



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS  
DE HIDALGO**

Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas  
Facultad de Biología

**EFFECTO DE FACTORES AMBIENTALES EN EL CRECIMIENTO Y  
LA SOBREVIVENCIA DE *Skiffia lermae* (PISCES: GOODEIDAE)  
MEDIANTE EXPERIMENTACIÓN MULTIFACTORIAL**

**Tesis**

Que como requisito para obtener el grado de  
**Maestra en Ciencias  
en Ecología y Conservación**

Presenta:

**Sesángari Galván Quesada**

Director: **Dr. Fernando W. Bernal Brooks**  
Co-director: **Dra. Marielle Thomas**

Morelia, Michoacán. Agosto de 2009.



## AGRADECIMIENTOS

- ✚ A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y a la Facultad de Biología por mi formación y por permitir la realización del presente trabajo.
- ✚ A la M. C. Martina Medina Nava, por sus amables y valiosas observaciones y sugerencias en enriquecimiento de la presente investigación.
- ✚ A la M. C. Ma. del Rosario Ortega Murillo, por sus apreciables enseñanzas y apoyo, por su trato siempre cordial.
- ✚ Al Dr. Javier Ponce Saavedra por sus invaluable enseñanzas en el campo de la bioestadística, por su apoyo, paciencia y disposición durante mis estudios.
- ✚ Al Dr. Fernando Bernal Brooks por su apreciable asesoría, disposición y apoyo a lo largo de la realización del proyecto.
- ✚ En especial al Dr. Omar Domínguez Domínguez por sus valiosas aportaciones, consejos, disposición, interés y apoyo incondicional, tanto en labores de campo como de laboratorio y gabinete, si el cual no hubiera sido posible la realización del experimento.
- ✚ A los compañeros del Laboratorio de Acuicultura de la Facultad de Biología, César, Diego e Ivette por su apoyo tanto en laboratorio como en campo.
- ✚ Al M. C. Javier Robles por su apoyo en la obtención del agua utilizada en el experimento en el Jardín Botánico de la Facultad de Biología.
- ✚ A mi familia por su apoyo y ánimo constante brindados a lo largo de mis estudios.
- ✚ A Claudia por su ayuda en todo momento y en todas circunstancias, además de brindarme su amistad y apoyo incondicional. Gracias amiga.
- ✚ A Zulema y Edgar por su apoyo invaluable en campo así como en la reestructuración del proyecto.
- ✚ A Octavio, quien con su amoroso apoyo constante en toda circunstancia me alentó a seguir adelante aún en los momentos más difíciles.

## DEDICATORIA

- ✚ A mis padres: Dr. Daniel Galván Gutiérrez y Q.F.B. Esmeralda Sofía Quezada Sánchez por su constante apoyo, por alentarme siempre a seguir adelante, por sus enseñanzas, por su amor, por siempre creer en mí.
- ✚ A mis hermanos Yuritzkiri, Hirepan, Ileri y Daniela Patzimba por su compañía, cariño y apoyo en todo momento.
- ✚ A mis cariñosos y traviosos sobrinos: Julieta y Danielito, por llenar de alegría mi ser.
- ✚ A la familia Galván- Gutiérrez, mis abuelos: Sra. Ignacia Gutiérrez y Sr. Juan Galván Murguía por todo su cariño y enseñanzas; a mis queridos tíos: Jovita, Juan, Lorena, Cleme, Beto, Armando, Paty, José Luis, Teresa, July, Robert, Gloria, José.
- ✚ A la familia Quezada- Sánchez, mis abuelos: Prof. Bernardo Quezada y Sra. Asunción Sánchez por todo su amor, cuidados, apoyo, compañía y enseñanzas; con cariño a mis tíos: Lucía, Manuel, María Elena y Fernando, así como a todos mis tíos de Guadalajara.
- ✚ A todos mis queridos primos, que afortunadamente son muchos y que no los menciono a todos por falta de espacio, mas no de amor.
- ✚ A mis padrinos Sra. Rosa Nava y Dr. José Luis Palafox M. por su cariño y cuidados hacia toda mi familia.
- ✚ A mis amigos “los warner”, gracias por su amistad, compañía, apoyo y gratas vivencias: Brenda, Claudia, Benjamín, Josué y Marco. A mis compañeros de la primera generación de la maestría.
- ✚ A mis amigas Bere, Mariana, Ángeles e Ivania.
- ✚ A Octavio, por llenar de alegría mi vida con su aMor, gracias por todos los momentos felices que hemos compartido juntos.

## ÍNDICE

LISTA DE CUADROS .....	iii
LISTA DE FIGURAS .....	iv
RESUMEN.....	v
SUMMARY .....	vi
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES.....	4
La familia Goodeidae.....	4
<i>Skiffia lermæ</i> (Meek 1902).....	7
Estudios experimentales .....	10
3. HIPÓTESIS.....	13
4. OBJETIVOS.....	14
4.1 General.....	14
4.2 Particulares .....	14
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
Diseño experimental.....	15
Factores probados .....	16
□ Temperatura.....	16
□ Turbidez .....	17
□ Complejidad de hábitat.....	17
□ Sustrato.....	17
Combinaciones de tratamientos .....	17
Módulo experimental .....	19
Variables respuesta.....	19
Material biológico .....	20

Desarrollo del experimento.....	20
Análisis estadístico.....	21
6. RESULTADOS.....	22
Identificación de los efectos de los factores en las variables respuesta .....	23
Peso intermedio.....	27
Talla intermedia.....	28
Sobrevivencia intermedia.....	29
Peso final.....	30
Talla final.....	32
Sobrevivencia final.....	33
7. DISCUSIÓN.....	36
Efecto de la temperatura.....	36
Efecto de la turbidez.....	37
Efecto de la complejidad de hábitat.....	38
Efecto del sustrato.....	39
Efecto de interacción temperatura-turbidez.....	40
8. CONCLUSIONES.....	41
9. RECOMENDACIONES.....	42
10. LITERATURA CITADA.....	44

## LISTA DE CUADROS

No. Cuadro	Página
1. Los cuatro factores y sus dos niveles probados en el diseño experimental.....	16
2. Matriz de las combinaciones de tratamientos por acuario.....	18
3. Efectos probados: efectos principales y efectos de interacciones (alias).....	19
4. Valores iniciales de peso por acuario (Pi).....	22
5. Valores iniciales de talla (longitud estándar) por acuario (Ti) .....	22
6. Valores intermedios de peso por acuario (Pint).....	22
7. Valores intermedios de talla (longitud estándar) por acuario (Tint).....	22
8. Valores intermedios de sobrevivencia por acuario (Sint).....	22
9. Valores finales de peso por acuario (Pfin).....	23
10. Valores finales de talla (longitud estándar) por acuario (Tfin).....	23
11. Valores finales de sobrevivencia por acuario (Sfin).....	23
12. Análisis de varianza de los efectos sobre Pint.....	27
13. Análisis de varianza de los efectos sobre Tint .....	28
14. Análisis de varianza de los efectos sobre Sint .....	29
15. Análisis de varianza de los efectos sobre Pfin.....	31
16. Análisis de varianza de los efectos sobre Tfin.....	32
17. Análisis de varianza de los efectos sobre Sfin.....	33
18. Medias de los efectos principales de los factores sobre las variables respuesta.	35

## LISTA DE FIGURAS

No. figura	Página
1. Gráfica de Daniel para peso intermedio (Pint) de <i>S. lermæ</i> .....	24
2. Gráfica de Daniel para talla intermedia (Tint) de <i>S. lermæ</i> .....	24
3. Gráfica de Daniel para peso final (Pfin) de <i>S. lermæ</i> .....	25
4. Gráfica de Daniel para talla final (Tfin) de <i>S. lermæ</i> .....	25
5. Gráfica de Daniel para sobrevivencia intermedia ( Sint) de <i>S. lermæ</i> .....	26
6. Gráfica de Daniel para sobrevivencia final (Sfin) de <i>S. lermæ</i> .....	26
7. Comparación de medias de los efectos de la vegetación, la temperatura y la turbidez en Pint.....	27
8. Comparación de medias del efecto de la vegetación en Tint.....	29
9. Comparación de medias del efecto de la interacción de la temperatura y la turbidez en Sint.....	30
10. Comparación de medias de los efectos de la vegetación, la turbidez y la temperatura en Pfin.....	31
11. Comparación de medias de los efectos de la turbidez y la vegetación en Tfin.....	32
12. Comparación de medias de los efectos de la turbidez en Sfin.....	33
13. Comparación de medias de los efectos la temperatura y de la interacción entre la turbidez y la temperatura en Sfin.....	34

## RESUMEN

La Mesa Central de México cuenta con una riqueza de especies dulceacuícolas considerable. Como parte de su ictiofauna característica destaca la familia Goodeidae, cuyas poblaciones se encuentran en declive. La mayoría de las especies se encuentra en alguna condición de riesgo, principalmente debido a destrucción de hábitat, deterioro del ambiente e introducción de especies exóticas. Una especie representativa es *Skiffia lermae*, actualmente amenazada debido a problemas de contaminación orgánica y daños de su medio acuático. Considerada de alta prioridad de conservación, ha desaparecido de la mayoría de sus rangos históricos de distribución. De lo anterior resulta interesante identificar los agentes del ambiente determinantes en el desarrollo de la especie; por lo que, la presente investigación trata sobre el crecimiento y sobrevivencia de *Skiffia lermae* en condiciones de laboratorio bajo el efecto de cuatro factores ambientales en interacción simultánea: temperatura, turbidez, complejidad de hábitat (vegetación) y sustrato; con un diseño factorial fraccionario a dos niveles  $2^{4-1}$  que incluyó ocho unidades experimentales en sistema cerrado. Como resultado, tres factores (turbidez, vegetación y temperatura) muestran un efecto independiente significativo e indujeron un mejor crecimiento de las crías, tanto en talla como en peso. La combinación de temperatura y turbidez alcanzó un mayor porcentaje de sobrevivencia en los niveles de 24°C y ausencia de agua turbia. Finalmente, se demostró el efecto de los agentes ambientales citados en el desarrollo de la especie en confinamiento, en un intento por crear las condiciones propicias para su mantenimiento fuera del hábitat natural y sugerir medidas adecuadas, tanto para la conservación de la especie como para la restauración de los sitios naturales de distribución.



## SUMMARY

The Mesa Central of Mexico has a high richness of freshwater fish species. As part of its typical ichthyofauna, it emphasizes the family Goodeidae, whose populations are in decline. The majority of the species is in some status of risk, principally due to destruction of habitat, deterioration of the environment and introduction of exotic species. A representative species is *Skiffia lermae*, nowadays threatened due to problems of organic pollution and damages of its aquatic environment. Considered of high priority of conservation, it has disappeared of the majority of its historical ranges of distribution. Of the previous thing it turns out interesting to identify the determinant agents of the environment in the development of the species; for what, the present research studied the effect of four environmental factors in simultaneous interaction: the temperature, the turbidity, the habitat complexity (vegetation) and the substrate on the growing (weigh and length) and the survival of *Skiffia lermae* in laboratory conditions in a two-level fractional factorial design  $2^{4-1}$ . That included eight experimental units in closed system. As a result, the turbidity, the habitat complexity and the temperature) showed an independent significant effect and they induced a better growth of the fish, both in length and in weight. The combination of temperature and turbidity reached the major percentage of survival in the levels of 24°C and absence of turbid water. Finally, there was demonstrated the effect of the environmental agents mentioned in the development of the species in captivity, in an attempt for creating the propitious conditions for its maintenance out of the natural habitat and suggesting suitable measures, both for the conservation of the species and for the restoration of the natural places of its distribution.

## 1. INTRODUCCIÓN

México cuenta con una amplia variedad de ecosistemas acuáticos, particularmente en su parte central, donde se encuentran los lagos de mayor importancia del país (CONABIO 1998); que, en combinación con una compleja historia geológica y zoogeográfica, ha dado como resultado una alta riqueza de especies dulceacuícolas (De la Vega-Salazar 2003). Aproximadamente 500 especies de ellas conocidas en el país, incluyen 169 en algún nivel de riesgo y 25 se consideran extintas (Contreras-Balderas *et al.* 2003)

La riqueza íctica resulta de la heterogeneidad de los ambientes, más que de la extensión de las aguas interiores mexicanas (Domínguez-Domínguez 2002a). A pesar de su importancia, los sistemas acuáticos son los más impactados por las diferentes actividades humanas, en un proceso de deterioro continuo y acelerado (Domínguez-Domínguez *et al.* 2005a).

El área de distribución de las especies de peces se reduce a pequeñas áreas (CONABIO 1998). Por ejemplo, la Mesa Central, uno de los altiplanos tropicales más altos del mundo, posee aproximadamente 100 especies nativas, 70% de ellas endémicas (Guzmán-Arroyo 1994); mientras que la cuenca del sistema Lerma-Santiago, el área de captación más grande de la región, presenta un endemismo del 66% (Lyons *et al.* 1998). Las familias Atherinopsidae y Goodeidae predominan en el área de Jalisco y Michoacán (Medina *et al.* 2000).

Debido a que la importancia de los goodeidos radica en cuestiones ecológicas más que económicas, constituye un grupo ignorado en esfuerzos de conservación. La mayoría de las especies se encuentran en alguna de las categorías de riesgo, disminuyen su distribución histórica e incluso algunas se reportan oficialmente extintas, tal es el caso de *Characodon garmani* y *Skiffia francesae* (Domínguez-Domínguez *et al.* 2005a). Ante este panorama destructivo resulta imperativo

proponer medidas de conservación y de restauración de dichos sistemas y de las poblaciones que ahí habitan (Domínguez-Domínguez *et al.* 2008).

La preocupación creciente en el país sobre el mantenimiento de la biodiversidad de las aguas epicontinentales y los esfuerzos por reducir los riesgos que enfrentan muchas especies están basados en evidencias sobre la pérdida de hábitats (degradación, cambios en la calidad y fragmentación), de especies, así como en la sobreexplotación e introducción de especies exóticas (Arriaga-Cabrera *et al.* 1998). Asimismo, existe una necesidad de conocimientos sobre estas especies que sirva de medio para protegerlas legalmente (Contreras-Balderas 2005); por lo que los proyectos tendientes a proteger de la extinción a esta familia son acciones que deben ser puestas en marcha de inmediato (Domínguez-Domínguez 2002a, Contreras-Balderas *et al.* 2003). Además, resulta importante mantener presente que para la mayoría de las especies en riesgo, más de un factor es el responsable de su declive en el medio natural (De la Vega-Salazar 2003).

Entre los goodeidos, *Skiffia lermae* representa una especie amenazada (NOM-059-SEMARNAT 2001) que enfrenta los problemas ya mencionados de contaminación orgánica y daños del medio acuático en donde habita. De alta prioridad de conservación, ha desaparecido de la mayoría de los sitios de su rango histórico de distribución (Domínguez-Domínguez *et al.* 2005b). De acuerdo a De la Vega-Salazar *et al.* (2003) la disminución de sus poblaciones responde al deterioro de su hábitat.

La situación ambiental ha motivado investigaciones con diferentes enfoques; las cuales abordan esencialmente la biología de las especies, además de estudios biogeográficos y de evolución (Domínguez-Domínguez *et al.* 2005a), y estudios limnológicos de los ecosistemas. De ahí que en los esfuerzos por conservar la especie y el hábitat surja la necesidad de implementar una contraparte experimental que tome en cuenta varios factores de manera simultánea.

El análisis multifactorial puede constituir una herramienta de utilidad en la conservación o manejo de algunas poblaciones al identificar sus requerimientos ambientales (Barbeau *et al.* 2004). Éste tipo de enfoque ha sido recientemente aplicado en peces con resultados exitosos (Wang *et al.* 2006, Gardeur *et al.* 2007, Teletchea *et al.* 2009) y en particular los análisis multifactoriales fraccionarios permiten clasificar los factores y/o las interacciones entre ellos que inducen a un mejor desarrollo de los organismos; para después ser aplicados en beneficio de la especie de la que se trate.

La presente investigación se llevó a cabo bajo este enfoque con el objeto de explicar el efecto, independiente o en interacción, de cuatro factores ambientales en el crecimiento y la sobrevivencia de crías de *Skiffia lermae*. Es el primer estudio multifactorial que analiza y muestra un efecto de la temperatura, la turbidez y la vegetación, además de la combinación de los dos primeros, en el desarrollo de una especie de goodeido.

La identificación de agentes ambientales que determinan el desarrollo de la especie, intenta ampliar la base de conocimiento para la planeación de acciones de manejo y conservación de la especie.

## 2. ANTECEDENTES

Las aguas epicontinentales de México incluyen una rica variedad de condiciones que permiten el mantenimiento de la biodiversidad tanto a nivel local como global. Las diferencias físicas y químicas en el ambiente acuático contribuyen a la diversidad de los recursos biológicos en ellos presentes (Arriaga *et al.* 1998). Sin embargo, estos ecosistemas adolecen de sobreexplotación por efecto de las actividades antropogénicas, que afecta a la ictiofauna, en tanto sus poblaciones se van reduciendo a fragmentos aislados (De la Vega-Salazar 2003).

De las 44 especies ícticas nativas reportadas para la cuenca del Río Lerma, tres se presumen extintas (*Algansea barbata*, *Chirostoma charari* y *Chirostoma compressum*), 14 han experimentado contracciones en su rango a menos de la mitad de su distribución original; otras nueve, aunque siguen presentes en los hábitats donde inicialmente fueron reportados muestran declives en abundancias. En general, las especies endémicas no han mostrado incrementos ni expansiones en sus rangos de distribución en el último siglo, por el contrario existen 11 especies exóticas que se han introducido de manera exitosa en la cuenca (Lyons *et al.* 1998).

Los ecosistemas de la Mesa Central de México, ejemplo de diversidad biológica, contienen una colección única de peces dulceacuícolas, entre ellas, 45 especies son vivíparas y sus estudios, han marcado nuevas pautas en investigaciones sobre reproducción y evolución (Guzmán-Arroyo 1994).

### **La familia Goodeidae**

Se clasifica dentro del orden Cyprinodontiformes y está conformada por dos subfamilias, la Empetrichthyinae, que incluye tres especies vivientes y una de extinción reciente, en un área restringida del estado de Nevada, en el suroeste de Estados Unidos y la Goodeinae, originaria de la Mesa Central de México (Parenti

1981), representada por un grupo de especies endémicas, que habitan en las tierras altas del centro del país, así como también en las cuencas costeras adyacentes (Gesundheit y Macías 2005), con 17 géneros y alrededor de 40 especies (Domínguez-Domínguez *et al.* 2007).

A éste grupo pertenece el fósil más antiguo de pez conocido para México (*Tapatia occidentalis*) datado del Mioceno hace más de 25 millones de años (De la Vega-Salazar 2006).

### **Biología reproductiva**

Como peces vivíparos, los goodeidos poseen una forma particular de fecundación. Sus especies poseen singulares estrategias reproductivas, con cortejos más elaborados y vistosos que en otros peces vivíparos. Los machos presentan modificaciones en la aleta anal a manera de lóbulo copulatorio formado por los primeros cinco a siete radios anales recortados dando lugar a un pequeño abultamiento (Domínguez 1999), modificación morfológica que juega un papel crucial en la transferencia de los gametos sexuales y que permite una fertilización interna exitosa.

Otra característica distintiva de este grupo, radica en su forma de nutrición embrionaria, que consiste en una estructura especializada para la obtención de nutrientes directamente del fluido ovárico, conocida como trofotenia (De La Vega-Salazar 2006).

### **Distribución**

Éste conjunto de organismos, conocidos como goodeidos, tiene su centro de distribución en la cuenca del Río Lerma (Parenti 1981, Webb *et al.* 2004, Doadrio y

Domínguez-Domínguez 2004), una de las más contaminadas del país (De la Vega-Salazar 2003). Cuenta con una diversidad íctica determinada por la variedad de ambientes donde estas especies han evolucionado, gracias a la rica historia geológica de nuestro país (De la Vega-Salazar 2006).

Se torna interesante desde el punto de vista biogeográfico porque su distribución muestra relación con rasgos geológico-geográficos de la región que habita, además de ser un elemento endémico y distintivo de la ictiofauna de la parte central de México (Gesundheit y Macías 2005).

Los goodeidos están presentes en 13 estados de la República Mexicana con 41 especies registradas, de las cuales 18 se encuentran dentro de los límites de Michoacán, es decir, 43% del total (Domínguez-Domínguez *et al.* 2005a), lo que indica la situación privilegiada de la entidad, que a su vez implica una responsabilidad ante su manejo y conservación.

De acuerdo a un estudio sobre el estado de conservación de los goodeidos en la Mesa Central de México, De la Vega-Salazar (2006), determinó que entre los principales factores de riesgo para las poblaciones de este grupo se encuentra la pérdida de hábitat, la introducción de especies exóticas, aunados al ámbito geográfico restringido y la especialización ecológica de las especies. Sus resultados sugieren que las localidades muestreadas en donde no se registró ninguna especie de goodeido presentan altos niveles de degradación ambiental.

Para estos mismos organismos, se identificó una estrecha relación entre patrones de erosión genética e índices de diversidad genética con el impacto de actividades humanas, que muestran la necesidad urgente de dar atención especial a la aplicación de acciones de manejo y conservación que permitan incrementar la variabilidad genética, recuperar tamaños poblacionales y evitar la extinción de los organismos (Domínguez-Domínguez *et al.* 2007).

Estudios del medio acuático del lago de Pátzcuaro, localidad que cuenta con representantes goodeidos, lo caracterizan como ambientalmente heterogéneo (Alcocer y Bernal-Brooks 2002 y Bernal-Brooks 2002) mediante estudios limnológicos. La ictiofauna cambió históricamente, al parecer en función de la disminución del nivel y la contracción del vaso lacustre que a su vez ocasiona condiciones cada vez más turbias en el agua.

Los factores del ambiente que favorecen la permanencia de unas especies en detrimento de otras que ocupan el mismo espacio, propiciaron una recomposición de la ictiofauna donde incluso las especies nativas de mayor importancia comercial resultaron afectadas.

Así, estos últimos trabajos basados en observaciones y datos de campo, no cuentan con una contraparte experimental que permita modelar las diferentes condiciones de los cuerpos de agua a escala de laboratorio y evaluar las respuestas ecofisiológicas de las especies.

### ***Skiffia lermae* (Meek 1902)**

Representante de la subfamilia Goodeinae, se encuentra como amenazada en la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT 2001) por su distribución restringida y es considerada sensible a la degradación ambiental (Lyons *et al.* 1995, Domínguez-Domínguez *et al.* 2005a).

Es un organismo de cuerpo alargado, comprimido lateralmente de coloración olivácea y vientre blanquecino, en algunos machos el pedúnculo y la aleta caudal es de color naranja y en etapa de cortejo desarrollan una coloración negra en la cabeza a manera de máscara. Algunas hembras pueden presentar puntos negros dispersos



en el cuerpo. El tamaño promedio de los machos es de 5 cm y de las hembras de 5.5 cm (Domínguez 1999).

En el medio natural las hembras liberan de 1 a 17 crías (Salazar 2007) y en cautiverio entre 7 y 30 (Domínguez 1999). Éstas nacen de 1 cm de longitud y después de 2 meses alcanzan 2.5 cm. Se alimenta de cladóceros, copépodos, algas filamentosas e incrustadas, además en cautiverio tiene buena aceptación al alimento balanceado en hojuela (Domínguez 1999, Domínguez-Domínguez 2002b).

Se encuentra distribuida en la Cuenca del Lerma- Chapala, en la vertiente del Pacífico en el Medio Lerma: en las cuencas del lago de Cuitzeo, Pátzcuaro y Zirahuén y en la subcuenca del Río Angulo. Su localidad tipo es el lago de Pátzcuaro en Michoacán (Domínguez 1999, Domínguez-Domínguez 2004).

A *Skiffia lermae* se le ha encontrado en zonas de aguas tranquilas, más o menos profundas, con vegetación sumergida, arraigada y flotante, con fondos cenagosos, a temperaturas de 16 a 18°C, oxígeno disuelto de 2.23 a 8.6 ppm, transparencia Secchi de 7.8 a 200cm, con pH de 7 a 8, alcalinidad de 30.4 a 110.0 mg/L de CaCO<sub>3</sub> (Medina 1997).

Para La Mintzita, Rubio (2003) registró a la especie *S. lermae* en rangos de temperatura de 18 a 21°C, de 4.8-9.3 mg/L de oxígeno disuelto, alcalinidad de 68-92 mg/L, pH de 6-7 y transparencia del agua de 60-190 cm.

Por su parte, Rodríguez (2007) encontró a la especie tanto en sistemas lénticos como lóticos, con aguas claras, de pH neutro y temperaturas entre 19.9–20.7 °C, con una concentración de oxígeno disuelto entre 5–6.8 mg/ L, conductividad entre 151.2–158.8 µS/ cm y sólidos totales de 36–60 mg/ L, en fondos pedregosos/lodosos, con vegetación compuesta por lirio acuático (*Eichornia crassipes*), tule (*Typha*

*dominguensis*), nenúfar (*Nymphaea mexicana*), pastos sumergidos (*Potamogeton pectinatus*) y cola de zorro (*Ceratophyllum demersum*).

Salazar (2007) caracterizó el hábitat reproductivo de la especie en la localidad de La Mintzita, Municipio de Morelia, Michoacán. Está constituido por vegetación acuática, principalmente *Elodea sp.*, con fondo rocoso-pedregoso y entrada de aguas de infiltración subterránea. Considera que en condiciones controladas de cautiverio la especie presente mejor potencial reproductivo, en condiciones favorables durante todo el año.

La distribución de la especie se ha reducido de manera significativa. De la Vega-Salazar *et al.* (2003) reportan que sus poblaciones han desaparecido en cuatro de siete sitios históricos donde realizaron sus muestreos. Rodríguez (2007), durante su estudio en la cuenca del lago de Cuitzeo no la reporta en los sitios en los que históricamente había estado presente desde 1985 y en donde actualmente se distribuye fueron los sitios que se encontraron en mejor estado de conservación. Éstos cambios en la distribución de las especies de peces a través del tiempo, los atribuye a la modificación ambiental de las localidades, como resultado del crecimiento urbano y/o industrial, de las actividades agrícolas, la deforestación y la sobreexplotación de mantos acuíferos.

En cuanto a la situación actual del hábitat con respecto a las necesidades de la especie, el alto grado de deterioro ecológico de la cuenca del río Lerma ha provocado la fragmentación del medio natural y ésta a su vez que la distribución vaya disminuyendo (Díaz-Pardo 2002).

A pesar de que entre las especies en riesgo del mismo género, *S. lermae* es la de más amplia distribución, el alto grado de reducción distributiva mostrada en las tres últimas décadas la convierte en un importante objeto de estudio, con fines de conocer el estado de salud de sus poblaciones y aumentar el acervo sobre su ciclo biológico. Dado que es una especie con alto potencial biótico, por su tipo de

alimentación (omnívoro) y alta tasa de fecundidad, es lógico que los principales factores de riesgo sean antropogénicos (Díaz-Pardo 2002).

### **Estudios experimentales**

Se han hecho pruebas en relación a la reproducción de la especie (Molina-Domínguez en proceso) con diferencias significativas de mayores pesos y tallas de crías nacidas a 24°C comparados con los obtenidos a 20°C. El autor probó tres diferentes fotoperiodos y encontró que los organismos pesaron y midieron significativamente más en sistemas de 18 horas luz/6 horas oscuridad. Además la proporción sexual de un macho por tres hembras registró significativamente mayor producción de crías (206 individuos).

El uso de análisis multifactoriales fraccionarios es relativamente reciente en las ciencias biológicas. En el caso del presente estudio, su aplicación corresponde a la conservación de *S. lermae*. Su aplicación en varias especies de peces ha resultado valiosa en la identificación de los factores determinantes en su desarrollo, sobre todo con fines de producción acuícola. A continuación algunos ejemplos:

Waagbo *et al.* (2003) probaron el efecto de siete dietas diferentes con dos modalidades (que difirieron en su composición de pro-oxidantes, anti-oxidantes y niveles de lípidos) en el desarrollo de cataratas oculares en crías de salmón (*Salmo salar*). Los autores concluyeron que las dietas con altos niveles de vitamina C y astaxantina redujeron la frecuencia de cataratas en los peces, mientras que niveles altos de lípidos en combinación con hierro y manganeso se relacionan con aumentos de incidencia de cataratas.

Wang *et al.* (2006) evaluaron el efecto de ocho factores ambientales a dos niveles, en la inducción del ciclo reproductivo de la perca de río (*Perca fluviatilis*). Una experimentación multifactorial fraccionaria permitió detectar principalmente una interacción de dos factores: una disminución de temperatura y de fotoperiodo

desencadenaron el ciclo reproductivo de la especie. También, el factor estrés por manipulación en los peces resultó el mayor regulador de la gametogénesis de los organismos. Este estudio proporcionó un primer modelo cuantitativo de los efectos de los factores y sus interacciones que actúan en la inducción de la reproducción.

En otra investigación con la misma especie y bajo el mismo diseño experimental, Mairesse *et al.* (2007) probaron cuatro factores a dos niveles. En este caso la domesticación y la composición de dieta en interacción resultó la combinación con mayor influencia en las variables tecnológicas y nutricionales de la perca de río, especie de reciente domesticación (15 años aproximadamente). Como una especie potencial para la diversificación de la acuicultura continental en el mercado europeo (Acerete *et al.* 2004), el enfoque multifactorial fraccionario estimuló el proceso de manejo de manera considerable en un corto plazo, comparado con otras especies de interés en la acuicultura de producción.

Una continuación del estudio de *Perca fluviatilis* con el mismo enfoque experimental (Gardeur *et al.* 2007) probó el efecto de 12 factores ambientales y nutricionales en el crecimiento y la calidad del filete de dicha especie para consumo humano. Los resultados demostraron una interacción factorial sobre el desarrollo del animal, que permitió reducir la heterogeneidad de peso y de calidad de la carne. El efecto de un factor dado, aun ciertos de ellos importantes como la dieta, la temperatura o la biomasa, dependió de los niveles de los demás factores probados en el experimento, de manera interactiva. Por lo que aconsejan que el uso de enfoques experimentales multifactoriales en otras especies animales de interés, como en el caso de peces con necesidad de mejorar su cultivo.

Más recientemente, *Sander lucioperca*, otro integrante de la familia Percidae, se perfila como una especie prometedora en la diversificación de la acuicultura continental europea, debido a su interés económico en aumento. Entre los factores probados en estos peces (Teletchea *et al.* 2009), la grasa inicial acumulada mostró

un efecto significativo, sola o en combinación con el fotoperiodo, la tasa de alimentación y el tipo de dieta, en la calidad del ciclo reproductivo de los machos. Los autores recomiendan utilizar machos con una alta acumulación de grasa inicial antes de iniciar el proceso reproductivo de la especie.

### 3. HIPÓTESIS

La combinación y/o el efecto independiente de factores ambientales primarios como la temperatura, la turbidez, la complejidad de hábitat y el sustrato, afectan el crecimiento y la sobrevivencia de *Skiffia lermæ*.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 General

Definir el efecto de cuatro factores ambientales en el crecimiento y la sobrevivencia de crías de *Skiffia lermæ*, mediante experimentación multifactorial fraccionaria, a fin de precisar las condiciones más propicias para su conservación en cautiverio.

### 4.2 Particulares

- Diseñar y poner en marcha un sistema experimental en circuito cerrado de recirculación de agua acorde a un plan multifactorial fraccionario.
- Evaluar el efecto de cuatro factores ambientales en interacción simultánea sobre el desarrollo de crías de la especie en estudio.
- Identificar los factores o la combinación de los cuatro factores ambientales, que permitan una mejor sobrevivencia y crecimiento de los organismos.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### Diseño experimental

El comportamiento y desarrollo de los peces dependen de características genéticas propias y de la influencia de factores ambientales. Éstos, en conjunto con los organismos definen un sistema que opera una transformación entrada-salida. Las variaciones de los factores de entrada o factores de influencia son los responsables de modificaciones del equilibrio del sistema y de su estado (Gardeur 2003).

A fin de optimizar la eficacia del sistema acuático y de poder alcanzar los valores clave fijados por las variables de salida (crecimiento y sobrevivencia), tomar en cuenta las interacciones entre factores resulta indispensable, así como recurrir a un modelaje sistémico (Gardeur 2003).

Para atender los objetivos de este estudio y tomando en cuenta que en el medio natural los componentes del ambiente actúan de manera conjunta sobre los organismos, la metodología consiste en un plan de experiencias factoriales fraccionarias. Tal enfoque de investigación y de jerarquización de las variables de influencia así como de sus interacciones, permite probar simultáneamente la mayor cantidad de factores necesarios con varias modalidades o niveles cada uno.

Este tipo de enfoques experimentales es relativamente nuevo en las ciencias biológicas, con una aplicación reciente en el campo de la acuicultura (Tortensen *et al.* 2001, Waagbo *et al.* 2003, Thomas *et al.* 2003, Hamre *et al.* 2004, Wang *et al.* 2006, Mairesse *et al.* 2007, Gardeur *et al.* 2007, Teletchea *et al.* 2009).



## Factores probados

De acuerdo a los antecedentes sobre la especie y su hábitat natural se identificaron cuatro factores ambientales con una posible influencia en el desarrollo de la especie, cada uno con dos niveles (o modalidades) a probar (cuadro 1).

Cuadro 1. Los cuatro factores y sus dos niveles probados en el diseño experimental

Factor	Nivel bajo (-)	Nivel alto (+)
Temperatura ( °C)	20	24
Turbidez (presencia de agua turbia)	sin	con
Complejidad de hábitat (presencia de vegetación artificial)	sin	con
Sustrato (presencia de grava)	sin	con

La experimentación con cuatro factores y dos niveles ( $2^4$ ) en un diseño factorial completo, requiere 16 unidades experimentales para probar todas las combinaciones de tratamientos posibles. Ahora bien, al considerar una fracción 1/2, es decir  $2^{4-1}$ , mediante un enfoque multifactorial fraccionario, la prueba de los mismos cuatro factores con dos modalidades cada uno, implica únicamente ocho combinaciones de tratamientos, a probar en igual número de unidades experimentales (acuarios, en el presente caso). Este arreglo permite estimar el efecto principal de cada uno de los factores individualmente, así como las interacciones entre dos factores con un nivel de resolución IV (Montgomery 2002). En consecuencia, el método fraccionario resulta particularmente económico con un número de factores a probar considerable, como el caso de un sistema acuático. Con este tipo de diseño experimental es posible modelar y optimizar el sistema estudiado (Wang *et al.* 2006).

A continuación se enlistan los factores probados en la presente investigación y la manera en que se mantuvieron sus respectivos niveles:

- **Temperatura**

Nivel bajo:  $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$  mediante enfriamiento por ventilación desde el exterior de los

acuarios,

Nivel alto:  $24 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  a base de un calentador de agua, controlados con termostato.

- **Turbidez**

Nivel bajo: 3UNT, agua filtrada del Laboratorio de Acuática de la Facultad de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo (UMNSH),

Nivel alto:  $80 \pm 10$  UNT, agua turbia de un estanque artificial que se encuentra en el Jardín Botánico de la Facultad de Biología, UMSNH, mismo que recibe agua de la presa de Cointzio.

- **Complejidad de hábitat**

Nivel bajo: sin vegetación artificial,

Nivel alto: presencia de vegetación artificial en los acuarios.

- **Sustrato**

Nivel bajo: sin grava

Nivel alto: presencia de grava para acuario en el fondo.

### **Combinaciones de tratamientos**

Cada unidad experimental incluye una combinación de los cuatro factores y modalidades (cuadro 2) de acuerdo con el diseño obtenido a través del programa “Planor” versión 2.2 (Kobilinsky 2000), especializado en la creación de planes de experimentos multifactoriales fraccionarios.

Cuadro 2. Matriz de las combinaciones de tratamientos por acuario

No. acuario	Temperatura (°C) (temp)	Turbidez (turb)	Complejidad de hábitat (veg)	Sustrato (sust)
1	24	Sin	Con	Sin
2	24	Sin	Sin	Con
3	20	Con	Sin	Con
4	20	Sin	Sin	Sin
5	20	Sin	Con	Con
6	24	Con	Sin	Sin
7	20	Con	Con	Sin
8	24	Con	Con	Con

En la primera columna contiene el número de acuario (unidad experimental) ya aleatorizado por el programa; y cada renglón muestra las modalidades de cada uno de los cuatro factores para cada acuario. Con base en lo anterior procede la puesta en marcha del módulo experimental.

Es este diseño factorial fraccionario de resolución IV, los efectos principales son confundidos con las interacciones de tres factores, consideradas como no significativas, por lo tanto los efectos principales se consideran puros. De tal forma, ocho unidades experimentales, permiten estimar siete contrastes: cuatro corresponden a los efectos principales de los factores y tres a las interacciones de segundo orden (cuadro 3). La media de cada efecto principal se calcula en cuatro unidades experimentales, de manera similar a un análisis unifactorial con cuatro repeticiones (Kobilinsky 1994 y 1997).

Cuadro 3. Efectos probados: efectos principales y efectos de interacciones (alias)

<b>Efectos principales</b>	Temperatura Turbidez Vegetación Sustrato
<b>Efectos de interacciones entre dos factores</b>	Temperatura*Turbidez+Vegetación*Sustrato Temperatura*Vegetación+Turbidez*Sustrato Temperatura*Sustrato+Turbidez*Vegetación

### Módulo experimental

El módulo experimental para llevar a cabo las pruebas de los cuatro factores definidos, consta de ocho unidades experimentales, acuarios de vidrio de 50 litros de capacidad. Cada uno con un sistema de filtración por compartimentos autónomo, que consta de tres etapas: un filtro mecánico para la retención de partículas en suspensión a través de una malla plástica; un filtro biológico para la eliminación biológica de contaminantes por medio de grava y bioesferas, al igual que carbón activado para la eliminación de sustancias tóxicas por intercambio catiónico; y por último un filtro de rayos ultravioleta. La finalidad del sistema de autodepuración radica en mantener la calidad del agua en circuito cerrado con recirculación de agua dentro de cada acuario, y en particular los factores a probar.

El módulo se instaló en el Área de Acuicultura del Laboratorio de Biología Acuática de la Facultad de Biología, UMSNH.

### Variabes respuesta

Para medir el crecimiento: i) peso (fresco en gramos) y ii) talla (longitud estándar en milímetros), y iii) sobrevivencia (en porcentaje).

## **Material biológico**

*Skiffia lermae* en etapa de cría (de dos semanas de edad). Durante los meses de febrero y marzo del 2009 se realizaron colectas de hembras grávidas en La Mintzita, municipio de Morelia, Michoacán, una de las localidades en donde actualmente habita la especie (Domínguez-Domínguez *et al.* 2005b). La captura de ejemplares procedió mediante redes de arrastre y los organismos vivos se depositaron en bolsas de polietileno. El transporte de especímenes al laboratorio en hieleras permitió un ambiente de aislamiento sin fluctuaciones de temperatura.

En el laboratorio, las hembras fueron mantenidas en acuarios hasta que parieron a las crías requeridas para la experimentación.

## **Desarrollo del experimento**

Después de un periodo de estabilización del sistema experimental y de aclimatación de los organismos, las crías se pesaron y se fotografiaron para su posterior medición (longitud estándar) con el programa “Imagetool”; con lo cual se registraron los valores iniciales de peso y talla. En seguida, 30 organismos se distribuyeron de manera aleatoria en cada acuario.

Los peces fueron alimentados manualmente tres veces al día con alimento balanceado en hojuelas (marca Aquarian), en la misma cantidad para todos los acuarios.

Las pruebas tuvieron una duración de ocho semanas hasta que alcanzaron la fase juvenil. En el proceso se mantuvieron las condiciones necesarias para que cada factor estuviera controlado en las modalidades previstas en cada unidad experimental. La temperatura se monitoreó diariamente, al igual que el amonio (<1.0 mg/L). La turbidez se mantuvo constante con mediciones semanales. También, una

vez a la semana se medían: oxígeno disuelto ( $5 \pm 0.5$  mg/L), pH ( $9 \pm 0.4$  unidades), nitritos ( $<1.0$  mg/L) para llevar un control de la calidad del agua.

Al cumplirse cuatro semanas de iniciado el experimento se tomaron las medidas intermedias de las variables respuesta. Los peces fueron pesados y medidos nuevamente, y se registró el porcentaje de sobrevivencia por acuario. El mismo procedimiento se realizó al finalizar el experimento (a las cuatro semanas) obteniendo así las medidas de peso, talla y sobrevivencia intermedias (Pint, Tint, Sint) y finales (Pfin, Tfin, Sfin). Estos resultados fueron analizados estadísticamente para identificar los factores con un efecto en el desarrollo de la especie.

### **Análisis estadístico**

El análisis estadístico se llevó a cabo por medio del programa “Analys” versión 2.2 (Kobilinsky 2000). Un modelo sobresaturado de análisis de varianza con todas las variables probadas en el experimento detectó los factores con una posible influencia en las variables de salida de acuerdo a las gráficas de “Daniel” (Daniel 1959). En seguida la aplicación posterior de análisis de varianza probó únicamente los factores potencialmente influyentes (individuales o en interacción) para estimar la significancia de sus efectos en cada variable de salida (Gardeur 2003, Mairesse *et al.* 2007).

Dicho análisis estadístico permitió identificar los factores y la combinación de factores ambientales que indujeron mayores porcentajes de sobrevivencia y mejor crecimiento en los organismos.

## 6. RESULTADOS

Los valores iniciales de peso y talla de los peces introducidos en los acuarios se muestran en los cuadros 4 y 5.

Cuadro 4. Valores iniciales de peso por acuario (Pi)

	Acuario 1	Acuario 2	Acuario 3	Acuario 4	Acuario 5	Acuario 6	Acuario 7	Acuario 8
Media (g)	0.048	0.048	0.048	0.047	0.054	0.051	0.055	0.054
Desviación estándar (g)	0.012	0.011	0.014	0.017	0.016	0.013	0.013	0.013

Cuadro 5. Valores iniciales de talla (longitud estándar) por acuario (Ti)

	Acuario 1	Acuario 2	Acuario 3	Acuario 4	Acuario 5	Acuario 6	Acuario 7	Acuario 8
Media (mm)	15.008	14.859	14.732	14.820	15.679	15.210	16.129	15.989
Desviación estándar (mm)	1.132	1.057	1.326	1.545	1.151	0.932	1.179	1.110

Los resultados intermedios de las variables respuesta se muestran en los cuadros 6, 7 y 8, a un mes de iniciado el experimento.

Cuadro 6. Valores intermedios de peso por acuario (Pint)

	Acuario 1	Acuario 2	Acuario 3	Acuario 4	Acuario 5	Acuario 6	Acuario 7	Acuario 8
Media (g)	0.166	0.117	0.115	0.114	0.124	0.148	0.173	0.188
Desviación estándar (g)	0.052	0.035	0.042	0.046	0.043	0.032	0.038	0.043

Cuadro 7. Valores intermedios de talla (longitud estándar) por acuario (Tint)

	Acuario 1	Acuario 2	Acuario 3	Acuario 4	Acuario 5	Acuario 6	Acuario 7	Acuario 8
Media (mm)	21.028	19.273	19.435	19.262	19.455	20.307	22.250	22.006
Desviación estándar (mm)	2.102	1.445	2.079	2.271	1.866	1.404	1.533	1.565

Cuadro 8. Valores intermedios de sobrevivencia por acuario (Sint)

Acuario 1	Acuario 2	Acuario 3	Acuario 4	Acuario 5	Acuario 6	Acuario 7	Acuario 8
96.7%	93.3%	73.3%	90%	93.3%	86.7%	66.7%	93.3%

Los resultados finales de las variables respuesta se muestran en los cuadros 9, 10 y 11 al término de los dos meses de duración del experimento.

Cuadro 9. Valores finales de peso por acuario (Pfin)

	Acuario 1	Acuario 2	Acuario 3	Acuario 4	Acuario 5	Acuario 6	Acuario 7	Acuario 8
<b>Media (g)</b>	0.343	0.242	0.255	0.210	0.253	0.305	0.349	0.360
<b>Desviación estándar (g)</b>	0.099	0.062	0.067	0.091	0.116	0.055	0.108	0.094

Cuadro 10. Valores finales de talla (longitud estándar) por acuario (Tfin)

	Acuario 1	Acuario 2	Acuario 3	Acuario 4	Acuario 5	Acuario 6	Acuario 7	Acuario 8
<b>Media (mm)</b>	25.691	23.360	24.729	22.797	23.950	25.429	27.403	26.944
<b>Desviación estándar (mm)</b>	2.056	1.841	2.330	3.204	3.193	1.648	2.789	2.129

Cuadro 11. Valores finales de sobrevivencia por acuario (Sfin)

Acuario 1	Acuario 2	Acuario 3	Acuario 4	Acuario 5	Acuario 6	Acuario 7	Acuario 8
96.7%	93.3%	73.3%	90%	93.3%	86.7%	53.3%	90%

### Identificación de los efectos de los factores en las variables respuesta

El procesamiento de resultados por medio de las gráficas de “Daniel”, permitió detectar los efectos de los factores probados con una posible influencia en las variables de salida (Figs. 1-6). Éstos se identifican en las gráficas como los puntos que salen de la línea. Por ejemplo, para el caso del peso intermedio (Fig. 1) de los siete puntos representados (que corresponden a los siete efectos probados en el modelo: cuatro de los factores independientes y tres de interacciones), únicamente tres (vegetación, temperatura y turbidez) son los que según el método gráfico, tienen un posible efecto sobre la variable respuesta, y serán estos tres los que se analizaron posteriormente para probar su significancia.



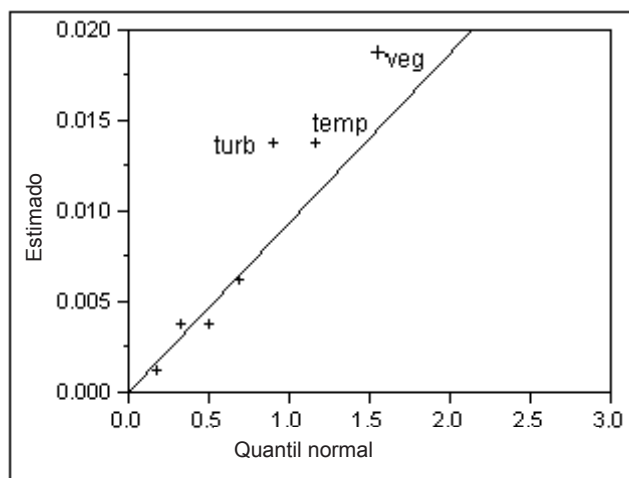


Figura 1. Gráfica de Daniel para peso intermedio (Pint) de *S. lermae*

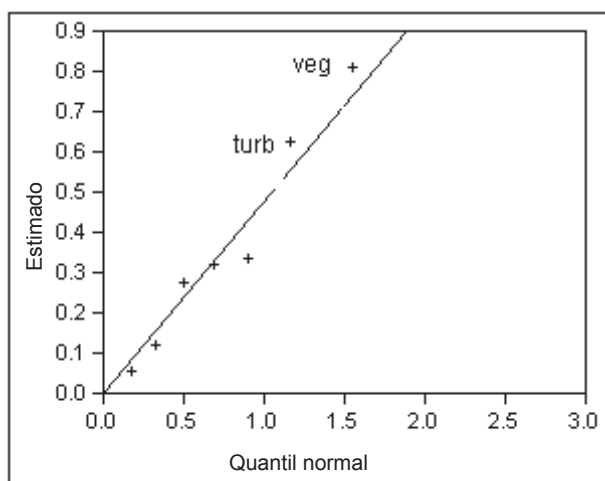


Figura 2. Gráfica de Daniel para talla intermedia (Tint) de *S. lermae*

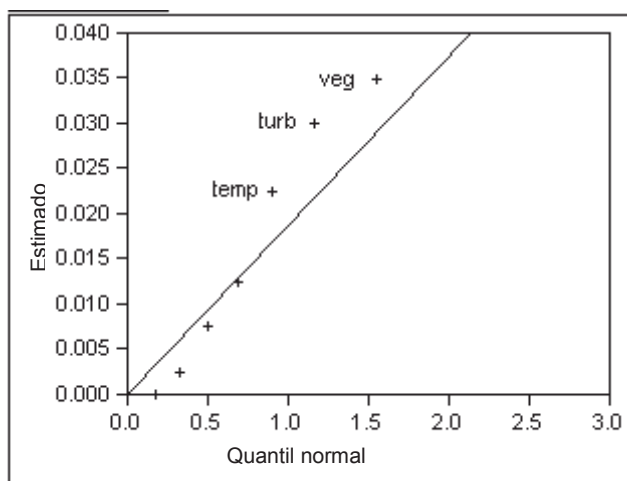


Figura 3. Gráfica de Daniel para peso final (Pfin) de *S. lermae*

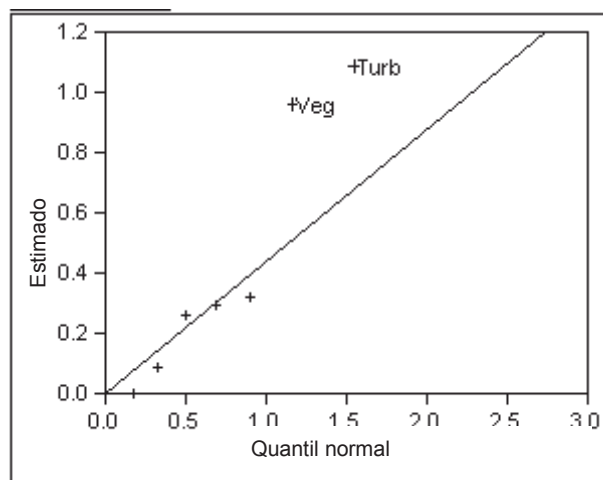


Figura 4. Gráfica de Daniel para talla final (Tfin) de *S. lermae*

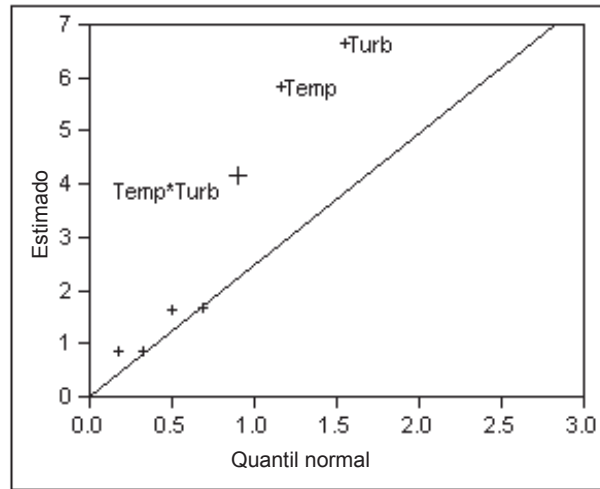


Figura 5. Gráfica de Daniel para la supervivencia intermedia (Sint) de *S. lermae*

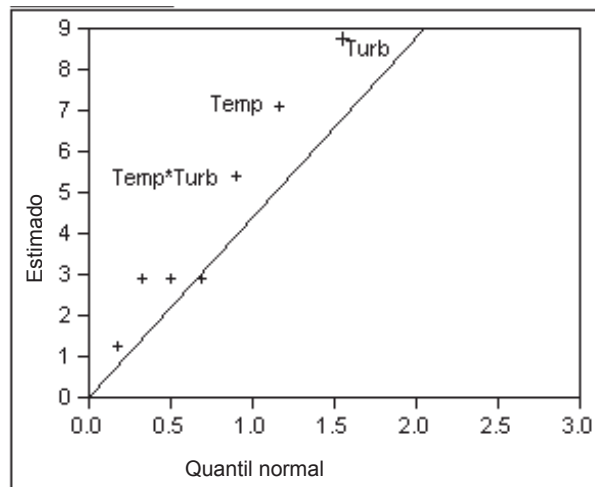


Figura 6. Gráfica de Daniel para la supervivencia final (Sfin) de *S. lermae*

Una vez detectados los efectos, se procedió a probar su significancia por medio de análisis de varianza para cada variable.

## Peso intermedio

El peso intermedio de los peces presentó un intervalo de 0.11 g a 0.19 g en las ocho unidades experimentales. Para esta variable la respuesta corresponde a vegetación, temperatura y turbidez. Por lo que, el análisis de varianza se realizó únicamente con dichos factores (cuadro 12), donde el modelo resultó significativo ( $p < 0.05$ ).

Cuadro 12. Análisis de varianza de los efectos sobre Pint

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Ratio	Prob>F
<b>Modelo</b>	3	0.0058375	0.001946	14.1515	0.0135
<b>Error</b>	4	0.00055	0.000138		
<b>Total</b>	7	0.0063875			

### Prueba de efectos

Fuente	Grados de libertad	Prob>F
<b>Vegetación</b>	1	0.0106
<b>Temperatura</b>	1	0.0295
<b>Turbidez</b>	1	0.0295

Tanto la vegetación, la temperatura como la turbidez tuvieron un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) sobre el peso intermedio (Fig. 7).

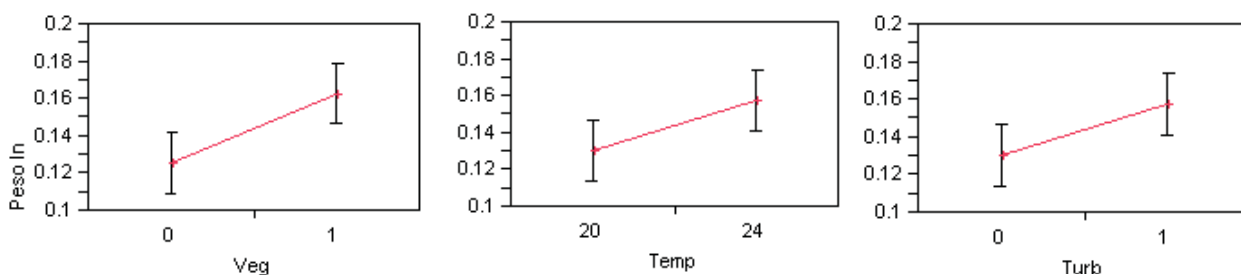


Figura 7. Comparación de medias de los efectos de la vegetación, la temperatura y la turbidez en Pint

El factor con mayor efecto sobre el peso intermedio fue la vegetación, seguido de la temperatura y de la turbidez del agua; mientras el sustrato no ocasionó efecto alguno. Los peces mantenidos en acuarios con vegetación pesaron significativamente más (0.163 g) que aquellos sin el factor activo (0.125 g). En cuanto a los niveles de temperatura, el valor de 24°C generó significativamente mayor peso (0.158 g) que la contraparte a 20°C (0.13 g). La presencia de agua turbia también favoreció un mayor peso significativo (0.158 g) comparativamente con el agua cristalina (0.13 g).

### Talla intermedia

Las crías de *S. lermae* presentaron valores intermedios en talla de 19.26 mm y 22.25 mm, mínimo y máximo respectivamente. Para esta variable se probó el efecto de la turbidez y de la vegetación (cuadro 13).

Cuadro 13. Análisis de varianza de los efectos sobre Tint

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Ratio	Prob>F
<b>Modelo</b>	2	8.345125	4.17256	8.5065	0.0246
<b>Error</b>	5	2.452562	0.49051		
<b>Total</b>	7	10.797687			

Prueba de efectos		
Fuente	Grados de libertad	Prob>F
<b>Vegetación</b>	1	0.0223
<b>Turbidez</b>	1	0.0532

En este caso, únicamente la vegetación mostró un efecto significativo ( $p < 0.05$ ), (Fig. 8). La presencia de vegetación en los acuarios se relaciona significativamente con una mayor longitud estándar (21.188 mm) comparado con la ausencia del factor

(19.57 mm). Por otra parte, la turbidez no indujo diferencia significativa en la talla intermedia de los peces, con 20.713 mm y 20.045 mm en los niveles bajo y alto respectivamente.

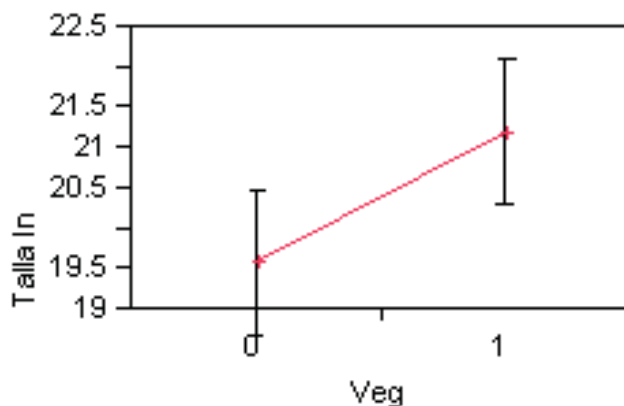


Figura 8. Comparación de medias del efecto de la vegetación en Tint

### Sobrevivencia intermedia

El análisis de varianza por la turbidez, la temperatura y la interacción entre estos dos factores (cuadro 14), revela efectos significativos ( $p < 0.05$ ).

Cuadro 14. Análisis de varianza de los efectos sobre Sint

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Ratio	Prob>F
<b>Modelo</b>	3	766.33375	255.445	18.6507	0.0082
<b>Error</b>	4	54.785	13.696		
<b>Total</b>	7	821.11875			

Prueba de efectos		
Fuente	Grados de libertad	Prob>F
<b>Turbidez</b>	1	0.0070
<b>Temperatura</b>	1	0.0111
<b>Temperatura*Turbidez</b>	1	0.0335

Los porcentajes de sobrevivencia variaron de 66.7% a 96.7% en la etapa intermedia. Esta variable resultó afectada significativamente por la turbidez, siendo menor con la presencia del factor (80% contra 93.33%). Asimismo, la temperatura de 24°C favoreció una mayor sobrevivencia de 92.5% en las unidades experimentales, en comparación con el 80.83% obtenido a 20°C.

Además, el análisis realizado permitió observar un interesante efecto significativo causado conjuntamente por ambos factores, turbidez y temperatura. La menor sobrevivencia corresponde a la combinación de 20°C-presencia de turbidez. Las interacciones de 24°C-presencia de turbidez, 20°C-ausencia de turbidez y 24°C-ausencia de turbidez, registraron 90%, 91.65% y 95% respectivamente, siendo esta última la que indujo una mayor sobrevivencia (Fig. 9).

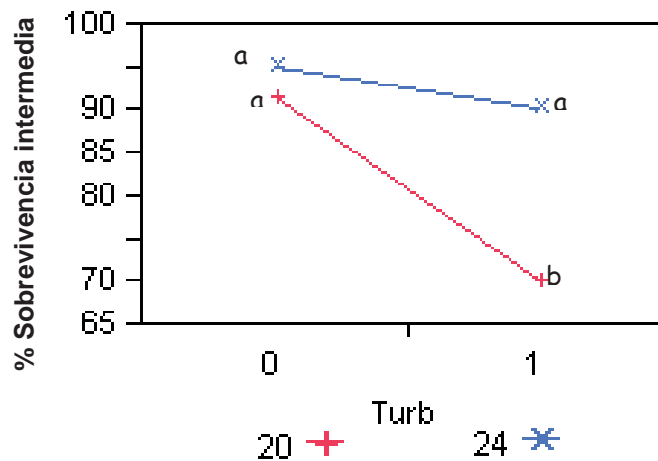


Figura 9. Comparación de medias del efecto de la interacción de la temperatura y la turbidez en Sint

### Peso final

Los organismos al término del experimento pesaron de 0.21 g a 0.36 g, como valores extremos. El análisis de varianza que probó la influencia de vegetación, turbidez y

temperatura sobre esta variable se muestra en el cuadro 15, con resultados significativos asociados a los efectos individuales de los tres factores ( $p < 0.05$ ), (Fig. 10).

Cuadro 15. Análisis de varianza de los efectos sobre Pfin

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Ratio	Prob>F
<b>Modelo</b>	3	0.02105	0.007017	16.0381	0.0108
<b>Error</b>	4	0.00175	0.000437		
<b>Total</b>	7	0.02280			

**Prueba de efectos**

Fuente	Grados de libertad	Prob>F
<b>Vegetación</b>	1	0.0091
<b>Turbidez</b>	1	0.0154
<b>Temperatura</b>	1	0.0383

El peso final de los peces, muestra una influencia significativa por la presencia de vegetación (0.325 g contra 0.255 g). El efecto significativo de la turbidez, indujo un mayor peso en el nivel alto (0.32 g) que en el bajo (0.26 g). Finalmente, la temperatura generó un valor mayor (0.313 g) con 24°C, que con 20°C (0.268 g).

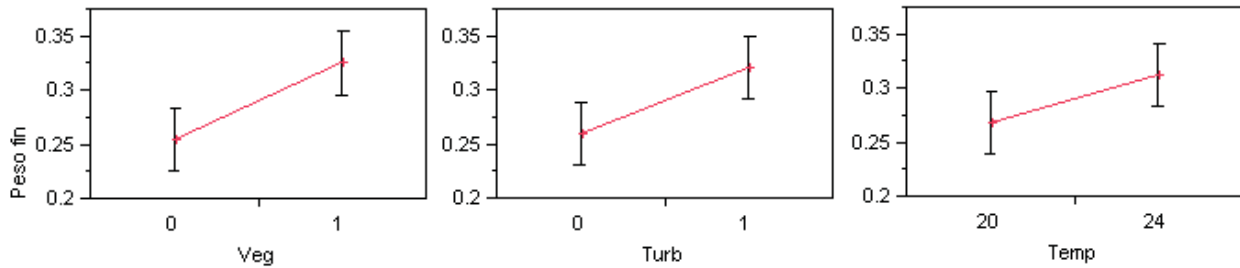


Figura 10. Comparación de medias de los efectos de la vegetación, la turbidez y la temperatura en Pfin



## Talla final

Los valores de longitud variaron de 22.8 mm a 27.4 mm. Se probó el efecto de la turbidez y de la vegetación y el análisis de varianza indica resultados significativos independientes ( $p < 0.05$ ) sobre la variable respuesta (cuadro 16, Fig. 11).

Cuadro 16. Análisis de varianza de los efectos sobre Tfin

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Ratio	Prob>F
<b>Modelo</b>	2	16.79570	8.39785	20.1615	0.0040
<b>Error</b>	5	2.082650	0.41653		
<b>Total</b>	7	18.878350			

### Prueba de efectos

Fuente	Grados de libertad	Prob>F
<b>Turbidez</b>	1	0.0050
<b>Vegetación</b>	1	0.0085

La talla final con presencia de turbidez, favoreció tallas más grandes (26.125 mm) en comparación con el nivel bajo (23.95 mm). Igualmente la presencia de vegetación mostró una influencia significativamente mayor en esta variable respuesta (25.995 mm) permitiendo tallas mayores, contra la ausencia (24.08 mm).

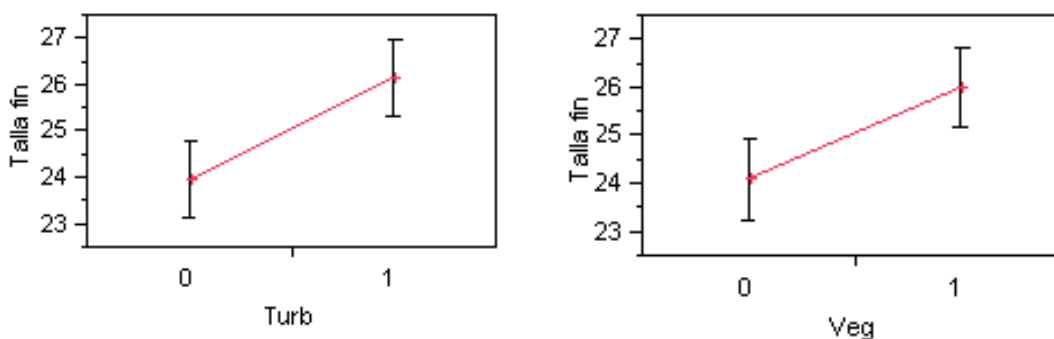


Figura 11. Comparación de medias de los efectos de la turbidez y la vegetación en Tfin

### Sobrevivencia final

Los porcentajes de sobrevivencia al final del experimento variaron de 53.3% a 96.7%. Al igual que en la sobrevivencia intermedia, se probó la influencia de la turbidez, la temperatura y la interacción entre ambos, con resultado significativo ( $p < 0.05$ ) únicamente para el efecto independiente de la turbidez, cuyo nivel alto indujo una menor sobrevivencia de 75.83% contra un 93.33% logrado con el nivel bajo del factor (Fig. 12).

Cuadro 17. Análisis de varianza de los efectos sobre  $S_{fin}$

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Ratio	Prob>F
<b>Modelo</b>	3	1251.2250	417.075	7.6997	0.0388
<b>Error</b>	4	216.6700	54.168		
<b>Total</b>	7	1467.8950			

Prueba de efectos		
Fuente	Grados de libertad	Prob>F
<b>Turbidez</b>	1	0.0282
<b>Temperatura</b>	1	0.0525
<b>Temperatura*Turbidez</b>	1	0.1054

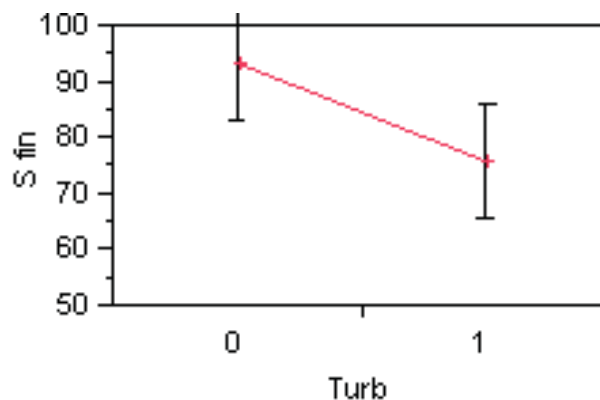


Figura 12. Comparación de medias de los efectos de la turbidez en  $S_{fin}$ .

En la figura 13 es posible apreciar que la temperatura de 20°C imprime de forma independiente una disminución en la variable de salida. Además el porcentaje de sobrevivencia disminuye al interactuar el nivel bajo de temperatura con la presencia de turbidez en el agua. Sin embargo, ambos efectos no resultaron significativos con la prueba estadística utilizada.

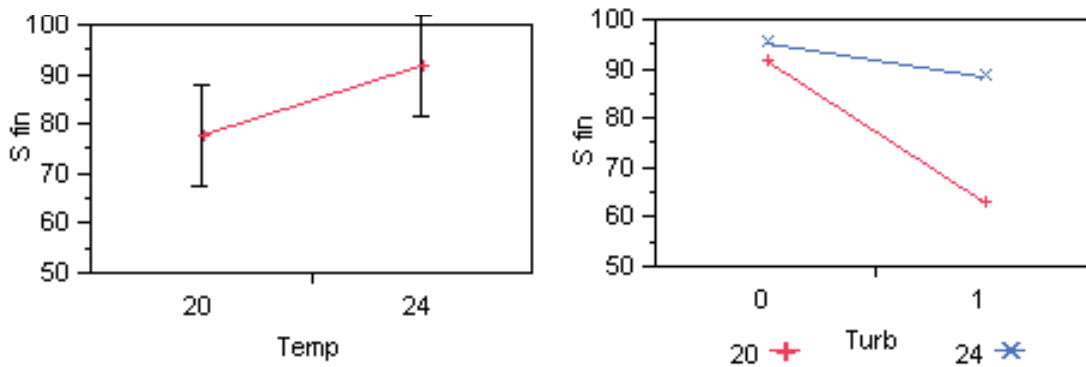


Figura 13. Comparación de medias de los efectos de la temperatura y de la interacción entre la turbidez y la temperatura en Sfin.

Finalmente, el cuadro 18 condensa los valores promedio de las variables respuesta con cada uno de los cuatro factores en las etapas intermedia y final.

Cuadro 18. Medias de los efectos principales de los factores sobre las variables respuesta

Factor	Temperatura		Turbidez		Vegetación		Sustrato	
	20°C	24°C	Sin	con	Sin	con	Sin	Con
Pint (g)	<b>0.13 b</b>	<b>0.158 a</b>	<b>0.13 b</b>	<b>0.158 a</b>	<b>0.125 b</b>	<b>0.163 a</b>	0.15 a	0.136 a
Tint (mm)	20.10 a	20.655 a	19.755 a	21.003 a	<b>19.57 b</b>	<b>21.188 a</b>	20.713 a	20.045 a
Sint (%)	<b>80.83 b</b>	<b>92.5 a</b>	<b>93.33 a</b>	<b>80.0 b</b>	85.83 a	87.5 a	85.03 a	88.3 a
Pfin (g)	<b>0.268 b</b>	<b>0.313 a</b>	<b>0.26 b</b>	<b>0.32 a</b>	<b>0.255 b</b>	<b>0.325 a</b>	0.303 a	0.278 a
Tfin (mm)	24.72 a	25.355 a	<b>23.95 b</b>	<b>26.125 a</b>	<b>24.08 b</b>	<b>25.995 a</b>	25.33 a	24.745 a
Sfin (%)	77.48 a	91.68 a	<b>93.33 a</b>	<b>75.83 b</b>	85.83 a	83.33 a	81.68 a	87.48 a

Pint=peso intermedio, Tint= talla intermedia, Sint= Sobrevivencia intermedia, Pfin= peso final, Tfin= talla final, Sfin= sobrevivencia final, valores con distinta literal son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

## 7. DISCUSIÓN

### Efecto de la temperatura

Este factor muestra un efecto significativo en el peso de los peces, tanto intermedio como final. El nivel alto (24°C), indujo pesos promedio mayores, 0.158 g en la etapa intermedia y 0.313 g en la etapa final. El nivel bajo del factor (20°C), por el contrario registró 0.13 g y 0.268 g en los valores intermedios y finales respectivamente.

El efecto de la temperatura en el desarrollo de las especies de goodeidos ha sido escasamente estudiado. Una investigación reciente (Molina-Domínguez, en proceso) evaluó el efecto de este factor en la reproducción de *S. lermæ*. El peso de las crías recién nacidas a dos niveles de temperatura difirió entre 0.019 g a 20°C y 0.040 g a 24°C. En el caso del presente trabajo, pesos promedio de 0.05 g, correspondieron a los valores iniciales de las crías introducidas en las unidades experimentales de dos semanas de nacidas.

Además, Molina-Domínguez, registró las tallas (longitud estándar) promedio de las crías recién nacidas de entre 10.5 mm a 20°C y 12 mm a 24°C. En una comparación con los valores iniciales de las crías de dos semanas de edad sometidas a la presente experimentación, éstos fueron de 15.304 mm en promedio.

El efecto significativo en la sobrevivencia intermedia de los peces, registra un 92.5% promedio a 24°C, mientras que la contraparte a 20°C alcanzó un 80.83%. La sobrevivencia final a 20°C registró 77.48% y 91.68% a 24°C, los análisis estadísticos realizados no detectan diferencia significativa entre los dos niveles para esta variable. Posiblemente durante la primera etapa los peces se mostraron más susceptibles a la variación de la temperatura, que es cuando el factor tiene mayor influencia en el metabolismo de los organismos, comparativamente con etapas posteriores de vida (Ricklefs 1996).

Este factor ha sido probado en el caso de *Perca fluviatilis*, bajo un análisis multifactorial (Gardeur *et al.* 2007). En donde, al igual que en el presente trabajo, de los tratamientos de temperatura aplicados, el nivel alto (24°C) fue el que generó valores significativamente mayores de crecimiento en peso y talla.

En un estudio con *Micropogonias undulatus*, la temperatura fue evaluada como componente de la calidad del hábitat y explicó cerca del 40% de la variabilidad del crecimiento de juveniles (Searcy *et al.* 2007). En *Lateolabrax japonicus*, su crecimiento estuvo influenciado por la temperatura en interacción con el tamaño del pez (Imsland *et al.* 2006).

### **Efecto de la turbidez**

El grado de turbidez afectó significativamente más variables respuesta en la presente experimentación. El nivel alto indujo mayores pesos (Pint y Pfin), mayor talla (Tfin) y menor porcentaje de sobrevivencia (Sint y Sfin).

Los acuarios donde la turbidez muestra un menor porcentaje de sobrevivencia, registran en contraste los mayores valores de pesos y tallas, posiblemente debido a una menor densidad de organismos por unidad experimental, es decir, el espacio permitió un mejor desarrollo (Ricklefs 1996). Además de mayor disponibilidad de alimento.

El menor porcentaje de sobrevivencia de *S. lermae* en el agua turbia bajo condiciones experimentales se asocia con la ausencia de la especie en localidades con turbidez de  $57.14 \pm 14.29$ FTU, como lo reportan De la Vega-Salazar *et al.* (2003). En general, los goodeidos estuvieron presentes en localidades con agua transparente, a excepción de *Skiffia bilineata*, que toleró los mencionados valores de turbidez.

Asimismo, Domínguez-Domínguez *et al.* (2008), observaron en sus muestreos que los cuerpos de agua alimentados por manantiales, es decir, aguas transparentes, conservan las especies de goodeidos registradas históricamente. Dichos sitios con capacidad de amortiguamiento ante contaminantes debido al flujo continuo de agua, actúan como refugio de especies sensibles, por lo que consideran que *S. lermae* ha disminuido en su rango de distribución histórica casi en un 50%.

Un estado de turbidez caracteriza a los cuerpos de agua someros de la región, hábitat de goodeidos, como un indicador de eutroficación y de aporte de azolve, ambos indicios de deterioro de los ecosistemas acuáticos. De acuerdo con Morrow y Fischenich (2000), estos sistemas son usualmente distróficos e indicativos de hábitats pobres para peces.

Un ejemplo con cuatro especies del género *Oreochromis*, probó la influencia de la turbidez por arcillas con varios niveles: 0, 50, 100, 150 y 200 mg/L (Ardjosoediro y Ramnarine 2001). Un efecto significativo del factor en los dos primeros niveles se asoció a una disminución en peso y un aumento en talla, de ahí que los autores sugieren mantener bajos los niveles de turbidez para las especies estudiadas. Estos resultados concuerdan con los resultados de la presente investigación, por una significativa relación negativa del porcentaje de sobrevivencia con el incremento de la turbidez.

### **Efecto de la complejidad de hábitat**

Este factor influyó significativamente a todas las variables de crecimiento (Pint, Pfin, Tint y Tfin). La presencia de vegetación permitió mayores tallas y pesos tanto intermedios como finales. Las plantas en los acuarios sirven principalmente como refugio, lo que favorece una disminución del estrés en los organismos, baja el consumo de energía y permite un crecimiento superior en contraste con los acuarios sin vegetación.

Ecológicamente, la complejidad de hábitat preserva a los organismos de la depredación y sirve de refugio para organismos enfermos o de abrigo ante condiciones climáticas adversas, lo que se refleja en una disminución de estrés en los individuos, reduciendo a la vez porcentajes de mortalidad (Ricklefs 1996); concordando con Valdés-González *et al.* (2006), quienes realizaron un estudio sobre el hábitat de *Zoogoneticus tequila*, en un esfuerzo por identificar datos que permitan el éxito de una posible reintroducción de la especie, como resultado, después de mantener a los organismos durante tres años en estanques rústicos con vegetación acuática, reportan que el material vegetal en su ambiente proporcionó protección a las crías, resguardo para todo el grupo ante la presencia de alguna amenaza, reposo después de la alimentación por la tarde y probablemente para evitar los rayos directos del sol, puesto que no salían de los sitios con vegetación hasta que el sol se ocultaba.

Asimismo, Domínguez-Domínguez (2002b) reportó que algunas especies de goodeidos prefieren vivir entre la vegetación o los escondites y raramente aparecen en la columna de agua.

Salazar (2007) en un estudio sobre aspectos reproductivos en algunas especies de la subfamilia Goodeinae en La Mintzita, caracteriza el hábitat reproductivo de los peces con presencia de vegetación acuática principalmente *Elodea sp.* con entrada de aguas de infiltración. En donde encontró el 97% de las hembras grávidas registradas.

### **Efecto del sustrato**

La presente experimentación, no aportó evidencia sobre un efecto significativo del sustrato en el desarrollo de la especie. Lo que se observó fue que en los acuarios sin grava en el fondo, los peces solían nadar a lo largo de la columna de agua la mayor



parte del tiempo, mientras que los peces en las unidades con grava, permanecían por momentos en el fondo sin mayor movimiento.

Por el contrario, varios salmónidos requieren para un mejor desarrollo de la presencia de algún sustrato en combinación con temperaturas que no excedan los 24°C. Además, la existencia de sustrato en el fondo del ecosistema frecuentemente reviste un componente del hábitat importante para varias especies de peces, al grado de impedir una reproducción exitosa (Morrow y Fischenich 2000).

### **Efecto de interacción temperatura-turbidez**

El único efecto de interacción entre dos factores, temperatura y turbidez, influyó de manera significativa en el porcentaje de sobrevivencia intermedio, aunque estos dos factores por su cuenta también resultaron significativos de manera independiente en la variable.

Los más altos porcentajes de sobrevivencia intermedia (95%) corresponden a 24°C de temperatura y ausencia de turbidez. En contraste, la combinación de 20°C y agua turbia indujeron el menor porcentaje de dicha sobrevivencia (70%). Los resultados sugieren que porcentajes de mortalidad inferiores se asocian a la presencia de aguas cristalinas y temperaturas mayores.

## 8. CONCLUSIONES

El presente estudio representa el primero en su clase aplicado a una especie nativa del país con fines de conservación y constituye un primer paso en cuanto a diseños experimentales multifactoriales en función de los requerimientos fisiológicos de una especie en su ambiente natural original.

Respecto a la hipótesis planteada, se demostró que efectivamente existen agentes ambientales que tienen un efecto en el crecimiento y en la sobrevivencia de crías de *Skiffia lermae*.

Se logró diseñar y poner en marcha un módulo experimental en el que se probó el efecto de cuatro factores ambientales en el crecimiento y la sobrevivencia de crías de *Skiffia lermae*, mediante un diseño experimental factorial fraccionario.

Se registró un efecto independiente significativo de tres factores ambientales, temperatura de 24 °C, ausencia de turbidez y presencia de vegetación, que indujeron un mejor crecimiento y sobrevivencia de las crías de la especie.

Además se identificó una combinación de dos factores, temperatura y turbidez, que registró una influencia significativa en la sobrevivencia en la etapa intermedia. Logrando el mayor porcentaje con la combinación de 24 °C – ausencia de agua turbia y el menor con la combinación de 20 °C – presencia de agua turbia.

En cuanto al sustrato, las crías de *Skiffia lermae* no mostraron diferencias en su crecimiento y sobrevivencia con la presencia o no de grava en el fondo del acuario.

El enfoque utilizado resulta acertado, refuerza la idea de la existencia de diferencias en la capacidad de resistencia de las especies a los cambios ambientales, por lo que las políticas de conservación deben ser diseñadas de manera particular para cada grupo de organismos, e incluso para cada población.

## 9. RECOMENDACIONES

Los resultados podrán ser utilizados para el establecimiento de condiciones propicias para la conservación de *S. lermae* en cautiverio. Y también servirán para una toma de medidas ambientales adecuadas, tanto para la conservación de la especie como en la restauración de los sitios naturales donde eventualmente sean reintroducidos los organismos.

Es recomendable mantener la complejidad del hábitat natural de los peces, el componente vegetación y la transparencia del agua es de prioridad para asegurar la continuidad de la especie. Se deberán proteger las zonas de reproducción que cuentan con el aporte de aguas de infiltración.

En condiciones de cautiverio, es posible optimizar el desarrollo de la especie manteniendo las condiciones favorables descritas en forma constante.

El diseño experimental utilizado resulta particularmente útil para la problemática abordada, se lograron probar cuatro factores ambientales, cada uno con dos niveles, en únicamente ocho unidades experimentales, y en un solo experimento de manera simultánea.

Se recomienda probar un mayor número de factores con el mismo enfoque multifactorial, tales como fotoperiodo, diferentes tipos de dietas, hidrodinamismo, densidad o tasas de alimentación. Así como otros niveles por factor, que permitan resultados de mayor alcance en el estudio de la especie.

Además, ya que especies de goodeidos son mantenidos en cautiverio de manera exitosa, es interesante probar el efecto de este tipo de domesticación en el desarrollo de los peces, comparado con organismos del medio natural.

Más investigaciones deben llevarse a cabo con el fin de que puedan ayudar a un mejor entendimiento de la biología y de la ecología de la subfamilia Goodeinae, que coadyuven en el diseño de futuras estrategias de conservación a largo plazo.

A corto plazo, el presente estudio aporta una alternativa distinta orientada a la conservación de especies de goodeidos en la colección viva del Laboratorio de Acuática de la Facultad de Biología (UMSNH).

## 10. LITERATURA CITADA

- Acerete L., J. C. Balasch, E. Espinosa, A. Josa y L. Tort. 2004. Physiological responses in Eurasian perch (*Perca fluviatilis*, L.) subjected to stress by transport and handling. *Aquaculture* 237, 167-178.
- Alcocer J. y F.W. Bernal-Brooks. 2002. Spatial and temporal heterogeneity of physical and chemical variables for an endorheic, shallow water body: Lake Pátzcuaro, México. *Archive für Hydrobiologie*. 155: 239-253.
- Ardjosoediro I. y I. W. Ramnarine. 2002. The influence of turbidity on growth, feed conversion and survivorship of the Jamaica red tilapia strain. *Aquaculture* 212 159-165.
- Arriaga-Cabrera, L., V. Aguilar-Sierra, J. Alcocer-Durán, R. Jiménez-Rosenberg, E. Muñoz-López y E. Vázquez-Domínguez (coords.) 1998. Regiones hidrológicas prioritarias: fichas técnicas y mapa (escala 1:4,000,000). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Barbeau M. A., K. Durelle y R. B. Aiken. 2004. A design for multifactorial choice experiments : an example using microhabitat selection by sea slugs *Onchidoris bilamellata* (L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 307, 1-16.
- Bernal-Brooks F. W. 2002. La Limnología del Lago de Pátzcuaro: una visión alternativa a conceptos fundamentales. Tesis de Doctorado, UNAM.
- CONABIO. 1998. La Diversidad Biológica de México: Estudio de País. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). México.
- Contreras-Balderas S., P. Almada-Villela, M. L. Lozano-Vilano y M. E. García-Ramírez. 2003. Freshwater fish at risk or extinct in México. A checklist and a review. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 12:241-251.
- Contreras-Balderas S. 2005. Conservation status of mexican freshwater viviparous fishes. p. 415-423. In: *Viviparous Fishes*. Grier H. J. y M. C. Uribe (Eds). New Life Publications, Homestead, Florida.
- Daniel C. 1959. Use of half-normal plots in interpreting factorial two level experiments. *Technometrics* 1, 311-341.
- De la Vega-Salazar M. Y. 2003. Situación de los peces dulceacuícolas en México. *Ciencias*, 072, 20-30.

- De la Vega-Salazar M. Y., E. Ávila-Luna y C. Macías-García. 2003. Ecological evaluation of local extinction: the case of two genera of endemic Mexican fish, *Zoogoneticus* and *Skiffia*. *Biodiversity and Conservation* 12:2043-2056.
- De la Vega-Salazar M. Y. 2006. Estado de conservación de los peces de la familia Goodeidae (Cyprinodontiformes) en la Mesa Central de México. *Revista de Biología Tropical*. 54: 163-177.
- Díaz-Pardo, E. 2002. *Skiffia lermae*. Peces en riesgo de la Mesa Central de México. Laboratorio de Ictiología y Limnología, Departamento de Zoología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto W039. México. D.F.
- Doadrio V. I. y O. Domínguez-Domínguez. 2004. Phylogenetic relationship within the fish family Goodeidae based on cytochrome b sequence data, molecular phylogenetics and evolution. 31: 416-430.
- Domínguez S. H. 1999. Contribución al estudio de los peces de la familia Goodeidae de Michoacán. Tesis profesional. Facultad de Biología, UMSNH. Morelia Mich. 194 pp.
- Domínguez-Domínguez. O. 2002a. Programa de conservación y manejo de goodeidos mexicanos. *Revista Española de Acuariología*. A.E.A. 78: 1-5.
- Domínguez-Domínguez. O. 2002b. Referencias acuariófilas de los goodeidos. *Revista Española de Acuariología*. A.E.A. 78: 6-8.
- Domínguez-Domínguez O. 2004. Biogeografía histórica de la subfamilia Goodeinae (Cyprinodontiformes: Goodeidae) en la mesa central de México. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. 154 pp.
- Domínguez-Domínguez O., N. Mercado S. y J. Lyons. 2005a. Conservation status of mexican goodeids: Problems, perspectives, and solutions. p. 515-524. En: *Viviparous Fishes*. Grier H. J. y M. C. Uribe (Eds). New Life Publications, Homestead, Florida.
- Domínguez-Domínguez O., N. Mercado S., J. Lyons y H. J. Grier. 2005b. The viviparous goodeid species. p. 525-569. En: *Viviparous Fishes*. Grier H. J. y M. C. Uribe (Eds). New Life Publications, Homestead, Florida.
- Domínguez-Domínguez O., L. Boto, F. Alda, G. Pérez-Ponce de León e I. Doadrio. 2007. Human impacts on drainages of the Mesa Central, Mexico, and its genetic effects on an endangered fish, *Zoogoneticus quitzeoensis*. *Conservation Biology*. 21(1):168-80

- Domínguez-Domínguez O., L. Zambrano, L. H. Escalera-Vázquez, R. Pérez-Rodríguez y G. Pérez-Ponce de León. 2008. Cambio en la distribución de goodeidos (Osteichthyes: Cyprinodontiformes: Goodeidae) en cuencas hidrológicas del centro de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79: 501-512.
- Gardeur J. N. 2003. Du réductionnisme à l'approche globale. Modélisation de l'aquasystème. Habilitation à Diriger les Recherches. Université Henri Poincaré, Nancy 1.
- Gardeur J.N., N. Mathis, A. Kobilinsky y J. Brun-Bellut. 2007. Simultaneous effects of nutritional and environmental factors on growth and flesh quality of *Perca fluviatilis* using a fractional factorial design study. *Aquaculture* 273, 50-63.
- Gesundheit P. y C. Macías G. 2005. Biogeografía cladística de la familia Goodeidae (Cyprinodontiformes) En: J. Llorente B. y J. J. Morrone (Eds). Regionalización biogeográfica en Iberoamérica y tópicos afines. pp. 319- 338. Primeras Jornadas Biogeográficas de la Red Iberoamericana de Biogeografía y Entomología Sistemática (RIBES XII.I-CYTED).
- Guzmán-Arroyo F. 1994. Osteología y variación no geográfica de la suspensión de la aleta anal de *Goodea luitpoldi*. *Universidad, Ciencia y Tecnología* 3(2):33-41.
- Hamre K., R. Christiansen, R. Waagbo, A. Maage, B. E. Torstensen, B. Lygren, O. Lie, E. Wathne y S. Albrektsen. 2004. Antioxidant vitamins, minerals and lipid levels in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*, L.): effects on growth performance and fillet quality. *Aquaculture Nutrition* 10, 113–123.
- Imsland A. K., A. Foss, L. Sparboe y S. Sigurdsson. 2006. The effect of temperature and fish size on growth and feed efficiency ratio of juvenile spotted wolfish *Anarhichas minor*. *Journal of Fish Biology* 68, 1107-1122.
- Kobilinsky A. 1994. PLANOR: program for the automatic generation of regular experimental designs. MIA Biometrics Unit, Institut National de la Recherche Agronomique, Jouy en Josas, France.
- Kobilinsky A., 1997. Les plans factoriels. In: Technip., E. (Ed.), Plans d'expériences, Applications à l'entreprise, Paris. pp. 69-209.
- Kobilinsky A. 2000. Logiciels Planor et Analys. Unité de Biométrie. INRA. France.
- Lyons J., S. Navarro-Pérez, P. A. Cochran, E. Santana y M. Guzmán-Arroyo. 1995. Index of Biotic Integrity based on fish assemblages on the conservation of streams and rivers in West-Central Mexico. *Conservation Biology*. 9 (3). 569-584.

- Lyons J., G. González-Hernández, E. Soto-Galera y M. Guzmán-Arroyo. 1998. Decline of freshwater fishes and fisheries in selected drainages of west-central Mexico. *Fish Management*, 23 (4): 10-18.
- Mairesse G., M. Thomas, J. N. Gardeur y J. Brun-Bellut. 2007. Effects of dietary factors, stocking biomass and domestication on the nutritional and rechnological quality of the Eurasian perch *Perca fluviatilis*. *Aquaculture* 262, 86-94.
- Medina N. M. 1997. Ictiofauna de la subcuenca del río Angulo Cuenca Lerma-Chapala. Michoacán. *Zoología Informa*. ENCB-IPN. 35: 25-52.
- Medina N. M., S. A. Osorio y O. Domínguez D. 2000. Peces. Catálogo de Biodiversidad en Michoacán. Capítulo 12. SEDUE-UMSNH. pp 247-280.
- Meek S.E. 1902. A contribution to the ichthyology of Mexico. Field Columbian Museum, Publication 65 Zoological Series 3: 63–128.
- Molina-Domínguez E. A. (en proceso). Efecto del fotoperiodo, temperatura y proporción sexual en la reproducción de *Skiffia lermæ* (Pisces: GOODEIDAE: GOODEINAE). Tesis de maestría. Facultad de Biología, UMSNH. Morelia Mich.
- Montgomery D. C. 2002. Diseño y análisis de experimentos. Segunda edición. Editorial Limusa. México D. F. 686pp.
- Morrow J. V. y J. C. Fischenich. 2000. Habitat requirements for freshwater fishes. EMRRP Technical Notes Collection (ERDC TN-EMRRPSR-06), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
- Norma Oficial Mexicana NOM-ECOL-059-2001. Dirección General de Regulación Ambiental, México. Diario Oficial de la Federación, Gobierno de la República, México, DF.
- Parenti L. 1981. A phylogenetic and biogeographic analysis of cyprinidontiform fishes (Teleostei, Atherinomorpha). *Bulletin American Musseum of Natural History*. 168 (4):335-557.
- Ricklefs R. E. 1996. Ecology. Tercera edición. W.H. Freeman and Company, New York. 896pp.
- Rodríguez A. Z. 2007. Estado actual y distribución de la ictiofauna en la subcuenca de Cuitzeo, Cuenca Lerma-Chapala, en Michoacán, México. Tesis profesional. Facultad de Biología. UMSNH. Morelia Michoacán. 93 pp.



- Rubio N. V. 2003. Ecología reproductiva de *Skiffia lermae* (Meek 1902) (Osteichthyes Goodeidae) en la presa de La Mintzita, Municipio de Morelia. Tesis profesional. Facultad de Biología, UMSNH. 38 pp.
- Salazar T. C. I. 2007. Ecología reproductiva de la subfamilia Goodeinae en la presa de La Mintzita, Municipio de Morelia, Michoacán, México. Tesis de maestría. Facultad de Biología, UMSNH. 81pp.
- Teletchea F., J. N. Gardeur, M. Psenicka, V. Kaspar, Y. Le Doré, O. Linhart y P. Fontaine. 2009. Effects of four factors on the quality of male reproductive cycle in pikeperch *Sander lucioperca*. *Aquaculture* 291, 217-223.
- Thomas M., G. Mairesse, J. N. Gardeur y J. Brun-Bellut. 2003. Identification et hiérarchisation des facteurs environnementaux influençant des descripteurs qualité de la perche commune. GISAC, Tihange, Belgique.
- Torstensen B. E., O. Lie y K. Hamre. 2001. A factorial experimental design for investigation of effects of dietary lipid content and pro- and antioxidants on lipid composition in Atlantic salmon (*Salmo salar*) tissues and lipoproteins. *Aquaculture Nutrition* 7, 265-276.
- Valdés-González A., Ma. E. Ángeles V. y A. S. A. Castillo. 2006. Production environmental, anatomy and diet suggestions for *Zoogoneticus tequila* (GOODEIDAE) species maintaining on outside ponds. Abstracts of the oral presentations. III International Symposium on Viviparous Fishes. Morelia, Michoacán, México.
- Waagbo R., K. Hamre, E. Bjerkas, R. Berge, E. Wathne, O. Lie y B. Torstensen. 2003. Cataract formation in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., smolt relative to dietary pro- and antioxidants and lipid level. *Journal of Fish Disease*. 26, 213–229.
- Wang N, J. N. Gardeur, E. Henrotte, M. Marie, P. Kestemont y P. Fontaine. 2006. Determinism of the induction of the reproductive cycle in female Eurasian perch, *Perca fluviatilis*: Identification of environmental cues and permissive factors. *Aquaculture* 261, 706- 714.
- Webb S. A., J. A. Graves, C. Macías-García, E. Magurran, A. O. Foighil, D. y G. Ritchie M. 2004. Molecular phylogeny of the livebearing Goodeidae (Cyprinodontiformes). *Molecular phylogenetics and evolution*. 30:527-544.