010b.- La Situación de los Recursos Zoogenéticos Mundiales para La Alimentación y la Agricultura. Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/012/a1250s/a1250s00.htm>
- , 2012.- El estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura 2012. Roma, Italia. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/016/i2727s/i2727s01.pdf>
- , 2013a.- Fisheries and Aquaculture Information and Statistics Service. Disponible en: <http://>

- www.fao.org/figis/servlet/SQServlet?ds=Aquaculture&k1=COUNTRY&k1v=1&k1s=44&outtype=html
29/03/2013
- , 2013b.- La acuicultura producirá casi dos tercios del pescado mundial en 2030. Disponible en:
<http://www.fao.org/news/story/es/item/213555/icode/>
- EZAZ, M.T., HARVEY, S.C., BOONPHAKDEE, C., TEALE, A.J., McANDREW, B.J. & PENMAN, D.J., 2004.- Isolation and physical mapping of sex-linked AFLP markers in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, L.). *Mar. Biotechnol.*, 6: 435-445.
- FELIP, A., MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, G., PIFERRER, F., CARRILLO, M. & ZANUY, S., 2000.- AFLP analysis confirms exclusive maternal genomic contribution of meiogynogenetic sea bass (*Dicentrarchus labrax*, L.). *Mar. Biotechnol.*, 2: 301-306.
- FERGUSON, M.M. & DANZMANN, R.G., 1998.- Role of genetic markers in fisheries and aquaculture: useful tools or stamp collecting? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 55(7): 1553-1563.
- FERNÁNDEZ-GARCÍA, G., BUILES, J., ARANGO-ROJAS, G.A. & JIMÉNEZ, L.F., 2009.- Evaluación de la variabilidad genética y estructura poblacional de *Prochilodus magdalenae* (Characiformes: Prochilodontidae), en la cuenca del río Cauca, Colombia. Memorias X Simposio Colombiano de Ictiología. *Revista Actualidades Biológicas*, 31(1S): 114-115.
- FERREIRA, M.E. & GRATTAPAGLIA, D., 1998.- *Introdução ao uso de marcadores moleculares em análise genética*. EMBRAPA, Brasília.
- FESSEHAYE, Y., EL-BIALY, Z., REZK, M.A., CROOIJMANS, R., BOVENHUIS, H. & KOMEN, H., 2006.- Mating systems and male reproductive success in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in breeding hapas: a microsatellite analysis. *Aquaculture*, 256: 148-158.
- GALLETTI, E.S., FARIAS, I.P. & HRBEK, T.C., 2009.- Variabilidade genética da “pescada”, *Plagioscion squamosissimus* (Perciformes: Sciaenidae), ao longo da calha do rio Amazonas, Brasil. *Actual Biol*, 31(1): 120-121.
- GALLO, H.M., 2000.- Variabilidad genética del bagre rayado *Pseudoplatystoma fasciatum* (Linnaeus, 1766), en el río Magdalena: Tesis de Pregrado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Biología Marina, Bogotá, Colombia.
- GALLO, H. & DÍAZ-SARMIENTO, J., 2003.- Variabilidad genética del bagre rayado *Pseudoplatystoma fasciatum* (Pises: Pimelodidae) en el río Magdalena (Colombia). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 27(105): 599-605.
- GILES, R.E., BLANC, H., CANN, H.M. & WALLACE, Y.D.C., 1980.- Material inheritance of human mitochondrial DNA. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 77: 6715-6719.
- GOLDSTEIN, D.B. & POLLOCK, D.D., 1997.- Launching microsatellites: a review of mutation processes and methods of phylogenetic inference. *Journal of Heredity*, 88: 335-342.
- GOMES, P.C., 2007.- Diversidade genética de tres populações de piapara (*Leporinus elongatus*), utilizando marcadores moleculares: Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil.
- GUERRERO, J., 2003.- Caracterización de la población de blanquillo (*Sorubim lima*) mediante marcadores moleculares AFLPs en la cuenca del río Sinú: Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- GUERRERO J. & BURBANO, J., 2004.- Estructura genética a partir de marcadores moleculares AFLP's en poblaciones del blanquillo *Sorubimcuspicaudus* en la cuenca del río Sinú. En: II Congreso Colombiano de Acuicultura, v. fasc., 103 -05.
- GUO, J., DU, L.X., MA, Y.H., GUAN, W.J., LI, H.B., ZHAO, Q.J. *et al.*, 2005.- A novel maternal lineage revealed in sheep (*Ovisaries*). *Animal Genetics*, 36: 331-336.
- HASSANIEN, H.A., ELNADY, M., OBEIDA, A. & ITRIBY, H., 2004.- Genetic diversity of Nile tilapia populations revealed by randomly amplified polymorphic DNA (RAPD). *Aquaculture Research*, 35(6): 587-593.
- HASSANIEN, H.A. & GILBEY, J., 2005.- Genetic diversity and differentiation of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) revealed by DNA microsatellites. *Aquaculture Research*, 36(14): 1450-1457.
- HENNING, F., JONES, J.C., FRANCHINI, P. & MEYER, A., 2013.- Transcriptomics of morphological color change in polychromatic Midas cichlids. *BMC Genomics*, 14: 171.
- HEPHER, B., 2005.- *Cultivo de peces comerciales*. 1.ed. Editorial Limusa S.A., México, D.F.
- HERMIDA, M., RODRÍGUEZ-RAMILLO, S.T., HACHERO-CRUZADO, I., HERRERA, M., SCIARA, A., BOUZA, C. *et al.*, 2014.- First genetic linkage map for comparative mapping and QTL screening of brill (*Scophthalmus rhombus*). *Aquaculture*, 420-421: 111-120.
- HERNÁNDEZ-ESCOBAR, C.A., RIVERA, C.M., OSTOS ALFONSO, H. & OLIVERA-ÁNGEL, M., 2008.- Análisis de loci microsatélites de la especie neotropical *Prochilodus costatus* por amplificación cruzada en *Prochilodus magdalenae* (characiforme: Prochilodontidae) en la cuenca alta del río Magdalena. En: Memorias I Congreso Latinoamericano de Genética Humana/IX Congreso Colombiano de Genética. Cartagena de Indias, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 13(3): 12.
- HILSDORF, A.W.S., 1995.- Genética e cultivo de tilápias-vermelhas: uma revisão. *Boletim do Instituto de Pesca*, 22: 73-84.
- HILSDORF, A.W.S. & DERGAM, J.A., 1999.- Depressão por endogamia: somente uma terminologia genética ou um fato na aquicultura. *Panorama da Aquicultura*, 9: 34-36.
- HILSDORF, A.W.S., RESENDE, E.K. & MARQUES, D.K.S., 2006.- *Genética e Conservação de Estoques Pesqueiros de Águas Continentais no Brasil: Situação Atual e Perspectivas*. EMBRAPA Pantanal, Corumbá.

- HOFMANN, H.A. & FERNALD, R.D., 2001.- What cichlids tell us about the social regulation of brain and behavior. *J. Aquaricult. Aquat. Sci.*, 9: 1-15.
- HRBEK, T., CROSSA, M. & FARIAS, I.P., 2007.- Conservation strategies for *Arapaima gigas* (Schinz, 1822) and the Amazonian várzea ecosystem. *Brazilian Journal of Biology*, 67 (S4): 909-917.
- HRBEK, T., FARIAS, I.P., CROSSA, M., SAMPAIO, L., PORTO, J.L.R. & MEYER, J., 2005.- Population genetic analysis of *Arapaima gigas*, one of the largest freshwater fishes of the Amazon basin: implications for its conservation. *Animal Conservation*, 8: 1-12.
- HUANG, C.W., LI, Y.H., HU, S.Y., CHI, J.R., LIN, G.H., LIN, C.C., 2012.- Differential expression patterns of growth-related microRNAs in the skeletal muscle of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *J. Animal Sci.*, 90 (12): 4266-79.
- HULATA, G., 2001.- Genetic manipulations in aquaculture: a review of stock improvement by classical and modern technologies. *Genetics*, 111: 155-173.
- HURTADO-ALARCÓN, J.C., 2009.- Variabilidad genética y estructura poblacional en *Brycon henni* E. (Characiformes: Characidae) en la cuenca media de los ríos Nare y Guatapé, Antioquia: Tesis de Maestría, Posgrado en Bosques y Conservación Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- HURTADO-ALARCÓN, J. & MANCERA-RODRÍGUEZ, N.J., 2009.- Variabilidad genética y estructura poblacional de la "sabaleta", *Brycon henni*, Eigenmann 1913 (Characiformes: Characidae), en la cuenca media de los ríos Nare y Guatapé (Antioquia), Colombia. *Actual Biol.*, 31 (1): 117-118.
- HURTADO-ALARCÓN, J.C., MANCERA-RODRÍGUEZ, N.J. & SALDAMANDO-BENJUMEA, C.I., 2011.- Variabilidad genética en *Brycon henni* (Characiformes: Characidae) en la cuenca media de los ríos Nare y Guatapé, sistema Río Magdalena, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 59(1): 269-282.
- JELLETT, J.F., BELLAND, E.R., DOUCETTE, L.I., WINDUST, A.J., GALLAGHER, L. & QUILLIAM, M.A., 1999.- Validation of the Maritime In Vitro Shellfish Test (MISTTM) kits for marine biotoxins. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.*, 2261: 120.
- KAWAGUCHI, K., KANEKO, N., FUKUDA, M., NAKANO, Y., KIMURA, S., HARA, A. & SHIMIZU, M., 2013.- Responses of insulin-like growth factor (IGF)-I and two IGF-binding protein-1 subtypes to fasting and re-feeding, and their relationships with individual growth rates in yearling masu salmon (*Oncorhynchus masou*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 165(2): 191-198.
- KOCHER, T.D., LEE, W.J., SOBOLEWSKA, H., PENMAN, D. & McANDREW, B., 1998.- A genetic linkage map of a cichlid fish, the tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Genetic*, 148: 1225-1232.
- KONISHI, Y., IWAMURO, S., HASUNUMA, I. & KOBAYASHI, T., 2013.- Molecular Cloning and Multifunctional Characterization of Host Defense Peptides from the Bullfrog Harderian Gland with Special Reference to Catesbeianalectin. *Zoological Science*, 30 (3):185-191.
- LAMPREA, N., 2003.- Caracterización genética de *Caquetaia krausii* (Steindachner, 1878) (pisces: Cichlidae) en la cuenca del río Sinú, mediante loci microsatélites: Tesis de Biólogo, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- LAMPREA, N., LÓPEZ, L., SANTACRUZ, D., GUERRERO, J. & BURBANO, C., 2004.- Modificaciones técnicas en el uso de microsatélites y AFLP para el estudio poblacional de diversas especies de peces en el río Sinú, Colombia. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 6(1): 72-78.
- LI, Y., BYRNE, K., MIGGIANO, E., WHAN, V., MOORE, S., KEYS, S. *et al.*, 2003.- Genetic mapping of the kuruma prawn *Penaeus japonicus* using AFLP markers. *Aquaculture*, 219: 143-156.
- LIU, Z.J. & CORDES, J.F., 2004.- DNA marker technologies and their applications in aquaculture genetics. *Aquaculture*, 238: 1-37.
- LIU, Z.J., LI, P., ARGUE, B.J. & DUNHAM, R.A., 1999.- Random amplified polymorphic DNA markers: usefulness for gene mapping and analysis of genetic variation of catfish. *Aquaculture*, 174 (1/2): 59-68.
- LIU, Z.J., KARSI, A., LI, P., CAO, D. & DUNHAM, R., 2003.- An AFLP-based genetic linkage map of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) constructed by using an interspecific hybrid resource family. *Genetics*, 165: 687-694.
- LIU, Z.J., NICHOLS, A. & DUNHAM, R.A., 1998.- Inheritance and usefulness of AFLP markers in channel catfish (*Ictalurus punctatus*), blue catfish (*I. furcatus*), and their F1, F2, and backcross hybrids. *Mol. Gen. Genet.*, 258: 260-268.
- LIVIA, L., ANTONELLA, P., HOVIRAG, L., MAURO, N. & PANARA, F., 2006.- A nondestructive, rapid, reliable and inexpensive method to sample, store and extract high-quality DNA from fish body mucus and buccal cells. *Molecular Ecology Notes*, 6: 257-260.
- LOPERA-BARRERO, N.M., 2005.- Diversidade genética de populações de piracanjuba (*Bryconorbignyanus*) com a técnica de RAPD: Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil.
- LOPERA-BARRERO, N.M., POVH, J.A., RIBEIRO, R.P., GOMES, P.C., JACOMETO, C.B. & DA SILVA LOPES, T., 2008a.- Comparación de protocolos de extracción de ADN con muestras de aleta y larva de peces: extracción modificada con cloruro de sodio. *Cien. Inv. Agr.*, 35(1): 77-86.
- LOPERA-BARRERO, N.M., RIBEIRO, R., SIROL, S., POVH, J., GOMES, P., VARGAS, L. & MANGOLIN, C., 2008b.- Variabilidad genética de lotes de *Bryconorbignyanus* utilizados en programas de repoblamiento: manejo y conservación. *Acta Biológica Colombiana*, 13: 107-118.
- LOPERA-BARRERO, N.M., RIBEIRO, R.R., SIROL, R.N., POVH, J.A., GOMES, P.C., VARGAS, L. & STREIT JR, D.R., 2006.- Genetic diversity in piracanjuba populations (*Bryconorbignyanus*) with the RAPD (Random

- Amplified Polimorphic DNA) markers. *Journal Animal Science*, 84: 170-172.
- LÓPEZ, L., 2003.- Caracterización genética de dos poblaciones silvestres y cuatro poblaciones de granjas piscícolas de Dorada, *Bryconmooreisinuensis* (Dahl 1955) (Characidae, Bryconinae), del río Sinú mediante locimicrosatélites: Tesis de Biólogo, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- , 2006.- Genetic variability and population structure of dorada (*Bryconmooreisinuensis* Dahl) in the Sinú River, Córdoba, Colombia. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, 11: 1-7.
- LÓPEZ, L., USAQUÉN, W. & BURBANO, C., 2004.- Variabilidad y estructura poblacional de la dorada (*Brycon morei sinuensis*, Dahl) en el río Sinú (Córdoba, Colombia). En: II Congreso Colombiano de Acuicultura, v. fasc., 47-49.
- LÓPEZ-MACÍAS, J.N., GARCÍA-VALLEJO, F., RUBIO-RINCÓN, E., CASTILLO-GIRALDO, A. & CERÓN, F., 2009.- Diversidad Genética del Bocachico (*Prochilodus reticulatus*) de la Cuenca Alta del Río Cauca (Colombia). *Acta Biológica Paranaense*, 38b (3-4): 113-138.
- LUPCHINSKI JR, E., 2007.- Avaliação da Composição Genética de Linhagens de Tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*) e das Gerações G0 E F1 da Linhagem GIFT: Tese (Doutorado em Zootecnia), Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil.
- LUPCHINSKI JR, E., VARGAS, L., LOPERA-BARRERO, N.M., RIBEIRO, R.P., POVH, J.A., GASPARINO, E. *et al.*, 2011.- Caracterización genética de tres líneas de tilapia del nilo (*Oreochromis niloticus*). *Arch. Zootec.*, 60(232): 985-995.
- MACHADO, V.N., VASCONCELOS, W.A., SATURNINO, A.B., HRBEK, T.C. & FARIAS, I.P., 2009.- Análise da variabilidade genética da "curimatã", *Prochilodus nigricans* (Agassiz, 1829) (Characiformes: Prochilodontidae), na calha do rio Amazonas e tributários, Brasil. *Actual Biol*, 31(1): 120.
- MACPHERSON, J.M., ECKSTEIN, R.E., SCOLES, G.J. & GAJAGHAR, A.A., 1993.- Variability of the random amplified polymorphic DNA assay among thermal cycles, and effects of primer and DNA concentration. *Molecular and Cellular Probes*, 7: 293-299.
- MANCERA-RODRÍGUEZ, N.J., MÁRQUEZ, E.J., HURTADO-ALARCÓN, J.C. & RANGEL-MEDRANO, J.D., 2012.- Estudio genético en sabaleta *Brycon hemi* (Pisces: Characidae) y *Saccodon dariensis* (Pisces: Parodontidae) en el oriente de Antioquia, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, Medellín, 65(1): 57-59.
- MADR -MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL-, FAO & INCODER., 2011.- Plan Nacional de Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia, Diagnóstico del Estado de la Acuicultura en Colombia. Bogotá. Disponible en: http://www.ceniagua.org/archivos/Diagnostico_para_revisión_Dic_5_2011_v1.pdf
- MASSAGO, H., CASTAGNOLLI, N., BRAGA M., E., RIBEIRO, T.C., KOBERSTEIN, D., DOS SANTOS, M.A. & PEREIRA R., R., 2010.- Crescimento de quatro linhagens de tilápia *Oreochromis niloticus*. *Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.*, 8(4): 397-403.
- MATHER, P.B., 2001.- Overview of fish genetics research at Queensland University of Technology: 133-139 (in) GUPTA, M.V. & ACOSTA, B.O. (eds.) *Fish genetics research in member countries and institutions of the International Network on Genetics in Aquaculture*. ICLARM - World Fish Center, Penang.
- MEDINA, J., LUGO, N., BONILLA, A. & CORTEZ, D., 2009.- Avances del estudio de la variabilidad genética en dos poblaciones silvestres de *Pseudoplatystoma fasciatum* (Siluriformes: Pimelodidae), en Venezuela. *Actual Biol*, 31(1): 118-119.
- MELO, D.C., OLIVEIRA, D.A.A., RIBEIRO, L.P., TEIXEIRA, C.S., SOUSA, A.B., COELHO, E.G.A., 2006.- Caracterização genética de seis plantéis comerciais de tilápia (*Oreochromis*) utilizando marcadores microsatélites. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 58(1): 87-93.
- MIA, M.Y., TAGGART, I.B., GILMOUR, A.E., GHEYAS, A.A., DAS, T.K., KOHINOORA, H.M., 2005.- Detection of hybridization between Chinese carp species (*Hypophthalmichthys molitrix* and *Aristichthys nobilis*) in hatchery broodstock in Bangladesh, using DNA microsatellite loci. *Aquaculture*, 247: 267-273.
- MICKETT, K., MORTON, C., FENG, J., LI, P., SIMMONS, M., CAO, D., 2003.- Assessing genetic diversity of domestic populations of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) in Alabama using AFLP markers. *Aquaculture*, 228: 91-105.
- MILACH, S., 1998.- Principais tipos de marcadores moleculares e suas características: 17-28 (in) MILACH, S.C.K. (Ed.) *Marcadores moleculares em plantas*. UFRGS, Porto Alegre, Brasil.
- MINISTERIO DE ECONOMÍA Y DESARROLLO & SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, PESCA Y ALIMENTOS., 2004.- Plan Estratégico para el Desarrollo de la Biotecnología Agropecuaria 2005-2015. Buenos Aires, Argentina.
- MOEN, T., AGRESTI, J.J., CNAANI, A., MOSES, H., FAMULA, T.R., HULATA, G. *et al.*, 2004a.- A genome scan of a four-way tilapia cross supports the existence of a quantitative trait locus for cold tolerance on linkage group 23. *Aquacult. Res.*, 35: 893-904.
- MOEN, T., FJALESTAD, K.T., MUNCK, H. & GÓMEZ-RAYA, L., 2004b.- A multi-stage testing strategy for detection of quantitative trait loci affecting disease resistance in Atlantic salmon. *Genetics*, 167: 851-858.
- MOEN, T., HOYHEIM, B., MUNCK, H. & GÓMEZ-RAYA, L., 2004c.- A linkage map of Atlantic salmon (*Salmosalar*) reveals an uncommonly large difference in recombination rate between the sexes. *Anim. Genet.*, 35: 81-92.
- MOHAMED, M.M., AHMED, M.M.M., AHMED A., B. & EI-ZAEEM, S., 2004.- Application of RAPD markers in fish: Part I - some genera (*Sarotherodum*, *Tilapia* and *Oreochromis*) and species (*Oreochromis aureus* and *Oreochromis niloticus*) of Tilapia. *Int. J. of Biotechnology*, 6(1): 86-93.

- MONTAÑO-ARIAS, D.A., 2001.- Variabilidad Genética en *Pseudoplatystomafasciatum* y *P. tigrinum* en ambientes acuáticos de la Amazonía y Orinoquia Colombiana. Memorias VI Simposio Colombiano de Ictiología. ACICTIOS- Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- , 2003.- Genetic variability in two species of Pimelodidae (Siluriformes). *Revista de Investigaciones UNAD*, 2 (2): 48-56.
- , 2008.- Variabilidad Genética en *Pseudoplatystoma fasciatum* en ambientes acuáticos del Orinoco Colombiano. *Revista Científica de Unincca*, 13 (1): 153-162.
- MONTAÑO-ARIAS, D.A. & FORERO, G., 2003.- Estructura genética de cuatro poblaciones de cachama blanca (*Piaractus brachyomus*) de la Amazonía colombiana. *Revista de Investigaciones UNAD*, 2: 71-83.
- MONTAÑO-ARIAS, D.A., FORERO, G. & SANDOVAL, P., 2010.- Análisis de la variabilidad genética del bagre rayado *Pseudoplatystomafasciatum*, de dos localidades de los ríos Magdalena y Amazonas en Colombia. *Revista de Investigaciones UNA*, 9(2): 519-525.
- MONTAÑO-ARIAS, D.A. & GALLO, H., 2003.- Variabilidad genética del bagre rayado *P. fasciatum* (Linnaeus, 1766) en el río Magdalena. *Revista de Investigaciones UNAD*, 2: 55-71.
- MONTAÑO-ARIAS, D.A., GALLO, H. & DÍAZ, J., 2002.- Variabilidad genética en el bagre (*Pseudoplatystoma fasciatum*) en la cuenca del río Magdalena. *Expedición Científica y Cultural UNAD*, Colombia, 8: 1-10.
- MONTAÑO-PÉREZ, K., VILLALPANDO-CANCHOLA, E. & VARGAS-ALBORES, F., 2006.- AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism) and su Aplicación en Acuicultura. *Interiencia*, 31: 563-569.
- MOORE, S.S., WHAN, V., DAVIS, G.P., BYRNE, K.S., HETZEL, D.J. & PRESTON, N., 1999.- The development and application of genetic markers for the Kuruma prawn *Penaeus japonicus*. *Aquaculture*, 173(1-4): 19-32.
- MOREIRA, A., SILVA, H., DA SILVA, A.W. & RIBEIRO DE SOUZA, V., 2007.- Variabilidade genética de duas variedades de tilápia nilótica por meio de marcadores microsatélites. *Pesq. Agropec. Bras.*, 42 (4): 521-526.
- MOREIRA, H.L.M., ZIMMERMANN, S., RIBEIRO, R.R., BASTOS, R.G., VARGAS L.D. & POVH, J.A. 2003.- The use of RAPD (Random Amplified Polymorphism DNA) for genetic monitoring in breeding programs of tilapia. In: *World Aquaculture*, Salvador, Brasil.
- MUELLER, U. & WOLFENBARGER, L., 1999.- AFLP genotyping and fingerprinting. *TREE*, 14(10): 389-394.
- MULLIS, K.B., 1990.- The unusual origin of the polymerase chain reaction. *Scientific American*, 262: 36-42.
- NACIONES UNIDAS., 2012.- Conferencia de las Naciones Unidas sobre el desarrollo sostenible, Río de Janeiro (Brasil) 20 a 22 de junio de 2012, A/CONF.216/L.1.
- NAISH, K.A., WARREN, M., BARDAKCI, F., SKIBINSKI, D.O., CARVALHO, G.R. & MAIR, G.C., 1995.- Multilocus DNA fingerprinting and RAPD reveal similar genetic relationships between strains of *Oreochromis niloticus* (Pisces: Cichlidae). *Molecular Ecology*, 4(2): 271-274.
- NICHOLS, K.M., YOUNG, W.P., DANZMANN, R.G., ROBISON, B.D., REXROAD, C., NOAKES, M., 2003.A consolidated linkage map for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Anim. Gen.*, 34: 102-115.
- NIJMAN, I.J., OTSEN, M., VERKAAR, E.L., DE RUIJTER, C. & HANEKAMP, E., 2003.- Hybridization of bangent (*Bos javanicus*) and zebu (*Bos indicus*) revealed by mitochondrial DNA, satellite DNA, AFLP and microsatellites. *Heredity*, 90: 10-16.
- OCHOA-ORREGO, L., FERNÁNDEZ-GARCÍA, G., JIMÉNEZ, L.F., MACRANDER, J. & ORTI, G., 2009.- Identificación genética de algunas especies de peces migratorias de la cuenca del río Magdalena, Colombia. Memorias X Simposio Colombiano de Ictiología. *Revista Actualidades Biológicas*, 31 (Supl.1): 113-114.
- OLIVEIRA, C., PEREIRA, L.H.G. & FORESTI, F., 2010.- Determinación de la diversidad genética de la arawana azul (*Osteoglossum ferreirai*) para su manejo y conservación en la Orinoquia colombiana. Memorias del III Congreso Colombiano de Zoología, noviembre 21 al 26 de 2010, Medellín, Colombia.
- OLIVEIRA, A.V., PRIOLI, J.A., PRIOLI, S.M.A.R., PAVANELLI, C.S., JULIO JR, H.F. & PANARARI, R.S., 2002.- Diversity and genetic distance in populations of Steindachnerina in the Upper Paraná river floodplain. *Genetica*, 115: 259-257.
- ORTÍ, G., 2009.- Avances en el conocimiento de la filogenia de peces actinoptergios: Un mega-proyecto para reconstruir la historia evolutiva del grupo más diverso de animales vertebrados *Actual Biol*, 31 (1): 55.
- ORTÍ, G., LI, C. & FARIAS, I., 2005.- Filogenia, filogeografía y estructura poblacional de las especies de *Prochilodus* (Prochilodontidae, Characiformes) en las principales cuencas fluviales de Sudamérica: 116-122 (en) RENNO, J.-F., GARCÍA-DÁVILA, C., DUPONCHELLE, F. & NÚÑEZ, J. (eds.) *Biología de las poblaciones de peces de la Amazonía y piscicultura. Comunicaciones del primer coloquio de la Red de Investigaciones sobre la Ictiofauna Amazónica, Iquitos, Perú.*
- PARADA, S., ARIAS, J.A. & CRUZ, P.E., 2003.- Caracterización cariotípica del yamú (*Brycon siebenthalae*). *Rev. Orinoquia*, 7: 42-46.
- PAZ, A., GONZÁLEZ, M. & CRAWFORD, A., 2011.- Códigos de Barras de la Vida: Introducción y Perspectiva. *Acta Biológica Colombiana*, 16(3): 161-176.
- PELAYO, P., GUISANDE, C., JIMÉNEZ, L.F., VERA, M., MARTÍNEZ, P., FERNÁNDEZ, C., 2009.- Filogenia y ecomorfología del orden Characiformes en dos cuencas colombianas. *Actual Biol*, 31 (1): 119.
- PERDOMO, A., 2008.- Caracterización genética de *Pseudoplatystomamagdaleniatum* (siluriformes: pimelodidae) en Colombia, utilizando marcadores microsatelitales: implicaciones en conservación: Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- PERDOMO, A., COBOS, V. & BURBANO, C., 2009.- Molecular markers confirm three species taxonomically described as new for the genus *Pseudoplatystoma* (Siluriformes: Pimelodidae). Memorias X Simposio Colombiano de Ictiología. *Actual Biol*, 31 (1S): 114-115.

- PÉREZ, T., ALBORNOZ, J. & DOMÍNGUEZ, A., 1998.- An evaluation of RAPD fragment reproducibility and nature. *Molecular Ecology*, 7: 1347-1357.
- PINEDA-SANTIS, H., ARBOLEDA, L., ECHEVERRY, A., URCUQUI, S., PAREJA, D., OLIVERA M. & BUILES, J., 2007.- Caracterización de la diversidad genética en el pez *Bryconhenni* (Characiformes: Characidae) en Colombia central por medio de marcadores RAPD. *Revista de Biología Tropical*, 55(3-4): 1025-1035.
- PINEDA-SANTIS, H. R., OLIVERA-ÁNGEL, M., URCUQUI, S., TRUJILLO, E. & BUILES-GÓMEZ, J., 2006.- Evaluación del polimorfismo por microsatélites en individuos de *Piaractus brachipomus* (Characidae, Serrasalminae) provenientes del río Meta, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 19(1): 66-69.
- PINEDA-SANTIS, H., PAREJA-MOLINA, D., OLIVERA-ÁNGEL M. & BUILES-GÓMEZ, J., 2004.- Contribución a la relación taxonómica entre cuatro especies de peces de la familia Characidae mediante el Polimorfismo de ADN Amplificado al Azar (RAPD). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 17(S): 30-37.
- POOMPUANG, S. & NA-NAKORN, U., 2004. A preliminary genetic map of walking catfish (*Clarias macrocephalus*). *Aquaculture*, 232: 195-203.
- POVH, J.A., MOREIRA, H.L.M., RIBEIRO R.P., PRIOLI, A.R., VARGAS, L., BLANCK, D.V., 2005.- Estimativa da variabilidade genética em tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) com a técnica de RAPD. *Acta Scientiarum Animal Science*, 27: 1-10.
- POVH, J.A., RIBEIRO, R.P., SIROL, R.N., STREIT JR, D.P., MOREIRA, H.L.M., LOPERA BARRERO, N.M., 2007.- Avaliação reprodutiva e da diversidade genética de *Piaractus mesopotamicus* no sistema seminatural: 7-13 (em) *I Congresso Brasileiro de Produção de Peixes Nativos de Água Doce, Brasil*.
- POVH, J., LOPERA B., N., RIBEIRO, R., LUPCHINSKI JR, E., GOMES, P. & TAIS, S., 2008a.- Monitoreo genético en programas de repoblamiento de peces mediante marcadores moleculares. *Cien. Inv. Agr.*, 35 (1): 5-15.
- POVH, J.A., RIBEIRO, R.P., SIROL, R.N. & STREIT, J.D.P., 2008b. Diversidade genética de pacu do Rio Paranapanema e do estoque de um programa de repovoamento. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43: 201-206.
- QUELLER, C.R., STRASSMAN, I.E. & HUGHES, C.R., 1993.- Microsatellites and kinships. *TREE*, 8: 285-288.
- RAMÍREZ-GIL, H., 2001.- Diferenciación genética de poblaciones de Surubín (*Pseudoplatystoma fasciatum*) e de caparari (*P. tigrinum*) nas bacias Magdalena, Orinoco e Amazonas: Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação INPA/FUA, Manaus (AM), Brasil.
- REGITANO, L.C.A., 2001a.- Introdução a análise de marcadores moleculares: 25-39 (in) REGITANO, L.C.A. & COUTINHO, L.L. (eds.) *Biología molecular aplicada a produção animal*. EMBRAPA, Brasília, Brasil.
- , 2001b.- Protocolo de Análise de Marcadores Microsatélites: 195-215 (in) REGITANO, L.C.A. & COUTINHO, L.L. (eds.) *Biología Molecular Aplicada a Produção Animal*. EMBRAPA, Brasília, Brasil.
- RESTREPO-SANTAMARÍA, D. & ÁLVAREZ-LEÓN, R., 2011.- Peces del departamento de Caldas, Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos "Alexander von Humboldt", Colombia. *Biota Colombiana*, 12 (1): 117-136.
- ROMANA-EGUIA, M.R.R., IKEDA, M., BASIAO, Z.U. & TANIGUCHI, N., 2004.- Genetic diversity in farmed Asian Nile and red hybrid tilapia stocks evaluated from microsatellite and mitochondrial DNA analysis. *Aquaculture*, 236: 131-150.
- RYU, Y.W., TANAKA, R., KASAHARA, A., ITO, Y. & HIRAMATSU, N., 2013.- Molecular Cloning and Transcript Expression of Genes Encoding two Types of Lipoprotein Lipase in the Ovary of Cutthroat Trout *Oncorhynchus clarki*. *Zoological Science*, 30(3): 224-37.
- SACHIDANANDAM, R., WEISSMAN, D., SCHMIDT, S.C., KAKOL, J.M., STEIN, L.D., MARTH, G. & INTERNATIONAL SNP MAP WORKING GROUP., 2001.- A map of human genome sequence variation containing 1.42 million single nucleotide polymorphisms. *Nature*, 409: 928-933.
- SAIKI, R.K., GELFAND, D.H., STOFFEL, S., SCHARF, S.J., HIGUCHI, R., HORN, G.T., 1988.- Primer-directed enzymatic amplification of DNA with a thermostable DNA polymerase. *Science*, 239(4839): 487-91.
- SAIKI, R.K., SCHARF, S.J., FALOONA, F., MULLIS, K.B., HORN, G.T., ERlich, H.A. & ARNHEIM, N., 1985.- Enzymatic amplification of beta-globin genomic sequences and restriction site analysis for diagnosis of sickle cell anemia. *Science*, 230(4732): 1350-4.
- SANTACRUZ, D., 2003.- Evaluación de la variabilidad genética con marcadores microsatélites del bocachico, *Prochilodus magdalenae* (Steindachner 1878), en el río Sinú, Colombia: Tesis de Biólogo, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- SANTACRUZ, D., USAQUÉN, W. & BURBANO, C., 2004.- Evaluación de la variabilidad genética con marcadores microsatélites del bocachico, *Prochilodus magdalenae* (Steindachner 1878) en el río Sinú, Colombia: 39-41 (en) *Memorias II Congreso Colombiano de Acuicultura*.
- SANTOS, M., HERBEK, T. & FARIAS, I.P., 2009.- Microsatellite markers for the tambaqui (*Colossoma macropomum*, Serrasalminae, Characiformes), an economically important keystone species of the Amazon River floodplain. *Molecular Ecology Resources*, 9: 874-876.
- SIVASUNDAR, A., BERMINGHAM, E. & ORTÍ, G., 2001.- Population structure and biogeography of migratory freshwater fishes (*Prochilodus*: Characiformes) in major South American rivers. *Molecular Ecology*, 10: 407-418.
- SMITH, T. & WAYNE, R., 1996.- *Molecular Genetic Approaches in Conservation*. Oxford University Press Inc., New York.
- STICKNEY, R.R., 1997.- Tilapia update 1996. *World Aquaculture*, 28: 20-25.

- SUBASINGHE, R.P., BUENO, P., PHILLIPS, M.J., HOUGH, C., McGLADDERY, S.E. & ARTHUR, J.R., 2000.- Aquaculture in the third millennium. Technical Proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium, Bangkok, Thailand, 20-25 February 2000, pp. 137-166. Bangkok, NACA and Rome, FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/003/ab412e/ab412e09.htm>
- SUN, Y., SONG, W.-Q., ZHONG, Y.-C., ZHANG, R.-S., ABATZOPoulos, T.J. & CHEN, R.-Y., 1999.- Diversity and genetic differentiation in *Artemia* species and populations detected by AFLP markers. *International J. Salt Lake Res.*, 8: 341-350.
- THORNLEY, J.H.M. & FRANCE, J., 2007.- *Mathematical models in agriculture: quantitative methods for the plant, animal and ecological sciences*. 2nd edn. CAB Internacional, Wallingford, UK.
- TORRES J., MUÑOZ, J.E., CÁRDENAS, H., ÁLVAREZ, L.A. & PALACIO, J.D., 2010.- Caracterización de tilapia roja (*Oreochromis* sp.) con marcadores moleculares RAPD. *Acta Agron.*, 59(2): 236-246.
- TORRICO, J.P., HUBERT, N., DESMARAIS, E., DUPONCHELLE, F., NÚÑEZ-RODRÍGUEZ, J., MONTOYA-BURGOS, J., 2009.- Molecular phylogeny of the genus *Pseudoplatystoma* (Bleeker, 1862): Biogeographic and evolutionary implications. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 51: 588-594.
- TROY, C.S., MACHUGH, D., BAILEY, J.F., MAGEE, D.A., LOFTUS, R.T., CUNNINGHAM, P., 2001.- Genetic evidence for Near-Eastern origins of European cattle. *Nature*, 410: 1088-1091.
- TURNER, T.F., McPHEE, M.V., CAMPBELL, P. & WINEMILLER, K.O., 2004.- Phylogeography and intraspecific genetic variation of Prochilodontid fishes endemic to rivers of northern South America. *Journal of Fish Biology*, 64: 186-201.
- TURRA, E.M., OLIVEIRA, D.A.A., TEIXEIRA, E.A., PRADO, S.A.; MELO, D.C. & SOUSA, A.B., 2010.- Uso de medidas morfométricas no melhoramento genético do rendimento de filé da tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, 34(1): 29-36.
- USECHE, Y.M., 2010.- Caracterización genética de *Hoplias malabaricus* (Characiformes) en el río San Jorge, Colombia. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- VIEIRA, V.R., RIBEIRO, R.R., VARGAS, L., MOREIRA, H.L.M., POVH, J.A. & LOPERA-BARRERO, K.M., 2005.- Avaliação da variabilidade genética de linhagens de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*) com o uso do marcador de RAPD. *Revista Acadêmica Curitiba*, 3:41-49.
- VOS, P., HOGERS, R., BLEEKER, M., REIJANS, M., VAN DE LEE, T., HORNES, M., 1995.- AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. *Nucleic Acid Research*, 25(21): 4407-4414.
- WALLACE, D.C., 1994.- Mitochondrial DNA sequence variation in human evolution and disease. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 91: 8739-8746.
- WANG, Z.Y., TSOI, K.H. & CHU, K.H., 2004.- Applications of AFLP technology in genetic and phylogenetic analysis of penaeid shrimp. *Biochem. Syst. Ecol.*, 32: 399-407.
- WASKO, A.P. & GALETT, P.M. JR., 2002.- RAPD analysis in the neotropical fish *Bryconlundii*: genetic diversity and its implications for the conservation of the species. *Hydrobiologia*, 474: 131-137.
- WASKO, A.R., MARTINS, C.F., OLIVEIRA, C. & FORESTI, F., 2003.- Non destructive genetic sampling in fish. An improved method for DNA extraction from fish fins and scales. *Hereditas*, 138: 161-165.
- WASKO, A.R., MARTINS, C., OLIVEIRA, C., SENHORINI, J.A. & FORESTI, F., 2004.- Genetic monitoring of the Amazonian fish matrinhá (*Bryconcephalus*) using RAPD markers: insights into supportive breeding and conservation programmes. *Journal of Applied Ichthyology*, 20(1): 48-52.
- WELSH, J. & McCLELLAND, M., 1990.- Fingerprinting genomes using PCR with arbitrary primers. *Nucleic Acids Research*, 18: 7213-7218.
- WILSON, K., LI, Y., WHAN, V., LEHNERT, S., BYRNE, K., MOORE, S., 2002.- Genetic mapping of the black tiger shrimp *Penaeus monodon* with amplified fragment length polymorphism. *Aquaculture*, 204: 297-309.
- WILLIAMS, J.G.K., KUBELIK, A.R., LIVAK, K.J., RAFALSKI, J.A. & TINGEY, S.V., 1990.- DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucleic Acids Research*, 18: 6531-6535.
- YAN, J., LIU, S., SUN, Y., ZHANG, C., LUO, K. & LIU, Y., 2005.- RAPD and microsatellite analysis of diploid gynogens from allotetraploid hybrids of red crucian carp (*Carassius auratus*) x common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*, 243: 49-60.
- YOUNG, W.P., WHEELER, P.A., CORYELL, V.H., KEIM, P. & THORGAARD, G.H., 1998.- A detailed linkage map of rainbow trout produced using doubled haploids. *Genetics*, 148: 439-850.
- YUE, G.H. & ORBAN, L., 2002.- Microsatellites from genes show polymorphism in two related *Oreochromis* species. *Molecular Ecology Notes*, 2: 99-100.
- YUE, G.H., LI, Y., LIM, L.C. & ORBAN, L., 2004.- Monitoring the genetic diversity of three Asian arowana (*Scleropages formosus*) captive stocks using AFLP and microsatellites. *Aquaculture*, 237: 89-102.
- ZELENINA, D.A., KHRUSTALEVA, A.M. & VOLKOV, A.A., 2006.- Comparative Study of the Population Structure and Population Assignment of Sockeye Salmon *Oncorhynchus nerka* from West Kamchatka Based on RAPD-PCR and Microsatellite Polymorphism. *Animal Genetic*, 42(5): 693-704.
- ZHANG, H.L., ZHAO, L., ZHENG, Z.M. & HUANG, Y., 2013.- Complete Mitochondrial Genome of *Gomphocerus sibiricus* (Orthoptera: Acrididae) and comparative analysis in four *Gomphocerus* Mitogenomes. *Zoological Science*, 30(3): 192-204.
- ZIMMERMAN, A.M. & WHEELER, P.A., 2005.- Composite interval mapping reveals three QTL associated with pyloric caeca number in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 247: 85-95.