



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**COMPOSICIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA  
COMUNIDAD DE PECES DEL LAGO DE PÁTZCUARO,  
MICHOACÁN, MÉXICO.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**BIÓLOGA**

**P R E S E N T A :**

**SHANTY DANIELA ACOSTA SINENCIO**



**DIRECTOR DE TESIS:  
DR. LUIS ZAMBRANO GONZÁLEZ  
2017**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Hoja de Datos del Jurado

1. Datos del alumno

Acosta  
Sinencio  
Shanty  
Daniela  
68 34 25 27  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias  
Biología  
306200214

2. Datos del tutor

Dr.  
Luis  
Zambrano  
González

3. Datos del Sinodal 1

Dr.  
Rodolfo Omar  
Arellano  
Aguilar

4. Datos del Sinodal 2

Dra.  
Irene  
Sánchez  
Gallen

5. Datos del Sinodal 3

Dr.  
Fernando  
Córdova  
Tapia

6. Datos del Sinodal 4

Dr.  
José Jaime  
Zúñiga  
Vega

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Autónoma de México por abrirme tantas puertas. Es un orgullo pertenecer a esta máxima casa de estudios.

Al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua por el financiamiento de este proyecto y por la rehabilitación del lago de Pátzcuaro.

Al Dr. Luis Zambrano, por su paciencia, confianza y sobre todo por su ejemplo. Gracias por enriquecer tanto mi formación. Ha sido un gusto poder trabajar contigo.

A los miembros de mi jurado, Dra. Irene Sánchez y el Dr. Jaime Zúñiga, por su apoyo, comentarios, consejos y observaciones, los cuales me ayudaron a comprender mucho mejor este trabajo. A los Dres. Fernando Córdova y Omar Arellano, porque además de su ayuda en este trabajo, he tenido el gusto de aprender y compartir muchos otros proyectos que me han hecho crecer de distintas formas ¡muchas gracias por su amistad!

A mis papás, Isis y Carlos por traerme a esta aventura llamada vida. Gracias por todo su apoyo y amor. Sigamos aprendiendo y creciendo juntos.

A mis amadísimos abuelos, Conchita y Oliveros, por ser mis padres también, por su infinito amor, sabiduría, por cada instante que he pasado con ustedes que me ha hecho tan feliz.

A mis tíos, Cobi, Mimi, Valky, Edgar, Dari, Lety y Pini, por todo su amor, ejemplo y apoyo incondicional. ¡Los quiero mucho!

A mis primas, que son como mis hermanas, Andrea, Fer, Regy, Zulla, Ilse y Vale. Porque no tienen idea de lo mucho que me han enseñado. ¡Gracias por las mejores risas! ¡Las quiero!

A Martín, por ser el mejor compañero de vida, espejo y maestro del alma. Gracias por todo tu apoyo y amor incondicional. Todo ha valido la alegría ¡Te amo moui!

A mis queridísimos changos, por todos los bailes, las risas, los llantos, por ser como son. Estoy súper orgullosa de cada uno de ustedes y agradecida de caminar en el mismo rumbo. En especial a Matiss, Cipatli y Daniel por su súper ayuda en la última y más importante etapa de este trabajo, son lo máximo.

A los miembros del laboratorio de restauración ecológica con los que tuve la fortuna de compartir muchas cosas, gracias por su ayuda y amistad.

## ÍNDICE

1. Introducción
2. Pregunta de investigación
3. Objetivos particulares
4. Materiales y Métodos
  - 4.1 Sitio de estudio
  - 4.2 Especies estudio
    - 4.2.1** Atherinopsidae: *Chirostoma sp.*
    - 4.2.2** Goodeidae: *Goodea atripinnis*
    - 4.2.3** Poeciliidae: *Poeciliopsis infans*
    - 4.2.4** Cyprinidae: *Cyprinus carpio*
    - 4.2.5** Cichlidae: *Oreochromis aureus*
  - 4.3 Colecta en campo
  - 4.4 Análisis de datos
5. Resultados
  - 5.1 Comunidad de peces
    - 5.1.1** Densidades de cada especie por temporada
    - 5.1.2** Densidades de cada especie por zona
    - 5.1.3** Diferencias significativas de la densidad de biomasa y de individuos entre temporadas y zonas
  - 5.2 Parámetros fisicoquímicos
    - 5.2.1** Promedio entre zonas y temporadas
  - 5.3 Análisis de correlación
6. Discusión
7. Conclusión
8. Literatura citada
9. Anexos

## RESUMEN

La combinación de algunos factores, como la introducción de especies exóticas, la sobre explotación de especies nativas, la eutrofización del agua y la fragmentación del hábitat, han alterado la composición de la comunidad de peces del lago de Pátzcuaro, afectando procesos de interacción en el ecosistema, reduciendo la diversidad biológica y por lo tanto el aprovechamiento del recurso. Es importante conocer los cambios fisicoquímicos del agua que podrían ser limitantes para la sobrevivencia y desarrollo de la comunidad de peces así como su composición actual, pues ambos son indicadores del grado de alteración del lago. En el presente estudio, se realizó un análisis de la comunidad de peces con base en la densidad de las especies y la comparación de la distribución de estas densidades con los cambios en los factores fisicoquímicos básicos (Oxígeno disuelto, pH y Temperatura). Se observaron diferencias significativas en los cambios de las densidades y los factores fisicoquímicos, entre temporadas y zonas. Sin embargo, estas significancias no coincidieron en todos los casos. La correlación entre las variables coincidentes, sugirió que no existe una relación directa entre los cambios fisicoquímicos sobre los cambios en las densidades, en la mayoría de los casos que se analizaron. Esto sugiere que existen otro tipo de factores pueden estar influyendo en los resultados obtenidos, respecto a la distribución de la comunidad de peces.

## 1. INTRODUCCIÓN

La comunidad de peces es de gran importancia para los ecosistemas lacustres, ya que pueden determinar la composición, abundancia y distribución espacio-temporal de otras comunidades bióticas (Borges *et al.* 2010; Sandoval *et al.* 2014). La composición y estructura de esta comunidad de peces está determinada por distintas variables bióticas y abióticas (Camacho, 2013).

Dentro de las variables abióticas que determinan los intervalos de la “calidad del agua”, se encuentra el pH, que está controlado por diversos factores como la actividad fotosintética, la deposición atmosférica y la descarga de aguas residuales. Cuando se encuentra fuera del rango normal de 6 a 9, puede ser dañino para la vida acuática (Barrenechea, 2001; Patil *et al.* 2012). El oxígeno disuelto, también forma parte de estas variables, éste proporciona información de la actividad bacteriana, los procesos fotosintéticos y la concentración de nutrientes (Premlata Vikal, 2009; Patil *et al.* 2012). El cambio en los niveles de oxígeno disuelto está relacionado directamente con la temperatura (a menor temperatura mayor oxígeno), la salinidad, la presión y la materia orgánica (Aznar, 2000); para la supervivencia y desarrollo de peces y otros organismos, es necesario mantener una concentración adecuada de oxígeno disuelto en el agua, que va de 5 a 11 mg/l (Rodríguez, 2014). Así mismo, la temperatura es otra variable fundamental, pues controla la velocidad de las reacciones químicas (Patil *et al.* 2012), influye directamente en la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la formación de depósitos, la solubilidad de sustancias, la sedimentación, la liberación de nutrientes y metales del sedimento (Bostrom *et al.* 1988; Harris, 1999; Barrenechea, 2001). Estos factores son fundamentales en cualquier proceso acuícola, ya que de estos dependerá el crecimiento, la reproducción y la supervivencia de la comunidad de peces y otros organismos (González, 2009).

Por otra parte, cada especie tiene intervalos específicos de tolerancia a los cambios de las variables fisicoquímicas (González, 2009). Un ejemplo de esto es que, la distribución

espacio-temporal de peces adultos y juveniles está influenciada por los cambios en los factores como temperatura y el pH (Arancibia, 1985; Laroche *et al.* 1997; Sandoval *et al.* 2014). El gradiente de temperatura cambia de forma natural dependiendo de la época del año (Aznar, 2000); este parámetro, afecta la estabilidad bioquímica de los peces, la cual es necesaria para un óptimo desarrollo en cuanto al desove, la gestación, en el caso de las especies vivíparas, la viabilidad, el crecimiento y supervivencia (Osalde, 2004, Patil *et al.* 2012).

En los lagos templados subhúmedos, la variación estacional está determinada principalmente por la precipitación, la cual fluctúa durante el día y el año. La dinámica en la estructura de la comunidad de peces está relacionada con dicha variación (Schneider, 1990; Orozco, 1994; Sandoval *et al.* 2014).

Los factores bióticos, en este caso, se refieren a la presencia de especies que componen a la comunidad de peces. Esta se puede ver alterada por la introducción de especies no nativas, pues algunas de ellas pueden convertirse en invasoras. Esta introducción está considerada como la segunda causa más importante de la pérdida de biodiversidad a nivel mundial (Vitousek, 1996; Leung, 2002). Esto es debido a que los factores naturales que mantienen el crecimiento poblacional bajo control en su hábitat nativo, como son los depredadores, agentes patógenos, competidores, etc., no están presentes en el ecosistema invadido (Mendoza *et al.* 2014).

La composición de la comunidad de peces del lago de Pátzcuaro ha sido modificada por la acumulación y combinación de efectos provocados por las actividades humanas, las cuales se incrementaron a partir de los años 30 del siglo pasado (Ramírez y Domínguez, 2015). Los principales factores que han afectado la comunidad de peces son: la introducción de especies exóticas, la sobreexplotación de las especies nativas, los aportes de materia orgánica, la eutrofización del agua y la fragmentación del hábitat (Peters *et al.* 2005; Alonso-Eguáalis y Vargas, 2014; Ramírez y Domínguez, 2015). El cambio en la composición

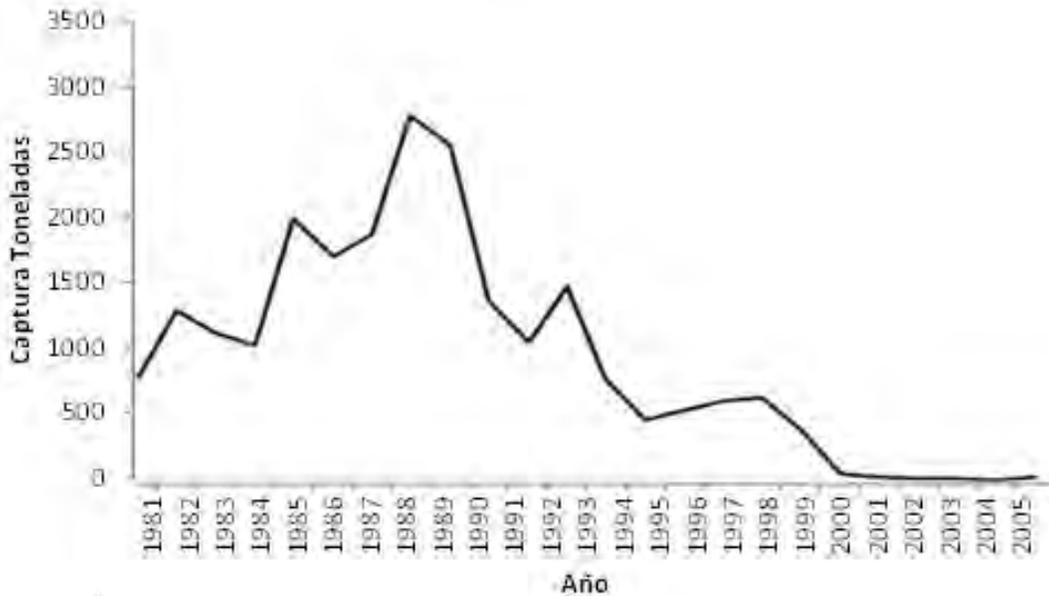
de las especies de peces afecta procesos del ecosistema, reduce la diversidad biológica, disminuye la producción pesquera y, por lo tanto, el aprovechamiento del recurso pesquero (Zambrano *et al.* 2011).

En el lago de Pátzcuaro, se tiene registro de la introducción de diferentes especies exóticas, como la lobina negra (*Micropterus salmoides*), nativa de América del norte, introducida en 1933, afectando la producción de las especies pesqueras locales desde entonces (Lara, 1980; INAPESCA, 1995); la carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idella*), especie nativa de China, introducida en 1972 con fines de control biológico de malezas acuáticas, pero sin éxito de reproducción en el lago (Ramírez y Domínguez, 2015); la carpa común (*Cyprinus carpio*), nativa del continente Asiático, introducida durante los años 70 y la tilapia (*Oreochromis aureus*), nativa del continente Africano, introducida en los años 80, estas últimas fueron introducidas con el propósito de incrementar las opciones alimenticias para la población (Lara, 1980; Tapia y Zambrano, 2003; Alay, 2006; Ramírez y Domínguez, 2015). Algunas de las especies introducidas tuvieron un efecto invasor sobre la comunidad de especies nativas del lago; sin embargo, no todas representaron una amenaza, como es el caso de *Poeciliopsis infans*. Esta es una especie originaria del centro de México y no ha sido una amenaza para la comunidad de peces nativas (Ramírez *et al.* 2014).

Actualmente, las especies exóticas que predominan en el lago son la carpa (*C. carpio*) y la tilapia (*O. aureus*) (Zambrano *et al.* 2011). Estas especies tienen alta tolerancia a cambios en los parámetros fisicoquímicos del agua, alta tasa de fecundidad, una tasa rápida de crecimiento e intervalos tróficos amplios (Rojas, 2005; Córdova-Tapia, 2015). Diversos estudios sugieren que estas especies introducidas compiten directamente con las especies nativas por el hábitat (Lara, 1980; Rojas, 2005; Córdova-Tapia, 2015). Estos factores, en conjunto, pueden provocar exclusión competitiva de las especies nativas.

En el caso de *C. carpio*, existe evidencia de que es una de las principales causas de pérdida de biodiversidad y transparencia en los lagos someros. Se sabe que *C. carpio* aumenta la turbidez porque posee el hábito de remover la cobertura vegetal y el sedimento para buscar su alimento. Esto, en conjunto con su adaptabilidad a la turbidez y su carácter omnívoro, le otorga una ventaja sobre las especies nativas (Caraveo, 2013).

Asimismo, la sobreexplotación de los recursos pesqueros es otra de las principales causas que afectan las poblaciones de especies nativas. De acuerdo con las cifras del Instituto Nacional de la Pesca, en el lago de Pátzcuaro, en 1981 se pescaron 136 toneladas de pescado blanco (*Chirostoma estor estor*), pero en 1999 se registraron únicamente cuatro toneladas y en el año 2000, la captura de esta especie representó sólo el 1% de la producción total del lago con menos de una tonelada (Gaspar-Dillanes *et al.* 2000). Este colapso en la producción pesquera no sólo estuvo ligado al pez blanco sino a toda la comunidad de peces, incluyendo a las especies introducidas (Figura 1). La causa de este colapso se le atribuye a la sobreexplotación pesquera durante la década de los ochenta (Orbe-Mendoza y Acevedo-García, 2002), la cual ocasionó una gran pérdida económica para la población local desde el año 2000, pues la pesca representaba una de sus principales fuentes de ingreso (Ramírez y Domínguez, 2015).



**Figura 1.** Producción pesquera multispecifica (toneladas) desde 1981 hasta 2005 en el lago de Pátzcuaro. Tomado de Zambrano *et al.* 2014.

Otro elemento que afecta a la comunidad de peces es la disminución de la calidad del agua del lago de Pátzcuaro (Ramírez y Domínguez, 2015). Esta disminución se debe a el aporte de sedimento y materia orgánica acarreada desde la parte alta de la cuenca, la cual aumenta en zonas que han sido deforestadas y en las que ahora se realizan actividades como la agricultura, la ganadería o asentamientos urbanos (Bravo *et al.* 2012; Ramírez y Domínguez 2015). Se calcula que cada temporada de lluvias son depositados en el lago 100,000 m<sup>3</sup> de sedimento, lo que ha provocado que el lago pierda profundidad continuamente (Medina *et al.* 2010; Ramírez y Domínguez, 2015). Por ejemplo, en las últimas décadas se ha observado una desecación progresiva de sur a norte (Bravo *et al.* 2012; Medina *et al.* 2010). Asimismo, la mayoría de las zonas someras que existían en el margen del lago han desaparecido, de forma que se secan por completo. Estas zonas servían de sitios de reproducción para la mayoría de los peces y anfibios nativos como el *Ambystoma dumerilii* (Medina *et al.* 2010). Asimismo, las descargas de aguas residuales urbanas y rurales aumentan la cantidad de materia orgánica, provocando la alteración de la calidad del agua, pues aumenta la productividad primaria (IMTA-FGRA, 2007).

En la actualidad, la acumulación de materia orgánica en el sedimento alcanza un espesor de más de 2 metros y se calcula una pérdida de profundidad máxima de 5 metros aproximadamente, desde 1930 a la actualidad (Medina *et al.* 2010; Ramírez y Domínguez, 2015). Esta masa de sedimento es removida y suspendida en la columna de agua constantemente debido a la acción del viento, el flujo de embarcaciones y los hábitos de forrajeo de la carpa (Zambrano *et al.* 2011; Ramírez y Domínguez, 2015). Cuando el sedimento es resuspendido, aumenta la turbidez del agua, lo que disminuye la penetración de la luz en la columna de la misma. Esto perjudica la función de plantas acuáticas y otras especies que viven en la columna de agua y en el bentos (Córdova-Tapia, 2011). Asimismo, la eutrofización del lago provoca bajas concentraciones de oxígeno o la acumulación de sustancias tóxicas (Bravo *et al.* 2012; Ramírez y Domínguez, 2015).

Considerando lo anterior, es importante conocer los cambios fisicoquímicos del agua que ocurren en las distintas temporadas del año y que podrían ser limitantes para la supervivencia y desarrollo de la comunidad de peces así como su composición actual, pues ambos son indicadores del grado de alteración del sistema (Badillo *et al.* 2009).

## **2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuál es la composición espacial y temporal de la comunidad de peces del lago de Pátzcuaro y cómo está relacionada con la calidad del agua?

## **3. OBJETIVOS PARTICULARES**

- Describir la composición de la comunidad de peces del lago de Pátzcuaro, de los muestreos en las temporadas de lluvias, secas frías y secas cálidas.
- Determinar la densidad de biomasa y de individuos de cada una de las especies de peces en tres zonas del lago, durante la temporada de lluvias, secas frías y secas cálidas

- Determinar los cambios de las variables fisicoquímicas en las tres zonas del lago, durante la temporada de lluvias, secas frías y secas cálidas
- Determinar si existe alguna relación entre los cambios de las densidades y los parámetros fisicoquímicos

#### 4. MATERIALES Y MÉTODO

##### 4.1 Sitio de estudio

El lago de Pátzcuaro se ubica en la parte centro-norte del estado de Michoacán, dentro de una cuenca endorreica. Se ubica en las coordenadas 101° 25' y 101° 54' longitud oeste y 19° 25' y 19° 45' latitud norte, con una altitud de 2,035 ms.n.m. Es el tercer lago más grande del país con un área de 95.98 km<sup>2</sup> y una profundidad promedio de 4.7 metros (Aguilar, 2003) (Figura 2).



##### Cuenca del Lago de Pátzcuaro

**Figura 2.** Localización del lago de Pátzcuaro, Michoacán.

El lago de Pátzcuaro registra un clima templado subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual registrada en la zona del lago es de 12 a 16 °C, mientras que en el resto del municipio es de 16 a 24 °C (De Buen, 1941c, 1944; Osorio-Tafal, 1941,1944; Deevey, 1957; García, 1988). La precipitación anual oscila entre 900 mm y 1,400 mm y la evaporación promedio es de 1,393 mm (García, 1998). Actualmente, el lago está clasificado como eutrófico-hipereutrófico, de acuerdo al índice del estado trófico (Escalante *et al.* 2005; Sánchez-Chávez *et al.* 2011), este término, se refiere a que el lago presenta un exceso de nutrientes en el agua, principalmente de nitrógeno y fósforo. Las consecuencias de esto son exceso de vegetación y otros organismos que disminuyen el nivel de oxígeno del agua (Margalef, 1981; Chalar, 2007; Moreno, 2010).

La mayor parte de los suelos de la cuenca son jóvenes en proceso de formación y muy susceptibles a la erosión. La vegetación se conforma por bosques mixtos de pino-encino, oyamel, selva baja caducifolia, pastizales, matorral subtropical, matorral desértico micrófilo, especialmente asociaciones de huizache-mezquite, vegetación halófila, vegetación acuática y subacuática (CONABIO, 2014). El uso de suelo de la cuenca varía en cada zona. Por ejemplo, en la parte norte predomina el uso de suelo agrícola (45%), en la parte central el uso forestal y forestal perturbado (37%) y en el sur el urbano (3.1%) (Huerto *et al.* 2009; Córdova-Tapia, 2011).

## **4.2 Especies de estudio**

### **4.2.1 Charal (Atherinopsidae: *Chirostoma* sp.)**

En el lago de Pátzcuaro se han reportado cuatro especies de charal: *Chirostoma patzcuaro*, *Chirostoma attenuantum*, *Chirostoma grandocule* y *Chirostoma estor* o pez blanco (Jiménez-Badillo y García, 1995; Zambrano *et al.* 2014). Tienen un crecimiento relativamente lento y alcanzan la madurez al año de vida. La talla varía dependiendo de la

especie, que va desde los 5 cm hasta los 22 cm, como es el caso de *Chirostoma estor estor* (Pez blanco). La reproducción ocurre durante la mayor parte del año (Soria-Barreto *et al.* 1998) y los desoves son múltiples (de tipo asincrónico) (García de León, 1984). Sin embargo, la mayoría de los desoves ocurre de diciembre a septiembre (Villicaña, 1999). Pueden desovar de 800 hasta 2600 óvulos dependiendo de la talla y edad. Estos peces tienen hábitos carnívoros durante todos sus estadios de vida, aunque su dieta cambia a través de los mismos de acuerdo a la disponibilidad de alimento. Se considera una especie poco tolerante, debido a que sus intervalos de tolerancia son cortos respecto a los cambios fisicoquímicos del agua (Eschmeyer, 1996). La temperatura óptima para su reproducción se encuentra entre los 20 - 22 °C (Rojas y Barba, 2003). Tolera una concentración promedio de oxígeno disuelto de 0.4 mg/l y un pH de 7.2- 8.2 (Eschmeyer, 1996) (Figura 3).



**Figura 3.** *Chirostoma estor*. Obtenido de SAGARPA, 2015.

#### 4.2.2 Tiro (Goodeidae: *Goodea atripinnis*)

Esta especie alcanza una longitud total de 12 a 13 cm (Meyer *et al.* 1985). Son vivíparos y tienen un período reproductivo largo que va de enero a julio (Kingston, 1979). De acuerdo con Nelson (1994) en el lago de Pátzcuaro, solamente tiene un desove por año, con nacimiento de crías entre junio y agosto. Se alimenta de algas verdes filamentosas y de fauna asociada a esta vegetación, como crustáceos y moluscos pequeños. Habita en fondos lodosos y ricos en vegetación de aguas poco profundas y semi-cálidas (Nelson, 1994). Tolera un intervalo de pH de 7.5 a 8 y temperaturas entre 18 y 24°C, siendo 21°C la

ideal para su reproducción (Fisher, 2015). Tiene tolerancia a concentraciones a partir de 0.98 mg/l de oxígeno disuelto (Silva *et al.* 2016) (Figura 4).



**Figura4.** *Goodea atripinis*. Slaboch y Roman, 2011 (obtenido de Goodeid Working Group, 2015).

#### 4.2.3 Poecilido (Poeciliidae: *Poeciliopsis infans*)

Son peces de talla pequeña (2.5cm- 5 cm) (Wischnath, 1993). Presentan una aleta pectoral insertada en la mitad superior del cuerpo. Producen entre 10 y 40 crías después de 28 días de gestación, no tienen un periodo estacional de reproducción (Wischnath, 1993), y su dieta se compone principalmente de insectos y detrito. Comúnmente, se encuentran en las orillas debajo de rocas o vegetación (Huidobro, 2000). Son capaces de tolerar amplios intervalos de temperatura (21°- 38°C) y pH (6.5 – 8.0). Es una especie originaria del río Lerma, introducida en el lago en 1997, pero no representan una amenaza para las especies nativas (Ramírez *et al.* 2013) (Figura 5).



**Figura 5.** *Poeciliopsis infans*. Reyes, 2006, obtenido de Fish Base, 2015

#### 4.2.4 Carpa (*Cyprinidae: Cyprinus carpio*)

Esta especie es de cuerpo robusto, tiene una talla promedio entre 25 y 36 cm (Murdy *et al.* 1997) y puede llegar a pesar entre 3 y 5 kg. Su temporada de desove ocurre entre primavera y verano en aguas poco profundas, siendo capaz de desovar más de 100 mil huevecillos por kilogramo de peso. Son omnívoros pero tienden a ser detritófagos (Nelson, 1994). Habita aguas lénticas y es capaz de adaptarse a casi cualquier clima, siendo ideal un intervalo de 23 a 30°C y un pH que va desde 6.5 a 8. Puede desarrollarse y reproducirse tanto en aguas turbias como transparentes, siendo capaces de resistir condiciones poco favorables para otras especies. Por ejemplo, tolera una baja disponibilidad de oxígeno disuelto (0.3 a 0.5 mg/l) (Nelson, 1994). Es una especie introducida en el lago, nativa de Asia (FAO, 2014) (Figura 6).



**Figura 6.** *Cyprinus carpio*. Chernilevsky, George, 2008, obtenido de Commons, 2015.

#### 4.2.5 Tilapia (*Cichlidae: Oreochromis aureus*)

De acuerdo con Hernández (2004) son de cuerpo comprimido y alcanzan una longitud entre 22.4 a 40 cm y llegan a pesar hasta 1.250 kg. En condiciones favorables puede llegar a desovar más de 2000 huevos durante todo el año y en climas templados sólo desovan en verano. Su alimentación varía de acuerdo a las condiciones del lago y a la disponibilidad de alimento. Es una especie omnívora que se alimenta de fitoplancton, zooplancton, detritos, macrófitas y peces pequeños. La temperatura ideal para su reproducción es de 26 a 29 °C y es sensible a bajas temperaturas (9° a 13° C) (Saavedra, 2006). Se ha reportado que a bajas temperaturas se inhibe su reproducción e incluso puede provocar mortalidad. Tolera

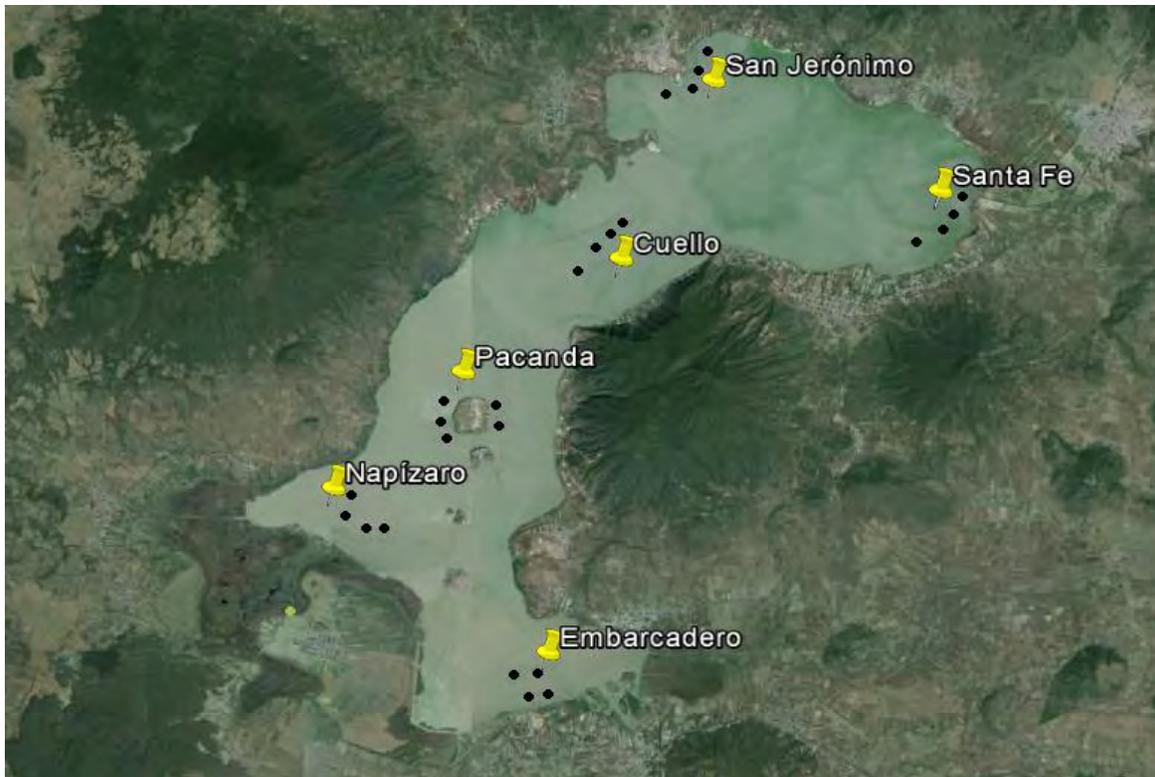
una concentración mínima de 1 mg/l de oxígeno disuelto, los valores óptimos de pH para esta especie son entre 7 y 8 y no toleran valores menores de 5, pero resisten valores alcalinos de hasta 11 (Saavedra, 2006).



**Figura 7.** *Oreochromis aureus*. GIPP, 2010, obtenido de AORI, 2015.

#### **4.3 Colecta en campo**

El trabajo de campo se llevó a cabo del 30 de agosto al 2 de septiembre de 2011 que corresponde a la época de lluvias, del 5 al 11 de diciembre de 2011 que corresponde a la época de secas- frías y los días 16 y 17 de abril de 2012 a la época de secas-cálidas. Con el objetivo de estudiar organismos en condiciones ambientales contrastantes, se muestrearon dos sitios en cada una de las zonas del lago, Norte (San Jerónimo, Santa Fe), Centro (Pacanda, Cuello) y Sur (Cuello, Embarcadero) de acuerdo con la zonificación presentada por Córdova-Tapia (2011) (Figura 8). A cada zona se le asignó el nombre de la localidad más cercana.



**Figura 8.** Localización de los sitios de muestreo. La marca amarilla corresponde a las zonas donde se realizaron los lances de pesca y los puntos negros señalan los lugares donde se tomaron los parámetros fisicoquímicos.

La colecta de peces se realizó mediante seis lances por sitio, tres con chinchorro charalero (75 x 5 m, con luz de malla de 1 cm) para capturar a las especies de talla pequeña (*Chirostoma sp.*, *G. atripinnis* y *P. infans*) y tres con chinchorro carpero (150 x 9 m, con luz de malla de 4 cm) para las especies de talla más grande (*C. carpio* y *O. aureus*), este método se realizó para cada una de las temporadas. Todos los individuos que se capturaron fueron contados y pesados.

Se muestrearon tres parámetros fisicoquímicos básicos (temperatura, pH y oxígeno disuelto) con ayuda de una sonda multiparamétrica ISY (6600V2) en puntos cercanos a la zona en la que se realizó la pesca. De acuerdo con el INAPESCA (2012) y Rojas y Barba (2003), estas variables son las más utilizadas para analizar la tolerancia de los peces a los cambios fisicoquímicos del agua, debido a que existe una relación dependiente entre

estos parámetros y la presencia de algunas especies, además de proporcionar información sobre la calidad del agua. En total se muestrearon 25 puntos en cada una de las temporadas.

#### 4.4 Análisis de datos

Para el análisis de las densidades de cada especie, se tomó en cuenta el área del arte de pesca (447.6 m<sup>2</sup> del chinchorro “charalero” y 1790.5 m<sup>2</sup> para el chinchorro “carpero”), el número de lances, el número de organismos capturados y su peso. Debido a que la captura por medio de chinchorros es selectiva, para *Chirostoma* sp. y *P. infans* se usó el área del chinchorro charalero y para *C. carpio* el área del chinchorro carpero. Para *G. atripinnis* y *O. aureus* no hubo diferencia entre el número de individuos capturados con los dos tipos de red, por lo que se realizó un promedio de la captura de ambas redes. Con estos datos se calculó la densidad de individuos (ind m<sup>-2</sup>) y la densidad de biomasa (g m<sup>-2</sup>) de cada especie para cada zona y temporada.

En el caso de los charales, se decidió clasificar a los organismos a nivel de género (*Chirostoma*) debido a que esta especie presenta una clasificación taxonómica complicada (Barbour 1973, Zambrano *et al.* 2014).

Para los parámetros fisicoquímicos (pH, oxígeno disuelto y temperatura) se obtuvo el promedio y el error estándar de cada zona en cada una de las temporadas.

Las pruebas de normalidad indicaron que la distribución de datos de las densidades y los parámetros fisicoquímicos no son normales ni homocedásticos. Debido a esto, para observar si existían diferencias significativas en las densidades de biomasa y de individuos entre zonas y entre temporadas, además de entre los tres factores fisicoquímicos, se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Posteriormente, se aplicó una prueba post-hoc de Mann Whitney a las variables que sí presentaron diferencias significativas,

para observar cuáles eran las medias que diferían entre zonas y entre temporadas. Estas pruebas se realizaron con ayuda del programa estadístico PAST.

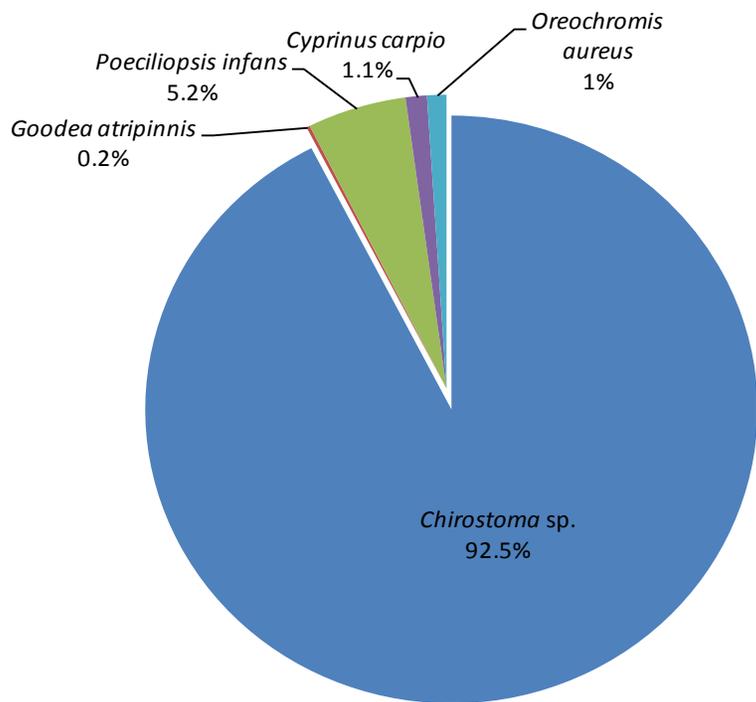
Para observar si existía asociación entre las variables fisicoquímicas y las densidades de la comunidad de peces, se realizó una correlación de Spearman, únicamente entre las densidades que coincidieron con las diferencias significativas de fisicoquímicos. Para esto, se obtuvieron las diferencias de cada una de las variables bióticas y abióticas que indicaron tener cambios significativos entre temporadas y zonas. A las diferencias resultantes se les aplicó la prueba mencionada, en el programa estadístico STATISTICA.

## 5. RESULTADOS

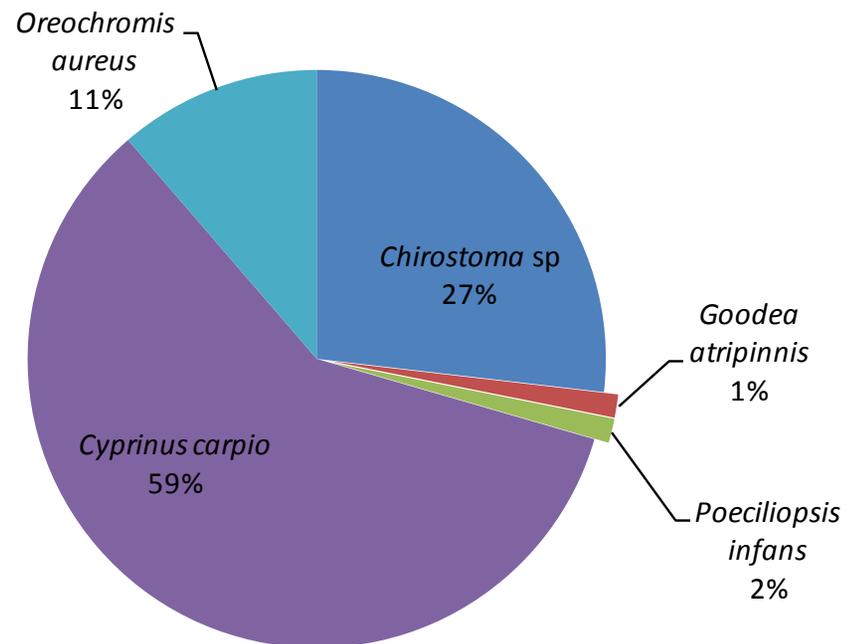
### 5.1 Comunidad de peces

La comunidad de peces que se registró en el lago de Pátzcuaro estuvo compuesta por cinco especies, con un total de 47,772 individuos y un peso total de 94.195 Kg. La especie dominante en individuos fue *Chirostoma* sp. Representan el 92.5%, y es seguido por *Poeciliopsis infans* con el 5.2%, *Cyprinus carpio* con el 1.1%, *Oreochromis aureus* con el 1% y por último *Goodea atripinnis* con el 0.2%. La especie que registró el mayor peso (kg) fue *C. carpio* con 59%, seguido de *Chirostoma* sp. con 27%, *O. aureus* con 11%, *P. infans* con 2% y *G. atripinnis* con 1% del peso total (Figura 1).

Se obtuvo una densidad total de individuos de 105.3 ind/m<sup>2</sup>, de la cual *Chirostoma* sp. representó el 95.7% del total, *C. carpio* el 3.2%, *P. infans* el 0.6%, *Oreochromis aureus* el 0.3% y *Goodea atripinnis* el 0.2%. La densidad total de biomasa fue de 96.01 g m<sup>-2</sup>, de la cual *Chirostoma* sp. representó el 59.8%, seguido de *Cyprinus carpio* con el 26%, *Oreochromis aureus* el 6.1%, *Poeciliopsis infans* el 5.3% y *Goodea atripinnis* el 2.8 % (Figura 2).



**Figura 9.** Porcentaje de individuos total por especie.



**Figura 10.** Porcentaje del peso total por especie.

La temporada con mayor captura de individuos fue la de lluvias, con un total de 25,580 individuos, seguida de la temporada de secas frías con 11,739 y la temporada de secas cálidas con 10,453 individuos. Los individuos de mayor peso se registraron en la temporada de secas cálidas, con un total de 42.5 kg, seguido de la temporada de lluvias con 35.9 kg y la temporada de secas frías con 15.8 kg. La densidad mayor de individuos por temporada se registró en lluvias con 52.8 ind/m<sup>2</sup>, 28.8 ind/m<sup>2</sup> en secas frías y 23.8 ind/m<sup>2</sup> en secas cálidas con la menor densidad de individuos.

La densidad de biomasa por temporada registró 36.9 g m<sup>-2</sup> en lluvias, 22.2 g m<sup>-2</sup> en secas frías con la menor biomasa y 37.9 g m<sup>-2</sup> en secas cálidas. La zona con la mayor captura de individuos fue la del centro, con un total de 16,277 individuos, muy similar a la del sur con 16,237 individuos, y con la menor cantidad de capturas registradas fue la zona norte con 15,258 individuos. Los organismos con mayor peso se registraron en la zona norte, con 41.8 kg, seguidos de la zona sur con 38.7 kg y los de menor peso en el centro con 13.6 kg. La densidad total de individuos entre zonas registró: 33.6 ind/m<sup>2</sup> en el norte con el menor registro, 36.3 ind m<sup>-2</sup> en el centro con el mayor registro y en el sur 35.6 ind m<sup>-2</sup>. La densidad total de biomasa entre zonas registró: 38.8 g m<sup>-2</sup> en la zona norte con la mayor biomasa, 20.1 g m<sup>-2</sup> en el centro con la menor y 37.1 g m<sup>-2</sup> en el sur.

### 5.1.1 Densidades de cada especie por temporada

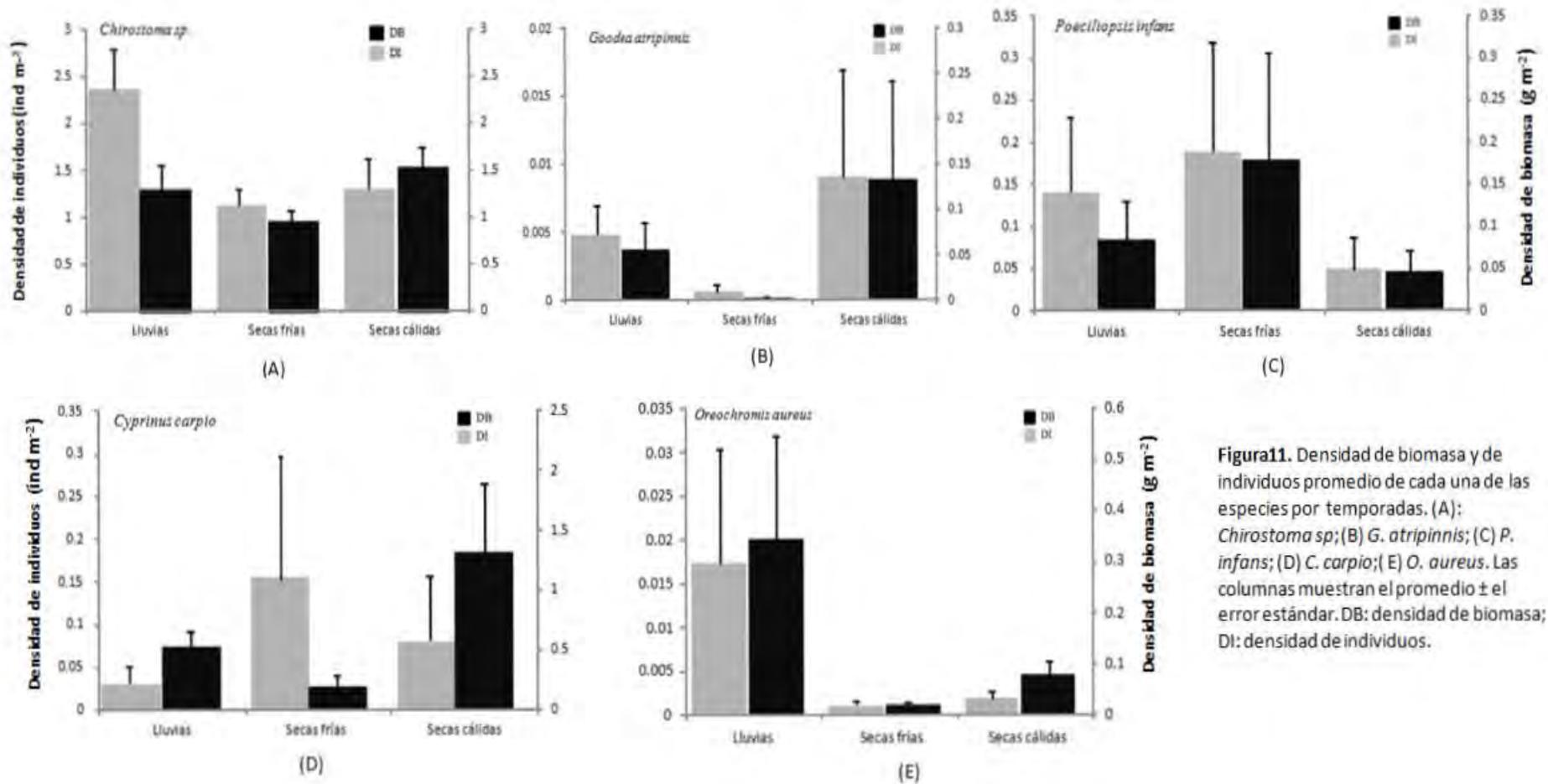
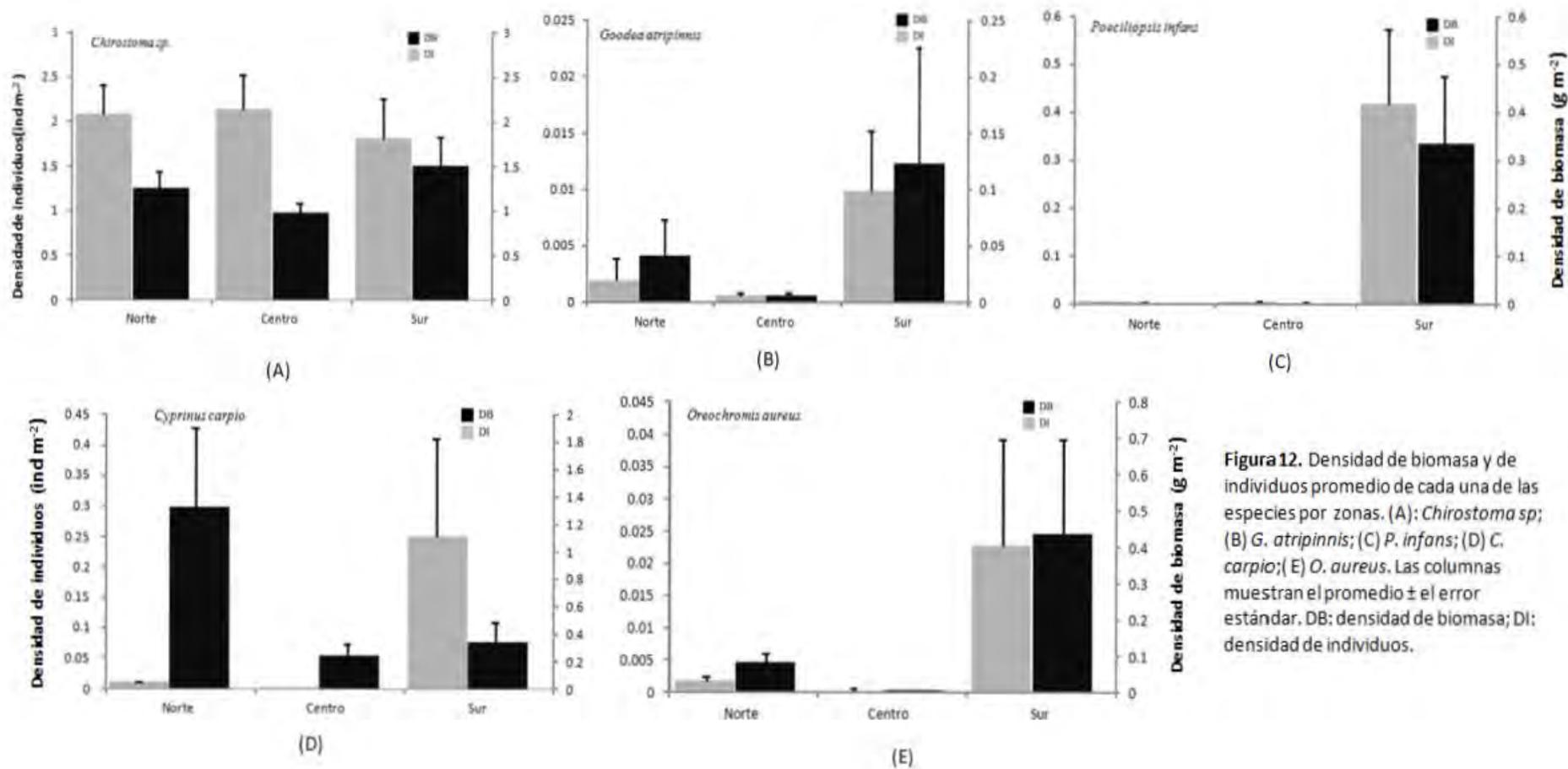


Figura 11. Densidad de biomasa y de individuos promedio de cada una de las especies por temporadas. (A): *Chirostoma sp.*; (B) *G. atripinnis*; (C) *P. infans*; (D) *C. carpio*; (E) *O. aureus*. Las columnas muestran el promedio  $\pm$  el error estándar. DB: densidad de biomasa; DI: densidad de individuos.

### 5.1.2 Densidades de cada especie por zona



**Figura 12.** Densidad de biomasa y de individuos promedio de cada una de las especies por zonas. (A) *Chirostoma sp.*; (B) *G. atripinnis*; (C) *P. infans*; (D) *C. carpio*; (E) *O. aureus*. Las columnas muestran el promedio  $\pm$  el error estándar. DB: densidad de biomasa; DI: densidad de individuos.

En promedio, la especie dominante del lago es *Chirostoma* sp. con la mayor densidad de individuos en todas las temporadas y zonas (figura 11A). La especie con menor densidad de individuos es *G. atripinnis*, pues hubo pocas capturas de esta especie en todas las temporadas y zonas del lago (figura 11B y 12B). En el caso de *P. infans*, *C. carpio* y *O. aureus* entre zonas, se registraron la mayoría de las densidades de individuos en el sur del lago (figuras 12 C, D, E). En el caso de la densidad de biomasa, la mayor la obtuvo *C. carpio* en temporadas y zonas y la menor nuevamente *G. atripinnis*.

La zona del lago que registró las mayores densidades es el sur y la que menores fue el centro. En el caso de las temporadas, varió dependiendo de la especie, pero la mayoría registró las densidades más bajas en la temporada de secas frías.

La densidad promedio de individuos en temporadas de *Chirostoma* sp. más alta, fue en lluvias ( $2.4 \pm 0.5$  ind  $m^{-2}$ ) y la más baja en secas frías ( $1.2 \pm 0.2$  ind  $m^{-2}$ ). Entre zonas, la más alta fue en el centro del lago ( $2.2 \pm 0.4$  ind  $m^{-2}$ ) y la menor en la parte sur del lago ( $1.9 \pm 0.5$  ind  $m^{-2}$ ). En el caso de la densidad promedio de biomasa, entre temporadas, la más alta fue secas cálidas ( $1.05 \pm 0.3$  g  $m^{-2}$ ) y la más baja en secas frías ( $0.9 \pm 0.1$  g  $m^{-2}$ ). Entre zonas, la mayor fue en la parte sur del lago ( $1.5 \pm 0.3$  g  $m^{-2}$ ), y la menor en la zona centro ( $0.9 \pm 0.1$  g  $m^{-2}$ ) (figuras 11A y 12A).

La densidad promedio de individuos en temporadas de *G. atripinnis* más alta, fue en secas cálidas ( $0.009 \pm 0.007$  ind  $m^{-2}$ ) y la más baja en secas frías ( $0.0006 \pm 0.0005$  ind  $m^{-2}$ ). Entre zonas, la más alta fue en el sur del lago ( $0.01 \pm 0.005$  ind  $m^{-2}$ ) y la menor en el centro del lago ( $0.0006 \pm 0.0003$  ind  $m^{-2}$ ). En el caso de la densidad promedio de biomasa, entre temporadas, la más alta fue secas cálidas ( $0.1 \pm 0.1$  g  $m^{-2}$ ) y la más baja en secas frías ( $0.002 \pm 0.002$  g  $m^{-2}$ ). Entre zonas, la mayor fue en la parte sur del lago ( $0.1 \pm 0.1$  g  $m^{-2}$ ), y la menor en la zona centro ( $0.005 \pm 0.003$  g  $m^{-2}$ ) (figuras 11B y 12B).

La densidad promedio de individuos en temporadas de *P. infans* más alta, fue en secas frías ( $0.2 \pm 0.1 \text{ ind m}^{-2}$ ) y la más baja en secas cálidas ( $0.05 \pm 0.03 \text{ ind m}^{-2}$ ). Entre zonas, la más alta fue en el sur del lago ( $0.4 \pm 0.1 \text{ ind m}^{-2}$ ) y la menor en el norte del lago ( $0.002 \pm 0.001 \text{ ind m}^{-2}$ ). En el caso de la densidad promedio de biomasa, entre temporadas, la más alta fue secas frías ( $0.2 \pm 0.1 \text{ g m}^{-2}$ ) y la más baja en secas cálidas ( $0.04 \pm 0.03 \text{ g m}^{-2}$ ). Entre zonas, la mayor fue en la parte sur del lago ( $0.3 \pm 0.1 \text{ g m}^{-2}$ ), y la menor en la zona norte ( $0.002 \pm 0.001 \text{ g m}^{-2}$ ) (figuras 11C y 12C).

La densidad promedio de individuos en temporadas de *C. carpio* más alta, fue en secas frías ( $0.2 \pm 0.2 \text{ ind m}^{-2}$ ) y la más baja en lluvias ( $0.03 \pm 0.01 \text{ ind m}^{-2}$ ). Entre zonas, la más alta fue en el sur del lago ( $0.3 \pm 0.2 \text{ ind m}^{-2}$ ) y la menor en el centro del lago ( $0.0007 \pm 0.0002 \text{ ind m}^{-2}$ ). En el caso de la densidad promedio de biomasa, entre temporadas, la más alta fue en secas cálidas ( $1.3 \pm 0.6 \text{ g m}^{-2}$ ) y la más baja en secas frías ( $0.2 \pm 0.1 \text{ g m}^{-2}$ ). Entre zonas, la mayor fue en la parte norte del lago ( $1.3 \pm 0.5 \text{ g m}^{-2}$ ), y la menor en la zona centro ( $0.3 \pm 0.2 \text{ g m}^{-2}$ ) (figuras 11D y 12D).

La densidad promedio de individuos en temporadas de *O. aureus* más alta fue en lluvias ( $0.02 \pm 0.01 \text{ ind m}^{-2}$ ), y la más baja en secas frías ( $0.0009 \pm 0.0004 \text{ ind m}^{-2}$ ). Entre zonas, la más alta fue en el sur del lago ( $0.02 \pm 0.01 \text{ ind m}^{-2}$ ) y la menor en el centro del lago ( $7.4 \times 10^{-5} \pm 5.0 \times 10^{-5} \text{ ind m}^{-2}$ ). En el caso de la densidad promedio de biomasa, entre temporadas, la más alta fue en lluvias ( $0.3 \pm 0.2 \text{ g m}^{-2}$ ) y la más baja en secas frías ( $0.02 \pm 0.008 \text{ g m}^{-2}$ ). Entre zonas, la mayor fue en la parte sur del lago ( $0.4 \pm 0.2 \text{ g m}^{-2}$ ), y la menor en la zona centro ( $0.006 \pm 0.005 \text{ g m}^{-2}$ ) (figuras 11E y 12E).

5.1.3. Diferencias significativas de la densidad de biomasa y de individuos entre temporadas y zonas.

**Cuadro 1.** Valores de P de la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis y prueba post-hoc Mann Whitney, para comprobar diferencias significativas de medianas de la densidad de individuos de cada especie entre temporadas y zonas. Rechazo de  $H_0$  (igualdad) si  $P < \alpha = 0.05^*$ . Aquí indica quiénes son introducidas y quiénes nativas, independientemente de que ya lo hiciste en la descripción de especies.

Densidad de individuos				
Especie	Temporada	Kruskal-Wallis Valor de P	Zona	
			Kruskal-Wallis Valor de P	Post-hoc Mann Whitney Valor de P
<i>Chirostoma sp.</i>	0.1258	0.7604	N-C	-
			N-S	-
			C-S	-
<i>Goodea atripinnis</i>	0.2266	0.06224	N-C	-
			N-S	-
			C-S	-
<i>Poeciliopsis infans</i>	0.6667	0.00041 9*	N-C	-
			N-S	0.001197*
			C-S	0.000621*
<i>Cyprinus carpio</i>	0.485	0.00120 7*	N-C	0.00278*
			N-S	-
			C-S	0.00108*
<i>Oreochromis aureus</i>	0.5757	8.148E- 06*	N-C	0.0007971*
			N-S	0.03015*
			C-S	6.88E-06*

La prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, demostró que la densidad de individuos, sólo tuvo diferencias significativas entre zonas en las especies introducidas (cuadro 1). La prueba post-hoc de Mann Whitney indicó que, para *P. infans* la zona sur es diferente respecto a las otras zonas; para *C. carpio* la zona que resulto diferente es el centro, y la especie de *O. aureus* obtuvo diferencias significativas entre cada una de las zonas del lago (cuadro 1).

**Cuadro 2.** Valores de P de la prueba no paramétrica Kuskal-Wallis y prueba post-hoc Mann Whitney, para comprobar diferencias significativas de medianas entre la densidad de biomasa de cada especie entre temporadas y zonas. Rechazo de  $H_0$  (igualdad) si  $P < \alpha = 0.05^*$

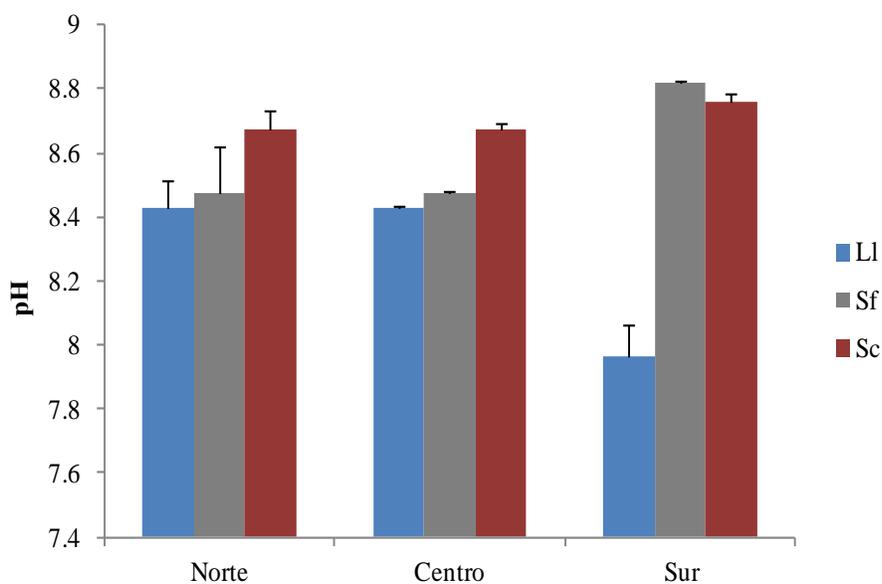
Densidad de biomasa						
Especie	Temporada			Zona		
	Kruskal-Wallis Valor de P	Post-hoc Mann Whitney Valor de P		Kruskal-Wallis Valor de P	Post-hoc Mann Whitney Valor de P	
<i>Chirostoma</i> sp.	0.1706	Li-Sf	-	0.489	N-C	-
		Li-Sc	-		N-S	-
		Sc-Sf	-		C-S	-
<i>Goodea</i> <i>atripinnis</i>	0.01657*	Li-Sf	0.00603*	0.0948	N-C	-
		Li-Sc	-		N-S	-
		Sc-Sf	-		C-S	-
<i>Poeciliopsis</i> <i>infans</i>	0.6599	Li-Sf	-	0.000589*	N-C	-
		Li-Sc	-		N-S	0.001503*
		Sc-Sf	-		C-S	0.000850*
<i>Cyprinus</i> <i>carpio</i>	0.0226*	Li-Sf	0.03621*	0.03336*	N-C	0.0137*
		Li-Sc	-		N-S	-
		Sc-Sf	0.0122*		C-S	-
<i>Oreochromis</i> <i>aureus</i>	0.2262	Li-Sf	-	0.000159*	N-C	0.00122*
		Li-Sc	-		N-S	-
		Sc-Sf	.		C-S	6.51E-05*

En el caso de diferencias significativas entre la densidad de biomasa, se reportaron diferencias en todas las especies, algunas entre temporadas y otras entre zonas; solamente para el caso de *Chirostoma* sp. la temporada y la zona no generaron diferencias significativas. La temporada generó diferencias significativas para la densidad de biomasa en la especie *G. Atripinnis* y *C. carpio*; mientras que para *P. infans* y *C. carpio* la zona fue el factor que generó diferencias significativas, para la primera la temporada de secas frías es diferente respecto a las otras dos, y la segunda se registró entre la zona norte respecto al centro del lago (cuadro 2).

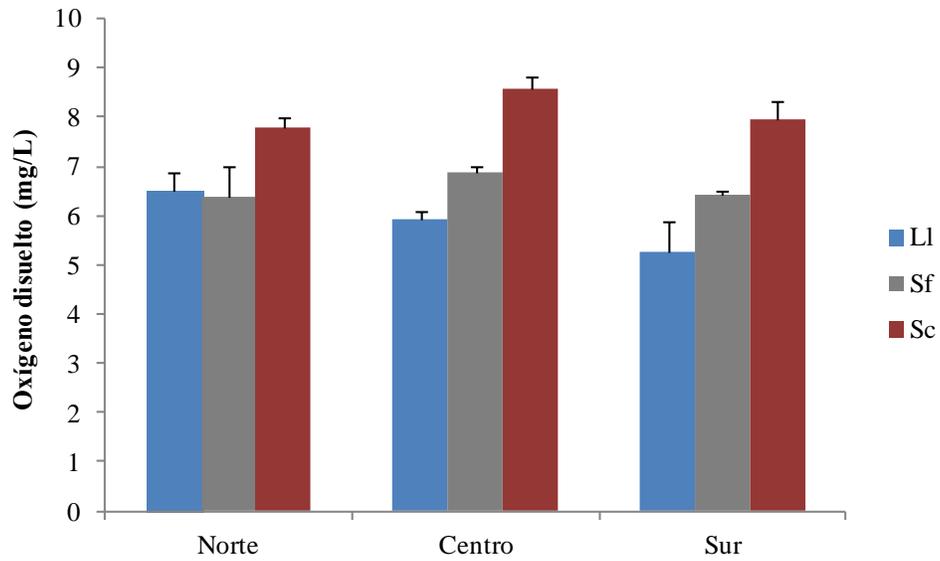
## 5.2. Parámetros fisicoquímicos.

En general, el pH, el oxígeno disuelto (mg/l) y la temperatura (°C), tuvieron el mayor registro en la temporada de secas cálidas. Para el pH y el oxígeno disuelto, el menor registro fue en la temporada de lluvias y para la temperatura fue en secas frías (figuras 13 y 14). En el caso de las zonas, se registraron pocos cambios entre los fisicoquímicos. Los valores más alcalinos de pH se registraron en la zona norte y los menores en el sur (figura 13). Lo mismo ocurrió para el oxígeno disuelto (figura 14). Para la temperatura ocurrió de forma inversa, los valores más altos se registraron en la zona sur y los menores en el norte (figura 15).

### 5.2.1. Promedios entre zonas y temporadas

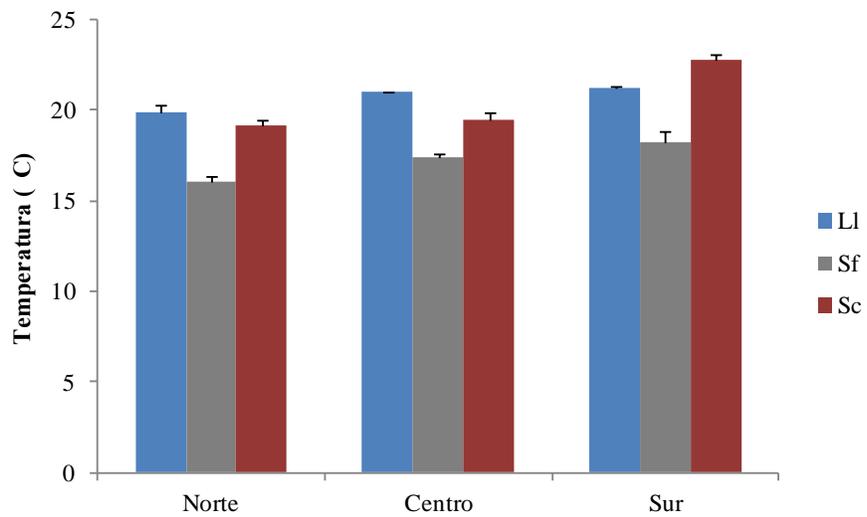


**Figura 13.** pH promedio de cada temporada entre las zonas del lago. Ll: lluvias; Sf: secas frías; Sc: secas cálidas.



**Figura 14.** Oxígeno disuelto (mg/l) promedio de cada temporada entre las zonas del lago.

Ll: lluvias; Sf: secas frías; Sc: secas cálidas.



**Figura 15.** Temperatura (C°) promedio de cada temporada entre las zonas del lago. Ll:

lluvias; Sf: secas frías; Sc: secas cálidas.

**Cuadro 3.** Valores de P de la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis y prueba post-hoc Mann Whitney, para comprobar diferencias significativas de medianas en los parámetros fisicoquímicos entre temporadas y zonas. Rechazo de  $H_0$  (igualdad) si  $P < \alpha = 0.05^*$ .

Fisicoquímicos	Temporada			Zona		
	Kruskal-Wallis Valor de P	Post-hoc Mann Whitney Valor de P		Kruskal-Wallis Valor de P	Post-hoc Mann Whitney Valor de P	
<i>pH</i>	1.079E-06*	Ll-Sf	4.574E-06*	0.1104	N-C	-
		Ll-Sc	4.274E-08*		N-S	-
		Sc-Sf	0.003574*		C-S	-
<i>Oxígeno disuelto (mg/L)</i>	6.304E-09*	Ll-Sf	0.01126*	0.3245	N-C	-
		Ll-Sc	4.882E-08*		N-S	-
		Sc-Sf	5.415E-06*		C-S	-
<i>Temperatura (°C)</i>	1.907E-06 *	Ll-Sf	2.324E-05 *	1.775E-06*	N-C	-
		Ll-Sc	0.2464		N-S	1.755E-06*
		Sc-Sf	6.233E-06 *		C-S	7.008E-05*

El pH mostró cambios significativos entre todas las temporadas. Entre zonas no se registraron cambios significativos para este parámetro (cuadro 3). En la mayoría del lago, se registró un pH alcalino mayor a 8. El pH más bajo, en este caso con valor neutro, se registró en la temporada de lluvias en la zona sur del lago (7.8) y el más alcalino en la misma zona, pero en la temporada de secas frías (8.9). El pH aumenta de norte a sur en las temporadas de secas cálidas y secas frías, en comparación con la temporada de lluvias en donde ocurre lo contrario, pues aumenta de sur a norte (figura 11).

El oxígeno disuelto registró diferencias significativas entre todas las temporadas y para las zonas, se registraron diferencias entre la parte sur respecto al centro y el norte del lago (cuadro 3). Los valores más altos se registraron en la temporada de secas cálidas, en la

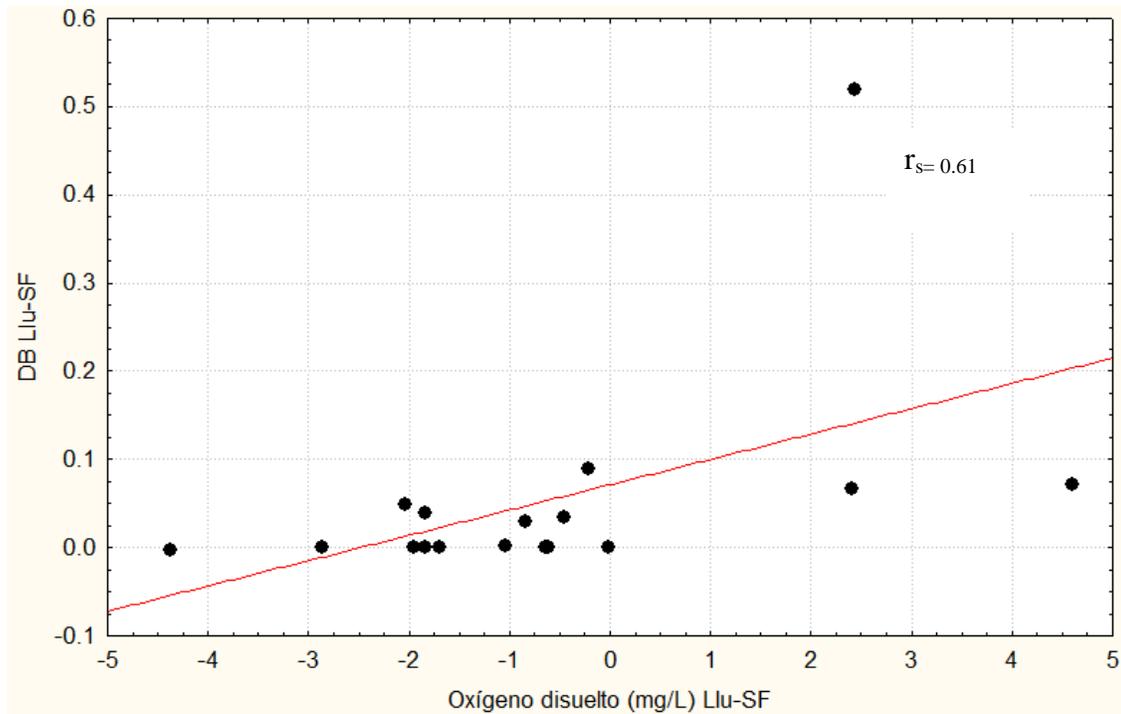
zona centro (8.2 mg/l). Los valores más bajos de oxígeno se identificaron en la zona sur en la temporada de lluvias (4.2 mg/l). El oxígeno disuelto aumenta de norte a sur en las temporadas de secas frías y secas cálidas, en la temporada de lluvias ocurre lo contrario pues aumenta de sur a norte.

La temperatura registró diferencias significativas entre todas las temporadas. En las zonas, la prueba indicó que la zona sur es diferente respecto a las otras (cuadro 3). La temperatura más alta se registró en la temporada de secas cálidas en la zona sur (22.8°C), y la menor en la temporada de secas frías, en la zona norte del lago (16.6 °C). Se observó que la temperatura aumenta de norte a sur en el lago en todas las temporadas (figura 13).

### 5.3 Análisis de correlación.

**Cuadro 4.** Coeficiente de correlación de Spearman. Indica el grado de asociación entre las variables fisicoquímicas y las densidades. De acuerdo con el coeficiente de interpretación, cuando  $r_s = 0 - 0.25$  nula,  $0.26 - 0.50$ : débil,  $0.51 - 0.75$ : moderada\*,  $0.76 - 1.00$ : fuerte\*. DB: densidad de biomasa; DI: densidad de individuos; Llu: lluvias; SF: secas frías; SC: secas cálidas; N: norte; C: centro; S: sur.

Especie	Variables		Zonas o temporadas	Correlación de Spearman Valores de $r_s$ ( $p < 0.05$ )
	Fisicoquímicos	Densidad		
<i>Goodea atripinnis</i>	pH	DB	Llu-SF	0.23
	Oxígeno disuelto (mg/l)	DB	Llu-SF	0.61*
	Temperatura(°C)	DB	Llu-SF	-0.37
<i>Poeciliopsis infans</i>	Temperatura(°C)	DI	S-N	0.02
	Temperatura(°C)	DI	S-C	-0.07
	Temperatura(°C)	DB	S-N	0.18
	Temperatura(°C)	DB	S-C	-0.30
<i>Cyprinus carpio</i>	Temperatura(°C)	DI	S-C	0.06
	pH	DB	SF-Llu	-0.39
	Oxígeno disuelto (mg/L)	DB	SF-Llu	-0.30
	Temperatura(°C)	DB	SF-Llu	-0.13
	pH	DB	SC-SF	-0.28
	Oxígeno disuelto (mg/L)	DB	SC-SF	0.01
	Temperatura(°C)	DB	SC-SF	0.23
<i>Oreochromis aureus</i>	Temperatura(°C)	DI	S-N	0.20
	Temperatura(°C)	DI	S-C	0.33
	Temperatura(°C)	DB	S-C	-0.30



**Figura 16.** Correlación entre el oxígeno disuelto y la densidad de biomasa de *G. atripinnis* en temporadas. Llu: lluvias; SF: secas frías

La mayoría de las correlaciones entre las variables fisicoquímicas y las densidades no fueron significativas, es decir, las variables fisicoquímicas no se encuentran relacionadas con la densidad de biomasa (cuadro 4).

*Chirostoma sp.* no registró ninguna diferencia significativa entre las variables, y por lo tanto no se aplicó la prueba de correlación en este caso.

*G. atripinnis* registró diferencias significativas coincidentes entre temporadas (lluvias-secas frías) para los tres parámetros fisicoquímicos y la densidad de biomasa. Esta especie obtuvo la correlación más alta en comparación con el resto, esto fue sólo para el oxígeno disuelto sobre la densidad de biomasa ( $r_s = 0.61$ ), que resultó moderada (figura 16). La correlación del pH con la densidad de biomasa no se relacionó significativamente (cuadro 4).

*P. infans* registró diferencias significativas coincidentes entre zonas (sur-norte y sur-centro), sólo para la temperatura y ambas densidades. Las correlaciones entre estas variables resultaron entre nulas y débiles (cuadro 4).

*C. carpio* registró diferencias significativas coincidentes entre temporadas (secas frías-lluvias y secas cálidas- secas frías) y la densidad de biomasa en los tres parámetros fisicoquímicos, y sólo una coincidencia entre zonas (sur- centro) entre la temperatura y la densidad de individuos. Las correlaciones entre estas variables resultaron entre nulas y débiles (cuadro 4).

*O. aureus* registró diferencias significativas coincidentes entre zonas (sur-norte y sur-centro), únicamente para la temperatura y ambas densidades. Las correlaciones entre estas variables resultaron débiles (cuadro 4). En el anexo se observan las gráficas de correlación de los fisicoquímicos respecto a las densidades con una  $r$  nula y débil.

## 6. DISCUSIÓN

De acuerdo con el estudio, se observaron algunos cambios significativos en las densidades (de biomasa y de individuos) y los factores fisicoquímicos, y sólo en algunos casos coincidieron estas diferencias. Para la densidad de individuos, se observaron cambios significativos solamente entre zonas, para las especies introducidas; estas diferencias coincidieron sólo con la temperatura. La densidad de biomasa registró diferencias significativas entre temporadas para dos especies, *G. atripinnis* y *C. carpio*, y entre zonas para las tres especies introducidas. Estas diferencias significativas coincidieron entre temporadas con los tres factores fisicoquímicos y entre zonas sólo con la temperatura.

La correlación entre las variables coincidentes sugirió que no existe una relación directa entre los cambios fisicoquímicos sobre los cambios en las densidades, en la mayoría de los casos, excepto con *G. atripinnis* y el oxígeno disuelto, que tienen una relación moderada. Aún cuando cada especie tiene intervalos definidos de tolerancia respecto a los cambios fisicoquímicos, y en las pruebas se muestran cambios significativos de estos, no se observó una influencia directa de estos parámetros sobre la comunidad de peces. Esto sugiere que existen otro tipo de factores pueden estar influyendo en los resultados obtenidos, respecto a la distribución de la comunidad de peces.

Uno de estos factores es el tipo de actividad que tiene cada especie de pez, como la temporada de reproducción, el tipo de alimentación o la búsqueda de refugio, los cuales varían dependiendo de la época del año y el momento del día. Por ejemplo, se observó que *C. carpio* y *O. aureus* tienen un patrón de distribución similar a las especies nativas. La mayoría de las densidades de individuos se concentraron en la zona sur del lago. Es en esta zona donde el aporte de nutrientes es mayor debido a las actividades que desarrollan ahí, lo que genera eutrofización y un alta densidad de lirio acuático, el cual funciona como banco de alimentos, zona de crianza y refugio para estas especies (Zambrano *et al.*, 2014). En la zona norte del lago ocurre un efecto contrario, pues se observó la mayor densidad de biomasa de *C. carpio*, es decir

los individuos más grandes y los individuos con menor biomasa de las especies nativas, esto sugiere un efecto negativo sobre las especies nativas, debido a la depredación que tienen las especies exóticas sobre las especies nativas (Zambrano et. al., 2014).

La especie que no mostró diferencias significativas en las densidades, fue *Chirostoma* sp., que además fue la de mayor densidad de individuos y de biomasa, respecto a las otras especies. La mayor densidad de individuos de esta especie se registró en la zona centro del lago, y en esta misma zona se registraron las densidades de individuos menores de las especies invasoras. Esto sugiere que *Chirostoma* sp. se localiza en mayores concentraciones en esta área para evitar a sus depredadores.

Por otro lado, la temporada de reproducción se traslapa entre las especies nativas y exóticas, pues es de tipo asincrónico en la mayoría de los casos (Kingston, 1979; García de León, 1884; Barreto et al. 1998; Huidobro, 2000). Esto se ve reflejado en que el aumento de la densidad de biomasa coincide en algunas especies en la misma temporada, como es el caso de *C. carpio*, *Chirostoma* sp. y *G. atripinnis* en la temporada de secas frías, y al igual que en su descenso en secas cálidas. Es decir, los organismos más grandes de estas especies se encontraron en la misma temporada, al igual que los más pequeños, lo que sugiere una posible sincronía en los periodos de reproducción y, por lo tanto, competencia por las zonas para hacerlo.

En el caso de los parámetros fisicoquímicos, se requiere un análisis más amplio *in situ*, en intervalos de tiempo mayores a los que se muestrearon originalmente, además de tomar en cuenta otros parámetros importantes, como la turbidez, profundidad, salinidad, movimiento de las aguas, etc. Esto permitirá observar con mayor precisión la influencia que tienen los factores fisicoquímicos sobre la distribución de la comunidad de peces. Además de hacer el análisis de manera individual para cada uno de los factores fisicoquímicos, se podría hacer uno en conjunto, para observar la interacción de estos con la comunidad de peces.

## 7. CONCLUSIÓN

Existe traslape en la distribución espacial y temporal de las especies exóticas y nativas. El lago registró cambios significativos espaciales y temporales en las densidades de la comunidad de peces y en los factores fisicoquímicos básicos del lago (temperatura, pH y oxígeno disuelto). La correlación sugiere que los factores fisicoquímicos básicos del agua no están influyendo de manera significativa en la distribución de la comunidad de los peces. Esto sugiere que existen otro tipo de factores que pueden estar influyendo en los resultados obtenidos, respecto a la distribución de la comunidad de peces, como la temporada de reproducción, la alimentación y el refugio.

## 8. LITERATURA CITADA

Alcocer, J; Merino-Ibarra, M; Escobar, E. 2015. Tendencias de investigación en Limnología tropical: perspectivas universitarias en Latinoamérica. México: Asociación Mexicana de Limnología, A.C.; Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología; Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. 482 páginas

Alonso, P; Vargas, S. 2014. Análisis ecosistémico de la introducción de especies exóticas en el Lago de Pátzcuaro. Editores Low, A; Quijón, P; Peters, E. Especies invasoras acuáticas: casos de estudio en ecosistemas de México. pp. 337-357. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México, D.F.

Arroyo, I; Flores, V; Huerto, R; Perez, R. 2014. Estrategia para apoyar la recuperación de peces nativos en el lago de Pátzcuaro a través del manejo de especies exóticas; propuestas para el manejo de la carpa común *Cyprinus carpio*. En C Huerto, R; Vargas, S. Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro. pp. 137- 169. Jiutepec Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Badillo, M; Gallardo, A; Galindo M. del C.; Loera, J; Chiappa, X. 2009. Métodos de estudio de comunidades de peces en zonas costeras. Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación Sisal, Facultad de Ciencias, UNAM, Yucatán.

Barrenechea, A. 2000. Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. Manual I. pp 3-56

Bravo, L; Tomasini, A; Sánchez, J; Moller, G. 2012. Estudio de eutroficación del lago de Pátzcuaro, Mich. Y su relación con los florecimientos de cianobacterias. IMTA.

Caraveo, J. 2013. Evaluación del impacto de una especie íctica invasora *Cyprinus carpio* en el Lago de Pátzcuaro, Michoacán. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. Informe final SNIBCONABIO proyecto No. GN049.

Camacho, J; Pouily, M. 2013 Composición de la comunidad de peces en la cuenca del río Iténez (Bolivia). en Van Damme P.A. (ed.), Maldonado M. (ed.), POUILY MARC (ED.), Doria C. (ed.) *Aguas del Iténez o Guaporé : recursos hidrobiológicos de un patrimonio binacional (Bolivia y Brasil)*. Pp. 157-171.

Contreras-MacBeath, T; Gaspar, T; Huidobro, L; Mejía, H. 2014. Peces invasores en el centro de México. En: Mendoza, R y Koleff, P (coords.), *Especies acuáticas invasoras en México*. pp. 413-424. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

Córdova, F. 2011. Caracterización de la estructura de la red trófica del lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.

CONABIO. 2014. Pátzcuaro y cuencas endorreicas cercanas. Ficha técnica.

Departamento de Pesca y Acuicultura. In: Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO [en línea]. <http://www.fao.org/fishery/about/es>

Díaz-Vargas,M; Elizalde, E; Quiróz, H; García, J ; Molina, I. 2005. Caracterización de Algunos Parámetros Físico Químicos del Agua y Sedimento del Lago Zempoala, Morelos, México. Vol. 15 no. 2. Universidad de Guanajuato. Pp. 57-65

FAO Departamento de Pesca y Acuicultura. Programa de información de especies acuáticas [en línea] USA [Fecha de consulta: Abril 2015] Disponible en: [http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Cyprinus\\_carpio/](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Cyprinus_carpio/)

Frose,R; Pauly D. (eds.) FishBase.World Wide Web. [en línea]. México [Fecha de consulta: Febrero 2015] Disponible en [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org)

GWG Goodeid Working Group [en línea]. México [Fecha de consulta: Abril 2015]. Disponible en <http://www.goodeidworkinggroup.com/goodea-atripinnis>.

ITIS [en línea]. USA [Fecha de consulta Mayo 2015]. Base de datos disponible en <http://www.itis.gov/index.html>

Garcia, N; Garcia, F; Ikkonen, E. 2011. Evaluación de la desecación del lago de Pátzcuaro Michoacán mediante técnicas de Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México.

MitoFish: Mitichondrial Genome Data Base of fish [en línea]. 2004-2015. Atmosphere and Ocean Research Intitute, the University of Tokyo, Japan.[Fecha de consulta: Julio 2015] Disponible en: <http://mitofish.aori.u-tokyo.ac.jp/>.

Mendoza, R; Ramírez, C; Aguilera, C; Meave, M. 2014. Principales vías de introducción de las especies exóticas, en R. Mendoza y P. Koleff (coords.), Especies acuáticas invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 43-73.

Mijangos, M. 2011. Importancia del control de la contaminación difusa en la cuenca del lago de Pátzcuaro en México. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.

Ramírez, J; Castañeda, L; Moncayo, R; Caraveo, J; Balart, E. 2013. Trophic ecology of the exotic Lerma livebearer *Poeciliopsis infans* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) in the Lago de Pátzcuaro, Central Mexico. *Biología Tropical*. 61 (3) pp 60-65

Moreno, D.; Quintero, J; López A. 2010. Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *ContactoS*, Vol. 78, pp. 25–33

Murdy, E.; Birdsong, R; Musick, J. 1997. *Fishes of Chesapeake Bay*. Smithsonian Institution Press Washington and London. 324 p.

Ramírez, J. Zambrano, L. Mercado, N. Torres, A. Pineda, F. Caraveo, J. Balart, E. (2014). Long term changes in the fish fauna of Lago de Pátzcuaro in Central México. *Latin american journal of aquatic research*, 42(1), 137-149.

Ramírez, J; Domínguez, O. 2015. El lago de Pátzcuaro, un lago en decadencia. *Revista de Divulgación de la Universidad de Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*. ISSN: 2007- 7041.

Rojas, M. 2005. El pescado blanco. *Revista digital universitaria, UNAM*. 6 (8): pp.1-18.

Rodríguez, M. 2014. Análisis ecológico y poblacional de la especie *Cambarellus patzcuarensis* del Lago de Pátzcuaro. En: Huerto, R; Vargas, S. (eds.) *Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro Vol II*. pp. 97- 114. IMTA-UAEM-UMICH, México.

Ruedas, J; Campos, A. 2009. La acuicultura como una estrategia para la conservación de especies nativas de peces. *Ciencia Nicolaita UMSNH* 1 (51): pp. 55-66.

Sandoval-Huerta<sup>1</sup>, R; Madrigal, X; Escalera, P; Medina, M; Domínguez, O. 2014. Estructura de la comunidad de peces en cuatro estuarios del Pacífico mexicano central. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 1184-1196.

Salcedo, E. 2005. Aplicación de indicadores de sustentabilidad para la evaluación del manejo del agua en la cuenca del lago de Pátzcuaro, Michoacán. Tesis de maestría, México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Sawyer, C; McCarty. 1978. Chemistry for Environmental Engineering. Ed. McGraw Hill Book Company, New York. 532 p.

Silva-Santos, J; Martínez, M; Rico, R; Gómez, J; Arredondo, J. 2016. Reproductive biology of *Goodea atripinnis* (Jordan 1800) (Cyprinodontiformes: Goodeidae) under controlled conditions. Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences, Volume – 4(2). Pp. 181- 193

Toledo, M. 1986. Consumo de atherínidos (*Chirostoma spp*) por la lobina negra (*Micropterus salmoides*) en el lago de Pátzcuaro Michoacán. Ciencia pesquera (11), pp 71-74.

Velarde, T. 2012. Importancia ecológica y cultural de una especie endemica de ajolote (*Ambystoma dumerilii*) del lago de Pátzcuaro, Michoacán. Asociación etnobiológica. Universidad Nacional Autónoma de México. 10 (2), pp. 40-49.

Zambrano, L; Córdova, F. Pacheco, M; Levy, K. 2014. La comunidad de peces del lago de Pátzcuaro. En: Huerto, R; Vargas, S. (eds.) Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro Vol I. pp. 79- 91. IMTA-UAEM-UMICH, México.

Zambrano, L., Córdova-Tapia, F; Ramírez-Herrejón, J; Mar-Silva, V; Bustamante, L; Camargo, T; Bustamante, E. 2011. Las especies exóticas en el lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. En: Huerto-Delgadillo, R; Vargas, S; Ortiz, C (eds.) Estudio ecosistémico del Lago de Pátzcuaro: aportes en gestión ambiental para el fomento del desarrollo sustentable. pp. 133-156. IMTA-UAEM-UMICH, México.

Zambrano, L; Martínez-Meyer, E; Menezes, N; Peterson, A. 2006. Invasive potential of common carp (*Cyprinus carpio*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in American freshwater systems. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 63:1906-1910.

# 1. ANEXO

## *Goodea atripinnis*

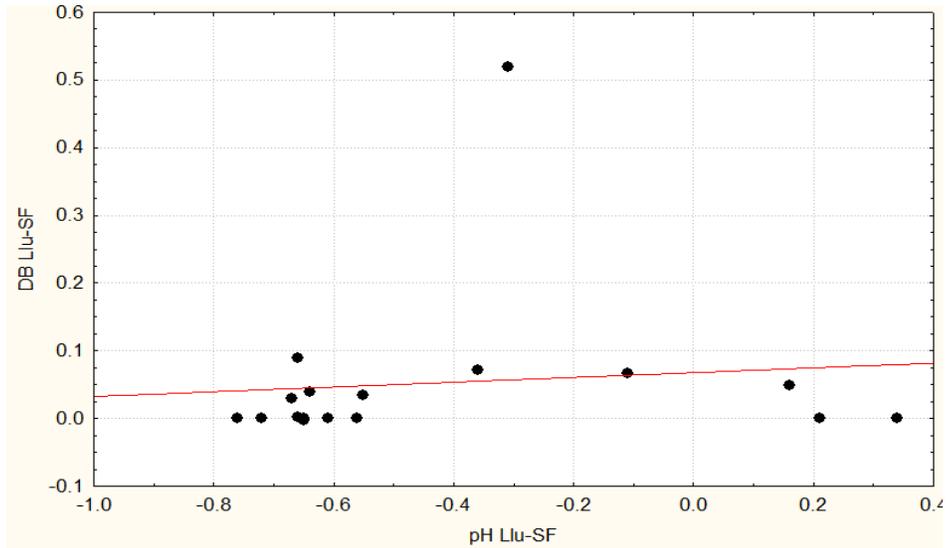


Figura 17. Correlación entre el pH y la densidad de biomasa en temporadas. Llu: lluvias; SF: secas frías.

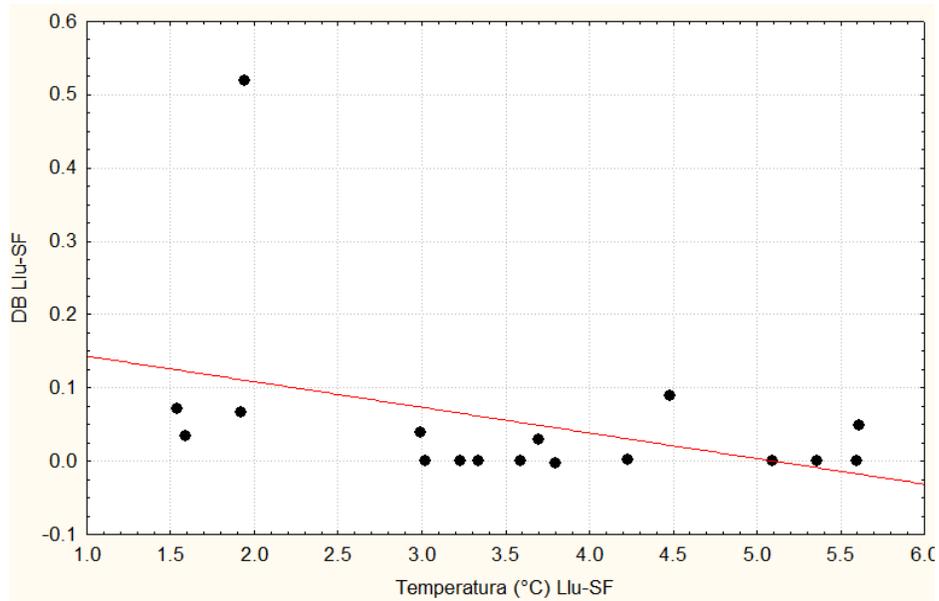


Figura 18. Correlación entre la temperatura y la densidad de biomasa en temporadas. Llu: lluvias; SF: secas frías.

*Poeciliopsis infans*

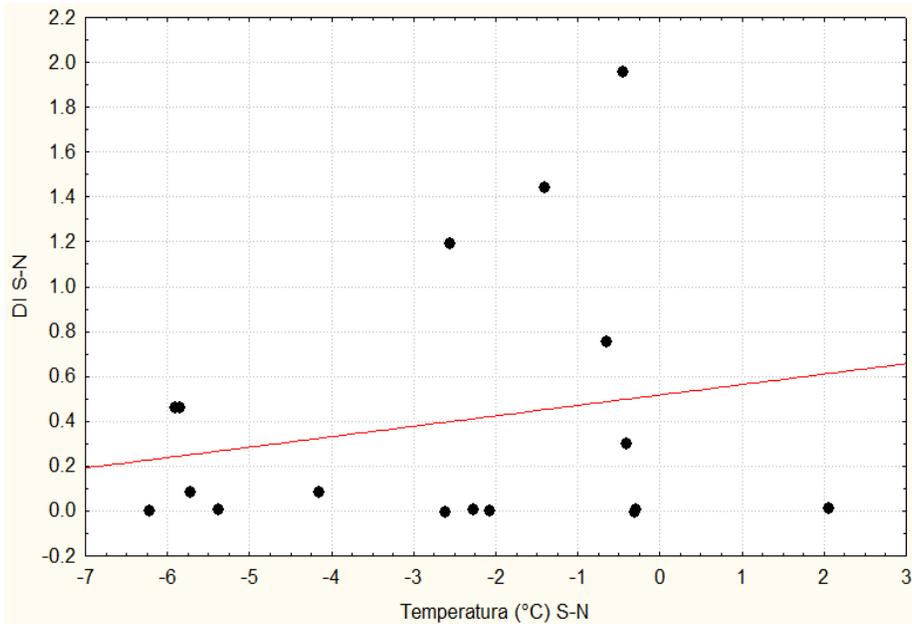


Figura 19. Correlación entre la temperatura y la densidad de individuos en zonas. S: sur; N: norte.

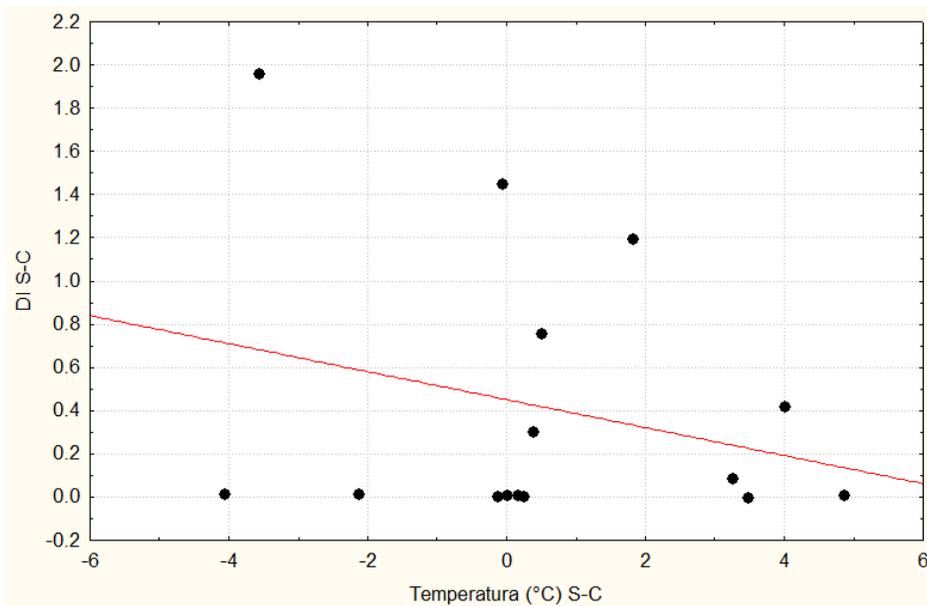


Figura 20. Correlación entre la temperatura y la densidad de individuos en zonas. S: sur; C: centro.

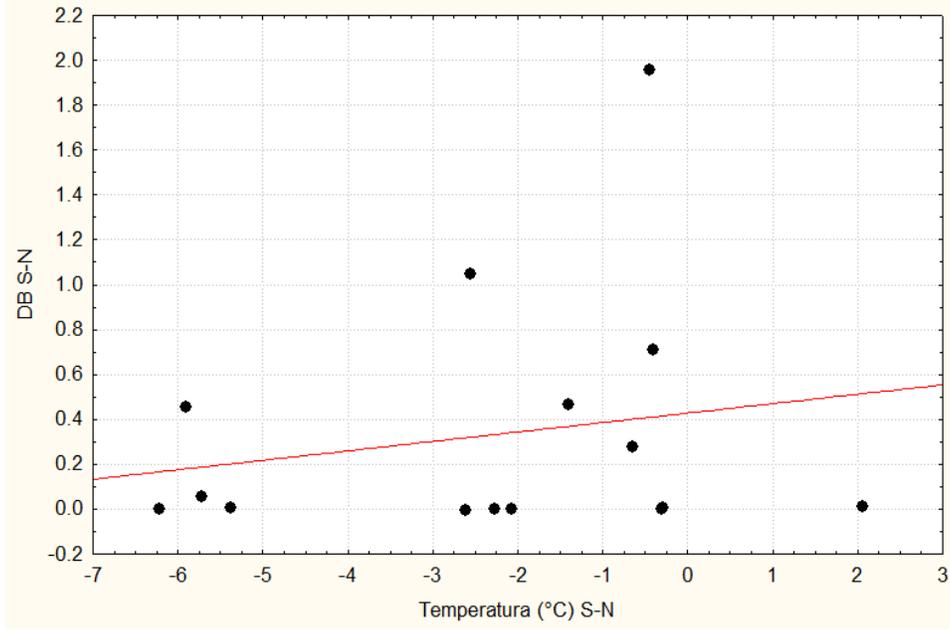


Figura 19. Correlación entre la temperatura y la densidad de biomasa en zonas. S: sur; N: norte.

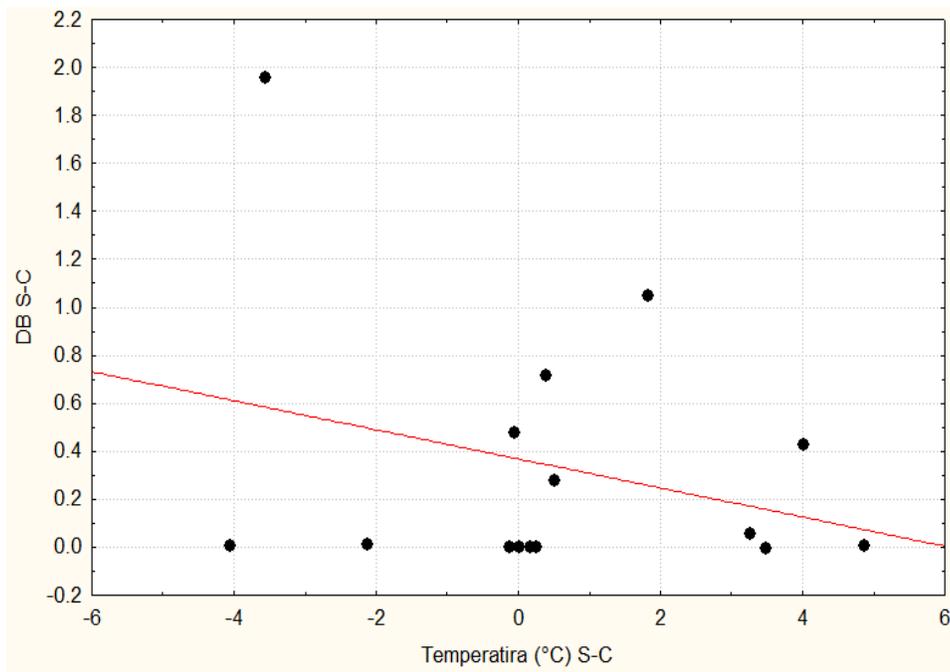


Figura 20. Correlación entre la temperatura y la densidad de biomasa en zonas. S: sur; C: centro.

*Cyprinus carpio*

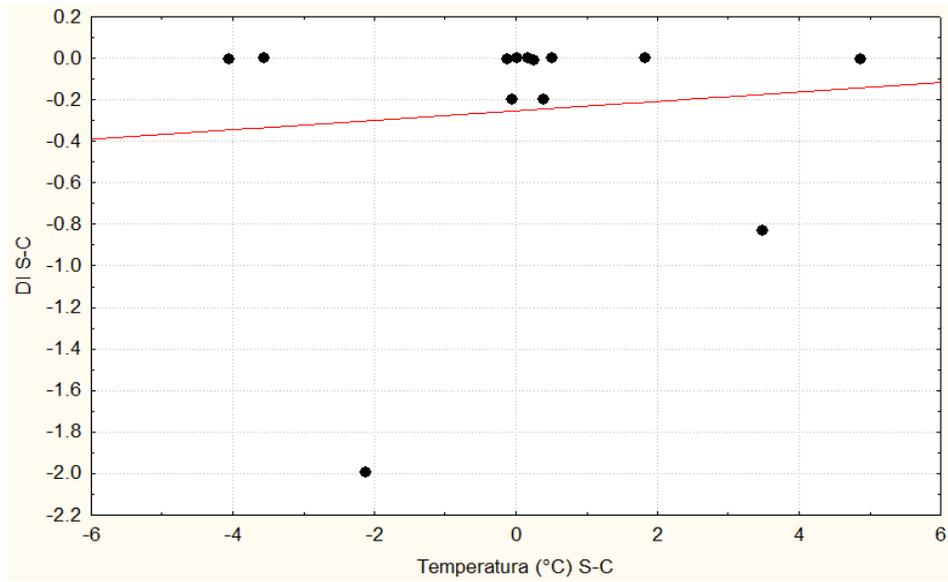


Figura 21. Correlación entre la temperatura y la densidad de individuos en zonas. S: sur; C: centro.

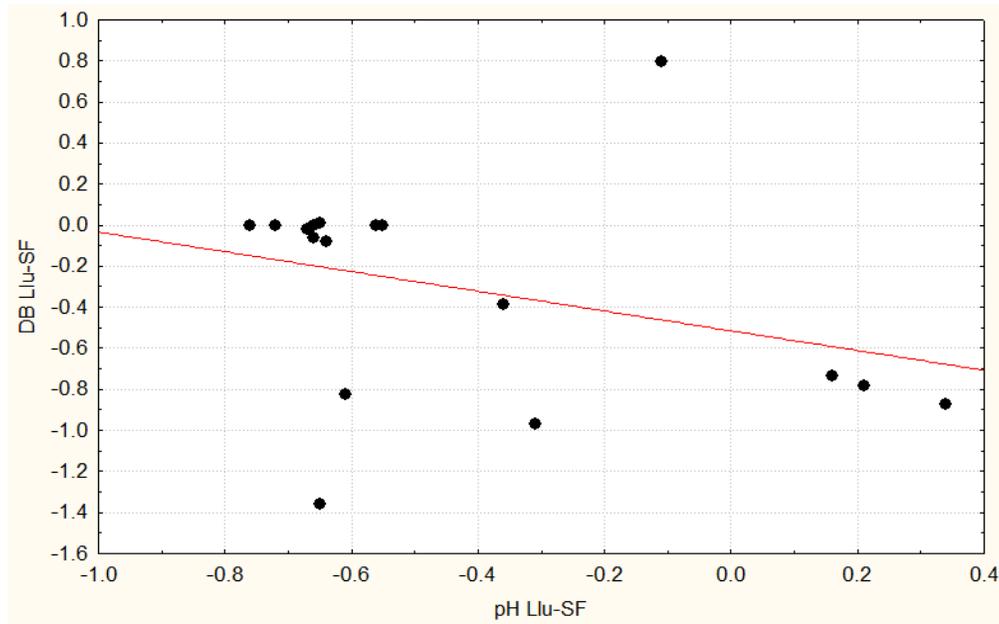


Figura 22. Correlación entre el pH y la densidad de biomasa en temporadas. Llu: lluvias; SF: secas frías.

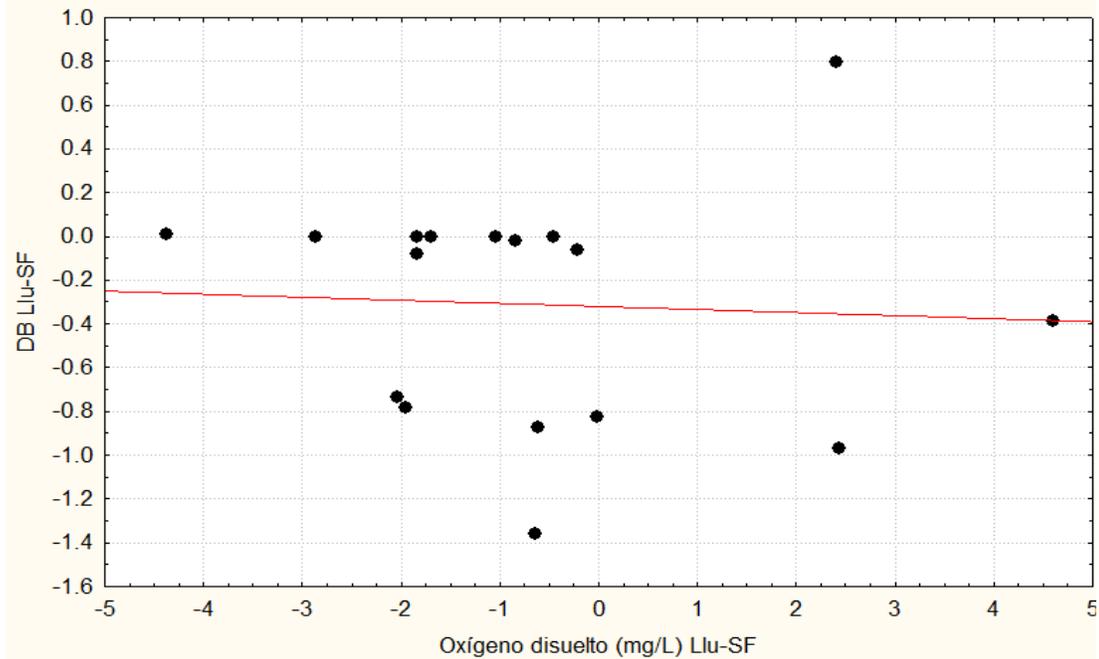


Figura 23. Correlación entre el oxígeno disuelto y la densidad de biomasa en temporadas. Llu: lluvias; SF: secas frías.

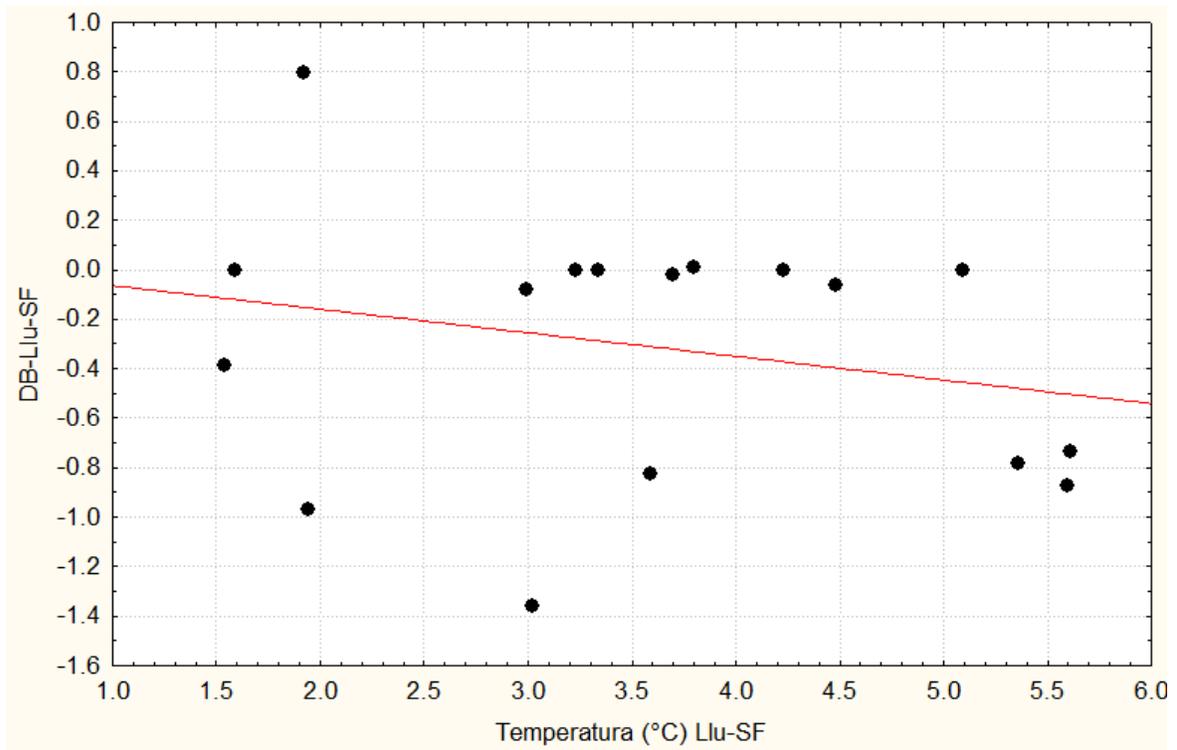


Figura 24. Correlación entre la temperatura y la densidad de biomasa en temporadas. Llu: lluvias; SF: secas frías.

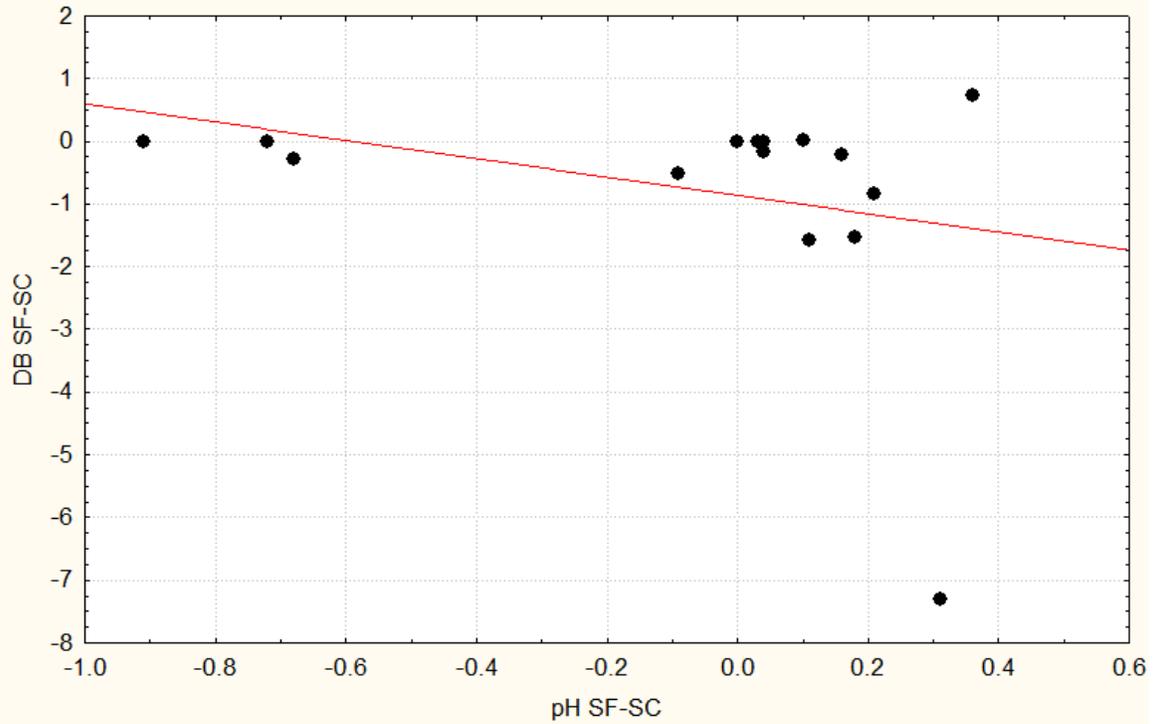


Figura 25. Correlación entre el pH y la densidad de biomasa en temporadas. SF: secas frías; SC: secas cálidas.

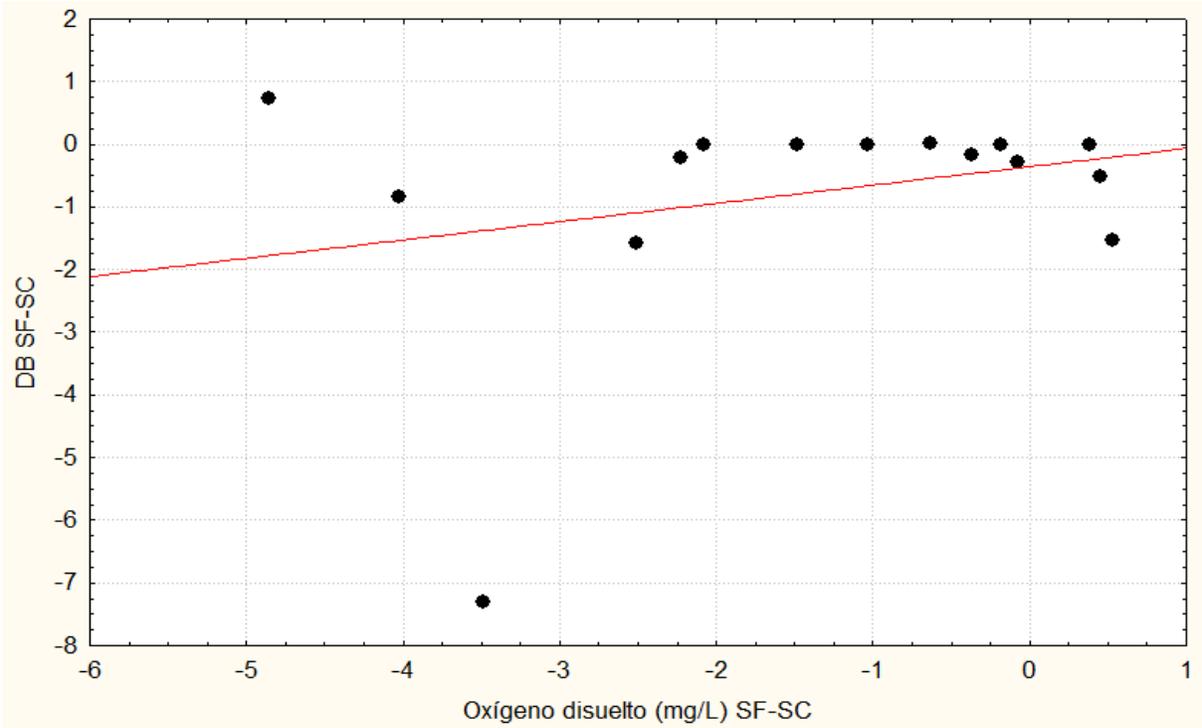


Figura 26. Correlación entre el oxígeno disuelto y la densidad de biomasa en temporadas. SF: secas frías; SC: secas cálidas.

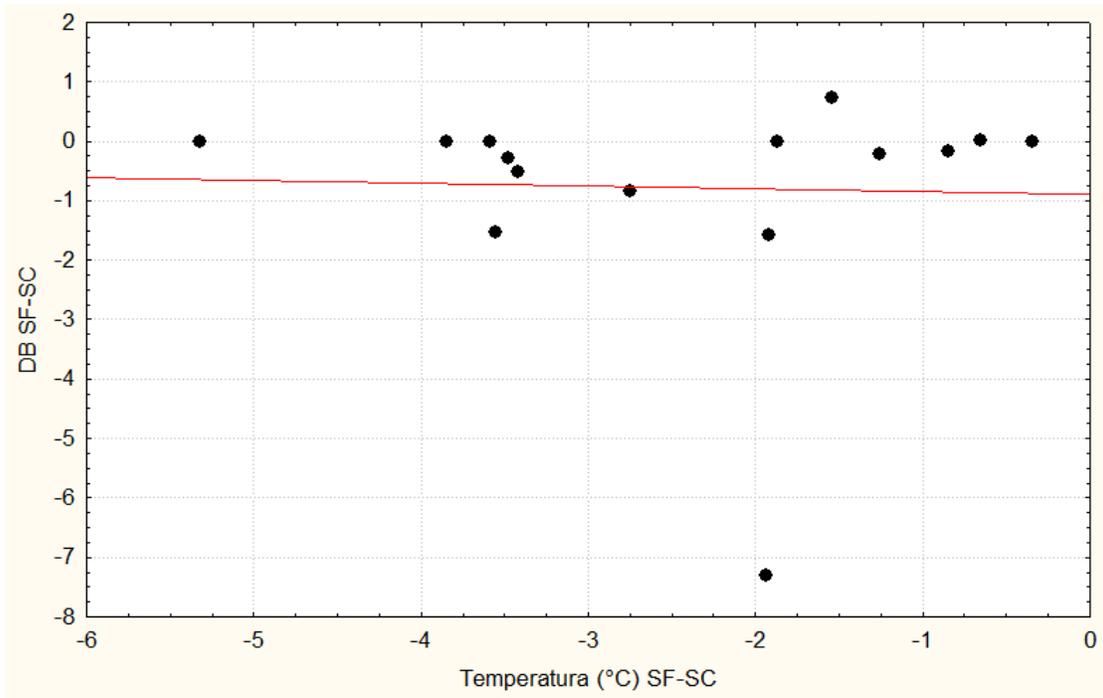


Figura 27. Correlación entre la temperatura y la densidad de biomasa en temporadas. SF: secas fías; SC: secas cálidas.

*Oreochromis aureus*

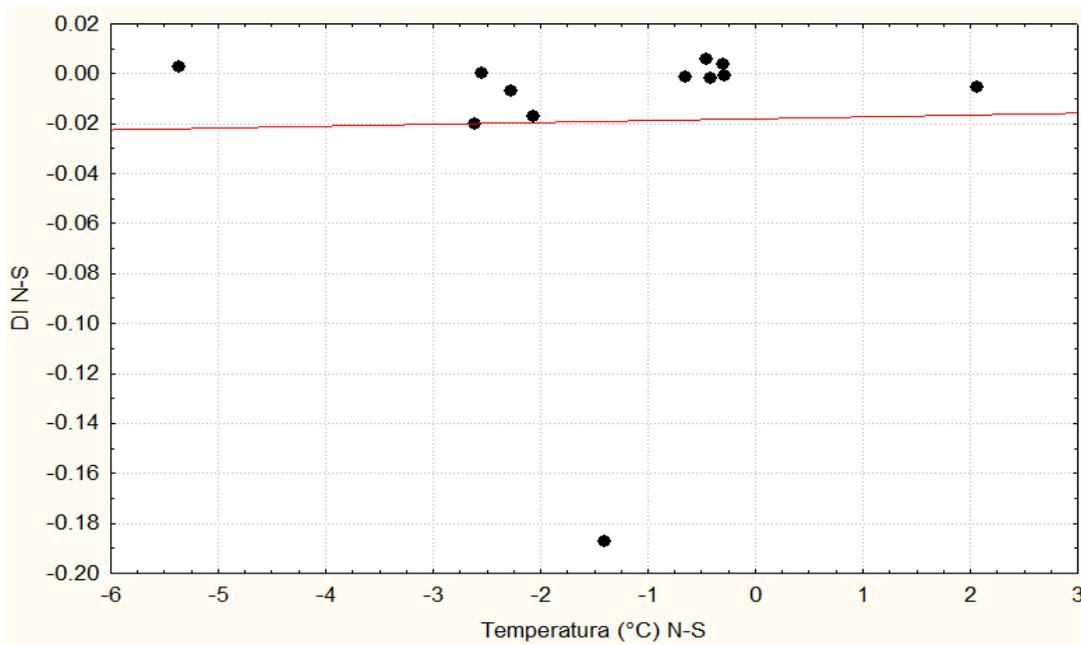


Figura 28. Correlación entre la temperatura y la densidad de individuos en zonas. N: Norte; S: sur.

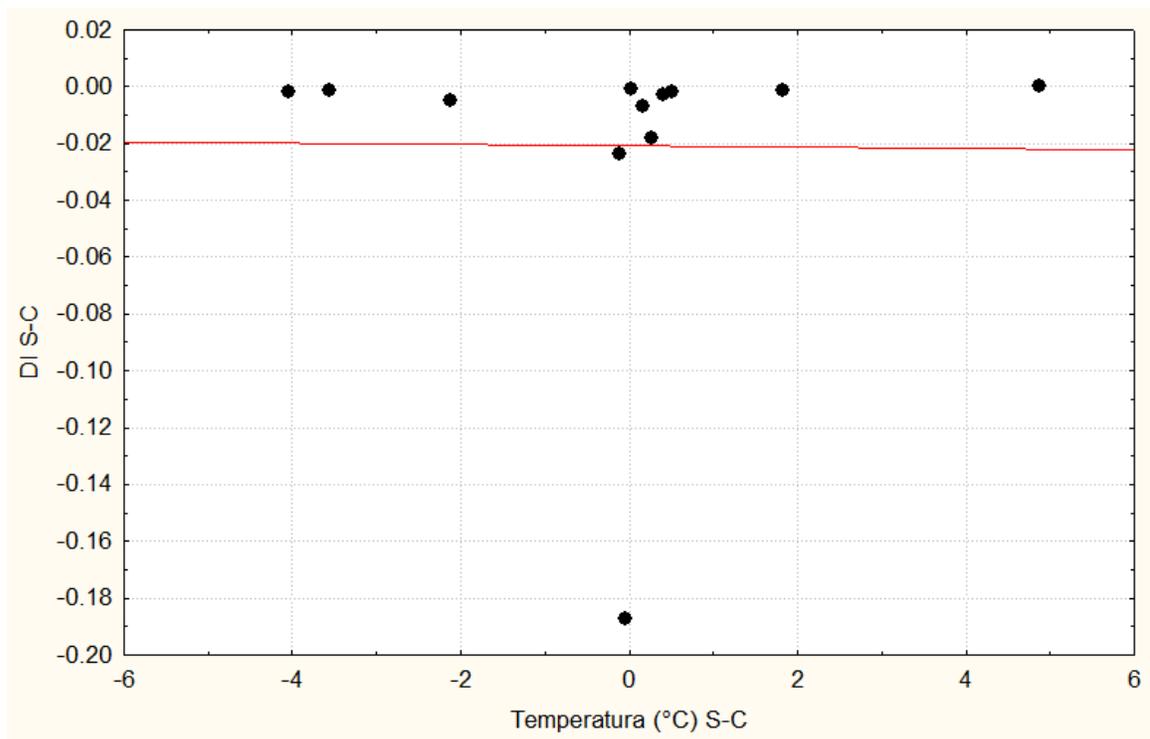


Figura 29. Correlación entre la temperatura y la densidad de individuos en zonas. S: sur; C centro.

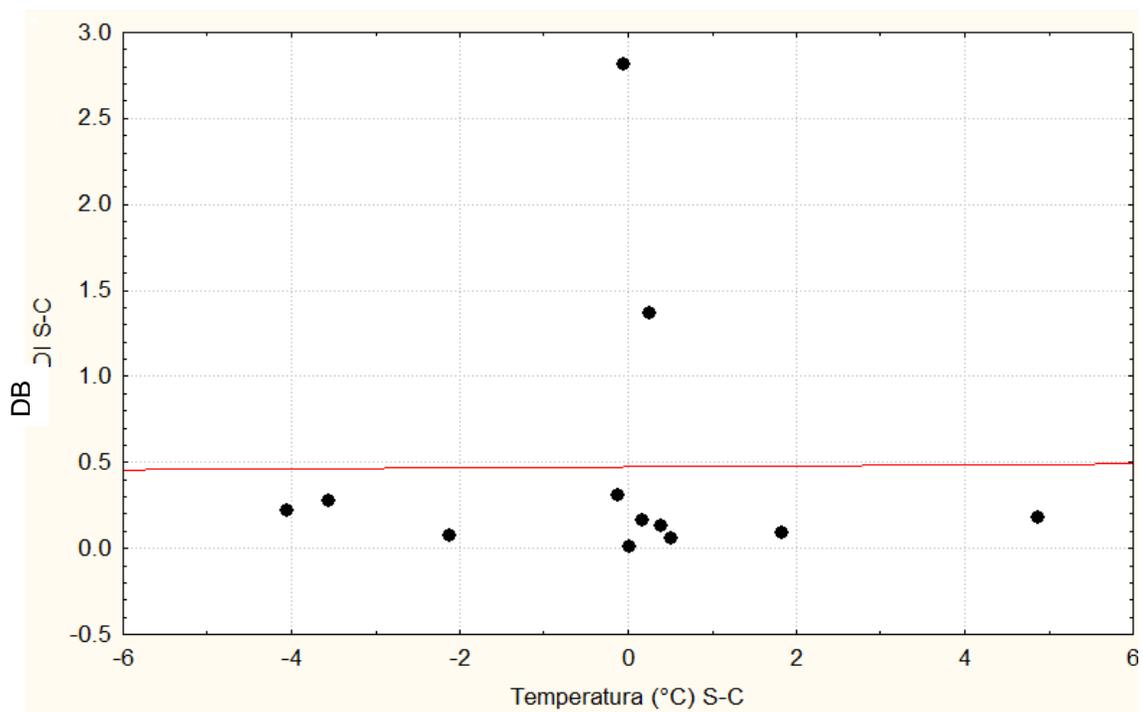


Figura 30. Correlación entre la temperatura y la densidad de biomasa en zonas. S: sur; C centro.

