

Recibido: 19/11/16; Aceptado: 10/12/16

Se autoriza la reproducción total o parcial de este artículo, siempre y cuando se cite la fuente completa y su dirección electrónica.

<http://www.revistacentros.com>

indexada en



http://www.latindex.unam.mx/buscador/ficPais.html?opcion=1&clave_pais=33



Selección de Familias de *Danio rerio* por Rasgos de Personalidad

Selection of families of *Danio rerio* by personality traits

Reynaldo Vargas¹, Sònia Rey², Simon Mackenzie²

¹- Programa de Inserción SENACYT-Universidad de Panamá 2016, asignado a La Extensión Universitaria de Aguadulce. rvargas661@mail.com · ²- Health and Welfare Group Marine Biotechnology, Institute of Aquaculture, University of Stirling, Scotland, UK.

Resumen

Diferencias individuales en estrategias de reacción o “coping style” se han citado previamente en varias especies de vertebrados incluyendo peces. Comprender las estrategias de reacción en peces es de vital importancia desde el punto de vista evolutivo y ecológico, y también desde la perspectiva de como esta variación en personalidades puede ser utilizada en un programa de selección y optimización de sistemas de manejo dentro de granjas acuícolas. Nuestro estudio reveló que 1) el pez cebra (*Danio rerio*) criado bajo las mismas condiciones ambientales presenta rasgos morfológicos diferentes (patrones de coloración) que nos permiten seleccionar por fenotipos salvajes. 2) Peces cebras sometidos a la prueba de toma de riesgo en un ambiente nuevo y potencialmente peligroso reaccionan utilizando diferentes estrategias (seleccionados como proactivos y reactivos). 3) Peces proactivos y reactivos difieren significativamente en el diámetro de las orbitas oculares y también muestran una tendencia opuesta en cuanto a su longitud y peso. Incorporar la selección por rasgos morfológicos en nuestro estudio nos permite comprender mejor la variación en estrategias de reacción o “coping style” adoptadas por los individuos frente a un desafío ambiental, y así potencializar nuestro criterio de selección para establecer las bases de un programa genético de reproducción de líneas de familias de *Danio rerio* por rasgos de personalidad.

Palabras clave: personalidad, selección de líneas, variación individual, *Danio rerio*

Summary

Individual variation in coping style has been previously reported in several species of vertebrates including fish. Understanding the strategies of coping style in fish are of vital importance from an evolutionary and ecological standpoint and also from the perspective of how variation in personality can be used in a program of selection and optimisation of husbandry systems management in aquaculture. Our study revealed that 1) zebrafish (*Danio rerio*) raised under the same environmental conditions present different morphological traits (colour scheme) that can be used to select for a 'wild-type' phenotype, 2) Behavioural analyses of risk-taking in an unfamiliar and potentially dangerous environment allows the classification of individuals exhibiting different coping styles (proactive and reactive) and 3) Parallel morphometric analyses highlight that proactive and reactive fish differ significantly in the diameter of the eye orbit and also show an opposite trend in the length and weight. Therefore incorporating selection using morphological features into the established behavioural study of coping styles provides useful insights and potential 'markers' for individual variation in coping style. These selection criteria have been used to establish the foundations of a breeding program addressing personality traits in cultured fish.

Keywords: personality, line selection, individual variation, *Danio rerio*.

INTRODUCCIÓN

El pez cebrá *Danio rerio* pertenece a la familia Ciprinidae la más abundante dentro de los peces de agua dulce (Nelson, 1994; Nelson, 2006; Diogo *et al.*, 2008). El género *Danio* se incluye dentro de la subfamilia Rasborinae, es uno de los peces ornamentales más importantes utilizados en experimentación y como modelo biológico (Howes, 1991; Nelson, 1994). Es originario del sur de Asia, zona geográfica con una gran variación estacional como consecuencia del monzón (McClure *et al.*, 2006; Lawrence, 2007). Su hábitat son aguas poco profundas como lagunas y campos cultivados de arroz con vegetación acuática y de sustrato arcilloso. Son euritermos, encontrándose poblaciones salvajes entre los 16,5 y 33°C (Spence *et al.*, 2006), mientras en condiciones de cultivo los mejores resultados para su crecimiento y reproducción se alcanzan con temperaturas de 25°C hasta 28°C (Nüsslein-Volhard and Dahm, 2002; Cortemeglia and Beitinger, 2005; Schaefer and Ryan, 2005).

Un rasgo característico de esta especie es la línea lateral incompleta que se extiende en la base de la aleta pélvica, junto con dos pares de barbas y cinco rayas horizontales alternas negras y amarillo plateado a cada lado del cuerpo y en la aleta anal y caudal. El

patrón de color del pez cebra esta formada por diferentes tipos de células pigmentarias o cromatóforos incluye: melanofóros oscuros, xantóforos amarillos o naranja, eritróforos rojos e iridóforos iridiscentes (McClure, 1999; Parichy and Johnson, 2001; Hirata *et al.*, 2003; Kelsh, 2004; Parichy, 2006). Los individuos de esta especie poseen pocas características que sugieran un dimorfismo sexual, el patrón de coloración de los machos es más amarillo oscuro o rojizo y son más alargados con una gran aleta anal. Las hembras presentan una coloración amarillo plateado, papila urogenital visible y el vientre más redondeado denotando la existencia de huevos cuando los hay (Schilling, 2002; von Krogh *et al.*, 2010).

D. rerio presenta ventajas frente a otros organismos utilizados en experimentación que lo sitúan como el sistema modelo más importante en el estudio de la genética y biología de los vertebrados; alta prolificidad y costo de manutención bajo, como vertebrado presenta una alta homología con mamíferos, su genoma ha sido secuenciado totalmente facilitando el desarrollo de líneas genéticas, se puede utilizar como modelo en ontogenia puesto que su rápida organogénesis facilita la observación y manipulación de los embriones (Dooley and Zoon, 2000; Amsterdam and Hopkins, 2006; Lieschke and Currie, 2007; Helmut, 2009; Schaaf *et al.*, 2009). Todas estas cualidades han generado un amplio campo de investigación con aplicación en diferentes especies; en peces actualmente constituye el más importante modelo utilizado en el estudio de la respuesta inmune (Pressley *et al.*, 2005; Nayak *et al.*, 2007; Sullivan and Kim, 2008). En biomedicina se ha demostrado su importancia como modelo para estudiar la evolución de un amplio número de enfermedades en humanos; hereditables congénitas (Driever *et al.*, 1996; Imamura and Kishi, 2005), inmunológicas (Traver *et al.*, 2004; Swaim *et al.*, 2006), endocrinas (Lam *et al.*, 2005; Biga and Goetz, 2006; van der Ven *et al.*, 2006), metabólicas (Donovan *et al.*, 2000; Fleming and Sly, 2001), psicológicas y de comportamiento (Kato *et al.*, 2004; Spence *et al.*, 2008); además se utiliza en ensayo de toxicología y envenenamiento (Amanuma *et al.*, 2000; Liu *et al.*, 2006), y para investigar el efecto de nuevas drogas terapéuticas (Rubinstein, 2003; Rubinstein, 2006).

Establecer un programa de selección involucra el uso de herramientas que permitan agrupar los individuos con características adecuada para alcanzar los objetivos de la selección. Una de esas herramientas es la morfometría utilizada con aplicaciones

zootécnicas en el caso de acuicultura para evaluar el crecimiento de los peces en las diferentes fases del ciclo de vida. Una gran ventaja del uso de las medidas corporales para obtener información sobre las características de interés de producción es la posibilidad de realizarlas en animales vivos, lo que permite su uso como criterio de selección (Rutten *et al.*, 2004). Sin embargo es conocido que existe una variación en comportamiento de los animales dentro y entre poblaciones que van más allá de categorías como sexo, edad y tamaño (Wilson *et al.*, 1994; Wilson and Godin, 2009). También se ha demostrado que un individuo muestra diferentes estrategias o “coping style” para enfrentar desafíos ambientales, Koolhaas *et al.*, (1999), define “coping style” como un conjunto coherente de respuestas de comportamiento y estrés fisiológico el cual es consistente sobre el tiempo y es característico de un cierto grupo de individuos. Estas estrategias son conocidas como temperamento o personalidades (Rèale *et al.*, 2007). En la literatura se han empleado varios términos para categorizar los extremos de la variación en personalidades tales como tímido versus atrevido, activo versus pasivo, proactivo versus reactivo y halcón versus paloma (Koolhaas *et al.*, 1999; Korte *et al.*, 2005).

Se ha sugerido que animales proactivos prosperan bien en ambientes estables, ricos en recursos y con altas densidades de población y que sus niveles basales de cortisol en plasma son bajos mientras que animales reactivos prosperan mejor a bajas densidades donde los recursos son escasos e impredecibles y sus niveles basales de cortisol en plasma son altos. (Sih *et al.*, 2004; Korte *et al.*, 2005).

Basado en estos antecedentes nosotros planteamos como objetivo principal de nuestra investigación seleccionar grupos de familias de pez cebra en primer lugar por rasgos morfológicos y posteriormente de personalidad y establecer las bases para un programa genético de selección de líneas de familias de pez cebra por su personalidad. En función del objetivo nos planteamos las siguientes hipótesis.

- ¿Existen una relación entre la morfología y el patrón de color que separe los individuos de una misma población en dos morfotipos?
- ¿Individuos con un mismo morfotipo presentan diferentes personalidades?
- ¿Existe una relación entre la morfología y la personalidad?

MATERIAL Y MÉTODOS

Animales y Alojamiento

Aproximadamente 500 peces cebras (*D. rerio*), salvajes, mayores 90 días, se compraron en la empresa Piscicultura Superior S.L., en Parets del Vallès, (Barcelona, España). Se estabularon en el acuario ubicado dentro de las instalaciones de la Facultad de Biociencias de la Universidad Autónoma de Barcelona. Se alojaron en tanques de vidrio de 40cmx20cmx30cm (largo x ancho x altura, cm= centímetros), con una densidad máxima de 30 individuos por tanque. El agua se suministró a través de un sistema de recirculación, la temperatura media fue de $27.06 \pm 0,74^{\circ}\text{C}$ (media \pm desviación estándar) y la concentración de oxígeno de $5.47 \pm 0,26$ mg/L (mg/L= miligramos x litro). Los registros de temperatura y concentración de oxígeno se realizaron diariamente por la mañana y la tarde (9:00 y 18:00 horas), con un oxímetro (Oxy Guard, Handy Polaris). También se registraron semanalmente las concentraciones de amonio, nitrito y nitrato, con un kits disponible para cada prueba (Test Kit, New Tech). El ciclo de luz/oscuridad fue 14:10 horas. La alimentación se realizó manualmente dos veces al día (9:00 y 18:00 horas), con alimento húmedo, y pienso seco, siguiendo las recomendaciones establecidas por el proveedor (ver www.zfbiolabs.com).

Selección Fenotípica

Para cada experimento se transfirió de los tanques de stock a un tanque de vidrio de 50x25x30cm grupos de peces (n= 50), dejando 10 minutos para su aclimatación. El tanque experimental de selección fue de 30x15x20cm, se cubrieron tres lados con papel blanco, la parte frontal se dejó descubierta para permitir la observación. Los peces a seleccionar (n=3), se transfirieron del tanque de aclimatación al tanque de selección, se fenotiparon visualmente, usando como criterio el patrón de rayas de color a cada lado del cuerpo y en la aleta caudal y anal descrito para organismos salvajes (McClure, 1999; Nüsslein-Volhard and Dahm, 2002; Parichy y Johnson, 2001; Parichy, 2006). Nosotros establecimos dos categorías. Los individuos cuyo patrón de coloración era similar al descrito para individuos salvajes se categorizaron como fenotipo homogéneo y aquellos individuos cuyo patrón de color presentaba deformidades en las rayas horizontales a cada lado del cuerpo o no estaban completamente definidas en la aleta caudal y anal se

categorizaban fenotipo heterogéneo, ambos grupos se colocaron separadamente en tanques de 50x25x30cm debidamente rotulado y se devolvieron a los tanques de stock.

Anestesia

Debido a que resultados de utilización de anestésicos comerciales en pruebas piloto realizadas con esta especie generaban problemas en la recuperación de los animales se decidió utilizar la técnica de reducción paulatina de la temperatura hasta alcanzar la inmovilidad (Pritchard, 2001).

Registro de Variables Morfométricas

De el total de los peces categorizados fenotípicamente como homogéneos (n= 41) y de una muestra elegida al azar de la categoría fenotípica heterogéneos (n=220), se sexaron, pesaron y se les registraron las variables morfométricas (ver Figura.1) (Pineda, *et al.*, 2004; Goetz, *et al.*, 2010). Aproximadamente 50 individuos por día se transferían desde los acuarios de stock a un acuario similar que el descrito para la selección fenotípica, cada individuo se inmovilizó utilizando el procedimiento de agua fría. Se colocó en una esponja cubierta con papel de aluminio con una ligera película de agua. El sexado, se realizó, siguiendo el patrón de las características fenotípicas descritas para ambos sexos, las hembras presentan el abdomen abultado, papila genital y una coloración amarilla en el borde de la aleta dorsal, pectoral y caudal, los machos por el contrario son fusiformes y presentan puntos naranja heterogéneamente distribuidos en diferentes zonas de la aleta caudal (Nüsslein-Volhard and Dahm, 2002; von Krogh *et al.*, 2010). El peso en gramos se registró utilizando una balanza tipo ADP 210/L. Se evaluaron 8 variables morfométricas, las medidas se realizaron con un pie de rey convencional (0,05mm). Se registraron las siguientes variables: longitud total (LT), longitud estándar (LE), longitud cefálica (LC), longitud preocular (LPO), longitud de la base de la aleta anal (LBAA), longitud de la aleta pectoral (LAP), diámetro de las orbitas oculares (DOO), distancia interorbitaria (DIO).(ver Tabla 1). Recabados los datos, los peces se colocaron separadamente de acuerdo al sexo en acuarios de 50x25x30cm, debidamente rotulados (macho y hembra), con temperatura similar a las condiciones de los tanques de stock para su recuperación.

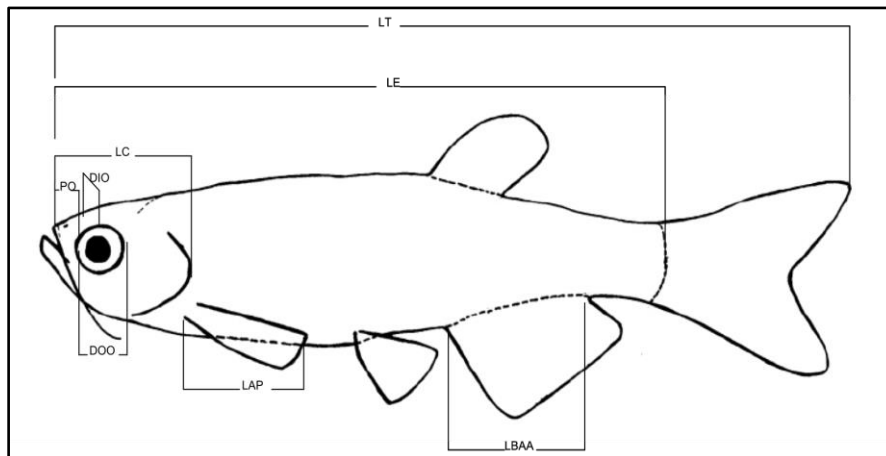


Figura 1. Medidas biométricas realizadas en cada ejemplar.

Tabla 1. Descripción de las variables morfométricas efectuadas en cada uno de los individuos.

Variable	Descripción
LT	Desde la punta del maxilar superior hasta la punta superior de la aleta caudal.
LE	Desde la punta del maxilar superior hasta el centro del pedúnculo caudal.
LC	Desde la punta del maxilar superior hasta la punta del opérculo.
LPO	Desde la punta del maxilar superior hasta el borde delantero de la orbita ocular.
LBAA	Desde la inserción anterior de la aleta anal hasta la inserción posterior de la aleta anal.
LAP	Desde el origen de la aleta pectoral hasta la punta de la aleta pectoral.
DOO	Desde el borde delantero de la orbita ocular hasta el borde posterior de la orbita ocular.
DIO	Desde el borde superior de la orbita ocular derecha hasta el borde superior de la orbita ocular izquierda.

Fuente: Barman, 1991.

Selección por Personalidades

Previo al inicio del experimento se preparó un acuario de 50x40x30cm, provisto de grava en el fondo y plantas de plástico para acuarios, la temperatura y la concentración de oxígeno se mantuvo similar a los de stock ($27.06 \pm 0,74^{\circ}\text{C}$; $5.47 \pm 0,26$ mg/L, respectivamente). Se utilizaron 251 animales en total, 41 de la categoría fenotípica homogéneos y una muestra al azar ($n=210$) de la categoría fenotípica heterogéneos, a los que se habían registrado las variables morfométricas. Se transfirieron diariamente grupos de peces ($n=65$) al acuario previamente acondicionado, dejando 24 horas para su habituación, suprimiendo la alimentación al menos 12 horas antes de iniciar la prueba. Se utilizó un acuario de 40x20x25cm para la prueba de selección de personalidades, el lado opuesto y los lados laterales al observador se cubrieron con papel blanco, además el lado de observación también se cubrió en 3/4 partes para evitar interferencias con el observador. El acuario de prueba se dividió en 1/3 de su longitud, con un separador negro de PVC, formando un área de “refugio” en uno de los extremos. El separador esta equipado con un agujero de 3 centímetros de diámetro en el centro, ubicado a 10 cm del fondo del tanque. Los ensayos se realizaron entre las 10:00 am. y las 2:00 pm. Las separaciones por personalidades se realizaron utilizando una modificación del protocolo descrito por Mackenzie *et al.*, (2009), para carpa común (*Cyprinus carpio*). El ensayo se dividió en dos fases de observación. Nueve peces se transfirieron del acuario de habituación y se colocaron en el área de refugio del acuario de prueba, cubriendo la parte superior del refugio con papel blanco, el agujero del separador se cubrió con una lámina negra corrediza de un material similar al separador PVC espumado, dejando los animales 10 minutos para su aclimatación. Terminado el tiempo de aclimatación la lámina que cubre el agujero del separador se retiró iniciando la primera fase de observación de 10 minutos. Los tres primeros peces que salieron, o si menos de tres peces salieron en 10 minutos se seleccionaron como proactivos registrando el tiempo de latencia de cada uno de ellos (ver Figura 2). El agujero de salida se cubrió con la lámina y los peces que emergieron se trasladaron a un acuario con las mismas condiciones descritas para los acuarios de stock, debidamente rotulado (proactivos), y se registró el tiempo real. La lámina que cubre el agujero se retiró iniciando un segundo periodo de observación de 15 minutos, los tres primeros peces que salieron o si menos de tres peces salieron en 15 minutos son seleccionados como

intermedios registrando las latencias reales de cada uno de ellos se cerró el agujero de salida del separador y se colocaron en un acuario previamente rotulado (intermedio) y los descartamos. Los restantes tres peces o todos los peces que quedaron en el refugio después de los 15 minutos son clasificados como reactivos y se colocaron en un acuario previamente rotulado (reactivos).

Registro de Variables Morfométricas (Proactivos y Reactivos)

Después que los peces han sido separados por personalidades, se eligió una muestra al azar de 20 individuos por cada personalidad (proactivos, reactivos), se pesaron, sexaron y se registraron las mismas variables morfométricas descritas para cada una de las categorías fenotípicas.

Análisis Estadístico

Con la información recolectada, se sometieron los datos a la prueba de Shapiro-Wilk's W test, para verificar si mostraban una distribución normal. Las diferencias en variables morfológicas entre las categorías fenotípicas de coloración y entre las personalidades (proactivos y reactivos) fueron probadas usando análisis de varianza de una vía (ANOVA) para datos con distribución normal y la prueba no paramétrica de Mann Whitney U Test para datos con distribución no normal. Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el programa STATISTICA versión 7.

RESULTADOS

Selección Fenotípica

Un total de 493 individuos fueron separados por su fenotipo en dos categorías de coloración: homogéneas y heterogénea. Los resultados encontrados muestran que una baja proporción de ellos (n=41) presentan patrones de coloración y de morfología similar al descrito para individuos salvajes, la categoría denominada homogéneos representa el 8,32% del total de la población. El resto de los individuos (n=452) representan la categoría con coloración heterogénea y equivalen a un 91,28% de la población estudiada.

Registro de Variables Morfométricas

La Tabla 2 muestra los resultados de ANOVA de una vía, en donde no existe diferencia significativa para la comparación del peso, longitud total y longitud estándar entre las dos fenotipos de color. Mann Whitney U Test (ver Tabla 3), muestra diferencias significativas

en el diámetro de las orbitas oculares entre los dos fenotipos de color. Longitud cefálica, longitud preocular, diámetro de las orbitas oculares, distancia interorbitaria, longitud de la base de la aleta anal y longitud de la aleta pectoral, no mostraron diferencias significativas entre Homogéneos y heterogéneos.

Tabla 2. Media, desviación estándar, error estándar y resultado de ANOVA de una vía para la comparación de peso, longitud total y longitud estándar para cada categoría fenotípica (Asterisco indica diferencias significativas entre ambas categorías fenotípicas a $p < 0,05$).

<i>Heterogéneos (n= 206)</i>				<i>Homogéneos (n=41)</i>			
<i>Variable</i>	<i>Media</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>	<i>Media</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>	<i>p</i>
Peso	0,928	0,222	0,015	0,958	0,221	0,035	0,440
LT	43,729	2,445	0,165	43,584	2,172	0,339	0,724
LE	35,613	2,122	0,143	35,212	2,145	0,335	0,263

Datos propios

Tabla 3. Media, desviación estándar, error estándar y resultado de Mann Whitney U Test para la comparación de longitud cefálica, longitud preocular, diámetro de las orbitas oculares, distancia interorbitaria, longitud de la base de la aleta anal y longitud de la aleta pectoral para cada categoría fenotípica (Asterisco indica diferencias significativas entre ambas categorías fenotípicas a $p < 0,05$).

<i>Heterogéneos (n= 206)</i>				<i>Homogéneos (n=41)</i>			
<i>Variable</i>	<i>Media</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>	<i>Media</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>	<i>p</i>
LC	7,554	0,645	0,043	7,678	0,554	0,086	0,450
LPO	1,746	0,286	0,019	1,752	0,204	0,032	0,942
DOO	2,076	0,159	0,011	2,129	0,096	0,015	0,022 *
DIO	4,268	0,373	0,025	4,350	0,394	0,062	0,255
LBAA	7,925	0,944	0,064	7,968	1,030	0,161	0,745
LAP	5,765	0,813	0,055	5,734	0,747	0,117	0,961

Datos propios

Selección por Personalidades

La tabla 4 muestra la distribución de proactivos, intermedios y reactivos de cada categoría fenotípica. La prueba utilizada para la selección de personalidades fue la toma de riesgo en grupos, registrando las latencias individuales de emergencia del refugio de grupos de 9 peces. La prueba revela un mayor porcentaje de individuos reactivos en ambas categorías fenotípicas > 50%, mientras que el porcentaje de individuos proactivos fue inferior al 30%. La Figura 2 muestra las latencias individuales de los 206 individuos sometidos a la prueba de toma de riesgo

Tabla 4. Distribución de personalidades por cada categoría fenotípica.

<i>Heterogéneos (n= 206)</i>			<i>Homogéneos (n=41)</i>		
<i>Personalidad</i>	<i>Nº de Individuos</i>	<i>%</i>	<i>Personalidad</i>	<i>Nº de Individuos</i>	<i>%</i>
Proactivos	54	26	Proactivos	8	20
Intermedios	48	23	Intermedios	3	7
Reactivos	104	51	Reactivos	30	73

Datos propios

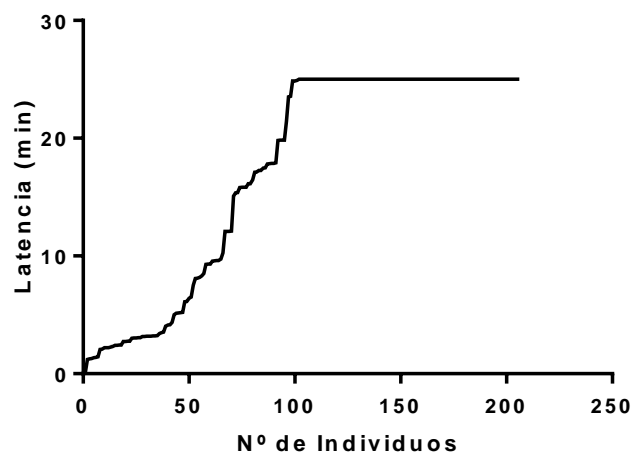


Figura 2. Latencias individuales (n=206) de los individuos sometidos a la prueba de

toma de riesgo.

Registro de Variables Morfométricas (Proactivos y Reactivos)

ANOVA de una vía (ver Tabla 5) muestra que existen diferencias significativas en el diámetro de las orbitas oculares siendo mayor en proactivos que en reactivos. La prueba estadística no muestra diferencias significativas en el peso, longitud total, longitud estándar y longitud de base de la aleta anal. Las siguientes variables morfométricas analizadas por la prueba de Mann Whitney U Test (ver Tabla 6) no muestra diferencias significativas entre proactivos y reactivos en longitud cefálica, longitud de aleta pectoral, longitud preocular y la distancia interorbitaria.

Tabla 5. Media, desviación estándar, error estándar y resultado de ANOVA de una vía para la comparación de peso, longitud total, longitud estándar, diámetro de las orbitas oculares y longitud de la base de la aleta anal para cada personalidad (Asterisco indica diferencias significativas entre proactivos y reactivos a $p < 0,05$).

Variable	Proactivos (n= 20)			Reactivos (n=20)			
	Media	SD	SE	Media	SD	SE	p
Peso	0,876	0,132	0,029	0,915	0,149	0,033	0,376
LT	43,458	1,583	0,354	44,070	2,083	0,466	0,302
LE	35,603	1,518	0,339	35,785	1,763	0,394	0,728
DOO	2,150	0,079	0,018	2,098	0,062	0,014	0,025 *
LBAA	7,928	1,005	0,225	7,803	0,898	0,201	0,681

Datos propios

Tabla 6. Media, desviación estándar, error estándar y resultado de Mann Whitney U Test para la comparación longitud cefálica, longitud preocular, distancia interorbitaria y longitud de la aleta pectoral para cada personalidad (Asterisco indica diferencias significativas entre proactivos y reactivos a $p < 0,05$).

Variable	Proactivos (n= 20)			Reactivos (n=20)			
	Media	SD	SE	Media	SD	SE	p
LC	8,008	0,424	0,095	7,995	0,400	0,090	0,827
LPO	1,555	0,074	0,017	1,565	0,063	0,014	0,596
DIO	4,280	0,226	0,050	4,295	0,212	0,047	0,747
LAP	6,030	0,756	0,169	5,823	0,691	0,155	0,278

Datos propios

Discusión

Un primer resultado de nuestro trabajo es que categorías fenotípicas de color (homogénea y heterogénea) presentan diferencias significativas en el diámetro de las orbitas oculares. Las variables morfométricas se han utilizado como una forma de diferenciar morfológicamente a los dos fenotipos dentro de una población de individuos criados bajo las mismas condiciones ambientales. Un segundo resultado es que proactivos y reactivos son significativamente diferentes en el diámetro de las orbitas oculares. Si embargo nuestro mayor aporte se fundamenta en la existencia de una relación entre la morfología y las personalidades expresadas por proactivos y reactivos criados bajo las mismas condiciones ambientales.

Incluir la selección fenotípica en nuestra investigación revela la existencia de patrones de diferenciación morfológicas entre las categorías fenotípicas de color facilitando la comprensión de los resultados al momento de hacer las prueba de “coping style” y separar ambos fenotipos en dos extremos proactivos y reactivos.

Nosotros empleamos la prueba de toma de riesgo donde los individuos exploran un ambiente no familiar y potencialmente peligroso. Trabajos de investigación han reportado que los resultados individuales de esta prueba predicen el comportamiento en otros contextos en lo que respecta a respuestas de comportamiento y estrés fisiológico (Mackenzie *et al.*, 2009). Desde este punto de vista esta prueba valida el término proactivo y reactivo “coping style” para definir las personalidades en nuestra investigación. El registro de las latencias de los individuos emergiendo de un refugio son comúnmente utilizadas para separar las personalidades (Brown and Braithwite, 2004; Lopez *et al.*, 2005; Wilson and McLaughlin, 2007). El registro de las latencias permite tener una distribución de los individuos en su disposición a tomar riesgo y se ha documentado que los extremos (proactivos y reactivos), son consistentes en sus respuestas de comportamientos y estrés fisiológico en otros contextos y a través del tiempo, además estos mismos estudios sugieren la posibilidad que los individuos agrupados en el centro de esos extremos presentan una mayor plasticidad (Koolhaas *et al.*, 1999), desde este punto de vista nosotros eliminamos los individuos intermedios en nuestro experimento.

Diversos estudios han revelado que variables morfológicas que contribuyen a

productividad individual, produciendo nueva biomasa vía crecimiento o reproducción condicionan la variación individual en comportamiento (Biro and Stamps, 2008). También se ha documentado que varias medidas morfológicas como peso, longitud y factor de condición están positivamente correlacionados con la toma de riesgo (Stamps, 2007; Biro and Stamps, 2008). Nuestros resultados de la prueba de toma de riesgo muestran que existe una tendencia en que los peces proactivos fueron mas pequeños y menos pesados que los reactivos estos resultados son similares a los reportados por Brown and Braithwaite (2004), encontrando que en 8 poblaciones de *Brachyraphis episcopi*, los peces pequeños emergieron antes del refugio (proactivos), que peces mas grandes y pesados (reactivos), sin embargo no hemos encontrado reportes que indiquen diferencias en diámetro de las orbitas oculares entre proactivos y reactivos en especies de peces. Nuestros resultados pueden ayudar a comprender las causas por las cuales un individuo adopta una determinada personalidad frente a la prueba de toma de riesgos, Bell (2005), sugiere que individuos proactivos son menos pesados porque son mas propensos a explorar y mas agresivos que reactivos y que este comportamiento es costoso requiriendo mas energía, desde esta perspectiva nuestros resultados pueden sugerir que el diámetro de las orbitas oculares es uno de los mecanismos que contribuyen a la personalidad en *D. rerio*, individuos con mayores diámetros de orbitas oculares pueden estar relacionados a mejor visión, permitiendo apreciar mejor un posible depredador, una fuente de alimento o un posible sitio de puesta.

En conclusión el resultado de nuestro trabajo muestra que las variables morfológicas pueden tener consecuencias en las personalidades adoptada por un individuo. Adicionalmente esta investigación establece las bases para un programa genético de reproducción de líneas de familias de pez cebra por rasgos de personalidades y poder determinar cómo líneas con diferentes personalidades enfrentan diferentes desafíos y poder tener una idea más clara de los mecanismos ambientales y genéticos que condicionan las estrategias de “coping style” adoptadas por *D. rerio*.

Bibliografía.

Amanuma K, Takeda H, Amanuma H, Aoki Y. (2000). Transgenic zebrafish for detecting mutations caused by compounds in aquatic environments. *Nature Biotechnology*, 18: 62-65.

- Amsterdam A, Hopkins N.** (2006). Mutagenesis strategies in zebrafish for identifying genes involved in development and disease. *Trends in Genetic*, 22: 473-478.
- Barman RP.** (1991). A taxonomic revision of the Indo-Burmese species of *Danio rerio*. *Record of the Zoological Survey of India Occasional Papers*, 137: 1-91.
- Bell AM.** (2005). Behavioral differences between individuals and two populations of stickleback (*Gasterosteus aculeatus*). *Journal of Evolutionary Biology*, 18: 464-473.
- Biga PR, Goetz FW.** (2006). Zebrafish and giant danio as models for muscle growth: determinate vs. Indeterminate growth as determined by morphometric analysis. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 291: 1327-1337.
- Biro PA, Samps JA.** (2008). Are animal personality traits linked to life-history productivity? *Trends in Ecology Evolution*, 23: 361-368.
- Brown C, Braithwaite VA.** (2004). Size matters: a test of boldness in eight populations of the poeciliid *Brachyraphis episcopi*. *Animals Behaviour*, 68: 1325-1329.
- Cortemeglia C, Beitinger TL.** (2005). Temperature tolerances of wild type and red transgenic zebra danios. *Transactions of the American Fisheries Society*, 134: 1431-1437.
- Diogo R, Doadrio I, Vandewalle P.** (2008). Teleostean Phylogeny Based on Osteological and Myological Characters. *International Journal of Morphology*, 26: 463-522.
- Donovan A, Brownlie A, Zhou Y, Shepard J, Pratt S, Moynihan J, Paw B, Drejer A, Barut B, Zapata A, Law T, Brugnara C, Lux S, Pinkus GS, Pinkus JL, Kingsley PD, Palis J, Fleming M, Andrews N, Zon L.** (2000). Positional cloning of zebrafish ferroportin 1 identifies a conserved vertebrate iron exporter. *Nature*, 403: 776-781.
- Dooley K, Zon LI.** (2000). Zebrafish: A model system for the study of human disease. *Current Opinion in Genetic & Development*, 10: 252-256.
- Driever W, Solnica-Krezel L, Schier AF, Neuhauss SCF, Malicki J, Stemple DL, Stainier DYR, Zwartkruis F, Abdelilah S, Rangini Z, Belak J, Boggs C.** (1996). A genetic screen for mutations affecting embryogenesis in zebrafish. *Development*, 123: 37-46.
- Fleming RE, Sly WS.** (2001). Ferroportin mutation in autosomal dominant hemochromatosis: loss of function, gain in understanding. *The Journal of Clinical Investigation*, 108: 521-522.
- Goetz F, Rosauer D, Sitar S, Goetz G, Simchick C, Roberts S, Johnson R, Murphy C, Bronte CR, MacKenzie S.** (2010). a genetic for the phenotypic differentiation between siscowet and lean lake trout (*Salvelinus namaycush*). *Molecular Ecology*, 19: 176-196.
- Helmut S.** (2009). Zebrafish (*Danio rerio*) as a model organism for investigating endocrine disruption. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C*, 149: 187-195.
- Hirata M, Nakamura K, Shibata Y, Kondo S.** (2003). Pigment cell organization in the hypodermis of zebrafish. *Developmental Dynamics*, 227: 497-503.
- Howes G J.** (1991). Systematics and biogeography: an overview. In: "Cyprinid fishes systematics, biology and exploitation, (Eds. I. J. Wilfield and J. S. Nelson), Chapman and Hall, London, pp 1-33.

- Imamura S, Kishi S.** (2005). Molecular cloning and functional characterization of zebrafish. The international Journal of Biochemistry & Cell Biology, 37: 1105-1116.
- Kato S, Nacagawa T, Ohkawa M, Muramoto K, Oyama O, Watanabe A, Nakashima H, Nemoto T, Sugitani K.** (2004). A computer image processing system for quantification of zebrafish behaviour. Journal of Neuroscience Methods, 134: 1-7.
- Kelsh RN.** (2004). Genetics and evolution of pigment patterns in fish. Pigment Cell & Melanoma Research, 17: 326-336.
- Koolhaas JM, Korte SM, De Boer SF, Van Der Vegt BJ, Van Reenen CG, Hopster H, De Jong IC, Ruis MAW, Blokhuis HJ.** (1999). Coping style in animals: current status in behavior and stress-physiology. Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 23: 925-935.
- Korte SM, Koolhaas JM, Wingfield JC, McEwen BS.** (2005). The Darwinian concept of stress: benefits of allostasis and cost of allostatic load and the trade-offs in health and disease. Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 29: 3-38.
- Lam SH, Sin YM, Gong Z, Lam TJ.** (2005). Effects of thyroid hormone on the development of immune system in zebrafish. General and Comparative Endocrinology, 142: 325-335.
- Lawrence C.** (2007). The husbandry of zebrafish (*Danio rerio*): A review. Aquaculture, 269: 1-20.
- Lieschke GJ, Currie PD.** 2007. Animal models of human disease: Zebrafish swim into view. Nature Reviews. Genetics, 8: 353-367.
- Liu FJ, Wang JS, Theodorakis CW.** (2006). Thyrotoxicity of sodium arsenate, sodium perchlorate, and their mixture in zebrafish *Danio rerio*. Environmental Science & Technology, 40: 3429-3436.
- Lopez P, Hawlena D, Polo V, Amo L, Martin J.** (2005). Sources of individual shy-bold variations in antipredator behaviour of male Iberian rock lizards. Animal Behaviour, 69: 1-9.
- Mackenzie S, Ribas L, Pilarczyk M, Capdevila DM, Kadri S, Huntingford FA.** (2009). Screening for coping style increases the power of gene expression studies. Plos One, accelerating the publication of peer-reviewed science, 4: 1-5.
- McClure M.** (1999). Development and Evolution of Melanophore Patterns in Fishes of the Genus *Danio* (Teleostei: Cyprinidae). Journal of Morphology, 241: 83-105.
- McClure MM, McIntyre PB, McCune AR.** (2006). Notes on the natural diet and habitat of eight danioin fishes, including the zebrafish *Danio rerio*. Journal of Fish Biology, 69: 553-570.
- Nayak AS, Lage CR, Kim CH.** (2007). Effects of low concentrations of arsenic on the innate immune system of the zebrafish (*Danio rerio*). Toxicological Science, 98: 118-124.
- Nelson, J S.** (1994). Fishes of de World. (Third edition). New York, John Wiley & Sons, 600 pp.
- Nelson, J S.** (2006). Fishes of de World. (Fourth edition). New York, John Wiley & Sons, 601 pp.
- Nüsslein-Volhard C, Dahm R.** (2002). Zebrafish: A Practical Approach. Oxford University Press, Oxford, 303 pp.
- Parichy DM.** (2006). Evolution of danio pigment pattern development. Heredity, 97: 200-210.

- Parichy DM, Johnson SL.** 2001. Zebrafish hybrids suggest genetic mechanisms for pigment pattern diversification in *Danio*. *Development Genes and Evolution*, 211: 319-328.
- Pickering AD.** (1993). Growth and stress in fish production. *Aquaculture*, 111: 51-63.
- Pineda Santis H, Restrepo LF, Olivera Ángel M.** (2004). Comparación morfométrica entre machos y hembras de cachama negra (*Colossoma macropomum*, Cuvier 1818) mantenidos en estanque. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 17: 24-29.
- Pressley M, Phelan III P, Witten E, Mellon M, Kim C.** (2005). Pathogenesis and inflammatory response to *Edwardsiella tarda* infection in the zebrafish. *Developmental and Comparative Immunology*, 29: 501-513.
- Pritchard VL.** (2001). Behaviour and Morphology of the zebrafish, *Danio rerio*. Doctoral Thesis, School of Biology, University of Leeds, Leeds, West Yorkshire, 145 pp.
- Rèale D, Reader SM, Sol D, McDougall PT, Dingemanse NJ.** (2007). Integrating animal temperament within ecology and evolution. *Biological Reviews*, 82: 291-318.
- Rubinstein AL.** (2003). Zebrafish from disease modeling to drug discovery. *Current Opinion in Drug Discovery Development*, 6: 218-223.
- Rubinstein AL.** (2006). Zebrafish assays for drug toxicity screening. *Expert Opinion on Drug Metabolism & Toxicology*, 2: 231-240.
- Rutten MJM, Bovenhuis H, Komen H.** (2004). Modeling fillet traits based on body measurements in three Nile tilapia strains (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture*, 231: 113-122.
- Schaaf MJM, Chatzopoulou A, Spaink HP.** (2009). The zebrafish as a model system for glucocorticoid receptor research. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*, 153: 75-82.
- Schaefer J, Ryan A.** (2005). Developmental plasticity in the thermal tolerance of zebrafish *Danio rerio*. *Journal of Fish Biology*, 69: 722-734.
- Schilling T.** (2002). The morphology of larval and adult zebrafish. In: *Zebrafish* (Eds. C. Nüsslein-Volhard & R. Dahm). Oxford University Press, Oxford, pp 59-94.
- Sih A, Bell AM, Johnson JC, Ziemba RE.** (2004). Behavioral syndromes: An integrative overview. *Quarterly Review of Biology*, 79: 241-277.
- Spence R, Runa KF, Reichard M, Huq KA, Wahab MA, Ahmed ZF, Smith C.** (2006). The distribution and habitat preferences of the zebrafish in Bangladesh. *Journal of Fish Biology*, 69: 1435-1448.
- Spence R, Gerlach G, Lawrence C, Smith C.** (2008). The behaviour and ecology of the zebrafish, *Danio rerio*. *Biological Reviews*, 83:13-34.
- Stamps JA.** (2007). Growth-mortality tradeoffs and 'personality traits' in animals. *Ecology Letters*, 10: 355-363.
- Sullivan C, Kim C.** (2008). Zebrafish as a model for infectious disease and immune function . *Fish & Shellfish Immunology*, 25: 341-350.

- Swaim LE, Connolly LE, Volkman HE, Humbert O, Born D, Ramakrishnan L.** (2006). *Mycobacterium marinum* infection of adult zebrafish causes caseating granulomatous tuberculosis and is moderated by adaptive immunity. *Infection and Immunity*, 74: 6108-6117.
- Traver D, Winzeler A, Stern H, Mayhall E, Langenau DM, Kutok JL, Look AT, Zon LI.** (2004). Effects of lethal irradiation in zebrafish and rescue by hematopoietic transplantation. *Blood*, 104: 1298-1305.
- van der Ven LT, van den Brandhof EJ, Vos JH, Power DM, Wester PW.** (2006). Effects of the antithyroid agent propylthiouracil in a partial life cycle assay with zebrafish. *Environmental Science & Technology*, 40: 74-81.
- von Krogh K, Sørensen C, Nilsson G, Øverli Ø.** (2010). Forebrain cell proliferation, behavior, and physiology of zebrafish, *Danio rerio*, kept in enriched or barren environments. *Physiology & Behavior*, 101: 32-39.
- Wilson DS, Clark AB, Coleman K, Dearstyne T.** (1994). Shyness and boldness in humans and other animals. *Trends in Ecology & Evolution*, 9: 442-446.
- Wilson ADM, McLaughlin, RL.** (2007). Behavioral syndromes in brook charr, *Salvelinus fontinalis*: prey-search in the field corresponds with space use in novel laboratory situations. *Animals Behaviour*, 74: 689-698.
- Wilson ADM, Godin J-GJ.** (2009). Boldness and behavioural syndromes in the bluegill sunfish, *Lepomis macrochirus*. *Behavioral Ecology*, 20: 231-237.