



---

---

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

COMPARACIÓN DE LAS COMUNIDADES HELMINTICAS DE *Astyanax aeneus*  
(Günther, 1860) y *Floridichthys polyommus* (Hubbs, 1936) EN ÁREAS  
PRIORITARIAS DEL RÍO CHAMPOTÓN, CAMPECHE, MÉXICO CON  
DISTINTO GRADO DE DISTURBIO AMBIENTAL

Tesis que para obtener el grado de Maestro en Ciencias Quimicobiológicas

PRESENTA

B. M. TANIA ESPINAL CARRIÓN

DIRECTORA

DRA. EUGENIA LÓPEZ LÓPEZ

México, D. F. Noviembre de 2008.

---

---

**DEDICATORIA**

A MIS PADRES

CON AMOR

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) por el apoyo económico, que por medio de sus becas, hicieron posible la culminación de mis estudios de posgrado.

Al Proyecto de Investigación “Ictiofauna del Río Champotón, evaluación de su salud en áreas prioritarias del curso del río” con clave 31173, financiado por el Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Campeche, por financiar el desarrollo de esta tesis.

A la Dra. Eugenia López López por su paciencia, disposición, dedicación y excelente dirección, que contribuyeron al buen termino de esta tesis, así como a mi formación académica y personal.

Al Dr. José Alberto Ocaña, al Dr. Armando Vega, a la Dra. Araceli Amaya, al Dr. Alejandro Tovar y al Dr. Juan Manuel Caspeta, por sus observaciones, comentarios y consejos que contribuyeron a la resolución de dudas y mejor desarrollo de la presente tesis.

A todos los integrantes del Laboratorio de Ictiología y Limnología, que de manera directa o indirecta participaron durante el desarrollo de mi tesis. Gracias por su amistad, apoyo, paciencia y enseñanzas que hicieron que una bióloga marina pudiera incursionar a la investigación en aguas dulces: Dra. Paty Trujillo, Dr. Joel Paul, M. en C. Elías Sedeño, M. en C. Ricardo Tejeda, Bióloga Perla Tapia, Bióloga Eloiza Oliveros, Don Mario...

Y por supuesto, a mi familia y amigos por su apoyo incondicional, por todas las palabras que me han impulsado a nunca darme por vencida...los quiero mucho.

**GRACIAS**

*“Solo deseo ser todo aquello de lo que soy capaz”*

*(Catherine Mansfield)*

## ÍNDICE

ÍNDICE.....	- I -
RELACIÓN DE TABLAS.....	- IV -
RELACIÓN DE FIGURAS.....	- IV -
RESUMEN.....	-VII-
ABSTRACT.....	-VIII-
I. INTRODUCCIÓN .....	- 1 -
II. ANTECEDENTES.....	- 6 -
III. JUSTIFICACIÓN .....	- 11 -
IV. HIPÓTESIS .....	- 12 -
V. OBJETIVO GENERAL.....	- 13 -
Objetivos específicos.....	- 13 -
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	- 14 -
6.1. Área de Estudio .....	- 14 -
6.2. Especies a estudiar .....	- 14 -
6.3. Trabajo de Campo .....	- 14 -
6.4. Examen helmintológico y fijación de helmintos.....	- 15 -
6.5. Métodos de laboratorio.....	- 16 -
6.5.1. Parámetros de calidad del agua.....	- 16 -
6.5.2. Determinación del nivel de lipoperoxidación y evaluación de su respuesta integrada .....	- 16 -
6.6. Análisis de datos .....	- 18 -
6.6.1. Caracterización de la infección helmintológica.....	- 18 -

---

6.6.2. Índice de valor de Importancia (IVI) .....	19 -
6.6.3. Diversidad helmintológica .....	20 -
6.6.4. Bioindicadores poblacionales .....	20 -
6.6.5. Análisis estadístico de datos .....	21 -
<b>VII. RESULTADOS .....</b>	<b>22 -</b>
7.1. Caracterización de la calidad del agua.....	22 -
7.2. Inventario helmintológico .....	23 -
7.3. Caracterización de la infección .....	27 -
7.4. Evaluación del estrés oxidativo .....	32 -
7.5. Bioindicadores poblacionales.....	32 -
7.6. Análisis de los parámetros de calidad del agua .....	35 -
7.7. Relación del nivel de LPO con los parámetros de calidad del agua.....	37 -
7.8. Relación de la LPO y abundancia de parásitos. ....	39 -
7.9. Relación de parámetros de calidad del agua y abundancia de parásitos. ...	43 -
7.10. Relación de bioindicadores poblacionales y abundancia de parásitos. ...	46 -
<b>VIII. DISCUSIÓN.....</b>	<b>49 -</b>
8.1. Parámetros de Calidad del agua. ....	49 -
8.2. Inventario helmintológico .....	50 -
8.3. Caracterización de la infección.....	53 -
8.4. Evaluación del estrés oxidativo. ....	54 -
8.5. Bioindicadores poblacionales.....	55 -
8.6. Relación del nivel de LPO con los parámetros de calidad del agua.....	57 -
8.7. Relación de la LPO y abundancia de parásitos. ....	59 -
8.8. Relación de parámetros de calidad del agua y abundancia de parásitos. ...	60 -
8.9. Relación de bioindicadores poblacionales y abundancia de parásitos. ....	63 -

**IX. CONCLUSIONES..... - 65 -**

**X. PERSPECTIVAS.....- 67-**

**XI. LITERATURA CITADA ..... - 69 -**

**APÉNDICE I.- Lista sistemática de helmintos ..... - 80 -**

**APÉNDICE II. Descripción general de los helmintos y sus ciclos biológicos.....-82-**

**APÉNDICE III. Matriz de correlación de Spearman.....-90-**

## RELACIÓN DE TABLAS

Tabla I. Helmintos registrados para <i>A. aeneus</i> y <i>F. polyommus</i> en México.....	-10-
Tabla II. Parámetros de calidad de agua.....	- 23 -
Tabla III. Especies de helmintos y su hospedero.....	- 25 -
Tabla IV. Distribución espacial y estacional de los helmintos de <i>A. aeneus</i> por sitio y mes de estudio.....	- 26 -
Tabla V. Distribución estacional de los helmintos de <i>F. polyommus</i> .....	- 27 -
Tabla VI. Índice de Valor de Importancia (IVI) de los helmintos de <i>A. aeneus</i> .....	- 30 -
Tabla VII. Índice de Valor de Importancia (IVI) de los helmintos de <i>F. polyommus</i> .....	- 30 -
Tabla VIII. Diversidad de Simpson para <i>A. aeneus</i> y <i>F. polyommus</i> .....	- 31 -
Tabla IX. Bioindicadores poblacionales.....	- 33 -
Tabla X. Correlación entre el IGS, IHS y el K de <i>A. aeneus</i> .....	- 34 -
Tabla XI. Correlación entre el IGS, IHS y el K de <i>F. polyommus</i> .....	- 35 -

## RELACIÓN DE FIGURAS

Fig. 1. Área de Estudio y sitios de muestreo.....	- 13 -
Fig. 2. <i>Astyanax aeneus</i> .....	-15-
Fig. 3. <i>Floridichthys polyommus</i> .....	-15-
Fig. 4. Gráfica de estrella.....	-18-
Fig. 5. Porcentaje de helmintos por grupo encontrados en <i>A. aeneus</i> y <i>F. polyommus</i> .....	- 24 -
Fig. 6. Porcentaje de especies de helmintos por grupo encontrados en a) <i>A. aeneus</i>	



y b) <i>F. polyommus</i> .....	- 24 -
Fig. 7. Prevalencia, Abundancia e intensidad de helmintos de <i>A. aeneus</i> .....	- 29 -
Fig. 8. Prevalencia, abundancia e intensidad de helmintos de <i>F. polyommus</i> .....	- 30 -
Fig. 9. Gráficas de estrella de la RIB-LPO para <i>A. aeneus</i> .....	- 31 -
Fig. 10. Gráficas de estrella de la RIB-LPO para <i>F. polyommus</i> .....	- 32 -
Fig. 11. Índice Gonadosomático, Índice Hepatosomático y Factor de Condición para <i>A. aeneus</i> .....	- 34 -
Fig. 12. Índice Gonadosomático, Índice Hepatosomático y Factor de Condición para <i>F. polyommus</i> .....	- 35 -
Fig. 13. Diagrama de ordenación de los sitios de estudio en el río Champoton con base a parámetros de calidad de agua.....	- 36 -
Fig. 14. Salinidad de los diferentes sitios de estudio.....	- 37 -
Fig. 15. Diagrama de ordenación de los sitios de estudio con base en el nivel de LPO de <i>A. aeneus</i> y los parámetros de calidad del agua.....	- 38 -
Fig. 16. Diagrama de ordenación de los sitios de estudio con base en el nivel de LPO de <i>F. polyommus</i> y los parámetros de calidad del agua.....	- 39 -
Fig. 17. Diagrama de ordenación de los sitios de estudio con base en el nivel de LPO y los helmintos de <i>A. aeneus</i> .....	- 41 -
Fig. 18. Diagrama de ordenación de los sitios de estudio con base en el nivel de LPO y los helmintos de <i>F. polyommus</i> .....	- 42 -
Fig. 19. Diagrama de ordenación de los sitios de estudio con base en parámetros de CA y los helmintos de <i>A. aeneus</i> .....	- 44 -
Fig. 20. Diagrama de ordenación de los sitios de estudio con base en parámetros de CA y los helmintos de <i>F. polyommus</i> .....	- 45 -

**Fig. 21. Diagrama de ordenación de los sitios de estudio con base en bioindicadores poblacionales y los helmintos de *A. aeneus*.....- 47 -**

**Fig. 22. Diagrama de ordenación de los sitios de estudio con base en bioindicadores poblacionales y los helmintos de *F. polymmus*.....- 48 -**

**Fig. 23. *Uvulifer ambloplitis*.....-82 -**

**Fig. 24. *Clinostomum complanatum* .....-84 -**

**Fig. 25. *Glossocercus caribaensis*.....-86 -**

**Fig. 26. *Contracaecum* sp. ....-88 -**

**Fig. 27. *Spiroxis* sp. ....-90 -**

**Fig. 28. *Pseudoterranova* sp. ....-91 -**

**Fig. 29. *Polymorphus* sp. ....-92 -**

**Fig. 30. *Southwellina* sp. ....-93 -**

## RESUMEN

En los ambientes acuáticos el ingreso de diversos contaminantes puede comprometer la salud de los peces, originando aumento del estrés oxidativo y promoviendo la sensibilidad a organismos patógenos como los helmintos. La lipoperoxidación (LPO) es uno de los métodos más utilizados para evaluar el estrés oxidativo, mientras que el uso de índices morfométricos como el índice hepatosomático, gonadosomático y el factor de condición contribuyen a la evaluación del estado de salud de los peces. Este estudio examina la relación entre la LPO en hígado, músculo y branquias, los parámetros de calidad del agua, los índices del estado de salud con la presencia de helmintos de *Astyanax aeneus* y *Floridichthys polyommus* en diferentes sitios y meses de estudio en el río Champotón, Campeche. Se estimó la respuesta integrada de la lipoperoxidación (RIB-LPO), con los niveles de LPO de hígado, branquias y músculo, para cada sitio y mes de estudio. Existen diferencias espaciales y temporales en los parámetros de calidad del agua a lo largo del río, siendo los sitios más impactados PU, SAR y PC durante la época de mayor precipitación y posterior a esta, debido a un incremento en los ortofosfatos y nitrógeno. Para *A. aeneus* se encontraron cinco helmintos: *U. ambloplitis*, *Spiroxys* sp., *Contracaecum* sp., *Polymorphus* sp. y *C. complanatum*; los helmintos encontrados en *F. polyommus* constituyen nuevos registros tanto de la presencia en nuevo hospedero como de su distribución: *Pseudoterranova* sp., *G. caribaensis*, *Southwellina* sp., *Contracaecum* sp. y *Polymorphus* sp., estos dos últimos helmintos especies compartidas entre los peces centinelas. El mes de julio presentó el máximo de la RIB-LPO para *A. aeneus* y en noviembre para *F. polyommus*, siendo las branquias las que siempre presentaron los valores de LPO más altos. Existe relación entre la abundancia de los helmintos y la LPO hacia órganos específicos. *Polymorphus* sp. parece ser el único helminto que compromete la condición tanto de *A. aeneus* como de *F. polyommus* ya que se relaciona de manera negativa con el factor de condición.

## ABSTRACT

In aquatic ecosystems the input of several pollutants may compromise fish health through oxidative stress induction, decreased resistance and the fostering of susceptibility to pathogens such as helminths. Lipid peroxidation (LPO) is one of the most commonly used methods to evaluate oxidative stress, while the use of morphometric indexes as the condition factor, hepatosomatic and gonadosomatic index contribute to the assessment of the fish health state. This study examines the relationships between LPO in liver, muscle and gills, water quality parameters, the fish health condition and the occurrence of helminthes in *Astyanax aeneus* and *Floridichthys polyommus* from the river Champotón, Campeche, in several study sites and periods. The integrated biomarker response of lipid peroxidation (IBR-LPO) was assessed with the levels of LPO in muscle, liver and gill for each site and period studied. There are differences in spatial and temporal parameters of water quality along the river, being the most impacted sites PU, SAR and PC during the rainfall period and subsequent to this, due to an increase in orthophosphates and nitrogen. Five helminthes were identified in *A. aeneus*: *U. ambloplitis*, *Spiroxys* sp., *Contracaecum* sp., *Polymorphus* sp. y *C. complanatum*. Helminths found in *F. polyommus* are new records both in the presence in a new host as in their distribution: *Pseudoterranova* sp., *G. caribaensis*, *Southwellina* sp., *Contracaecum* sp. y *Polymorphus* sp., being the latter two helminthes shared species between sentinel fish. July was the month with the highest values of the IBR-LPO for *A. aeneus* and in November to *F. polyommus*, being the gills which always had the highest values of LPO. Relationships were found between the abundance of helminthes and the LPO into specific organs. *Polymorphus* sp. appears to be the only helminth that compromises the condition of both *A. aeneus* and *F. polyommus* as it relates in a negative way with the condition factor.

## I. INTRODUCCIÓN

Los peces viven en un medio con el que interaccionan en forma constante, se alimentan, crecen y se reproducen en él. Toda su estructura y fisiología ha evolucionado para su desarrollo en dicho hábitat, incluidos en una trama trófica que los hace imprescindibles para el desarrollo armónico del ecosistema. Por otro lado, la humanidad desde siempre ha volcado sus desechos en diversos cuerpos de agua, los cuales en condiciones optimas pueden autodepurarse; sin embargo, el desarrollo industrial y el crecimiento acelerado de la población humana ha generado que esta autodepuración no sea suficiente, causando una pérdida en la integridad de los cuerpos de agua, principalmente de ríos, alterando el equilibrio existente entre los peces y su medio (Romano, 1999).

El creciente interés por conocer el estado actual de los cuerpos acuáticos y su evolución en el tiempo, ha estimulado una fuerte investigación durante las últimas décadas, en la búsqueda de establecer estándares de juicio de “calidad de agua” que permitan satisfacer las demandas de uso del recurso. Una aproximación puede ser abordada a través del análisis de las características físico-químicas del agua y por otro lado, a través del uso de organismos indicadores de la calidad ambiental (Figueroa *et al.*, 2003).

Existen varios enfoques para la clasificación de los parámetros que componen la calidad de agua, existiendo un intervalo adecuado de factores físicos, químicos y biológicos que son necesarios para garantizar el éxito en el desarrollo de los organismos (Arredondo-Figueroa y Ponce-Palafox, 1998). A pesar de que se pueden llevar a cabo numerosos registros y determinaciones de indicadores de la calidad del agua, los enfoques más recientes en la

evaluación ambiental contemplan el uso de organismos como indicadores de la salud de los ecosistemas (Marchand-Pajares, 2002).

Las condiciones ambientales pueden causar un gran número de enfermedades en todo tipo de organismos. En el medio acuático, los componentes pueden comprometer la salud de los peces según diferentes modelos, entre ellos la tensión ambiental puede desencadenar diferentes patologías y estimular la patogenicidad de ciertos bioagresores (Kinkelin *et al.*, 1991). Dichas patologías pueden originarse por una serie de efectos adversos debidos a baja calidad de agua, originando un importante aumento del estrés que disminuye la resistencia del hospedador.

Los contaminantes de origen antropogénico, incluyendo los metales pesados, no metales tóxicos, hidrocarburos y la liberación de estos contaminantes dentro de los sistemas acuáticos han dado lugar a diversas mezclas de xenobiótico con potencial de ejercer numerosos efectos adversos en la salud humana, en la biota silvestre y en los ecosistemas receptores (Abel, 1989), por lo que los programas que monitorean las comunidades bióticas son muy importantes para dar soluciones a los problemas de contaminación acuática (MacKenzie *et al.*, 1995; Marcogliese y Price, 1997).

Una gran cantidad de organismos pueden servir como bioindicadores para monitorear los efectos de los contaminantes en los ambientes acuáticos. La presencia de parásitos en los peces puede ser un indicativo del funcionamiento del sistema dado que la exitosa transmisión de los helmintos significa que la energía está siendo transmitida efectivamente a lo largo de los niveles tróficos del ecosistema (Alvarez-Pellitero, 1988). Las características limnológicas,

geográficas y tróficas de los cuerpos de agua han sido potencialmente identificadas como importantes determinantes de la comunidad parasitaria de los peces (Molloy *et al.*, 1995). El grado de patogenicidad de los distintos parásitos varía según las especies y depende de diferentes factores como intensidad del parasitismo, órgano afectado, especificidad del hospedador, infecciones concomitantes y condiciones ambientales (Alvarez-Pellitero, 1988). Hernández y Sukhdeo (2001) sugieren que los parásitos pueden ser indicadores de integridad biótica y que es posible incluir los parásitos en estudios dirigidos a evaluar la salud de los sistemas de agua dulce.

Los helmintos de los peces están entre los bioindicadores más sensibles por varias razones (MacKenzie *et al.*, 1995). Las infecciones por helmintos en peces reflejan la salud de la comunidad acuática por sus complejos ciclos de vida, e. g. el ciclo de vida de un helminto típico incluye al hospedero definitivo, que por lo general es un pez, así como hospederos intermediarios, generalmente invertebrados. Para que los parásitos sobrevivan todos los hospederos deben presentarse en la comunidad (Marcogliese y Cone, 1997); por lo tanto, los cambios en las condiciones ambientales, como la contaminación, que afecten a cualquiera de los hospederos tendrá un efecto significativo en la prevalencia e intensidad de los parásitos de los peces (MacKenzie *et al.*, 1995; Marcogliese y Price, 1997). Los contaminantes podrían tener también efectos tóxicos en los helmintos, reduciendo su capacidad de infección en los peces (Silva *et al.*, 2005), o por el contrario, las toxinas podrían afectar la resistencia de los peces lo que incrementaría los niveles de infección (MacKenzie *et al.*, 1995; Marcogliese *et al.*, 2005). Por lo tanto, los helmintos proveen medidas sensibles de los niveles de contaminación en el agua, por lo que el estudio de sus comunidades debe ser parte integral de los programas que monitorean la contaminación en sistemas acuáticos (Marcogliese y Price, 1997).

Los biomarcadores constituyen una herramienta de evaluación de efecto tóxico muy útil en los estudios de evaluación de riesgo toxicológico y ecotoxicológico. El término biomarcador se refiere a cambios fisiológicos, bioquímicos, histológicos y de comportamiento, entre otros, que se pueden detectar como consecuencia del contacto con los xenobióticos, desde el nivel de organización molecular, celular, al de organismo (Boudou y Ribeyre, 1997; Sherry, 2003).

El uso y desarrollo de biomarcadores ha cobrado un interés creciente a fin de evaluar el riesgo biológico de una sustancia química potencialmente tóxica (Kloepper- Sams *et al.*, 1994; Peri *et al.*, 2003), ya que constituyen valiosos parámetros indicativos de la presencia de sustancias endógenas o cambios biológicos como respuestas a distintos xenobióticos (Kloepper- Sams *et al.*, 1994).

En las últimas décadas se han dirigido esfuerzos a analizar y tratar de cuantificar los cambios etológicos, morfológicos, fisiológicos, bioquímicos y moleculares ocasionados por el estrés que generan las modificaciones ambientales (Malins, 1994); tal es el caso del estrés oxidativo, que existe cuando hay un desbalance entre la producción de especies reactivas de oxígeno (EROs) y la defensa antioxidante, provocando un daño a moléculas biológicas como lípidos, proteínas, ácidos nucleicos e hidratos de carbono, que lleva a una variedad de cambios fisiológicos y bioquímicos los cuales ocasionan el deterioro y muerte celular (Rodríguez-Perón *et al.*, 2001). Las EROs son especies químicas de radicales libres que se caracterizan por presentar un electrón desapareado lo que las hace ser muy reactivas e inestables. Las principales EROs son el anión superóxido ( $O_2^-$ ), el radical hidrófilo ( $OH^\cdot$ ) y el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ). Al elevarse o disminuir las concentraciones fisiológicas de las especies



reactivas de oxígeno (EROs) pueden acarrear importantes alteraciones funcionales (Céspedes-Miranda *et al.*, 1996).

Por su alta inestabilidad atómica las EROs, colisionan con una biomolécula y le sustraen un electrón, oxidándola, perdiendo de esta manera su función específica en la célula. Si se trata de los lípidos (ácidos grasos polinsaturados), se dañan las estructuras ricas en ellas como las membranas celulares y las lipoproteínas. En las primeras se altera la permeabilidad conduciendo al edema y la muerte celular y en la segunda, la oxidación de lipoproteínas de baja densidad. La oxidación lipídica por las EROs consiste en una reacción en cadena en la que el ácido graso al oxidarse, se convierte en radical de ácido graso con capacidad de oxidar a otra molécula vecina. Este proceso, conocido como peroxidación lipídica, genera numerosos subproductos, muchos de ellos como el malondialdehído (MDA), cuya determinación en tejidos, plasma u orina es uno de los métodos de evaluar el estrés oxidativo (Rodríguez-Perón *et al.*, 2001).

Al elevarse las concentraciones fisiológicas de las especies reactivas de oxígeno (EROs) sin que el sistema de defensa antioxidante sea capaz de superar este desbalance se pueden generar importantes alteraciones funcionales, comprometiendo la eficacia del sistema inmune aumentando la susceptibilidad a organismos patógenos como los helmintos (Romano, 1999).

## II. ANTECEDENTES

Existen pocos estudios que se relacionan con los helmintos como indicadores de la salud de los peces, de la influencia del deterioro ambiental y su relación con la presencia, abundancia y prevalencia de parásitos en la ictiofauna y del uso de bioindicadores para evidenciar el efecto de los helmintos en las poblaciones de peces. Caballero y Rodríguez y Tello-Sandoval (1992), mencionan que existe una fauna parasitaria muy reducida en los peces de las costas mexicanas del Golfo de México como consecuencia de la explotación petrolera, fundamentalmente por la liberación de ácido sulfhídrico, que causa la muerte de los hospederos intermediarios, principalmente de tremátodos, necesarios para completar sus ciclos de vida.

Destacan los trabajos de Mackenzie *et al.* (1995) y Mackenzie *et al.* (1999) quienes sugieren el uso de parásitos como indicadores de calidad de agua y el uso potencial de helmintos en estudios de contaminación marina; Siddall *et al.* (1997) proponen al género *Dactylogirus* (monogenea) como indicador de calidad de agua debido a sus alta abundancia y diversidad en ambientes con determinados contaminantes.

Respecto al rol del estrés ambiental en la aparición de determinadas patologías, como la incidencia de los helmintos, Marcogliese y Cone (1997) mencionan que es un factor muy importante ya que puede aumentar la prevalencia de ciertos bioagresores. En tal sentido, Mancini *et al.* (2000) mencionan que en ambientes con excesiva materia orgánica o contaminados aumenta el riesgo de parasitosis en animales silvestres. Esto no coincide con lo registrado por Dzikowski *et al.* (2004) quienes realizaron un estudio en donde encuentran que

las especies de helmintos con ciclos de vida directos (monóxenos) pueden persistir en ambientes altamente perturbados mientras que para las especies con ciclos indirectos (heteróxenos) esto no es necesariamente verdadero; este estudio concuerda con lo mencionado por Silva *et al.* (2005), que encontraron que las infecciones por endoparásitos disminuyen con la contaminación, mientras que las de ectoparásitos aumentan; cabe resaltar que su estudio se refiere a microparásitos protozoarios. Sin embargo, Olivero-Vervel *et al.* (2005) mencionan que la prevalencia, abundancia e intensidad de nemátodos en peces que habitan en zonas contaminadas por drenaje doméstico y descargas industriales son mayores a las de los que habitan en sitios menos impactados.

Existe poca información disponible sobre los efectos simultáneos de los parásitos y la contaminación en la homeostasis de los organismos parasitados. Marcogliese *et al.* (2005) encontraron que los peces de zonas contaminadas tienden a tener niveles más altos de peroxidación lipídica que los que habitan en sitios menos contaminados. Además, los peces infectados por parásitos de los sitios contaminados tienden a tener niveles más altos de peroxidación lipídica que los no infectados en la misma zona. Sures (2006) sugiere que los parásitos podrían influenciar el metabolismo de los contaminantes en hospederos infectados y que interactúan con los contaminantes en vías tanto sinérgicas como antagónicas induciendo reacciones fisiológicas en el hospedero, alterando los sistemas inmunes de los peces facilitando la infección por más parásitos.

Acerca del uso de bioindicadores para evidenciar el efecto que tienen los parásitos y la contaminación sobre las poblaciones de peces, Thilakaratne *et al.* (2007) manifiestan que existe una relación negativa significativa entre los parásitos de *Notropis hudsonius* (Clinton,

1824) y su factor de condición, principalmente ejercida por *Neoechinorhynchus rutili* (Müller, 1780) sugiriendo su potencial patológico.

Dado que la ictiofauna del Río Champotón no está bien documentada, los estudios helmintológicos de los peces que ahí habitan son muy pocos, siendo los únicos registros disponibles los de Lamothe-Argumedo *et al.* (1997) y Vidal-Martínez *et al.* (2002), quienes registran los helmintos parásitos de *Petenia splendida* (Günther, 1862) (Cichlidae) en la boca del Río Champotón.

Hay estudios helmintológicos previos de los parásitos de peces de la familia Characidae como el de Abdallah *et al.* (2004) realizado en el Río Guandu en Brasil, quienes reconocen a *Clinostomum complanatum* (Rudolphi, 1814) y a *Procamallanus (S.) hillari* (Valenciennes, 1840) en *Astyanax bimaculatus* (Linnaeus, 1758) y en *A. parahybae* (Eigenmann, 1908). Además, Caspeta-Mandujano *et al.* (2000) registra a *Rhabdochona mexicana* (Caspeta-Mandujano, Moravec y Salgado-Maldonado, 2000) en el intestino de *A. fasciatus* (Cuvier, 1819) y *A. mexicanus* (De Filippi, 1853); Caspeta-Mandujano (2005) encuentra a *Capillaria cyprinodonticola* (Huffman y Bullock, 1973), *Falcaustra* sp., *Procamallanus neocaballeroi* (Caballero-Deloya, 1977), *Rhabdochona mexicana*, y *Spiroxys* sp. (Schneider, 1866), en *A. fasciatus*; y Múgica-Ruiz (2008), reporta a *Urocleidoides strombicirrus* (Price and Bussing 1967), a *C. complanatum* y *R. mexicana* en el mismo pez.

Dentro de los estudios helmintológicos que se han realizado sobre *Astyanax aeneus* (Günther, 1860) se encuentra el realizado por Choudhury *et al.* (2002) quienes registran la presencia del tremátodo *Wallinia chavarriae* (Choudhury, Hartvigsen y Brooks, 2002) en el área

de conservación Guanacaste en Costa Rica. Otro estudio importante fue el realizado por Salgado-Maldonado *et al.* (2004) que mencionan a los tremátodos *Saccocoelioides sogandaresi* (Lumsden, 1963), *Magnivitellinum simplex* (Kloss, 1966), *Centrocestus formosanus* (Nishigori, 1924), *Diplostomum* sp. (von Nordmann, 1832), metacestodos de la familia Dilepididae y a los nemátodos *Rhabdochona mexicana* y *Spiroxys* sp. (Schneider, 1866) como parásitos del intestino, mesenterios y ojos de *A. aeneus* del Río Ayuquila, Jalisco, México. Además, Salgado-Maldonado *et al.* (2005) registran a los tremátodos *Rhipidocotyle* sp. (Diesing, 1858), *Uvulifer ambloplitis* (Hughes, 1927), *Ascocotyle tenuicollis* (Price, 1935), a los monogéneos *Urocleidoides costaricensis* (Price y Bussing, 1967), *Anacanthocotyle anacanthocotyle* (Kritsky y Fritts, 1970), *Gyrodactilus* sp. (Cobbold, 1864), a los nematodos *Procamallanus* (*Spirocamallanus*) *neocaballeroi* y *Contraecaecum* sp. (Railliet y Henry, 1912) de la cuenca del Río Papaloapan para *A. aeneus*. Salgado-Maldonado (2006) publicó el listado helmintológico de peces dulceacuícolas de México en donde incluye a *A. aeneus* (Tabla I)

Con relación a *Floridichthys polyommus* (Hubbs, 1936), el único estudio helmintológico es el de Salgado-Maldonado (2006) quien registra la presencia de las metacercarias de *Ascocotyle* (*Phagicola*) *diminuta* (Stunkard and Haviland, 1924), *Phocitremonides ovale* (Martin, 1950) y al metacestodo *Cyclusteria capito* (Rudolphi 1819) de la Laguna Chelem, Yucatán (Tabla I).

Tabla I. Helmintos registrados para *A. aeneus* y *F. polyommus* en México.

HELMINTO		LOCALIDAD
<i>Astyanax aeneus</i>		
Tremátodos Adultos	<i>Magnivitellinum simplex</i>	MAN, PAP
	<i>Saccocoelioides cf. sogandaresi</i>	MAN, PAP
	<i>Ascocotyle (Ascocotyle) tenuicollis</i>	PAP, TAB
Metacercarias	<i>Centrocestus formosanus</i>	MAN, PAP,
	<i>Crocodylicola pseudostoma</i>	TAB
	<i>Diplostomum sp.</i>	MAN, PAP
	<i>Oligogonotylus manteri</i>	TAB
	<i>Posthodiplostomum minimum</i>	TAB
	<i>Rhipidocotyle sp.</i>	PAP
	<i>Stunkardiella minima</i>	TAB
	<i>Tabascotrema verai</i>	TAB
	<i>Uvulifer ambloplitis</i>	PAP
	<i>Uvulifer sp.</i>	TAB
Monogenea	<i>Anacanthocotyle anacanthocotyle</i>	PAP
	<i>Gyrodactylus sp.</i>	PAP
	<i>Palombitrema heteroancistrum</i>	TAB
	<i>Urocleidoides spp.</i>	PAP
Metacestodos	<i>Valipora mutabilis</i>	TAB
	<i>Dilepididae gen. sp.</i>	MAN
	<i>Proteocephalidea gen. sp.</i>	PAP
Nemátodos adultos	<i>Rhabdochona mexicana</i>	MAN, PAP
Larvas	<i>Contraecum sp.</i>	PAP
	<i>Spiroxys sp.</i>	MAN, PAP
<i>Floridichthys polyommus</i>		
Metacercarias	<i>Ascocotyle (Phagicola) diminuta</i>	YUC
	<i>Phocitrema ovale</i>	YUC
Metacestodos	<i>Cyclusteria capito</i>	YUC

MAN= Jalisco; PAP: Oaxaca; TAB= Tabasco; YUC= Yucatán

### III. JUSTIFICACIÓN

El Río Champotón cuenta con dos zonas consideradas como regiones hidrológicas prioritarias del país (97 y 98) (CONABIO, 2002) cuya problemática principal es la contaminación por aguas residuales domésticas y del ingenio azucarero en la boca del río (Arriaga *et al.*, 2002), mientras que para la cabecera la problemática radica en el desconocimiento de la fauna íctica y de la calidad de agua. Sin embargo, los estudios realizados en el río son escasos y se han limitado al listado taxonómico de la ictiofauna en la zona estuarina, siendo los estudios parasitológicos aún más escasos. Tampoco existen estudios acerca de parámetros de calidad del agua y evaluación del nivel de estrés oxidativo al que se encuentran sometidas las comunidades que lo habitan a pesar de que la problemática principal de la zona es la contaminación por aguas residuales domésticas y de un ingenio azucarero. Por lo tanto, el conocimiento e identificación de las comunidades helmínticas de los peces de la zona, su relación con parámetros de calidad de agua y con el estrés producido es de suma importancia ya que ofrece una herramienta para evaluar la salud del Río Champotón y de los peces que lo habitan, además de sentar las bases para el uso de helmintos parásitos de peces como monitores de contaminación o indicadores de calidad ambiental.

En este estudio se tomarán como especies centinelas a *Astyanax aeneus* y *Floridichthys polyommus*. *Astyanax aeneus* fue seleccionada debido a su amplia distribución y abundancia a lo largo del río (desde la cabecera, hasta la parte más baja sin influencia marina), mientras que *F. polyommus* se seleccionó como centinela porque se distribuye en la porción estuarina del río y además es abundante.

#### **IV. HIPÓTESIS**

Sí existen agentes que generan EROs en el curso del río Champotón, será posible detectar su efecto en peces a través de la determinación del nivel de lipoperoxidación comparando la respuesta de este biomarcador en una especie distribuida en diferentes puntos del curso del Río Champotón. Así también, en los casos en que el estrés oxidativo provoque desbalances en los organismos será posible detectar mayor incidencia de parásitos por helmintos en aquellos sitios en los que se identifique mayor nivel de lipoperoxidación.



## V. OBJETIVO GENERAL

Estudiar y comparar las comunidades de helmintos de *Astyanax aeneus* y *Floridichthys polyommus* y su relación con el nivel de lipoperoxidación a lo largo del curso del río Champotón, Campeche tomando en consideración los distintos niveles de disturbio ambiental de dichas zonas de estudio.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar la calidad de agua en cada uno de los sitios de estudio del río Champotón.
2. Elaborar el inventario de los helmintos parásitos de *Astyanax aeneus* y *Floridichthys polyommus*.
3. Caracterizar la infección parasitaria en términos de prevalencia, intensidad media y abundancia y determinar la variación de esta última entre los sitios y meses de estudio.
4. Determinar en los peces centinela el nivel de lipoperoxidación (LPO) y evaluar la respuesta integrada de dicho biomarcador (IBR-LPO) entre los diferentes sitios y meses de muestreo a lo largo del curso del Río Champotón.
5. Obtener en los peces centinela los bioindicadores poblacionales del estado de salud, factor de condición, índice gonadosomático e índice hepatosomático.
6. Determinar si existe relación entre los parámetros de calidad de agua, nivel de lipoperoxidación, bioindicadores poblacionales del estado de salud de los peces centinela y la abundancia de los helmintos.

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1. Área de Estudio

El Río Champotón (Fig. 1) se localiza en el Estado de Campeche (19°24'00" - 19°05'24" N y 90°43'12" - 90°23'24" W), pertenece a la región hidrológica número 31 Yucatán Oeste de acuerdo al listado de regiones hidrológicas del país y está incluida dentro de las 110 regiones hidrológicas prioritarias de México, formulada por la Comisión Nacional de Biodiversidad (CONABIO, 2002). Nace en la parte central del estado (cerca del poblado San Juan Carpizo) y corre de este a noroeste desembocando en el Golfo de México en las inmediaciones del poblado Champotón, tiene una longitud total de 47 km; su profundidad en la zona media varía de 2.5 a 4 m; su cuenca es de 6080 km<sup>2</sup> y su escurrimiento anual se estima en 885 millones de m<sup>3</sup>; es navegable por embarcaciones pequeñas en una extensión de 35 km (Jaime-Jaquez, 2006). El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano empezando en junio y terminando en octubre, con una precipitación media de 1100 a 1500 mm anuales. La temperatura promedio anual 26-28 °C (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1981; García, 2004).

### 6.2. Especies a estudiar

*Astyanax aeneus* (Fig. 2) pertenece a la Familia Characidae, presenta una mancha humeral vertical, su coloración corporal es plateada mientras que su dorso es pardo verdoso, los costados y abdomen plateados, sus aletas son transparentes con pocos pigmentos; usualmente los primeros radios de las aletas anal, dorsal y caudal presentan pigmentos rojos o amarillos, habita en todo tipo de ríos y arroyos de mucha a poca corriente en todo tipo de sustratos, en temperaturas de entre 20 a 37° C, alcanza hasta los 137 mm de longitud. Habita

desde los 0 a los 1000 msnm. Se alimenta de algas, hojas, insectos terrestres y acuáticos (Bussing, 1998). Se distribuye a lo largo de América Central hasta el Río Cocle del Norte y el Río Tabasara en Panamá; en México, desde la parte baja del Río Papaloapan hasta Colima, extendiéndose a la porción sur de la península de Yucatán hasta la sierrita de Tikul (Schmitter-Soto, 2002) .



Fig. 2. *A. aeneus*

*Floridichthys polyommus* (Fig. 3) pertenece a la Familia Cyprinodontidae; su coloración corporal es plateada, con manchas pardas transversales a los costados, mientras que en la parte abdominal presenta puntos con pigmentación amarilla. Se distribuye en Norte y Centroamérica, desde Florida (sudeste de EUA) y el Golfo de México, incluyendo la península de Yucatán, extendiéndose hasta Honduras, habita en aguas subtropicales someras de altas salinidades en temperaturas de entre 22 a 38°C y alcanza hasta 8 cm de longitud máxima (Huber, 1996).



Fig. 3. *F. polyommus*

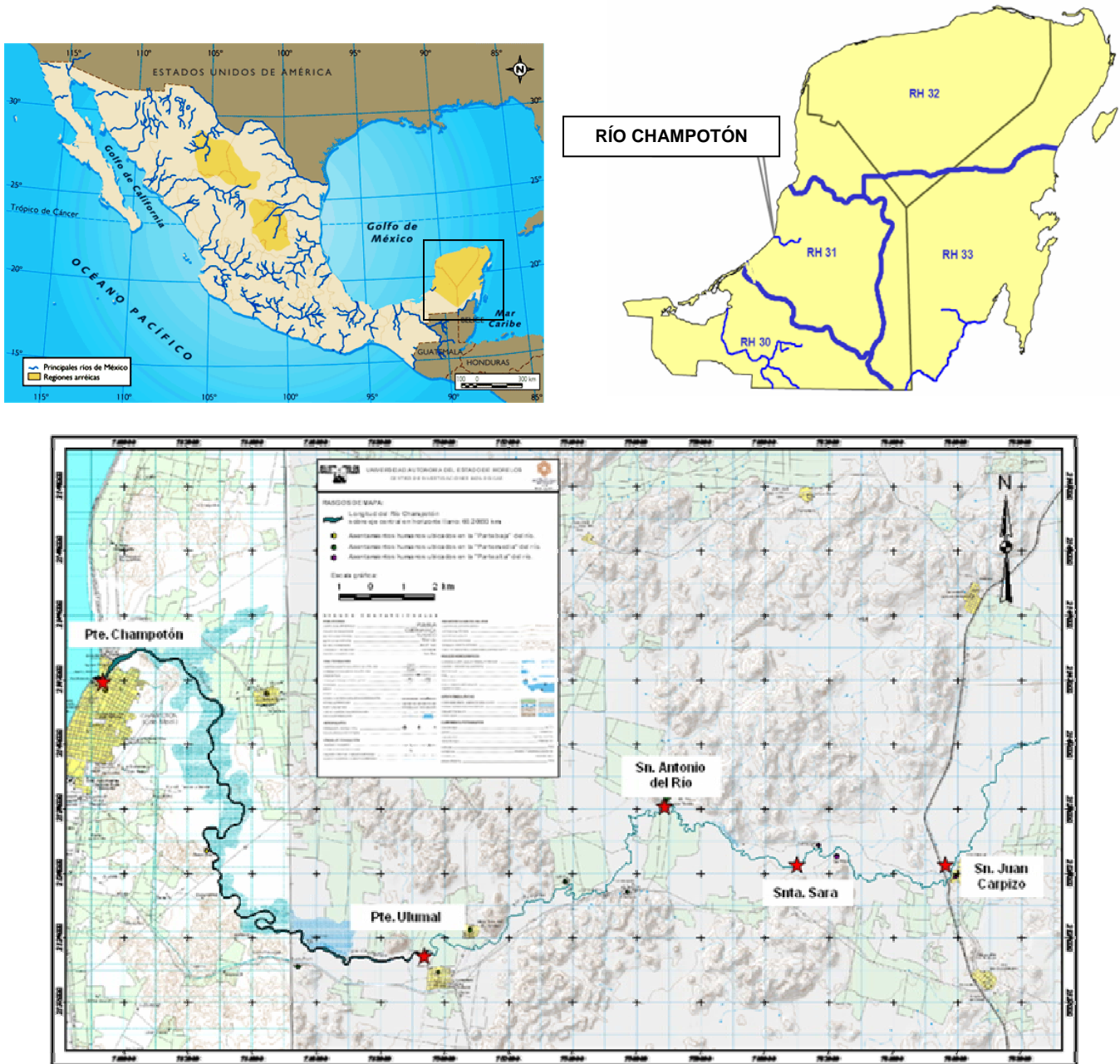


Fig. 1. Área de Estudio y sitios de muestreo.

### 6.3. Trabajo de Campo

Se realizaron cuatro campañas de muestreo en campo para la recolección de los hospederos, con el propósito de abarcar cada una de las épocas climatológicas, estiaje (27-29 de abril de 2007), lluvias (22-24 de julio de 2007), nortes y huracanes (9-11 de noviembre de 2007 y 1-3 de febrero de 2008), durante un año. Los peces se obtuvieron usando distintas artes de captura, primordialmente por medio de un chinchorro. Se establecieron cinco estaciones de muestreo: San Juan Carpizo (SJC) y Santa Sara (SS) que corresponden a la parte alta del río; San Antonio del Río (SAR) y Puente Ulumal (PU) a la parte media y Puente Champotón (PC) a la parte baja (Fig. 1). Durante el mes de noviembre, por el efecto de las crecientes, fue imposible acceder a SS, por lo que para este sitio de muestreo únicamente se presentan datos para el resto de las temporadas. En cada estación de estudio se tomaron muestras de agua en recipientes plásticos de 500 ml, por duplicado para la determinación de los parámetros de calidad del agua (CA). Además se registró *in situ* la temperatura (°C), salinidad (UPS), turbiedad (NTU), conductividad (mS/cm), pH y oxígeno disuelto (mg/l) mediante una sonda multiparamétrica Quanta.

En cada uno de los sitios y periodos de estudio se recolectó una muestra mínima de 225 individuos por zona. Los peces muestreados fueron transportados vivos a las instalaciones del Instituto Tecnológico de Lerma, campus Champotón, en recipientes apropiados con aireación; de estos se tomó una muestra de 25 ejemplares para el examen helmintológico, otra de 100 ejemplares, que fueron disectados para la obtención de tejidos (branquias, músculo e hígado) para la evaluación del nivel LPO y los 100 restantes fueron medidos (Longitud patrón, Lp), pesados (W) y fijados con formol al 10% para su posterior disección para la evaluación de los

bioindicadores poblacionales. Los órganos disectados fueron transportados en nitrógeno líquido para su procesamiento en laboratorio.

#### **6.4. Examen helmintológico y fijación de helmintos**

Para la recolección de los parásitos se realizó el examen externo (cavidad branquial y branquias, piel, ojos, aletas) e interno (aparato digestivo, vísceras y músculo) del cuerpo del hospedero, con ayuda de un microscopio estereoscópico. Se contaron y separaron los helmintos de acuerdo al grupo al que pertenecían para su fijación y conservación adecuada. Se realizó la búsqueda de monogéneos únicamente durante la primera campaña de muestreo (abril de 2007) sin registrarse la presencia de ninguno, por lo que, se descarto su búsqueda en los subsecuentes muestreos. Los digéneos, céstodos y acantocéfalos se fijaron entre dos portaobjetos con formol caliente (4%) y se conservaron en alcohol 70°. Los nemátodos se fijaron con formol caliente (4%) en una caja de petri. Posteriormente, los platelmintos y acantocéfalos fueron teñidos con paracarmín de Meyer, deshidratados usando una serie graduada de alcohol, aclarados con salicilato de metilo y finalmente montados en preparaciones permanentes con bálsamo de Canadá. Los nemátodos fueron aclarados en glicerina y montados en laminillas temporales para facilitar su determinación taxonómica. La determinación taxonómica de los helmintos se hizo mediante el uso de claves taxonómicas y el uso de bibliografía especializada propia para cada tipo de helminto (Vidal-Martínez *et al.*, 2002; Caspeta-Mandujano, 2005).

## **6.5. Métodos de laboratorio**

### **6.5.1. Parámetros de calidad del agua**

Como indicadores de calidad del agua se utilizaron los siguientes parámetros: dureza, que se determinó por titulación, sulfatos, nitratos, nitritos, amonio, ortofosfatos, fósforo total, mismos que se obtuvieron mediante la utilización de un espectrofotómetro HACH DLR/2500; las coliformes totales y fecales fueron analizadas por el método de número mas probable y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) de acuerdo a las técnicas analíticas recomendadas por la APHA (1985).

### **6.5.2. Determinación del nivel de lipoperoxidación y evaluación de su respuesta integrada**

Para evaluar el nivel de estrés oxidativo se utilizó el nivel de lipoperoxidación, que se determinó en branquias, hígado y músculo. Los órganos se maceraron formando un homogenizado con 10 ml de agua tridestilada por gramo de tejido. Se tomaron 300 µl del homogenizado y se agregaron 700 µl del regulador Tris-HCl mM pH 7.4 para completar 1 ml. Se incubaron las muestras a 37° C por 30 minutos. Se hicieron reaccionar con 2 ml de ácido tiobarbitúrico (0.375% p/v) disuelto en ácido tricloroacético (15%), se mantuvieron en ebullición por 45 minutos y posteriormente se centrifugó a 3000 rpm por 10 minutos. Se tomó registro la lectura del sobrenadante a  $\lambda=535$  nm en un espectrofotómetro. Se cuantificó el malondialdehído producido con  $C = A / \epsilon L$ , donde C= cantidad de malondialdehído en moles, A= absorbancia de la muestra,  $\epsilon$ = coeficiente de extinción del malondialdehído y L= Longitud

de la celda. Este método se utilizó para cuantificar la magnitud de la peroxidación lipídica, producida por diversas causas, midiendo el producto formado entre los aldehídos generados y el ácido tiobarbitúrico (TBA) (Buege y Aust, 1978).

La cantidad de proteínas se determinó por el método de Bradford (1976), para lo cual se preparó una dilución 1:10 del homogenizado con agua tridestilada. Se tomaron 20  $\mu$ l de la dilución, se le agregaron 80  $\mu$ l de agua y 2.4 ml del reactivo de Bradford a las muestras problemas, se dejaron a temperatura ambiente y se analizó la absorbancia a  $\lambda=595$  nm frente al blanco. Se determinó la cantidad de proteínas mediante una curva estándar, para lo cual se preparó solución de albúmina sérica bovina (1mg/ml), preparando los siguientes tubos:

<b>TUBO</b>	<b>BLANCO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Albúmina ( $\mu$ l)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Agua ( $\mu$ l)	100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50
Reactivo (ml)	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
$\mu$ g de proteína/ml	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50

Se analizó la absorbancia a  $\lambda=595$  nm y se calibró con agua.

Los valores obtenidos de la LPO fueron normalizados y estandarizados. Posteriormente, se calculó la respuesta integrada de biomarcadores (RIB) siguiendo el procedimiento propuesto por Beliaeff y Burgeot (2002). En el presente estudio la RIB representa la respuesta integrada de la LPO en los tres tejidos estudiados: hígado, músculo y branquias (RIB-LPO) y se estimó para cada sitio y mes de estudio. Los resultados se presentan en gráficas de estrella de cada sitio y mes de estudio. Cada uno de los vectores de la gráfica representa la LPO del hígado, músculo y branquias. El área encerrada dentro del polígono que se forma por la unión de los extremos de los vectores representa la RIB-LPO (Fig. 4).



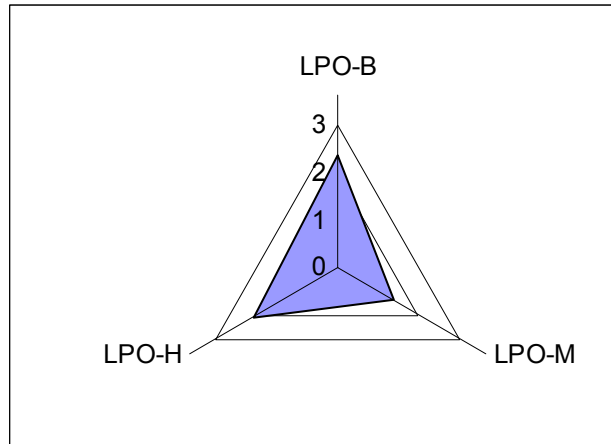


Fig. 4. Gráfica de estrella

## 6.6. Análisis de datos

### 6.6.1. Caracterización de la infección helmintológica

Los indicadores que caracterizan la infección helmíntica se obtuvieron de acuerdo a lo mencionado por Bush *et al.* (1997):

a) Prevalencia (P): porcentaje de hospederos parasitados en una muestra, y se calcula mediante:

$$P = \frac{hi}{n} \times 100$$

Donde hi= número de hospederos parasitados y n= número de hospederos revisados.

b) Intensidad Media ( $lp$ ): promedio de individuos de una especie de helminto por hospedero parasitado; se calcula mediante:

$$lp = \frac{P_x}{h_i}$$

Donde  $P_x$  = Número de parásitos de una especie dada.

c) Abundancia ( $A$ ): promedio de individuos de una especie de helminto por hospedero revisado y se calcula mediante:

$$A = \frac{P_x}{n}$$

### 6.6.2. Índice de valor de Importancia (IVI)

Se calculó el índice de valor de importancia para cada especie de helminto, considerando su abundancia relativa y su frecuencia de ocurrencia de acuerdo con Krebs (1989) quien propone la siguiente relación:

$$IVI = (Ar + Fr) \times 100$$

Donde  $Ar$  = Abundancia relativa y  $Fr$  = Frecuencia relativa

### 6.6.3. Diversidad helmintológica

Se determinó la diversidad de helmintos mediante el índice de Simpson para cada zona a partir de:

$$D = \sum Pi^2$$

Donde  $Pi$  = Proporción de individuos hallados en la especie  $i$ -ésima, es decir, el número de individuos de la especie  $i$  dividido entre el número total de individuos en la muestra.

A medida que  $D$  se incrementa la diversidad decrece y, por lo tanto, el índice de Simpson es expresado como  $1-D$ .

### 6.6.4. Bioindicadores poblacionales

En todos los peces se calculó el índice gonadosomático (IGS) y hepatosomático (IHS) y el factor de condición ( $K$ ) de acuerdo con las siguientes relaciones:

$$IGS = \frac{Wg}{Wt} \times 100$$

$$IHS = \frac{Wh}{Wt} \times 100$$

$$K = \frac{Wt}{Lp^3}$$

Donde  $Wg$ = peso de la gónada,  $Wh$ = peso del hígado,  $Wt$ = peso total y  $L$ = longitud patrón.

#### **6.6.5. Análisis estadístico de datos**

Se estableció si existían diferencias entre la abundancia de las comunidades helmínticas de los diferentes sitios y entre temporadas, para lo cual se utilizaron el Análisis de Variancia (ANOVA) de una vía, considerando diferencia estadística significativa cuando  $P < 0.05$ , previa evaluación de homogeneidad de varianzas empleando la prueba de Levene. Posteriormente, se realizaron las pruebas de comparación múltiple de Duncan correspondientes (Zar, 1996).

Además, se determinó la relación entre los parámetros de calidad de agua, nivel de estrés oxidativo y los bioindicadores poblacionales con la abundancia de los helmintos mediante análisis de componentes principales (ACP) utilizando el software XLSTAT-Pro 7.5

## VII. RESULTADOS

### 7.1. Caracterización de la calidad del agua.

Se distingue un gradiente altitudinal para los valores de salinidad y conductividad, con los valores más bajos en la parte alta del río (Tabla II). Para el caso del PC, se encontró que la salinidad y la conductividad disminuyeron notablemente para el mes de noviembre. El pH fue estable (mayor a 7, ligeramente básico) en la zona sin influencia marina del río, pero aumenta al entrar a la zona estuarina. La temperatura se mantiene más o menos constante presentándose los valores más altos durante el mes de julio. El oxígeno disuelto mostró valores más altos durante el mes de julio. La mayor concentración de nitratos se observó en SS y SAR durante julio y febrero, mientras que las menores se detectaron en PC con excepción del mes de febrero en donde la concentración aumentó. Con relación a los sulfatos, éstos se mantienen más o menos estables para todas las estaciones, con los valores más altos en el mes de febrero y un ligero incremento en contra del gradiente altitudinal, con excepción del mes de noviembre en donde los sulfatos disminuyeron de manera muy acentuada. Para el PC este abatimiento se observó desde el mes de julio.

El río está constituido por aguas duras debido a la naturaleza calcárea del sustrato propia de la zona. El fósforo total presentó valores más altos para el mes de abril, mientras que los ortofosfatos fueron mayores en el mes de julio. La DBO<sub>5</sub> más elevada ocurrió durante abril y julio. Las coliformes totales variaron notablemente entre temporadas, encontrándose los valores más altos durante el mes de febrero en SS, mientras que el valor más bajo se registró en SJC también para febrero. Las coliformes fecales presentan un patrón similar, los valores

más altos se cuantificaron en febrero para SS y los más bajos en SJC y PU. Para el PC se observó que los valores mas altos fueron los registrados en noviembre.

Tabla II. Parámetros de calidad de agua. SJC= San Juan Carpizo; SS= Santa Sara; SAR= San Antonio del Río; PU= Puente Ulumal; PC= Puente Champotón. A= abril; J= julio; N= noviembre; F= febrero

		Salinidad (UPS)	Conductividad (mS/cm)	pH	T (°C)	O <sub>2</sub> Dis.	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NH <sub>4</sub> (mg/l)	SO <sub>4</sub> (mg/l)	Dureza (mg/l)	Fósforo Total	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/l)	DBO (mg/l)	C T (NMP/100)	C F (NMP/100)
<b>SJC</b>	A	0.96	1.89	7.27	28.4	3.8	0.9	0.006	0.015	413.5	417	4.17	0.22	7.333	21	21
	J	1.01	1.97	7.43	30.13	5.01	0.7	0.005	0.065	420	325	0.99	0.605	1.81	11	11
	N	0.14	0.278	7.57	23	4.87	0.9	0.006	0.1	37	125	0.37	0.31	0.7	50	50
	F	0.93	1.83	7.84	25.98	4.14	0.35	0.004	0.055	450	950	0.28	0.27	2.5	9	9
<b>SS</b>	A	0.68	1.36	6.89	27.52	2.37	1.2	0	0.01	375	335	3.35	0.165	2.476	13	13
	J	0.65	1.297	7.1	27.1	3.94	1.65	0.001	0.005	570	262.5	0.9	0.535	1.238	170	170
	F	0.66	1.318	7.53	27.56	3.05	2	0.001	0.055	420	815	0.31	0.275	1.3	500	500
<b>SAR</b>	A	0.95	1.882	7.36	29.39	5.82	0.95	0.003	0.025	412	375	3.75	0.185	3.143	30	30
	J	0.99	1.96	7.68	29.4	6.06	1.15	0.005	0.015	550	300	1.305	0.53	1.429	350	350
	N	0.11	227	8.22	26.14	7.7	0.4	0.002	0.05	26	86	0.255	0.24	0.7	14	14
	F	0.92	1.8	7.83	26.69	5.62	0.8	0.002	0.045	520	755	0.35	0.3	0.9	300	110
<b>PU</b>	A	1.14	2.232	7.45	28.52	5.49	0.8	0.004	0.01	382	395	3.65	0.16	2.476	30	30
	J	1.19	2.31	7.19	29.87	6.42	0.9	0.002	0.055	490	345	1.09	0.65	1.333	280	280
	N	0.13	0.272	7.8	23.9	7	0.625	0.009	0.02	31	89	0.36	0.16	0.55	22	22
	F	1.1	2.15	8.03	26.95	6.26	0.4	0.003	0.06	660	845	0.43	0.435	0.9	12	9
<b>PC</b>	A	22.32	35.81	8.02	26	4.55	0.7	0.004	0.01	561	755	7.55	0.105	3.524	30	23
	J	18.02	28.4	8.55	31.5	7.04	0.5	0.005	0.025	60	3073	0.49	0.385	1.81	280	34
	N	0.23	0.484	7.7	25.41	4.8	0.4	0.008	0.04	42	135	0.605	0.135	0.15	500	220
	F	16.35	26.7	8.25	25.52	6.5	1.05	0.001	0.03	900	1652	0.4	0.365	1.35	9	7

## 7.2. Inventario helmintológico

Se identificó un total de 8 especies de helmintos para *A. aeneus* y *F. polyommus* (Apéndice I) de las cuales el 37.5% pertenecen al Phylum Nematoda (n=3), el 25% a la Clase Trematoda (n=2), el 12.5% a la Clase Cestoda (n=1) y el 25% al Phylum Acanthocephala (n=2) (Fig. 5). *Astyanax aeneus* se encontró parasitado por 5 especies, 2 tremátodos, 2 nemátodos y 1 acantocéfalo (Fig. 6), mientras que *F. polyommus* es parasitado por 1 tremátodo, 2

nemátodos y 2 acantocéfalos (Fig. 6). Es importante mencionar que los helmintos registrados en ambas especies de peces se encontraron en estadio larvario, lo que no permitió la identificación de los nemátodos y acantocéfalos hasta nivel especie, siendo los tremátodos los únicos identificados hasta este taxón.

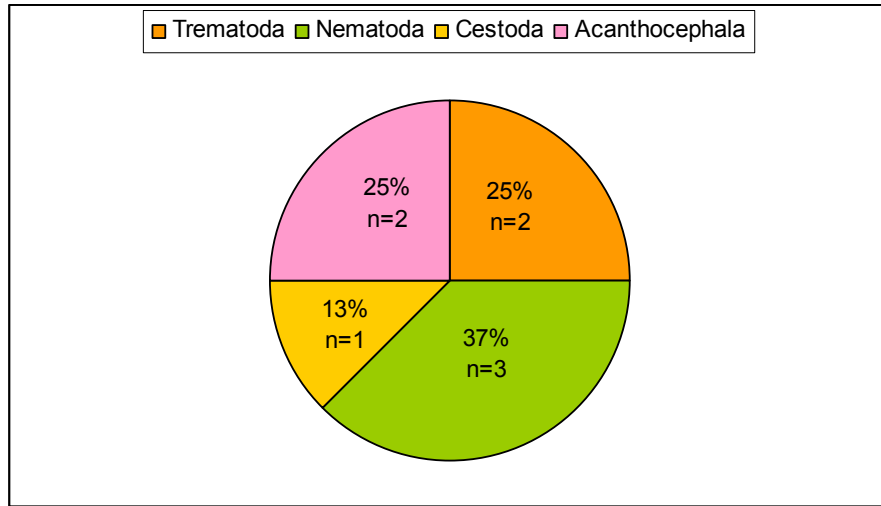


Fig. 5. Porcentaje de helmintos por grupo encontrados en *A. aeneus* y *F. polyommus*.

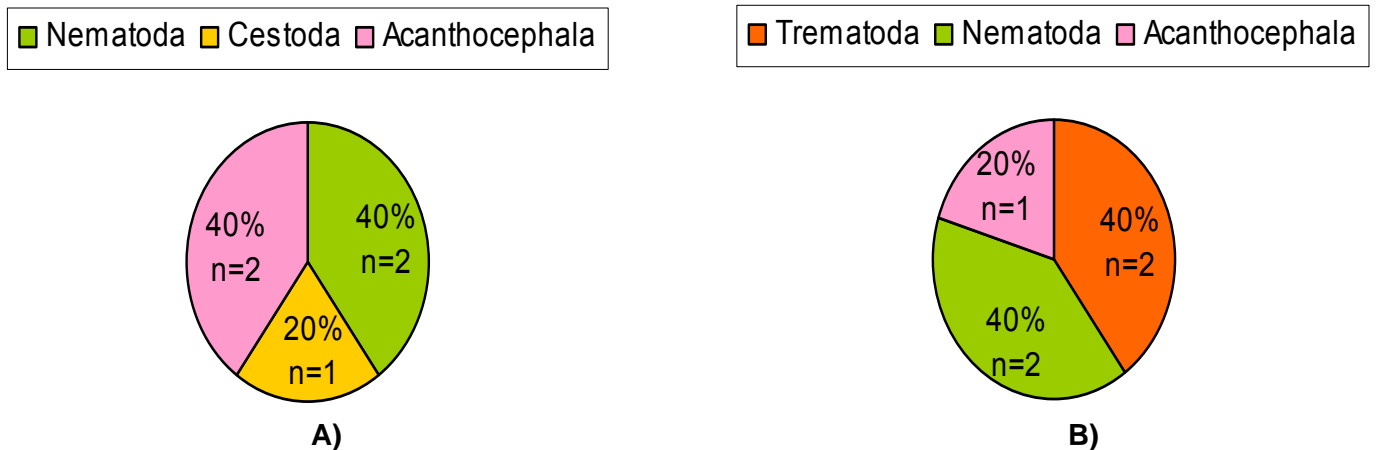


Fig. 6. Porcentaje de especies de helmintos por grupo encontrados en A) *A. aeneus* y B) *F. polyommus*.

Para *A. aeneus* se identificaron dos especies de helmintos de la Clase Trematoda: *Uvulifer ambloplitis* (Hughes, 1927) y *Clinostomum complanatum* (Rudolphi, 1814); del Phylum Nemátoda a *Contracaecum* sp. (Railliet y Henry, 1912) y a *Spiroxys* sp. y del Phylum Acanthocephala a *Polymorphus* sp. (Lühe, 1911). En el caso de *F. polyommus* de la Clase Cestoda se identificó a *Glossocercus caribaensis* (Rysavy y Macko, 1973), del Phylum Nematoda a *Pseudoterranova* sp. (Mozgovoi, 1951) y a *Contracaecum* sp. y del Phylum Acanthocephala a *Polymorphus* sp. y a *Southwellina* sp (Witenberg, 1932). *A. aeneus* y *F. polyommus* comparten dos especies de helmintos *Contracaecum* sp. y *Polymorphus* sp. (Tabla III).

Tabla III. Especies de helmintos y su hospedero. EC= ectoparásito.

<b>Especie de Helmineto</b>	<b><i>A. aeneus</i></b>	<b><i>F. polyommus</i></b>
<i>Uvulifer ambloplitis</i> <sup>EC</sup>	X	
<i>Clinostomum complanatum</i>	X	
<i>Spiroxys</i> sp.	X	
<i>Contracaecum</i> sp.	X	X
<i>Polymorphus</i> sp.	X	X
<i>Pseudoterranova</i> sp.		X
<i>Glossocercus caribaensis</i>		X
<i>Southwellina</i> sp.		X

Los helmintos se distribuyeron en forma diferencial en el cuerpo del pez. Únicamente se observó un ectoparásito, *U. ambloplitis*, quien mostró afinidad a parasitar la piel. *Clinostomum complanatum* se registró exclusivamente en la base de los arcos branquiales. El resto de los helmintos se alojaron en la parte posterior del intestino.



Por sitios de estudio el número de helmintos en *A. aeneus* aumentó de la parte alta del río, SJC (en dónde solo se hallaron dos especies), hacia la parte media del río en PU en dónde se encontraron cinco especies (Tabla III). Los helmintos de mayor amplitud de distribución son *Contracaecum* sp. y *Spiroxys* sp. que se detectaron en todos los sitios de estudio, mientras que a *U. ambloplitis* y *Polymorphus* sp. sólo se les observó en la parte media del río SAR y PU. *Clinostomum complanatum* se encontró en la parte alta en SS y en la parte media en PU. El mes en el que se encontró la mayor riqueza de especies de helmintos fue julio con cuatro especies, y los de menor riqueza fueron abril, noviembre y febrero (Tabla IV).

Tabla IV. Distribución espacial y estacional de los helmintos de *A. aeneus* por sitio y mes de estudio. SJC= San Juan Carpizo; SS= Santa Sara; SAR= San Antonio del Río; PU= Puente Ulumal; PC= Puente Champotón

	SJC	SS	SAR	PU	ABRIL	JULIO	NOVIEMBRE	FEBRERO
<i>Contracaecum</i> sp.	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Spiroxys</i> sp.	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Uvulifer ambloplitis</i>			■	■	■	■	■	■
<i>Clinostomum complanatum</i>		■	■	■	■	■		
<i>Polymorphus</i> sp.			■	■	■	■	■	■
No. Sp.	2	3	4	5	3	4	2	2

Para *F. polyommus* se observó la mayor riqueza de helmintos en abril con 3 especies, mientras que la menor se encontró en julio, mes en donde no se registró la presencia de helmintos (Tabla V).

Tabla V. Distribución estacional de los helmintos de *F. polyommus*.

Mes	ABRIL	JULIO	NOVIEMBRE	FEBRERO
<i>Pseudoterranova</i> sp.	■			
<i>Contracaecum</i> sp.			■	■
<i>Glossocercus caribaensis</i>	■			
<i>Polymorphus</i> sp.			■	■
<i>Southwellina</i> sp.				■
No. Spp.	3	0	2	2

### 7.3. Caracterización de la infección.

En general, los valores de abundancia, prevalencia e intensidad de helmintos son bajos para ambas especies de peces. Sin embargo, se puede observar una variación tanto espacial como temporal de estos parámetros, así como una tendencia al aumento en prevalencias, abundancias e intensidades en contra del gradiente altitudinal.

En el caso de *A. aeneus* se observó que durante abril la especie con los valores más altos de prevalencia, abundancia e intensidad fue *U. ambloplitis* (Fig. 7); sin embargo, únicamente se registró en Puente Ulumal, mientras que *Spiroxys* sp. obtuvo valores más bajos pero se registró en dos estaciones de muestreo (SJC y SAR). En el mes de julio se encontró una mayor riqueza de especies de helmintos y los valores de prevalencia, abundancia e intensidad se incrementaron, presentándose también *U. ambloplitis* con los mayores valores en Puente Ulumal y en menor proporción en San Antonio del Río. Santa Sara, a diferencia del mes de abril, donde ningún individuo estaba parasitado, además, presentó los valores mas altos para *C. complanatum*, *Contracaecum* sp. y *Spiroxys* sp. En noviembre, se registraron helmintos

únicamente en dos sitios y una especie que no había sido observada en los dos meses anteriores, identificando para SAR a *Contracaecum* sp. y *Polymorphus* sp. y para PU únicamente a *Polymorphus* sp. Para febrero, se encontraron únicamente a los nemátodos *Spiroxys* sp. y *Contracaecum* sp., siendo éste último el que presentó los valores más altos de prevalencia, abundancia e intensidad.

La especie de helminto que alcanzó el valor más alto del IVI fue *U. ambloplitis*, seguida de *Contracaecum* sp. y *Spiroxys* sp. *Clinostomum complanatum* y *Polymorphus* sp. registraron los IVI's más bajos (Tabla VI). Existen sitios en meses específicos en los que no se detectaron helmintos (SS en abril, SJC en noviembre y PU en febrero).

En *F. polyommus* (Fig. 8) se observó que *Contracaecum* sp. presentó los valores más altos de prevalencia, abundancia e intensidad para el mes de abril, siendo además el único mes en que se encontró a *G. caribaensis*. Es importante mencionar que de los peces recolectados durante julio ninguno estuvo parasitado, mientras que en noviembre se identificó a *Contracaecum* sp. y *Polymorphus* sp. con los mismos valores de prevalencia, abundancia e intensidad. Para febrero se encontró a *Contracaecum* sp. con los valores más altos y se identificó a *Soutwellina* sp. que no fue observado en los meses anteriores. La especie con el IVI más alto fue *Contracaecum* sp. y las que registraron los valores más bajos fueron *Southwellina* sp. y *Pseudoterranova* sp (Tabla VII).

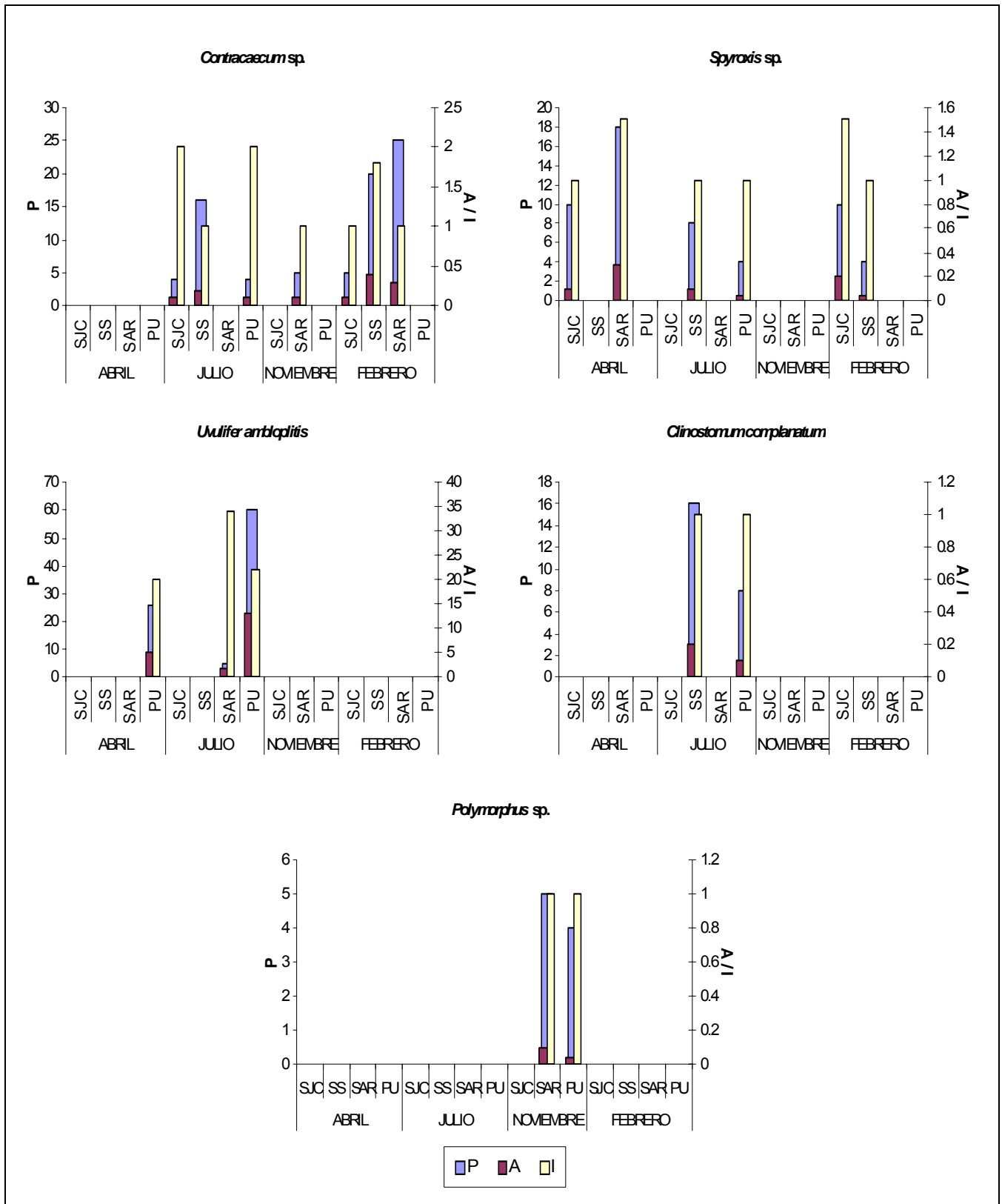


Fig. 7. Prevalencia (P), Abundancia (A) e intensidad (I) de helmintos de *A. aeneus*.

Tabla VI. Índice de Valor de Importancia (IVI) de los helmintos de *A. aeneus*.

Helminto	IVI
<i>Contraecum</i> sp.	40.79
<i>Spiroxys</i> sp.	33.47
<i>Uvulifer ambloplitis</i>	103.76
<i>Clinostomum complanatum</i>	11.33
<i>Polymorphus</i> sp.	10.62

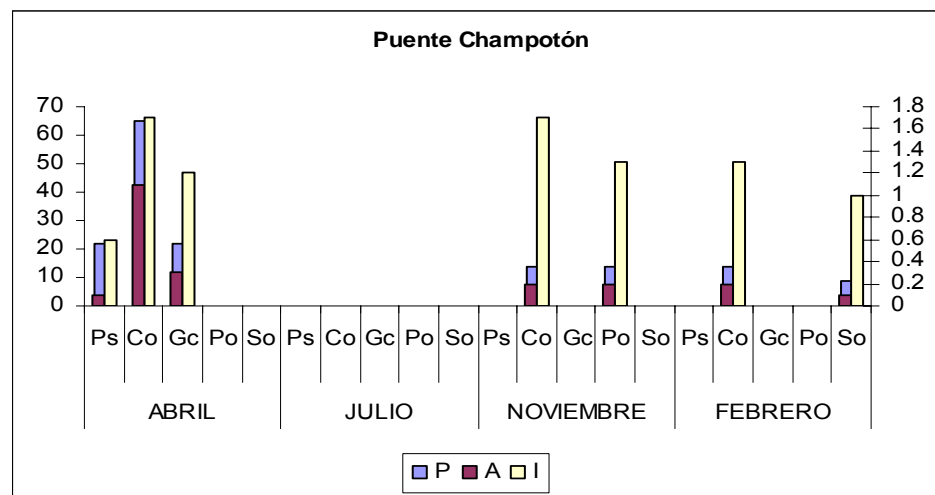


Fig. 8. Prevalencia (P), abundancia (A) e intensidad (I) de helmintos de *F. polyommus*. Ps: *Pseudoterranova* sp.; Co: *Contraecum* sp.; Gc: *Glossocercus caribaensis*; Po: *Polymorphus* sp.; So: *Southwellina* sp.

Tabla VII. Índice de Valor de Importancia (IVI) de los helmintos de *F. polyommus*.

Helminto	IVI
<i>Pseudoterranova</i> sp.	18.83
<i>Contraecum</i> sp.	111.04
<i>Glossocercus caribaensis</i>	27.92
<i>Polymorphus</i> sp.	23.38
<i>Southwellina</i> sp.	18.83

Referente a la diversidad (Tabla VIII), se encontró que para *A. aeneus* la diversidad helmíntica fue mayor durante el mes de julio; es decir, al inicio del periodo de lluvias, observándose la mayor diversidad en Santa Sara y la menor en Puente Ulumal; sin embargo, esta disminuyó hacia noviembre, que coincide con el periodo posterior a la mayor precipitación. Para el mes de febrero la diversidad helmíntica aumentó sin alcanzar los valores observados en julio, pero alcanzó sus valores más bajos en el mes de abril. En conclusión, la diversidad helmíntica es mayor a inicios de ambas temporadas, lluvias y estiaje, siendo el periodo más diverso el inicio de las lluvias. Por el contrario, *F. polyommus*, presentó valores de diversidad muy similares entre los meses de estudio. No obstante, para el mes de julio se encontró una diversidad nula, lo que contrasta con lo observado para *A. aeneus* que presentó sus valores más altos.

Tabla VIII. Diversidad de Simpson para *A. aeneus* y *F. polyommus*.

ESTACION	<i>A. aeneus</i>				<i>F. polyommus</i>
	SJC	SS	SAR	PU	PC
ABRIL	0	0	0	0	0.4
JULIO	0.5	0.6	0.05	0	0
NOVIEMBRE	0		0.5	0	0.5
FEBRERO	0.38	0.2	0	0	0.4

Se determinó, además, que existen diferencias significativas entre la abundancia de los helmintos de *A. aeneus* entre sitios de estudio y entre temporadas. En abril PU y SAR resultaron ser diferentes en cuanto a abundancias de los otros sitios de estudio, mientras que en julio únicamente PU mostró diferencia con el resto de los sitios ( $P < 0.0001$ ). Entre temporadas, el mes de julio, que corresponde a las lluvias, mostró ser diferente de las demás

temporadas ( $P < 0.0001$ ). Para *F. polyommus* también se detectaron diferencias significativas entre temporadas siendo abril, que corresponde a la temporada de estiaje, diferente de los demás meses.

#### **7.4. Evaluación del estrés oxidativo.**

Los niveles más altos de la RIB-LPO (Fig. 9) se presentaron en los meses de julio (RIB promedio 2.569) y abril (RIB promedio 2.616). En abril SJC y SAR fueron los sitios que mostraron los mayores valores de LPO en hígado, músculo y branquias. En julio fueron PU y SS los sitios con los valores más altos de LPO. Noviembre y febrero son meses con bajo estrés oxidativo. Los sitios con los valores más altos RIB-LPO total fueron SAR y SJC (RIB promedio 3.101 y 2.386 respectivamente). Mientras que en SS y PU la RIB-LPO fue menor. El vector que representa la LPO en branquias es el que muestra los valores más altos en todos los sitios y meses de estudio, seguido por el de hígado, lo que sugiere que son los órganos más afectados por estrés oxidativo.

Para *F. polyommus*, las graficas de estrella de la RIB-LPO (Fig. 10) muestran que los niveles más altos de lipoperoxidación se observaron en noviembre con una RIB de 3.183, mientras que el valor más bajo se encontró durante el mes de abril con una RIB de 1.127. Al igual que para *A. aeneus* el vector que representa la LPO en branquias es el que muestra los valores más altos en todos los meses de estudio, con excepción del mes de noviembre en donde fue el hígado el órgano que mostró ser el más afectado.

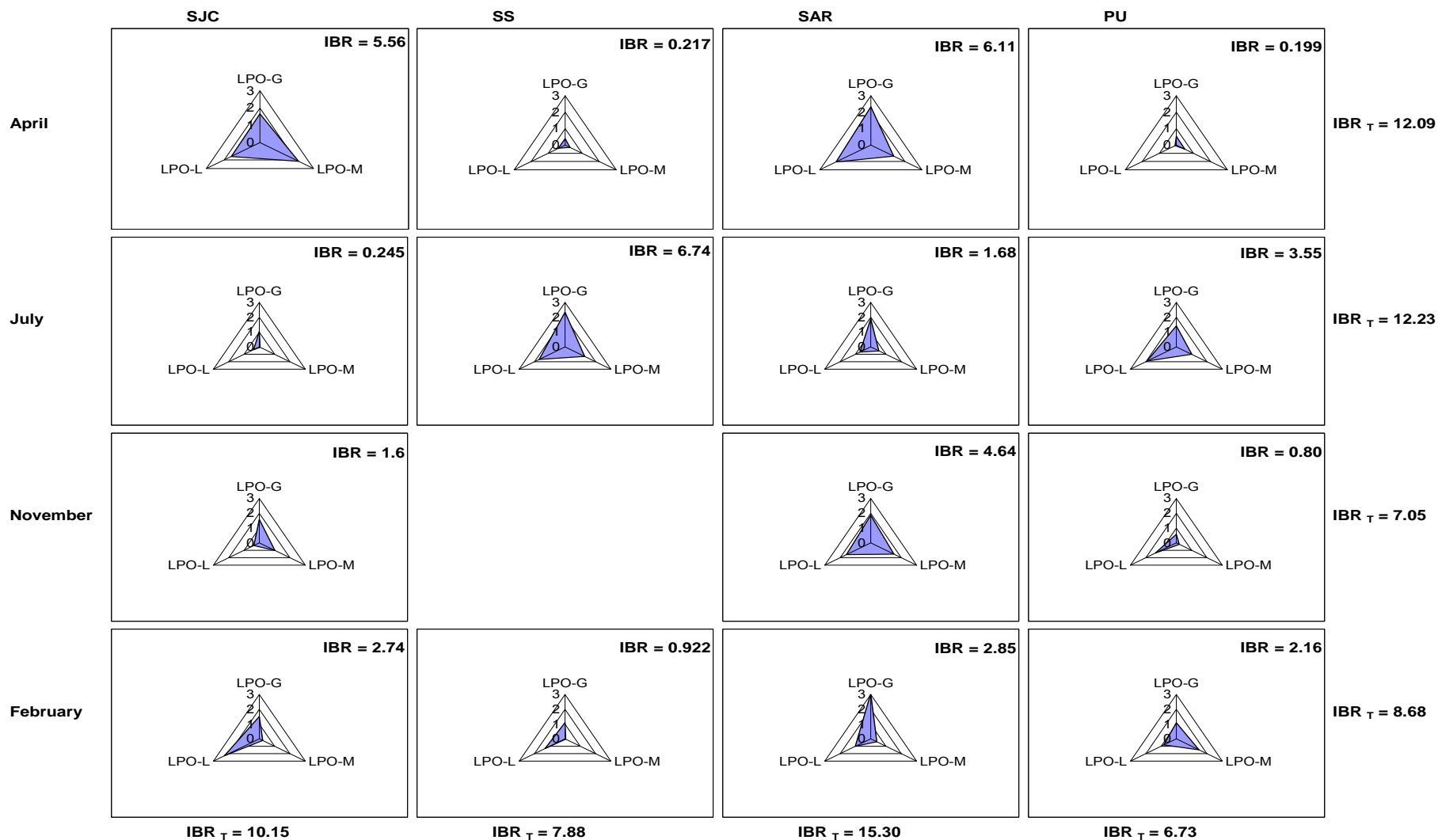


Fig. 9. Gráficas de estrella de la RIB-LPO para *A. aeneus*. Los vectores representan la LPO en los órganos estudiados. Se presentan los valores promedio de la RIB para cada mes y sitio de estudio. SJC= San Juan Carpizo; SS= Santa Sara; SAR= San Antonio del Río; PU= Puente Ulumal; PC= Puente Champotón



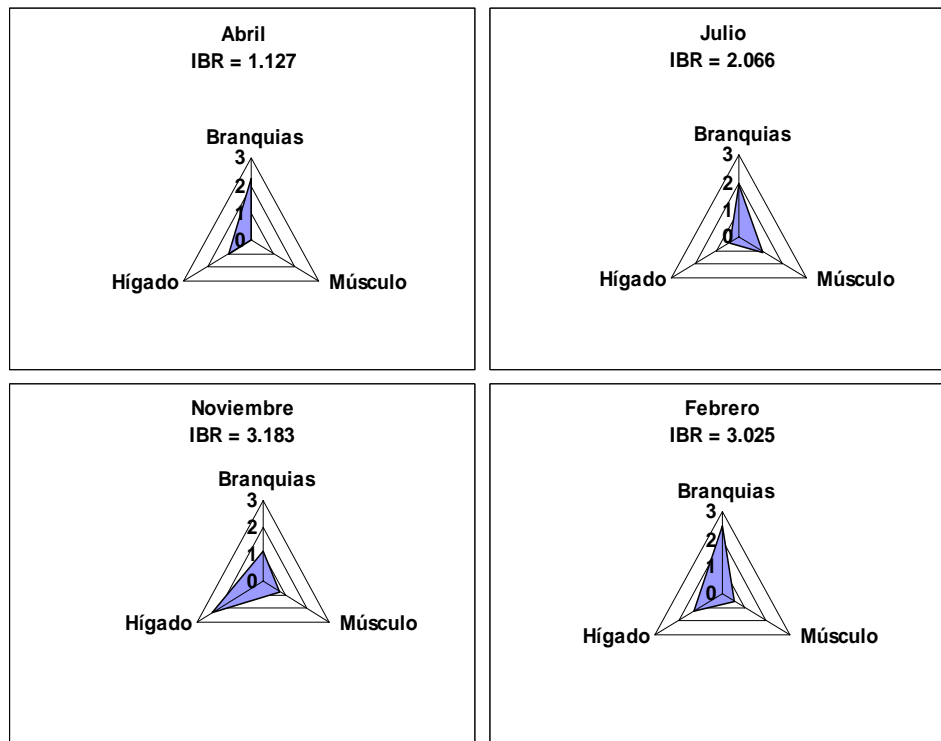


Fig. 10. Gráficas de estrella de la RIB-LPO para *F. polyommus*. Los vectores representan la LPO en los órganos estudiados.

## 7.5. Bioindicadores poblacionales

Se revisó un total de 1165 especímenes de *A. aeneus*. El intervalo de longitud patrón varió de 27.58 a 94.26 mm (Tabla XI). Se encontró que la máxima longitud se registró en PU para todos los meses, con excepción de febrero en donde la longitud máxima se observó en SS; SAR presentó siempre las tallas más pequeñas. Además, se detectó una reducción en las tallas hacia noviembre pero éstas se incrementaron en febrero. El K se mantiene más o menos estable durante todo el año, mientras que el IGS mostró variaciones a lo largo del año, se observó su pico máximo en el mes de julio para todas las estaciones y sus valores más bajos en noviembre y febrero, incrementándose hacia abril (Fig. 11). El IHS presentó poca variación a lo largo del año, con sus valores máximos en noviembre, pero se pudo observar una relación

inversa de este con el IGS aunque no con el K a lo largo del año (Tabla X), que fue posible notar de manera mas clara en noviembre, cuando se observaron los IGS más bajos se encontró también el IHS más alto.

Tabla IX. Bioindicadores poblacionales. Se muestran los valores promedio del IGS, IHS y K.

		LP.	IGS	HIS	K
<i>A. aeneus</i>	ABRIL				
	SJC	51.78	0.35276	1.57827	2.156
	SS	76.16	0.53719	1.49148	2.268
	SAR	52.24	0.9127	1.4366	2.332
	PU	94.26	2.57051	1.21793	2.594
	JULIO				
	SJC	78.91	1.64751	2.16056	2.0445
	SS	68.29	1.11606	1.35	2.1352
	SAR	54.67	3.0494	2.57617	2.3487
	PU	90.86	5.14498	0.84176	2.5979
	NOVIEMBRE				
	SJC	35.27	0.10557	2.7318	2.3438
	SS	--	--	--	--
	SAR	51	0.10437	3.41043	2.3216
	PU	56.58	0.07598	3.15992	2.3934
	FEBRERO				
SJC	43.23	0.08669	1.67026	1.0353	
SS	69.78	0.20236	1.28806	2.1949	
SAR	54.16	0.20297	1.94349	2.1144	
PU	57.15	0.18721	1.47933	2.2838	
<i>F. polyommus</i>	<b>ABRIL</b>	73.39	0.19889	3.48598	2.613
	<b>JULIO</b>	73.39	1.16131	3.28617	3.2504
	<b>NOVIEMBRE</b>	75.74	0.171604	1.84361	3.6880
	<b>FEBRERO</b>	71.35	1.28488	1.65528	3.8189

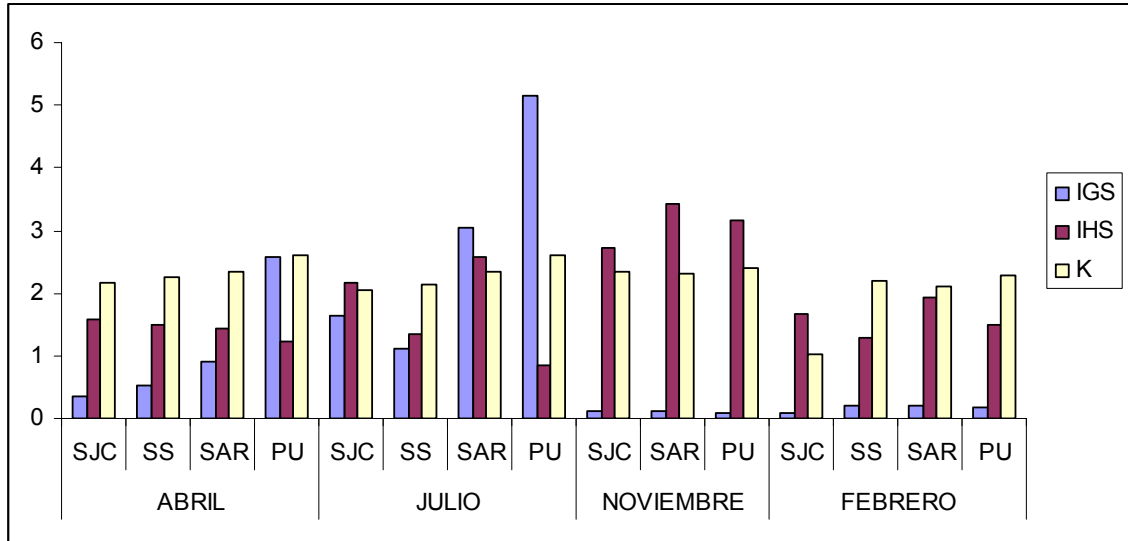


Fig. 11. Índice Gonadosomático (IGS), Índice Hepatosomático (IHS) y Factor de Condición (K) para *A. aeneus*.

Tabla X. Correlación entre el IGS, IHS y el K de *A. aeneus*.

	GSI	HSI	K
GSI	1.000	-0.411	0.404
HSI	-0.411	1.000	0.030
K	0.404	0.030	1.000

De *F. polyommus* se revisó un total de 320 especímenes, cuyo intervalo de longitud máxima varió muy poco, de 71.35 a 75.34 mm, observándose las mayores tallas en noviembre y las mínimas en febrero. Del IGS, IHS y K se encontró un patrón similar al obtenido por *A. aeneus*, en donde el K se mantiene durante todo el año. El IGS mostró una tendencia al aumento hacia febrero y lo contrario ocurrió con el K (Fig. 112). Además, se determinó que existe correlación negativa entre el IHS y el IGS y positiva entre el IGS y el K, pero ambas mostraron no ser significativas, mientras que entre el IHS y el K, se observó una correlación significativa negativa (Tabla XI).

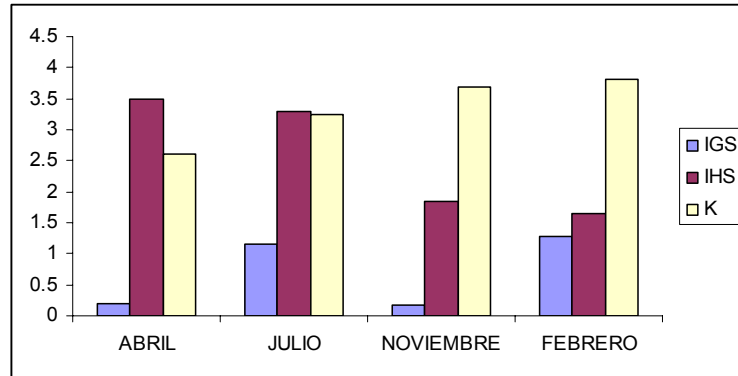


Fig. 12. Índice Gonadosomático (IGS), Índice Hepatosomático (IHS) y Factor de Condición (K) para *F. polyommus*.

Tabla XI. Correlación entre el IGS, IHS y el K de *F. polyommus*. En negritas se muestran los valores significativos con  $p < 0.05$ .

	IGS	IHS	K
IGS	1.000	-0.533	0.519
IHS	-0.533	1.000	<b>-0.991</b>
K	0.519	<b>-0.991</b>	1.000

## 7.6. Análisis de los parámetros de calidad del agua.

El diagrama muestra los dos primeros componentes que aportan con el 68% de la varianza explicada (Fig. 13). Se observó que los sitios de estudio se ordenan en un gradiente altitudinal en el primer componente y estacional en el segundo componente. La parte alta y media del río, es decir las estaciones SJC, SS, SAR y PU constituyen la zona dulceacuícola (con los valores mas bajos de conductividad y salinidad), se caracterizaron por tener concentraciones mayores de materia orgánica (N y ortofosfatos) y mayor pH, mientras que la parte baja, PC, se caracterizó por tener pH más básico y una mayor dureza, salinidad y conductividad.

Es importante mencionar que durante noviembre se observaron lluvias muy intensas en la zona que generaron una creciente en el curso del río, lo que provocó un abatimiento muy importante en la salinidad (Fig. 14) y de manera muy conspicua en PC, ya que en ese mes alcanzó valores de salinidad menores a 0.5 UPS, por lo que el pez dulceacuícola *A. aeneus* llegó a encontrarse hasta esa zona.

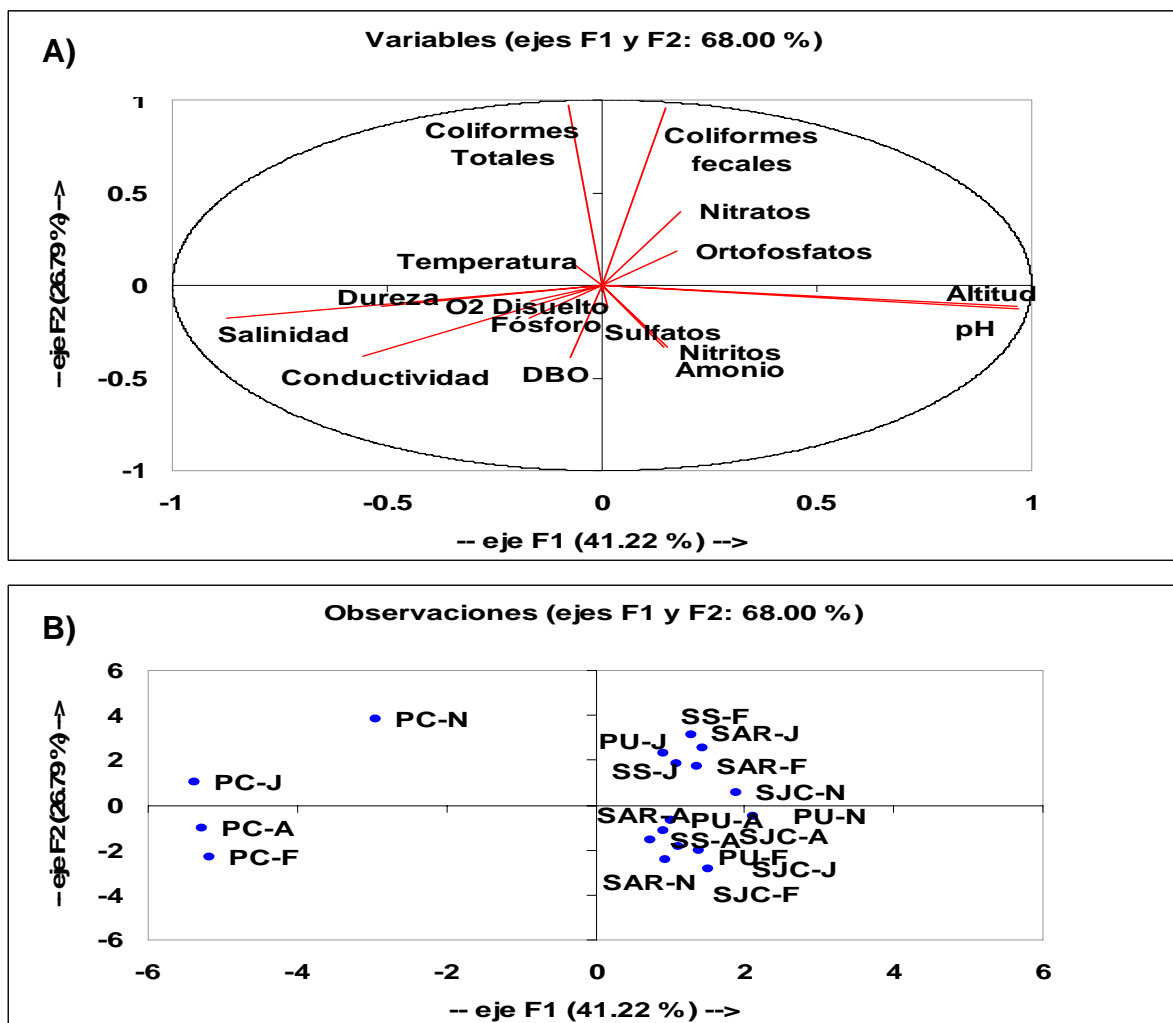


Fig. 13. Diagrama de ordenación de los sitios de estudio en el río Champuton con base a los parámetros de calidad de agua. A) Vectores de los factores ambientales. B) Sitios y meses de estudio. SJC= San Juan Carpizo; SS= Santa Sara; SAR= San Antonio del Río; PU= Puente Ulumal; PC= Puente Champutón. A= abril; J= julio; N= noviembre; F= febrero

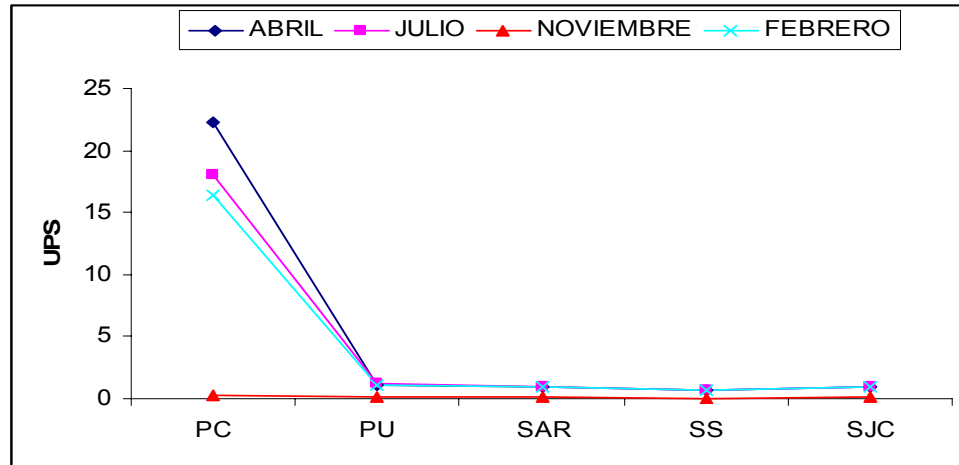


Fig. 14. Salinidad de los diferentes sitios de estudio.

### 7.7. Relación del nivel de LPO con los parámetros de calidad del agua.

El diagrama del ACP que relaciona el nivel de LPO con los parámetros de calidad del agua incluye el 70% de la varianza explicada (Fig. 15). Se pudo observar que la LPO en hígado y branquias está relacionado con altas concentraciones de materia orgánica (coliformes totales y fecales), de sulfatos y nutrientes (nitratos y ortofosfatos), parámetros que caracterizan a zonas en proceso de eutrofización, principalmente para el mes de julio en todos los sitios con excepción de SJC. La LPO en músculo está asociada a una mayor  $DBO_5$ , amonio, nitritos y fósforo total en todos los sitios durante el mes de abril primordialmente. Durante el mes de noviembre todos los sitios presentaron condiciones similares siendo caracterizados por los valores más altos de conductividad, pH y oxígeno disuelto, pero no hubo ninguna relación con la LPO en ningún órgano.

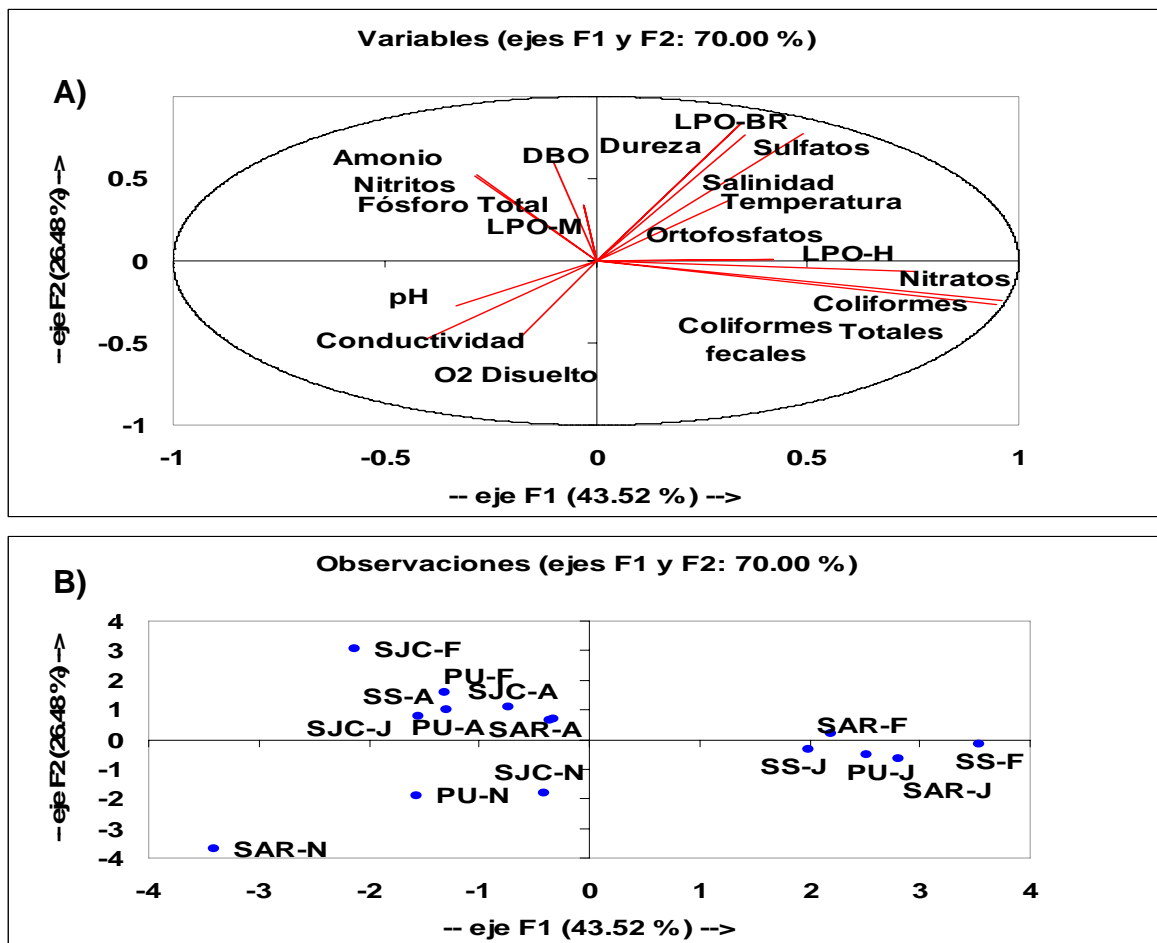


Fig. 15. Diagrama de ordenación de los sitios de estudio con base en el nivel de LPO de *A. aeneus* y los parámetros de calidad del agua. A) Vectores del nivel de LPO y parámetros de calidad del agua. B) Sitios y meses de estudio.

De *F. polyommus*, se generó un diagrama que explica el 90.61% de la varianza explicada en su dos primeros componentes. Se observó que los niveles de LPO fueron más altos en el mes de noviembre, principalmente en hígado y branquias; esto coincide con las concentraciones más altas de amonio, nitritos, coliformes totales y fecales y además con el momento en el que se registró la mas baja salinidad por efecto de una creciente del río. Para el resto de los meses de estudio, no se encontró una relación directa con el nivel de LPO en

ningún órgano y prevalecieron mejores condiciones de calidad del agua ya que se observaron concentraciones bajas de nutrientes, nitratos, sulfatos, además de alta salinidad (Fig. 16).

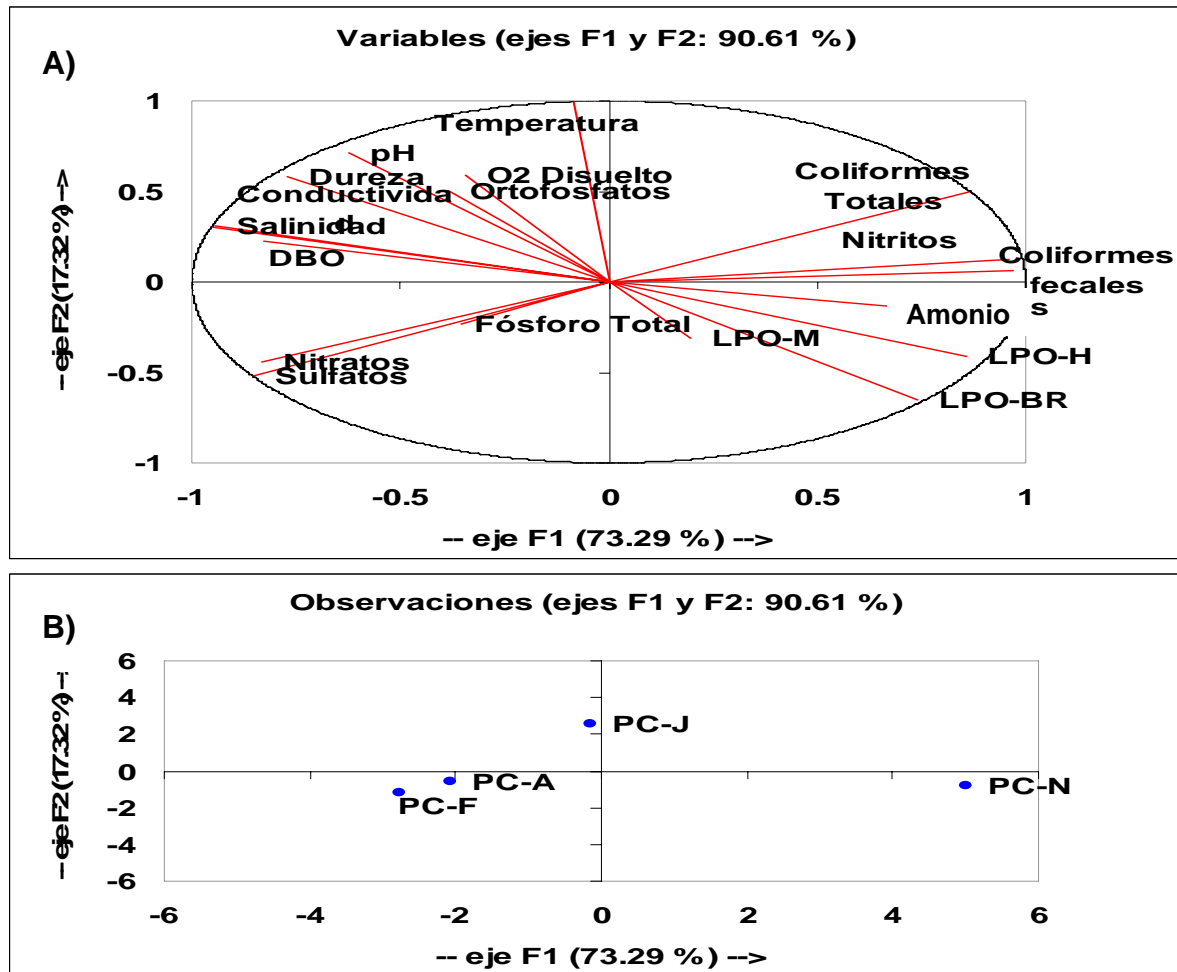


Fig. 16. Diagrama de ordenación de los sitios de estudio con base en el nivel de LPO de *F. polyommus* y los parámetros de calidad del agua. A) Vectores del nivel de LPO y parámetros de calidad el agua. B) Sitios y meses de estudio.

### 7.8. Relación de la LPO y abundancia de parásitos.

El ACP que incluye la LPO y abundancia de parásitos de *A. aeneus* y los sitios de estudio mostró un diagrama en el que los dos primeros componentes contribuyen al 89.90 % de la varianza explicada (Fig. 17). De manera general, se observó una relación estrecha entre el



nivel de LPO en branquias y músculo y la abundancia de *C. complanatum* en *A. aeneus*, mientras que la LPO en hígado se relaciona con la presencia de *Polymorphus* y en menor grado con *Spyroxis* sp. lo que podría estar sugiriendo que el estrés oxidativo al que se ve sometido el pez pudiera promover la infección por estos helmintos, o bien que los helmintos pudieran estar generando estrés al pez. A pesar de que *U. ambloplitis* y *Contracaecum* sp. fueron helmintos que se encontraron de manera abundante mostraron ser los menos relacionados con el nivel de LPO en cualquier órgano.

Con relación a los sitios por temporada, se encontró que el mes de noviembre se caracterizó por los altos niveles de LPO en hígado en todos los sitios, con excepción de SJC donde no se registraron helmintos, mientras que en SAR se registró a *Polymorphus* sp., sin embargo, ambos sitios se relacionan con la LPO en hígado, esto sugiere que, no solo la abundancia del helminto pudiera estar contribuyendo a un alto nivel de LPO, sino también las condiciones ambientales adversas que se observaron durante este mes. El mes de julio parece tener relación con la LPO en branquias y músculo, principalmente en SS, que fue el sitio en donde se encontró la abundancia más alta de *C. complanatum*. En el caso de SJC, SAR y PU se observaron relaciones menos directas con la LPO a estos órganos, dado que en estos sitios se observaron prevalencias menores de *C. complanatum*. Abril y febrero fueron los menos relacionados con la LPO en general en todos los sitios, siendo en estos meses en donde se registraron únicamente *Contracaecum* sp. y *Spiroxys* sp. lo que indica que estos helmintos pudieran no estar generando ningún tipo de estrés oxidativo al pez.

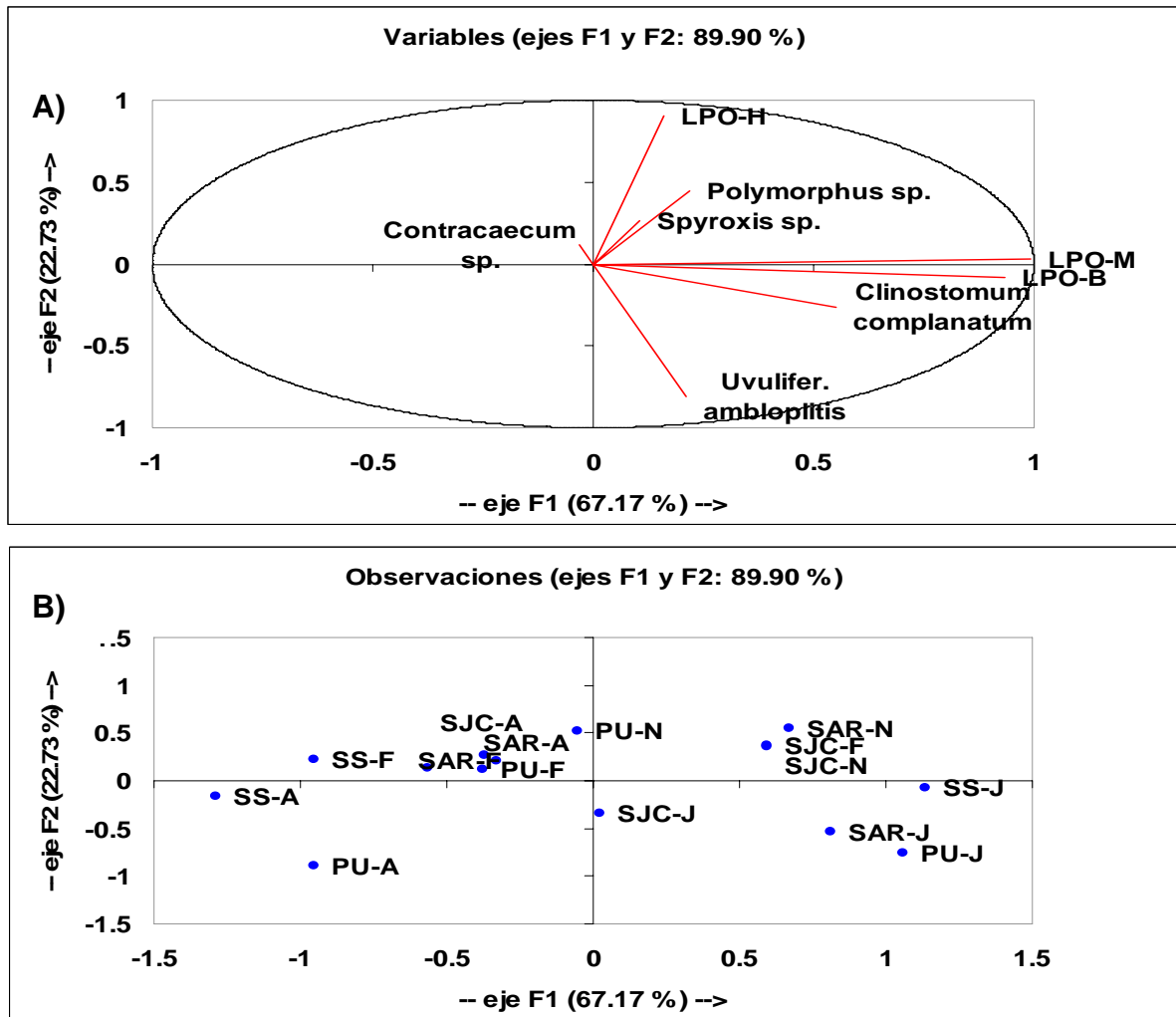


Fig. 17. Diagrama de ordenación de los sitios de estudio con base en el nivel de LPO y los helmintos de *A. aeneus*. A) Vectores del nivel de LPO y abundancia de helmintos. B) Sitios y meses de estudio.

Para *F. polyommus* se obtuvo un diagrama en donde los primeros dos componentes constituyen el 92.24 % de la varianza explicada (Fig. 18). *Floridichthys polyommus*, presenta niveles de LPO en músculo muy relacionados con la presencia de *Contraecaecum* sp., así como de *Pseudoterranova* sp. y *G. caribaensis*, en el mes de abril, mientras que la LPO en branquias e hígado se relaciona con *Polymorphus* sp. lo que también sugiere que el estrés oxidativo pudiera estar favoreciendo la parasitosis en el pez durante noviembre. Lo contrario sucede con

*Soutwellina* sp., el cual no tiene ninguna relación con el nivel de LPO en ninguno de los órganos estudiados, con lo que podríamos pensar que este helminto pudiera estar parasitando a *F. polyommus* independientemente del estrés oxidativo al que se vea sometido.

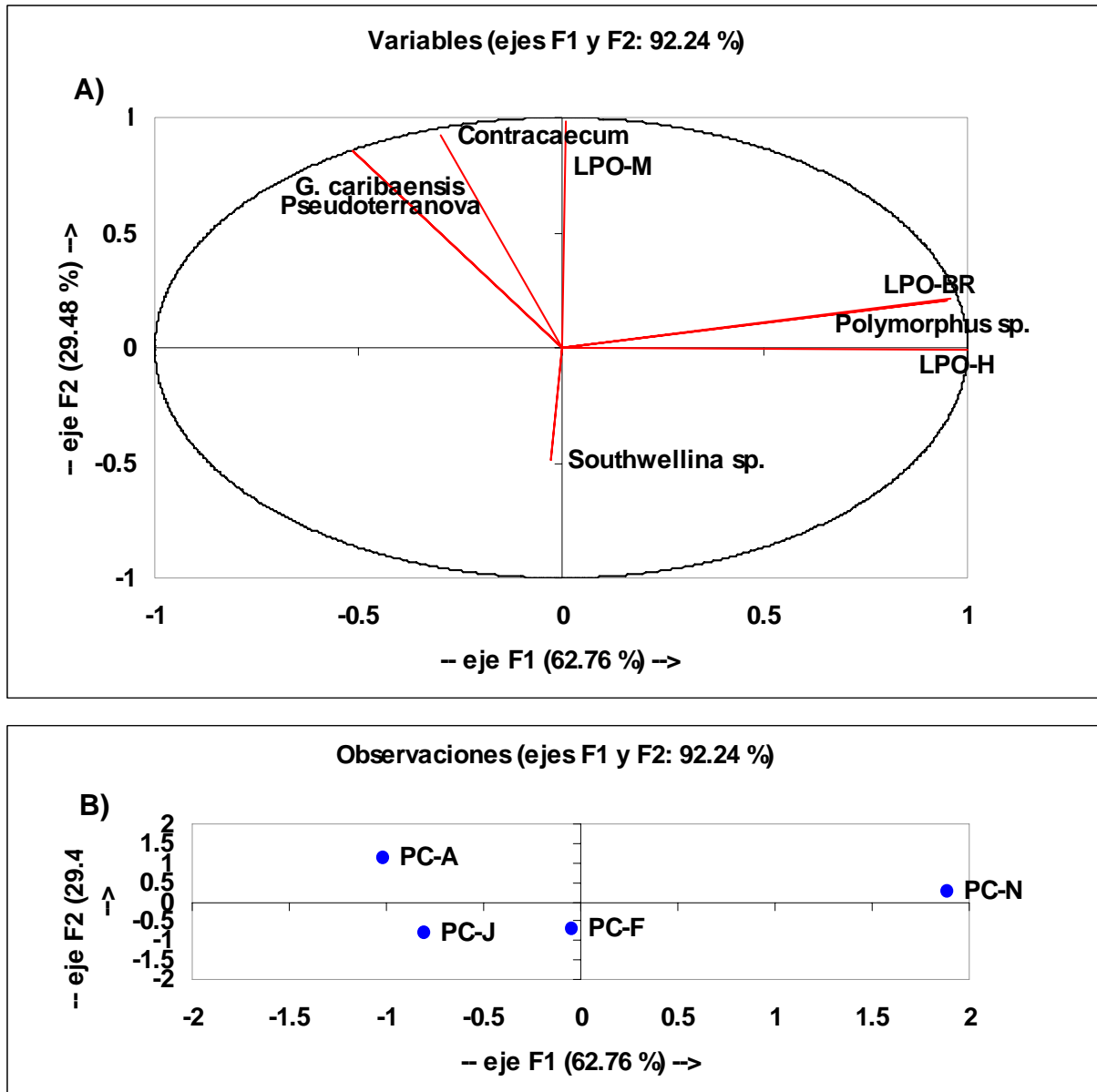


Fig. 18. Diagrama de ordenación de los sitios de estudio con base en el nivel de LPO y los helmintos de *F. polyommus*. A) Vectores del nivel de LPO y abundancia de helmintos. B) Sitios y meses de estudio.

### **7.9. Relación de parámetros de calidad del agua y abundancia de parásitos.**

Por otro lado, existen ciertos parámetros de calidad del agua que pudieran estar promoviendo el establecimiento de los helmintos en los peces (Fig. 19). El ACP obtenido muestra el 86.05 % de la varianza explicada. En el caso de *A. aeneus*, es evidente que *U. ambloplitis* y *C. complanatum* muestran cierta afinidad a sitios con un mayor contenido de materia orgánica y nutrientes, lo que coincide con lo observado por sitio y por temporada, ya que PU se caracterizó por ser un sitio en donde se ubican granjas acuícolas, lo que confiere una zona rica en alimento para los peces y que pudiera estar generando las condiciones adecuadas para el establecimiento de estos helmintos; sin embargo, la actividad acuícola de PU en noviembre cesó a causa de las crecientes, iniciándose nuevamente en febrero, por lo que en estos meses el sitio cambio sus condiciones de CA. *Polymorphus* sp. y *Spiroxys* sp. se asocian a zonas con pH más básico y con mayor conductividad y oxígeno disuelto, así como altas concentraciones de amonio y nitritos, condiciones que prevalecen en SJC, SAR durante todas las temporadas y que podrían de alguna manera hacer susceptibles a los peces a la invasión de estos helmintos. En el caso de *Contracaecum* sp. parece no tener una asociación clara con algún parámetro de calidad de agua en particular, aunque prefiere zonas con mayor dureza y nitratos, propias de SS, sitio en el cual se registró este helminto con más frecuencia y con las prevalencias más altas. Es decir, las combinaciones de ciertos factores de calidad de agua pudieran generar condiciones favorables para el establecimiento de helmintos particulares.

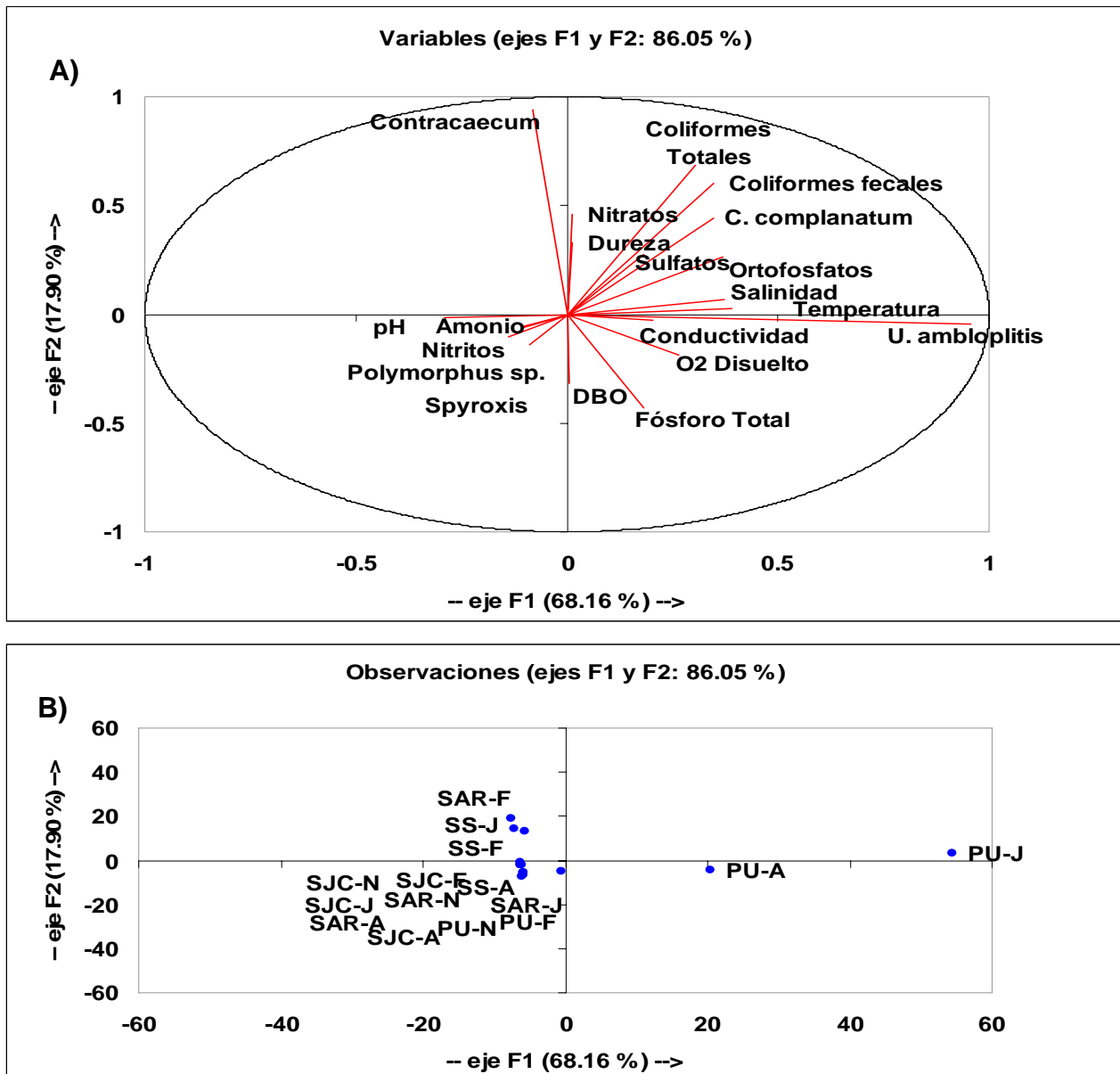


Fig. 19. Diagrama de ordenación de los sitios de estudio con base en parámetros de CA y los helmintos de *A. aeneus*. A) Vectores de parámetros de CA y abundancia de helmintos. B) Sitios y meses de estudio.

Así mismo, los helmintos *F. polyommus* parecen mostrar relación con algunos parámetros de CA (97.82 % de la varianza explicada) (Fig. 20). *Polymorphus sp.* mostró tener relación estrecha con las coliformes fecales y totales, nitritos y nitratos; estas condiciones particulares para el mes de noviembre, favorecen probablemente la colonización de este helminto ya que fue el único mes en el que se registró. En el caso de *Southwellina sp.*, que se registró

únicamente durante febrero, se asoció a pH altos, mayor dureza, ortofosfatos y altas concentraciones de oxígeno disuelto; estas condiciones pudieran ser favorables para *F. polyommus* ya que también caracterizaron al mes de julio en donde no se registró ningún parásito. *Contracaecum* sp., *Pseudoterranova* sp. y *G. caribaensis* se asociaron a concentraciones altas de fósforo total y una mayor DBO<sub>5</sub>; estas condiciones, propias de abril, a diferencia de las observadas en julio y febrero, pudieran estar resultando adversas para el pez, ya que fue en este mes en donde se registró la mayor diversidad, abundancia y prevalencia de helmintos.

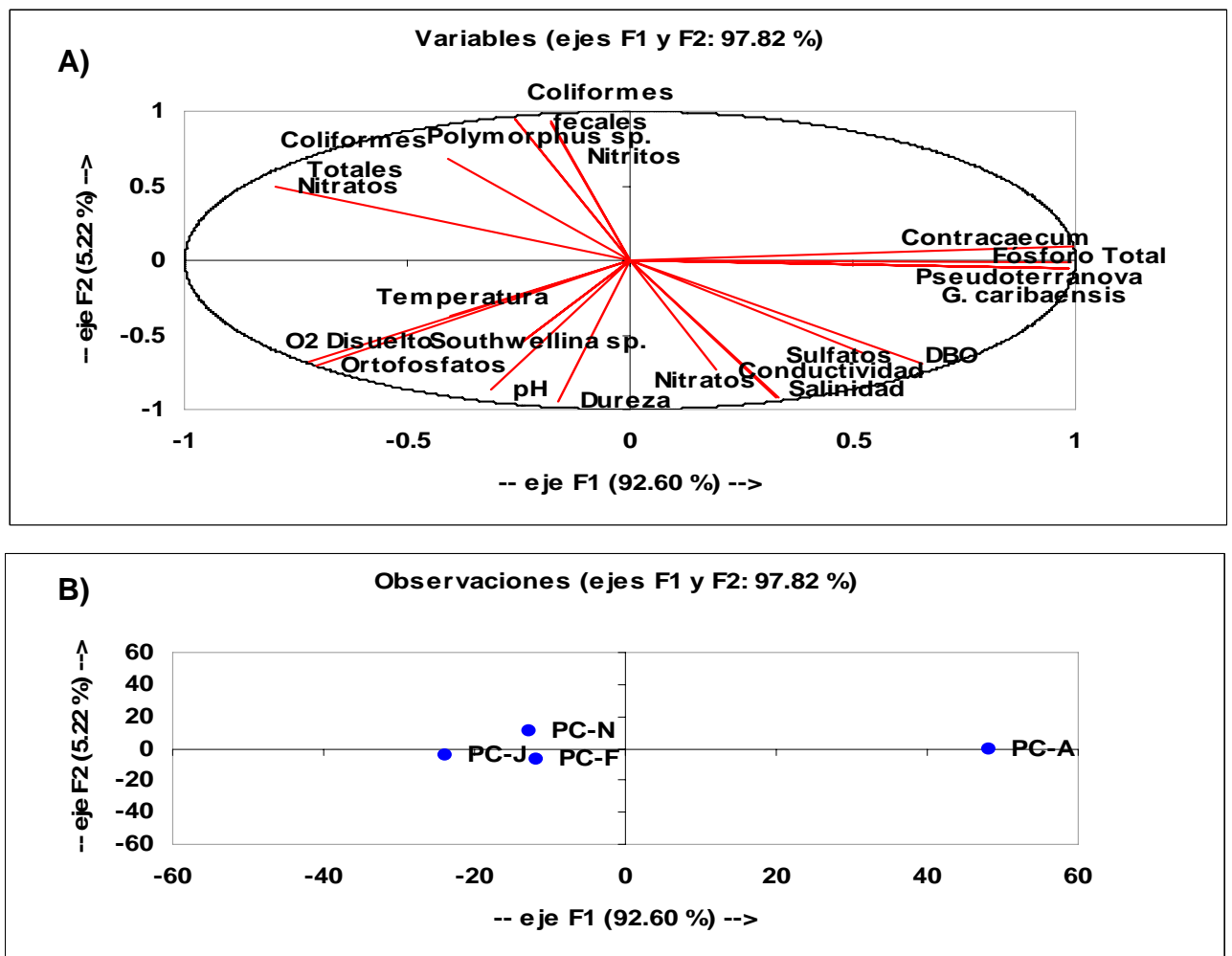


Fig. 20. Diagrama de ordenación de los sitios de estudio con base en parámetros de CA y los helmintos de *F. polyommus*. A) Vectores de parámetros de CA y abundancia de helmintos. B) Sitios y meses de estudio.

### 7.10. Relación de bioindicadores poblacionales y abundancia de parásitos.

Con respecto a los bioindicadores poblacionales y la abundancia de parásitos el ACP generó un diagrama cuyos dos primeros componentes explican el 83.58 % de la varianza explicada y que corrobora que las poblaciones de peces de *A. aeneus* se ven afectados por la presencia de ciertos helmintos, principalmente los nemátodos. Se puede observar que el K y el IGS, en PU durante abril y julio y en SAR en julio, no sufren un efecto negativo por la presencia de *U. ambloplitis* y de *C. complanatum*; sin embargo, SAR si se ve afectado en otros meses, al igual que SS y SJC, que coinciden con la presencia de otros helmintos, principalmente de los nemátodos *Contracaecum* sp. y *Spiroxys* sp. que están asociados a los K más bajos, por lo que se puede decir que afectan la salud de *A. aeneus*. El IHS mayor se encuentra relacionado estrechamente a la presencia de *Polymorphus* sp. durante el mes de noviembre, lo que indica que la presencia de este helminto no afecta la salud del pez (Fig. 21).

A diferencia de *A. aeneus*, para *F. polyommus*, el K parece relacionarse más con el IHS que con el IGS. En este caso, parece ser que la abundancia de *Sothwellina* sp. no está afectando de manera importante la salud de los peces, ya que está asociada a los mayores IGS; además, *Contracaecums* sp., *Pseudoterranova* sp. y *G. caribaensis* parecen tampoco alterar la condición fisiológica de los peces ya que están asociados a los mayores IHS. *Polymorphus* sp. parece ser el único helminto que compromete la condición de los peces ya que se relaciona de manera negativa con el K (Fig. 22).

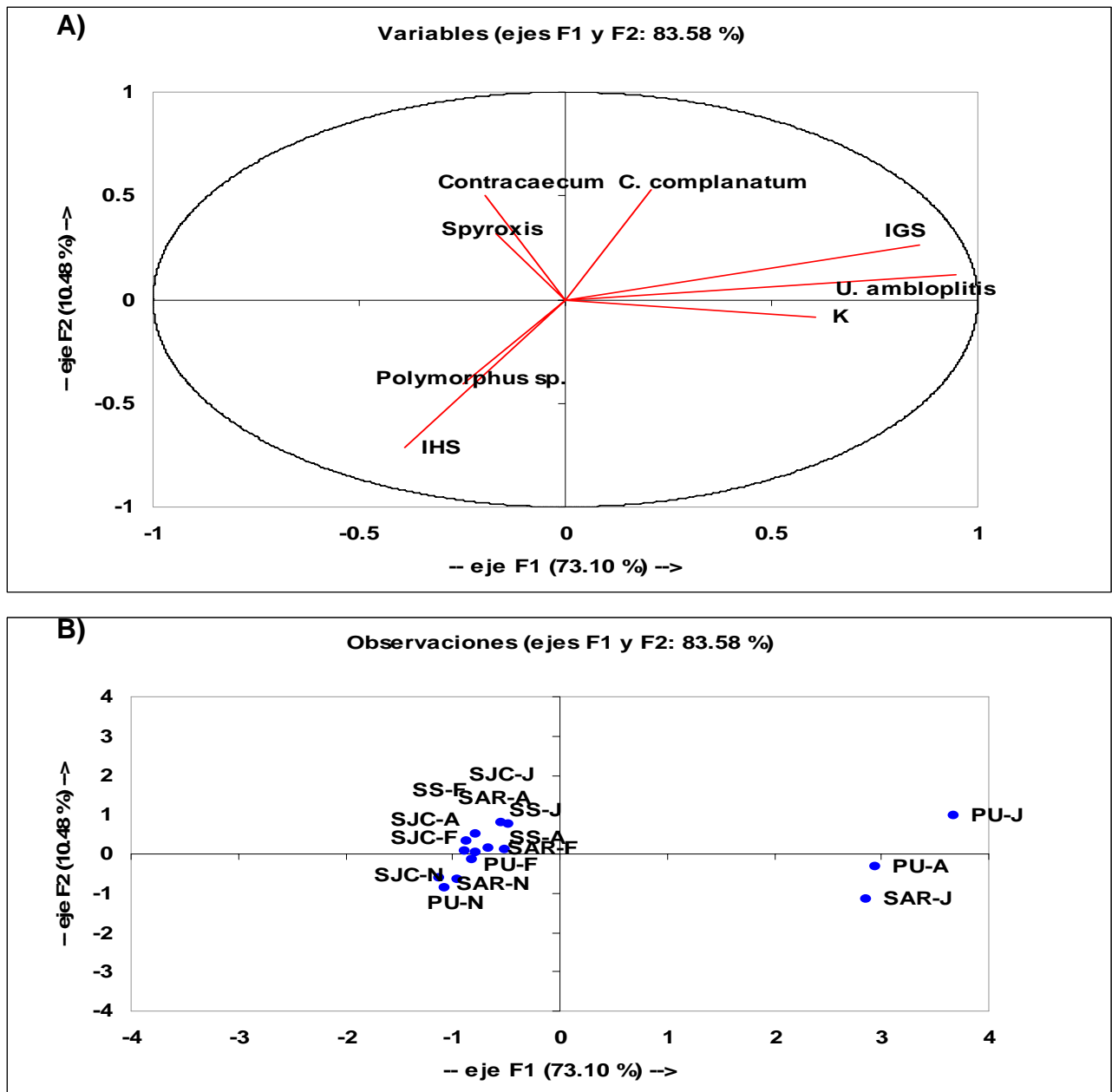


Fig. 21. Diagrama de ordenación de los sitios de estudio con base en bioindicadores poblacionales y los helmintos de *A. aeneus*. A) Vectores de bioindicadores poblacionales y abundancia de helmintos. B) Sitios y meses de estudio.



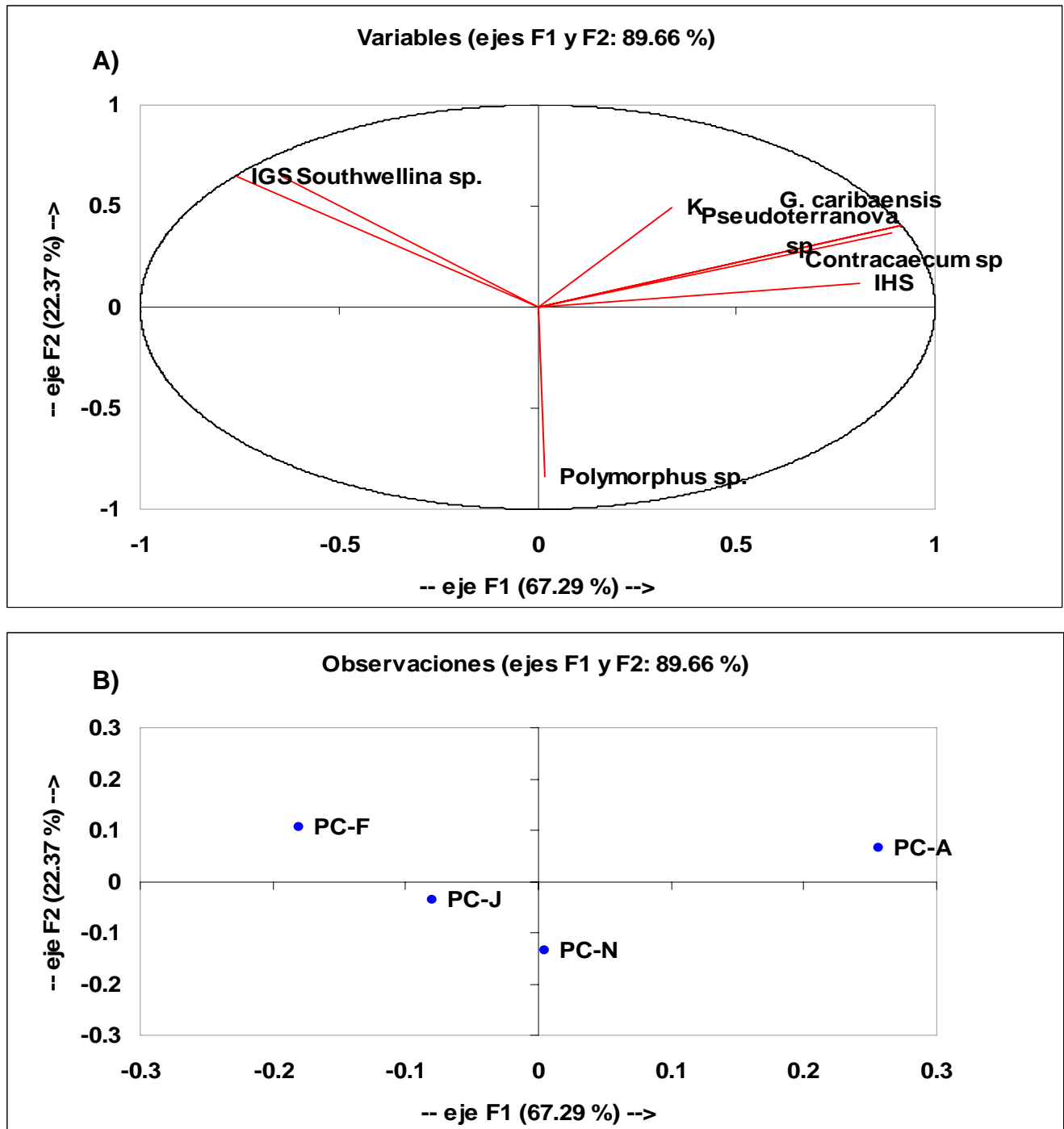


Fig. 22. Diagrama de ordenación de los sitios de estudio con base en bioindicadores poblacionales y los helmintos de *F. polymmus*. A) Vectores de bioindicadores poblacionales y abundancia de helmintos. B) Sitios y meses de estudio.

## VIII. DISCUSIÓN

### 8.1. Parámetros de Calidad del agua.

Los parámetros de calidad de agua observados respaldan la existencia de disturbios ambientales diferentes a lo largo del curso del río. Los sitios ubicados en la parte alta del río, SJC y SS, que se caracterizaron por presentar poca actividad agrícola y asentamientos humanos muy pequeños, además de ser usados como zonas de cría y abrevadero de ganado, presentaron concentraciones altas de compuestos nitrogenados, principalmente nitratos; esto podría deberse a la descomposición natural, por microorganismos, de compuestos nitrogenados en las excretas de los animales y desechos humanos que no tienen ningún control en la zona. Algo importante en la parte alta del río fue una menor cantidad de materia orgánica, lo que puede explicarse por el continuo proceso de mineralización de ésta, lo que indica que, es una zona poco contaminada.

La parte media del río, en donde se ubican SAR y PU, mostró ser una zona rica en nutrientes (ortofosfatos); esto podría relacionarse a la presencia de asentamientos humanos mayores a los observados en la parte alta, que contribuyen con cantidades mayores de materia orgánica, además de que SAR funciona como balneario turístico, por lo que se pudo observar con frecuencia basura en esta zona. El caso de PU es diferente, ya que en esta zona, las altas concentraciones de materia orgánica y nutrientes podrían estar más asociadas a la intensa actividad acuícola (cultivos de tilapia en jaulas flotantes), lo que explica el enriquecimiento de nutrientes en la zona. Ambas zonas se encuentran, por lo tanto, en proceso de eutrofización.

La zona estuarina del río, en donde se ubica PC, presenta un asentamiento humano de tamaño importante además de un ingenio azucarero, por lo que presenta además de una mayor concentración de materia orgánica, altos valores de coliformes fecales y totales. Es decir, hay un incremento en el disturbio ambiental a medida que nos acercamos a la zona estuarina del río. Sin embargo, con base a los parámetros de calidad de agua y a pesar de las actividades que se llevan a cabo a lo largo del río, se puede decir que es un río poco impactado; de acuerdo con los niveles de nitrógeno que señalan Camargo y Alonso (2006), se puede considerar que el río está en condiciones de baja afectación.

## **8.2. Inventario helmintológico**

Se ha registrado un total de 25 helmintos parásitos de *Astyanax aeneus* y tres de *F. polyommus* para México (Salgado-Maldonado, 2006; Vidal-Martínez *et al.*, 2002), principalmente en la porción sureste del país; sin embargo, el presente estudio representa el primer análisis helmintológico de estos peces en el Río Champotón.

Tres helmintos de *A. aeneus* encontrados en este trabajo coinciden con los registrados por Salgado-Maldonado *et al.* (2004), quienes encontraron a *Spiroxys* sp. como parásito de este pez en el río Ayuquila, México; además, Salgado-Maldonado *et al.* (2005) registraron a *Uvulifer ambloplitis* y a *Contracaecum* sp. en *A. aeneus* en la cuenca del río Papaloapan. Aunque no se encontraron registros de *Clinostomum complanatum* y *Polymorphus* sp. en *A. aeneus* existen registros de estos helmintos para algunas especies de ciclidos en el río Champotón, Campeche (Vidal-Martínez *et al.* 2002). Con relación a *Floridichthys polyommus*, existen muy pocos registros; para México los únicos estudios helmintológicos que incluyen a

este pez registran la presencia de las metacercarias *Ascocotyle (Phagicola) diminuta*, *Phocitremonides ovale* y al metacestodo *Cyclastera capito* de la Laguna Chelem, Yucatán (Scholz, 1997; Scholz *et al.*, 2001; Scholz y Salgado-Mandonado, 2001), lo que no coincide con los registrados en este trabajo, por lo que constituyen nuevos registros tanto de la presencia en un nuevo hospedero como de su distribución geográfica.

No existían registros previos sobre especies compartidas entre *A. aeneus* y *F. polyommus*, lo que difiere de lo encontrado en este trabajo, donde se observó que ambos peces hospedaron a *Contracaecum* sp. y *Polymorphus* sp. *Contracaecum* sp. ha sido considerado como un nemátodo cosmopolita de peces por poseer adaptaciones que le permiten sobrevivir en una amplia gama de hospederos intermediarios antes de alcanzar a su hospedero definitivo, las aves (Anderson, 1992); mientras que *Polymorphus* sp., es un acantocéfalo generalista alogénico, es decir, madura en aves pero puede ser transportado por una amplia variedad de peces dulceacuícolas (hospederos paraténicos) (Tantaleán *et al.*, 2005).

Cabe señalar que los helmintos registrados en ambas especies de peces son alogénicas, es decir, completan sus ciclos de vida en hospederos terrestres (aves); no presentan especificidad hospedatoria y por el contrario han sido identificados en diversas familias de peces dulceacuícolas y poseen una amplia distribución geográfica (Tantaleán *et al.*, 2005; Vidal-Martínez *et al.*, 2002).

Todos los helmintos registrados en este trabajo se encontraron en estadio larvario y se observaron diferencias en su distribución tanto espacial como estacional. Los helmintos de *A.*

*aeneus* que mostraron la más amplia distribución espacial fueron *Contracaecum* sp. y *Spiroxys* sp., registrados en todos los sitios de estudio, mientras que *U. ambloplitis*, *Polymorphus* sp. y *C. complanatum* se distribuyeron en sitios específicos, en SAR y PU los dos primeros y el último en SS y PU. Así mismo, su distribución espacial varió, observándose como caso más conspicuo a *Polymorphus* sp., que se registró únicamente en noviembre, en ambas especies de peces. Estas diferencias pueden deberse a que, siendo especies alogénicas, necesitan de hospederos intermediarios, principalmente moluscos (caracoles), y hospederos definitivos (aves piscívoras) para completar su ciclo de vida (Olsen, 1986; Vidal-Martínez, 2002), lo cual nos indica que es probable que dichos hospederos no se distribuyan ni en todos los sitios ni durante todo el año, lo que impide que sus ciclos biológicos se completen de manera regular. Esto pudiera también estar relacionado a que, aunque según los parámetros de calidad del agua, el Río Champotón pudiera considerarse poco impactado, la presencia de cultivos de caña a partir de la parte media del río y de un ingenio azucarero en la boca de este, da indicios del uso de fertilizantes y plaguicidas en la zona, que pudieran estar menguando las poblaciones de invertebrados (Iannacone *et al.*, 2002) que sirven como primeros hospederos intermediarios a la mayoría de los helmintos.

Otro de los factores que podría estar determinando la transmisión y distribución de los helmintos es el patrón de precipitación pluvial que propicia cambios en la estructura de las poblaciones y comunidades de peces, así como de plantas e invertebrados. Durante el mes de noviembre se observó un incremento en la riqueza específica de peces en la parte estuarina y media del río Champotón, provocada por el ingreso de especies marinas a estas zonas (López-López *et al.*, 2008), por lo que hubo una interacción entre las especies propiamente dulceacuícolas con peces estuarinos y marinos. Esta interacción le permitió a *Polymorphus* sp.,

que se registró únicamente durante este mes, parasitar a *A. aeneus* y a *F. polyommus*, ya que es un acantocéfalo generalista alogénico, es decir, madura en aves marinas pero puede ser transportado por peces dulceacuícolas, aunque en su mayoría los peces a los que parasita son marinos (hospederos paraténicos) (Tantaleán *et al.*, 2005).

### **8.3. Caracterización de la infección.**

La fauna helmíntica de *A. aeneus* y *F. polyommus* del Río Champotón exhibe una baja riqueza de especies, prevalencia, abundancia e intensidad en comparación con lo registrado en otros ríos de México (Salgado-Maldonado *et al.* 2004; Salgado-Maldonado *et al.* 2005). Esto puede estar relacionado con el rol que juega el estrés ambiental en la aparición de determinadas patologías, entre las que se encuentra la incidencia y abundancia de los helmintos. A este respecto, Marcogliese y Cone (1997) mencionan que es un factor muy importante ya que puede aumentar la prevalencia de ciertos bioagresores. En tal sentido, Mancini *et al.* (2000) mencionan que en aquellos ambientes con deterioro ambiental aumenta el riesgo de parasitosis en animales silvestres. Silva *et al.* (2005), sugieren que las infecciones por endoparásitos disminuyen con la contaminación, mientras que las de ectoparásitos aumentan. Sin embargo, Olivero-Vervel *et al.* (2005), mencionan que la abundancia de nemátodos en peces que habitan en zonas contaminadas por drenaje doméstico y descargas industriales son mayores a las de peces que habitan en zonas menos impactadas. Cabe resaltar que el Río Champotón puede ser considerado un río que no presenta un deterioro ambiental muy marcado, en comparación con otros ríos como el Papaloapan, Ayuquila y la Laguna de Chelem, de los que se tienen registros de abundancia helmíntica mayores a los encontrados en este estudio. Además, nuestros resultados también respaldan el aumento tanto

de la abundancia como de la diversidad helmíntica conforme aumenta el disturbio ambiental, que en el caso del Río Champotón se presenta a medida que nos acercamos hacia la parte baja del río representada por SAR, PU y PC, sitios en donde se registro la mayor riqueza y abundancia de helmintos.

La diversidad helmíntica de ambas especies de peces de estudio coincide, en término de grupos taxonómicos, con el bien conocido patrón para las comunidades helmínticas de los peces de agua dulce de México, con los nemátodos y tremátodos como los grupos más abundantes y con los IVI's más altos y los céstodos como los menos abundantes (Salgado-Maldonado y Kennedy, 1997).

#### **8.4. Evaluación del estrés oxidativo.**

La peroxidación lipídica es uno de los biomarcadores mas utilizados para evaluar el estrés oxidativo y de acuerdo a Marcogliese *et al.* (2005), los peces de zonas contaminadas tienden a tener niveles más altos de peroxidación lipídica que los que habitan en zonas menos contaminadas, independientemente de la parasitosis que presenten. En este trabajo se encontraron niveles de LPO que varían mucho de acuerdo al sitio, órgano y temporada, pero fue el mes de julio cuando se presentó el máximo de la RIB-LPO para *A. aeneus* y en noviembre para *F. polyommus*, siendo las branquias las que siempre presentaron los valores de LPO más altos, esto debido a que es el primer órgano de contacto, por lo que se ven expuestas de manera directa a cualquier disturbio en el medio acuático; además, los tóxicos también pueden ingresar vía la ingesta de agua y alimento y ser digeridos, absorbidos y transportados por el sistema portal al hígado antes de ingresar al sistema circulatorio general,

por ello el músculo fue el órgano menos afectado (Peña *et al.*, 2001). Dado que el río no está altamente perturbado, el nivel de LPO encontrado fue menor en todos los órganos, en comparación con el nivel de LPO encontrado en peces de ríos mas contaminados (Marcogliese *et al.*, 2005; López-López *et al.*, 2006; Tejeda-Vera *et al.*, 2007). El valor de la RIB-LPO respalda lo anterior, ya que se queda muy por debajo de los valores registrados para otros cuerpos de agua (López-López *et al.*, 2006; Tejeda-Vera *et al.*, 2007), pero aumenta a medida que nos acercamos a la desembocadura del río, en el sitio PC, en donde se encontraron los valores máximos de la RIB-LPO (noviembre, RIB = 3.183); además, SS, que para fines del presente trabajo es considerado el sitio de referencia por ser un manantial, fue donde se registro la RIB mas baja (abril, RIB = 0.124)

### **8.5. Bioindicadores poblacionales**

En peces el costo de la reproducción puede ser considerable con una alternancia en el almacenamiento de energía. Esta alternancia de energía provoca que el pez muestre distintos modelos de almacenamiento y agotamiento de energía en relación a los ciclos reproductivos, por lo que muchos animales de ambientes templados y tropicales estacionalmente acumulan energía de reserva (Schultz y Conover, 1999).

Para expresar la dinámica en la utilización de la energía endógena de órganos tales como gónadas, hígado y la masa corporal, así como para evaluar el estado de salud de los peces (Thilakaratne *et al.*, 2007), se han generado índices morfológicos como el índice gonadosomático (IGS), el índice hepatosomático (IHS) y el factor de condición (K) (Collins y Anderson, 1995). La variación en el peso del hígado refleja procesos de almacenamiento y



transferencia de proteínas y lípidos asociados con el esfuerzo reproductivo (Santos *et al.*, 1996). En tanto, las variaciones del soma (K) serían un indicador de la energía almacenada como lípidos corporales y proteínas que pueden ser movilizadas para enfrentar los requerimientos en períodos sin alimentación. Ambos índices suelen asociarse en forma inversa al grado de madurez (IGS) (Maddock y Burton, 1999). Es así que la comparación del K y el IHS con el IGS permite estimar si hay una diferencia en el crecimiento somático sobre el crecimiento gonadal (Zimmerman, 1997) ya que existiría una correlación entre el periodo reproductivo y el estado nutricional (Santos *et al.*, 1996).

En el presente estudio, se observó para el caso de *A. aeneus*, el IGS presentó su pico máximo en el mes de Julio, lo que indica que es en este periodo en donde se presentó la mayor actividad reproductiva del pez. Además, existe un comportamiento inverso entre el IGS y el IHS, lo que refleja la alternancia o movimiento de energía para enfrentar el periodo reproductivo, por el aumento en la actividad hepática por efecto de la demanda de vitelo para los ovocitos en desarrollo (Barbieri *et al.*, 1996); sin embargo, el K se mantiene más o menos estable a lo largo del año y no presenta una relación inversa significativa con el IGS, lo que pone en evidencia que no existe un movimiento de energía somática hacia las gónadas, aun en el periodo de máxima reproducción. Estos resultados ponen de manifiesto que las demandas energéticas de *A. aeneus* para la reproducción son cubiertas solo con las reservas del hígado y no se afecta la condición (K) del pez, lo que no coincide con lo mencionado por Arias *et al.* (2006) y Abelha y Goulart (2008), quienes mencionan que tanto el IHS y el K para diferentes especies de *Astyanax* se abaten durante los periodos reproductivos. Cabe resaltar que en PU, el K es ligeramente mayor en todos los sitios, lo cual puede deberse al aporte de alimento adicional por la actividad acuícola que se desarrolla en el área. Así también es notorio que los peces de mayor talla y mayor IGS se presentan en PU, estos resultados sugieren la existencia

de un patrón migratorio de los reproductores hacia zonas del río en donde se presenten mejores condiciones que favorezca el éxito reproductivo y tal como lo menciona Jamett Mora *et al.* (1996), esta migración pudiera deberse a una competencia por el alimento y no a causas reproductivas, ya que este patrón se observa durante todo el año y no únicamente en el periodo de máxima reproducción. Es importante mencionar que los valores registrados tanto del IHS y del K en general indican un buen estado de salud de los individuos.

Para *F. polyommus* no se observó una etapa reproductiva muy clara, que bien pudiera ser resultado de migraciones locales de los peces en etapa reproductiva hacia zonas con mayor salinidad, principalmente durante los meses posteriores a las lluvias (Noviembre). El IHS presentó una relación inversa con el IGS, lo que indica que, al igual que en *A. aeneus* hay un movimiento de energía para enfrentar el periodo reproductivo, es decir una transferencia de la energía en el hígado a las gónadas; sin embargo, no existe ninguna relación entre el K y el IGS, lo que nos indica que existe un almacenamiento continuo de energía tanto en el soma como en las gónadas, a pesar del periodo reproductivo, lo que significa que no se requiere tomar reservas energéticas musculares para sostener el periodo reproductivo.

### **8.6. Relación del nivel de LPO con los parámetros de calidad del agua**

Los cambios en la calidad del agua de los ríos pueden reflejarse por un incremento en la carga de nutrientes y de materia orgánica, que bien pueden deberse a descargas de drenajes o por el efecto de actividades como la agricultura (Wynes y Wissing, 1981). El Rio Champotón puede ser considerado un río con bajo estrés ambiental como lo reflejan los parámetro de calidad del agua evaluados; sin embargo, existen ciertos parámetros que mostraron estar

relacionados con la LPO en ciertos órganos. Como ya se señaló en párrafos anteriores, las branquias, por ser los órganos principales de contacto, y el hígado, por su participación en múltiples procesos metabólicos, suelen ser los más afectados por cualquier tipo de estrés ambiental y por lo tanto tienden a tener niveles mayores de LPO; esto corrobora lo observado en este trabajo, ya que, la LPO tanto en branquias como en hígado parece estar muy asociada a la materia orgánica y a altas concentraciones de ortofosfatos; mientras que la LPO en músculo, además de estar asociada a la mayor  $DBO_5$ , está asociada a las especies más dañinas del N, amonio y nitritos. Algo particular, fue que se observaron cambios estacionales con relación a la calidad del agua y el nivel de LPO, siendo el mes de julio, donde se encontró la mayor concentración de materia orgánica y la LPO en branquias e hígado y noviembre en donde hubo bajas concentraciones de materia orgánica y no se asoció a la LPO de ningún órgano. Esto puede estar relacionado con el periodo de lluvias, que inicia en junio y tiene su mayor efecto en noviembre (creciente a lo largo del curso del río); durante julio, con el inicio de las lluvias se incrementa la carga de materia orgánica en el río, pero durante noviembre, con las crecientes toda esta materia orgánica es arrastrada y por ello se observaron bajas concentraciones. En abril y febrero, la entrada de materia orgánica puede estar más asociada a las actividades humanas que se desarrollan en los sitios de estudio.

El nivel de LPO en todos los órganos estudiados de *F. polyommus*, al igual que en *A. aeneus*, está asociado a las mayores concentraciones de materia orgánica y además a las especies tóxicas del N, durante noviembre; esto pudiera estar relacionado a las crecientes durante este mes, que pudieron haber contribuido con el arrastre de materia orgánica a lo largo del río y su acumulación hacia la desembocadura. Además, la baja concentración de oxígeno disuelto durante este mes pudiera estar contribuyendo a una pobre nitrificación en la zona, por

lo que se genera un aumento en la concentración de amonio y nitritos como se observó en la Presa de la Vega por Favari-Perozzi *et al.* (2003). Además, el abatimiento en salinidad a condiciones prácticamente dulceacuícolas pudiera también generar un mayor estado de estrés osmótico para un pez que habita un ambiente salobre y que se manifiesta también en el estrés oxidativo (Waagbo *et al.*, 1993).

### **8.7. Relación de la LPO y abundancia de parásitos**

Marcogliese *et al.* (2005) encuentran que los peces infectados por parásitos tienden a tener niveles más altos de peroxidación lipídica que los no infectados en la misma zona. Además, Sures (2006), sugiere que los parásitos podrían influenciar el metabolismo de los contaminantes en hospederos infectados y que interactúan con los contaminantes en vías tanto sinérgicas como antagónicas induciendo reacciones fisiológicas en el hospedero y alterando los sistemas inmunes de los peces facilitando la infección por más parásitos. A su vez, la presencia de parásitos induce en los peces hospederos un mayor consumo de energía y de oxígeno (Lemly y Esch, 1984) lo que incrementa el metabolismo oxidativo (ERO's) y daño a nivel de membrana celular. Al elevarse o disminuir las concentraciones fisiológicas de las EROs pueden acarrear importantes alteraciones funcionales (Céspedes-Miranda *et al.*, 1996), comprometiendo la eficacia del sistema inmune aumentando la sensibilidad a organismos patógenos como los helmintos (Romano, 1999). Nuestros resultados apuntan a la existencia de una relación directa entre la abundancia de *Clinostomum complanatum* y *Polymorphus* sp. y la LPO hacia órganos específicos (branquias y músculo), con excepción de lo observado para *Uvulifer ambloplitis*, *Contraecum* sp y *Spiroxys* sp. que no se relacionaron con la LPO en ningún órgano, por lo que podríamos pensar que estos helmintos pudieran estar parasitando a

*A. aeneus* independientemente del estrés oxidativo al que se vean sometidos. Para *A. aeneus* los valores más altos de LPO se obtuvieron durante el mes de julio en todos los sitios que además coincide con la mayor riqueza y abundancia de helmintos, lo que puede promover también un mayor estrés global al pez como se observó con los valores de RIB-LPO.

Belló *et al.* (2000) encuentran que *Clinostomum detruncatum* tiene tendencia a parasitar la base de las aletas pectorales y caudal del pez de agua dulce *Rhamdia quelem* y que además dicho helminto induce la LPO en el músculo. Nuestros datos sugieren lo mismo, ya que se observó una correlación estrecha entre la abundancia de *C. complanatum* y la LPO en músculo de *Astyanax aeneus*; sin embargo, en el presente estudio se observó que este tremátodo tuvo afinidad a parasitar la base de los arcos branquiales, por lo cual se relacionó con la LPO en branquias. No existen registros acerca de LPO promovida en peces por la presencia de *Polymorphus* sp., por lo que nuestros datos son los primeros en mostrar la relación de este helmintos con el estatus oxidativo del hígado de *A. aeneus*. Para *F. polyommus*, no existe registros acerca de la relación entre el nivel de LPO y la abundancia de helmintos. Nuestros datos representan los primeros en evidenciar dichas relaciones. La LPO tanto en branquias como en hígado se relacionaron con la mayor abundancia de *Polymorphus* sp. durante noviembre que coincide con el valor más alto de la RIB-LPO.

### **8.8. Relación de parámetros de calidad del agua y abundancia de parásitos.**

Dado que muchos factores pueden alterar la calidad del agua, es poco probable que emerja una generalización acerca de la interacción entre calidad del agua y parasitismo (Mackenzie *et al.*, 1995; Lafferty, 1997). Sin embargo, una predicción obvia es que una baja

calidad del agua reduce las capacidades inmunológicas de los peces hospederos haciéndolos susceptibles a parásitos (McDowell *et al.*, 1999). La alteración en la calidad del agua por procesos de eutrofización, puede incrementar la tasa de parasitismo por el incremento en la productividad del sistema, aumentando a su vez la abundancia de hospederos intermediarios como los caracoles (Lafferty y Kuris, 1999). Por otro lado, los ciclos de vida de los helmintos incluyen huevos y estadios larvarios, por lo que una alteración en la calidad del agua puede resultar en un efecto negativo para los hospederos intermediarios, con lo que la abundancia de sus helmintos decrecería (Hogue y Swig, 2007), o bien, puede afectar directamente a los estadios de vida libre (Cross *et al.*, 2001). A pesar de que el Río Champotón no presenta un deterioro ambiental severo, si existen zonas en proceso de eutrofización, principalmente PU en julio y abril, que coincide con las mayores abundancias de *U. ambloplitis* y *C. complanatum*. Por un lado, nuestros datos respaldan la idea de que en zonas en proceso de eutrofización aumenta la tasa de parasitismo, en este caso reflejado en la alta abundancia de *U. ambloplitis* y *C. complanatum* en PU; sin embargo, en esta zona, la abundancia del resto de los helmintos disminuye y por lo tanto la diversidad observada es muy baja. Dado que el efecto que se produce entre los helmintos por las alteraciones ambientales es muy variable (Lafferty y Kuris, 1999), se podría pensar que los helmintos de *A. aeneus* reflejan ambas tendencias, es decir, mientras que *U. ambloplitis* y *C. complanatum* se ven favorecidos por la alteración en la calidad del agua (eutrofización), el resto de la comunidad helmíntica, se ve afectada y disminuye en abundancia. Con base a lo observado podemos sugerir a *U. ambloplitis* como un buen indicador de procesos de eutrofización.

Los helmintos de *F. polyommus* se comportan de una manera distinta, donde la alteración en la calidad del agua puede resultar en un efecto negativo, con lo que la abundancia de sus

helmintos decrece (Hogue y Swig, 2007). *Contracaecum* sp. que fué el helminto con mayor abundancia y el más importante en la comunidad por su IVI, no muestra ninguna relación con las coliformes tanto fecales como totales ni con altas concentraciones de nutrientes (eutrofización), mientras que *Polymorphus* sp. (Acantocéfalo) se asocia a estas condiciones y al igual que con *A. aeneus*, con las especies tóxicas del N, y se registró únicamente en noviembre, que es además el mes de menor salinidad debido a las crecientes y en el que se presentó la mayor RIB-LPO. Algunos estudios han encontrado que la abundancia de los acantocéfalos se reduce en zonas en proceso de eutrofización o contaminadas y Lafferty (1997) sugiere que pueden ser buenos indicadores de contaminación. Sin embargo, Thilakaratne *et al.* (2007) encontraron que la abundancia de los acantocéfalos no se ve alterada por la contaminación, lo que coincide con este trabajo, ya que tanto *Polymorphus* sp. como *Southwellina* sp. parecieron no verse afectados por el incremento en la carga de materia orgánica y por el contrario parecen verse favorecidos por estas condiciones.

Durante noviembre se registró un abatimiento importante de la salinidad en PC, lo que propició una situación de estrés osmótico e iónico en *F. polyommus* que es un pez que aunque habita en zonas someras de altas salinidades, tiene la capacidad de hacer frente a las fluctuaciones de salinidad (0-45 ups) (Castro-Aguirre *et al.*, 1999) gracias a la actividad de su sistema osmorregulador (órganos osmorreguladores, como las branquias, riñones y sistema digestivo; hormonas hipofisarias y extrahipofisarias; sin embargo, dichos procesos osmorreguladores requieren de una inversión de energía considerable por parte del pez, con lo que su crecimiento y respuesta inmune se ve disminuida (Karnaky, 1993) por lo que se podría suponer un aumento en la carga helmíntica de los peces bajo estas condiciones. Esto no coincide con lo observado, ya que durante este periodo de estrés osmótico *F. polyommus*

registró únicamente dos helmintos (*Contracaecum* sp. y *Polymorphus* sp.) con sus más bajos valores de prevalencia, abundancia e intensidad; por ello, es posible que el estrés osmótico no solo afecte al pez sino también a su comunidad helmíntica.

### **8.9. Relación de bioindicadores poblacionales y abundancia de parásitos.**

Los índices de condición general han sido usados para demostrar la existencia de estresores naturales y antropogénicos en los peces (Billiard y Khan, 2003) ya que pueden ser afectados tanto por la presencia de parásitos como por la contaminación; a pesar de ello, pocos trabajos han examinado el efecto de los parásitos en los índices del estado de salud de los peces (Bristol *et al.*, 1984; Buchmann, 1986; Billiard y Khan, 2003; Thilakaratne *et al.*, 2007). Estudios previos demuestran una relación negativa entre la presencia de acantocéfalos en peces con su K (Bristol *et al.*, 1984; Billiard y Khan, 2003; Thilakaratne *et al.*, 2007) y su IHS (Buchmann, 1986) debido a que estos parásitos absorben nutrientes del contenido intestinal de su hospedero y por lo tanto compiten por nutrientes con el pez. Además de que su proboscis armada con ganchos puede causar patología intestinal. Esto coincide parcialmente con lo observado en el presente estudio, ya que en el caso de *A. aeneus*, se registró a *Polymorphus* sp. únicamente en noviembre, además de que fue el único acantocéfalo registrado en el pez, lo cual coincide con factores de condición bajos en los peces pero con los IHS mas altos. Aunado a esto *Contracaecum* sp. y *Spiroxys* sp., también mostraron estar afectando de manera importante a *A. aeneus* ya que se relacionan negativamente con el K y el IGS. Sin embargo, aunque se tienen elementos para sugerir que *Polymorphus* sp., *Contracaecum* sp. y *Spiroxys* sp. se relacionan de manera antagónica con *A. aeneus*, dicha relación negativa no se da por la competencia con el pez por el alimento, puesto que únicamente se registraron formas larvarias,



sino mas bien por los procesos inflamatorios, lesiones (perforaciones) , atrofia, compresión de las células epiteliales de la mucosa del intestino y a infecciones secundarias bacterianas; todas estas alteraciones en los tejidos del hospedero son capaces de provocar una disminución en la absorción de proteínas, grasas y carbohidratos ocasionando una disminución en peso y talla del hospedero (Vázquez-Nuñez *et al.*, 2004).

*Floridichthys polyommus*, se apega mas a lo mencionado en la literatura, ya que los acantocéfalos registrados en este pez, *Polymorphus* sp. y *Southwellina* sp. durante noviembre y febrero, respectivamente, se relacionan de manera negativa tanto con el K como con el IHS; sin embargo, en abril, a pesar de ser el mes de mayor riqueza y diversidad de helmintos se encuentra relacionado a los mayores K e IHS, por lo que podemos proponer que *Contracaecum* sp., *Pseudoterranova* sp. y *G. caribaensis* no comprometen la salud del pez. Al igual que en *A. aeneus*, *Polymorphus* sp. parece ser el helminto que más compromete la salud de *F. polyommus*, ya que aunque *Soutwellina* sp. no se relaciona a los K e IHS más altos, parece no afectar la eficiencia reproductiva del pez ya que no afecta su IGS.

El hecho de que el mes de noviembre, donde se observó a *Polymorphus* sp. y los K más bajos coincida con la mayor RIB-LPO y con la alteración en las condiciones de la calidad del agua podría indicar que el estrés osmótico al que se vieron sometidos los peces durante este periodo de abatimiento importante en la salinidad, representa también un deterioro importante en la condición general no solo del pez sino también de sus helmintos.

## IX. CONCLUSIONES

1. Existen diferencias espaciales y temporales en los parámetros de CA, siendo los sitios más impactados PU, SAR y PC durante la época de mayor precipitación y posterior a esta, debido a un incremento en la materia orgánica.
2. El número total de parásitos encontrados para las especies estudiadas fue de ocho. Para *A.aeneus* se encontraron cinco: *U. ambloplitis*, *Spiroxys* sp., *Contracaecum* sp., *Polymorphus* sp. y *C. complanatum* (ectoparásito); en *F. polyommus* se encontraron cinco helmintos que constituyen nuevos registros tanto de la presencia en un nuevo hospedero como de su distribución geográfica: *Pseudoterranova* sp., *G. caribaensis*, *Southwellina* sp., *Contracaecum* sp. y *Polymorphus* sp., siendo estos dos últimos helmintos especies compartidas entre los peces centinelas.
3. La fauna helmíntica de *A. aeneus* y *F. polyommus* del Río Champotón exhibe una baja riqueza de especies, prevalencia, abundancia e intensidad en comparación con lo registrado en otros ríos de México. Se observó variación tanto espacial como temporal de estos parámetros en ambas especies de peces, así como una tendencia al aumento en prevalencia, abundancias e intensidades en contra del gradiente altitudinal.
4. Existe variación espacial y temporal entre la abundancia helmíntica. Para *A. aeneus*, PU y SAR fueron los sitios con mayor abundancia de helmintos. Entre temporadas, julio, que corresponde a las lluvias mostró ser el mes con mayor abundancia de helmintos. Para *F. polyommus* abril, que corresponde a la temporada de estiaje fue el mes con mayor abundancia helmíntica.

5. Para *A. aeneus*, la diversidad helmíntica es mayor a inicios de ambas temporadas, lluvias y estiaje, siendo el periodo más diverso el inicio de las lluvias. Por el contrario, *F. polyommus*, presenta valores de diversidad muy similares entre los meses de estudio.
6. Los niveles de LPO mostraron que el mes de julio fue cuando se presentó el máximo de la RIB-LPO para *A. aeneus* y en noviembre para *F. polyommus*, siendo las branquias las que siempre presentaron los valores de LPO más altos.
7. En *A. aeneus*, el K se mantuvo estable durante todo el año. El IGS presentó su pico máximo en julio y mantuvo una inversa con el IHS. Para *F. polyommus*, el K se mantuvo estable durante todo el año pero el IGS y el IHS mostraron una relación inversa.
8. Existe relación directa entre la abundancia, prevalencia e intensidad de helmintos y el nivel de LPO.
9. Existe relación entre la abundancia de los helmintos y la LPO hacia órganos específicos. Para *A. aeneus*, la relación se da entre la abundancia de *Clinostomum complanatum* y *Polymorphus* sp. y la LPO en branquias y músculo, mientras que *Uvulifer ambloplitis*, *Contracaecum* sp y *Spiroxys* sp. no se relacionaron con la LPO. Para *F. polyommus*, la LPO en músculo se relaciona con la abundancia de *Contracaecum* sp., *Pseudoterranova* sp. y *G. caribaensis*, la LPO en branquias e hígado se relaciona con *Polymorphus* sp.
10. Los endoparásitos, principalmente los acantocéfalos, se relacionan con el estrés oxidativo en hígado y músculo.
11. El ectoparásito registrado para *A. aeneus*, *U. ambloplitis* no contribuye al aumento del estrés oxidativo al que se ven sometidos los peces.

12. Las combinaciones de ciertos factores de calidad de agua pudieran generar condiciones favorables para el establecimiento de helmintos particulares, principalmente aquellos relacionados a la materia orgánica.
13. Para *A. aeneus*, los helmintos que afectan de manera importante a las diferentes poblaciones en estudio son los endoparásitos; *Polymorphus* sp. se relaciona de manera antagónica con *A. aeneus* ya que posiblemente compite con el pez por el alimento, mientras que *Contracaecum* sp. y *Spiroxys* sp. también representan un deterioro en la salud del pez, pero por sus altas abundancias, siendo *U. ambloplitis* el más benigno.
14. *Polymorphus* sp. parece ser el único helminto que compromete la condición de *F. polyommus* ya que se relaciona de manera negativa con el K.
15. Los parámetros de calidad del agua, la RIB-LPO y los bioindicadores poblacionales obtenidos para ambos peces respaldan que los cambios en sus comunidades helmínticas corresponden con los diferentes grados de disturbio ambiental a lo largo del Río Champotón, por lo que resultan una herramienta útil en los estudios de evaluación del estado de salud de los ecosistemas acuáticos.

## **X. PERSPECTIVAS**

Este trabajo ilustra como los disturbios ambientales afectan de manera directa a los peces que habitan los cuerpos de agua, no únicamente en su estado de salud sino también en la carga helmíntica que presentan; sin embargo, representa el primer trabajo de esta índole realizado en México. El río Champotón, que a pesar de ser un río poco impactado, presenta ciertas zonas como focos de indicios de procesos de eutrofización, muestra la respuesta comparativa del estrés oxidativo y los bioindicadores de salud de peces y sus helmintos por el efecto de las actividades humanas. Por ello, trabajos de este tipo deben ser prioritarios, principalmente en las zonas tropicales y altamente impactadas en donde se tiene un desconocimiento total de las correlaciones existentes entre los cambios en los parámetros de calidad del agua y su efecto tanto en las comunidades de peces como de sus helmintos. Además, es necesario establecer la relevancia de los parásitos y promover su uso como herramienta en el monitoreo ambiental, con trabajo tanto en campo como con bioensayos en laboratorio y con la participación de parasitólogos, toxicólogos y ecotoxicólogos e intensificar los esfuerzos sobre esta línea de investigación que requiere la participación interdisciplinaria.

## XI. LITERATURA CITADA

- ABDALLAH, V. D., R. K. Azevedo y J. L. de Luque. 2004. Metazoarios parásitos dos lambaris *Astyanax bimaculatus* (Linnaeus, 1758), *A. parahybae* Eigenmann, 1908 e *Oligosarcus hepsetus* (Cuvier, 1829) (Osteichthyes: Characidae), do rio Guandu, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Rev. Bras. Parasitol. Vet.* 13: 57-63.
- ABEL, P. D. 1989. Water pollution biology. Ellis Horwood Limited. Chichester England. 71 pp.
- ABELHA, M. C. F. and E. Goulart. 2008. Population structure, condition factor and reproductive period of *Astyanax paranae* (Eigenmann, 1914) (Osteichthyes: Characidae) in a small and old Brazilian Reservoir. *Braz. arch. biol. technol.* 51: 503-512.
- ALVAREZ-PELLITERO, P. 1988. Enfermedades producidas por parásitos en peces. En: *Patología en Acuicultura*. CAICYT, Madrid, 550 pp.
- ANDERSON, R. C. 1992. Nematodes Parasites of Vertebrates. Their development and transmission. University Press. Cambridge. 578 pp.
- APHA (American Public Health Association). 1985. Standard methods: for the examination of water and wastewater. Washington, DC. 1268 pp.
- ARIAS, C. J. A., E. Zaniboni-Filho y B. E. Aya. 2006. Indicadores del ciclo reproductivo del Yamú *Brycon amazonicus*, en cautiverio. *Orinoquia*. 10:24-34.
- ARREDONDO-FIGUEROA, J. J. y J. Ponce-Palafox. 1998. Calidad de agua en Acuicultura. AGT Editor, México, 222p.
- ARRIAGA, L., V. Aguilar y J. Alcocer. 2002. Aguas continentales y diversidad biológica de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 327 pp.

- BARBIERI, G., S. M. HARTZ and J. R. VERANI. 1996. O fator de condição e o índice hepatossomático como indicadores do período de desova de *Astyanax fasciatus* da represa do Lobo, São Paulo (Osteichthyes, Characidae). *Iheringia, Sér. Zool. Porto Alegre*. 81:97-100.
- BELIAEFF, B. and T. Burgeot. 2002. Integrated biomarker response: A useful tool for ecological risk assessment. *Environ. toxicol. chem.* 21: 1316-1322.
- BELLÓ, A. R. R., E. Fortes, A. Belló-Klein, A. A. Belló, S. F. Llesuy, R. B. Robaldo and A. Bianchini. 2000. Lipid peroxidation induces by *Clinostomum detruncatum* in muscle of the freshwater fish *Rhamdia quelem*. *Dis. Aquat. Org.* 42: 233-236.
- BILLIARD, M. and R. A. Khan. 2003. Chronic stress in cunner, *Tautoglabrus dsperus*, exposed to municipal and industrial effluents. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 55: 9-18.
- BOUDOU, A. and F. Ribeyre. 1997. Aquatic Ecotoxicology: From the ecosystem to the cellular and molecular levels. *Environ. Health Perspect.* 105: 21-35.
- BRADFORD, M. M. 1976. A refined and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein using the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72: 245-248.
- BRISTOL, J. R., L. F. Mayberry, D. Huber D and I. Ehrlich. 1984. Endoparasite fauna of trout in the Plitvice Lake National Park. *Vet. Archiv.* 54: 5-11.
- BUCHMANN, K. 1986. On the infection of Baltic cod (*Gadus morhua*) by the acanthocephalan *Echinorhynchus gadi* (Zoega) Müller. *Nord. Vet. med.* 38: 308-314.
- BUEGE, J. A. and S. D. Aust. 1978. Microsomal lipid peroxidation. *Methods Enzymol.* 52: 302-307.
- BUSH, A. O., K. D. Lafferty, J. M. Lotz and A. W. Shostak. 1997. Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis *et al.* revisited. *J. Parasitol.* 65: 667-669.

- BUSSING, W.A. 1998. Peces de las aguas continentales de Costa Rica [Freshwater fishes of Costa Rica]. 2nd Ed. San José Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica. 468 pp.
- CABALLERO Y RODRÍGUEZ, G. y G. C. Tello-Sandoval. 1992. Tremátodos como indicadores de niveles de contaminación por ácido sulfhídrico en el Golfo de México e impacto de este ácido en la salud pública. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Auton. México. 19*: 151-161.
- CAMARGO, A. J. and A. Alonso. 2006. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. *Environ. Int. 32*: 831-849.
- CASPETA-MANDUJANO, J. M., F. Moravec and G. Salgado-Maldonado. 2000. *Rhabdochona mexicana* sp. n. (Nematoda: Rhabdochonidae) from the intestine of characid fishes in Mexico. *Folia Parasitol. 47*: 215-217.
- CASPETA-MANDUJANO, J. M. 2005. Nematode parasites of fresh water fish in Mexico: key to species, descriptions and distribution. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca. 175 pp.
- CASTRO-AGUIRRE, J. L., H. S. Espinosa-Pérez y J. J. Schmitter-Soto. 1999. Ictiofauna: estuarino-lagunar y Vicaria de México. Limusa. México. 711 pp.
- CESPEDES-MIRANDA, E. M., I. Hernández-Lantigua y N. Llopiz Janer. 1996. Enzimas que participant como barreras fisiológicas para eliminar los radicals libres: II. Catalasa. *Rev. cubana Invest. Bioméd. 15*: 23-28.
- CHOUNDHURY, A., R. Hartvigsen Daverdin and D. R. Brooks. 2002. *Wallinia chavarriae* n. sp. (Trematoda: Macroderoididae) in *Astyanax aeneus* (Günther, 1860) and



*Bryconamericus scleroparius* (Regan, 1908) (Osteichthyes: Characidae) from the area de conservación Guanacaste, Costa Rica. *J. Parasitol.* 88: 107-112.

COLLINS, A. L. and T. A. Anderson. 1995. The regulation of endogenous energy stores during starvation and refeeding in the somatic tissues of the golden perch. *J. Fish. Biol.* 47: 1004-1015.

CONABIO. 2002. Lista de regiones hidrológicas prioritarias. En línea:

<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Hlistado.html>.

Consulta en Octubre de 2008.

CROSS, M. A., S. W. B. Irwin, and S. M Fitzpatrick. 2001. Effects of heavy metal pollution on swimming and longevity in cercariae of *Cryptocotyle lingua* (Digenea: Heterophyidae). *Parasitol.* 123: 499–507.

DZIKOWSKI, R., I. Paperna and A. Diamant. 2004. Use of fish parasite species richness indices in analyzing antropogenically impacted coastal marine ecosystems. *Helgoland Mar. Res.* 57: 220-227.

FAVARI PEROZZI, L., M. M. Ortiz y E. López-López. 2003. Efecto del agua del embalse de la vega en la lipoperoxidación y los niveles de acetilcolinesterasa en el hígado y en el músculo de *Xiphophrus helleri*. *Rev. Int. Cont. Amb.* 9: 145-155.

FIGUEROA, R., C. Valdovinos, E. Araya y O. Parra. 2003. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 76: 275-285.

GARCÍA, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. UNAM-Instituto de Geografía. Serie Libros, Núm. 6, 5<sup>ta</sup> edición. México. 90 pp.

- HERNANDEZ, A.D. and M. V. K. Sukhdeo. 2001. Environmental disturbance and the incidence of parasitism in local and invasive fish species. Conference proceedings. 4<sup>th</sup> International Symposium on Monogenea. Brisbane, Australia.
- HOGUE, C., B. and b. Swig. 2007. Habitat quality and endoparasitism in the pacific sanddab *Citharichthys sordidus* from Santa Monica Bay, Southern California. *J. Fish Biol.* 70: 232-242.
- HUBER, J.H., 1996. Killi-Data 1996. Updated checklist of taxonomic names, collecting localities and bibliographic references of oviparous Cyprinodont fishes (Atherinomorpha, Pisces). Société Française d'Ichtyologie, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, France, 399 pp.
- IANNACONE, J., R. C. Caballero y F. L. Alvaríño. Empleo del caracol de agua dulce *Physa venustula* Gould como herramienta ecotoxicológica para la evaluación de riesgos ambientales por plaguicidas. *Agricultura Técnica.* 62 : 212-225.
- JAIME-JAQUEZ, C. 2006. Acuerdo por el que se dan a conocer las denominaciones y la ubicación geográfica de las dos cuencas hidrológicas localizadas en el área geográfica denominada río Champotón, así como la disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas que comprenden dicha área geográfica. SEMARNAT.
- JAMETT MORA, M., J. Cabrera-Peña y W. Alvarado Bogantes. 1996. Crecimiento y maduración sexual de *Astyanax fasciatus* (Pises:Characidae) en el embalse Arenal, Guanacaste, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 36: 171-172.
- KARNAKY, K. J. 1993. Osmotic and ionic regulation. In: The Physiology of fishes. Evans, H and B. Claiborne (Eds.). CRC Press. Boca Ratón. 519 pp.

- KINKELIN, P., C. Michel and P. Ghittino. 1991. *Tratado de las enfermedades de los peces*. Ed. Acribia, 353 pp.
- KLOEPPER-SAMS, P. J., S. M. Swanson, T. Marchant, R. Schryer and J. W. Owens. 1994. Exposure of fish to biologically treated bleached-kraft effluent.1. Biochemical, physiological and pathological assesment of Rocky mountain whitefish (*Prosopium williamsoni*) and longnose sucker (*Catostomus catostomus*). *Env. Toxicol. Chem.* 13: 1469-1482.
- KREBS, C. J. 1989. *Ecologycal Methodology*. Harper and Row Publishers, New York. 654 pp.
- LAFFERTY, K. D. 1997. Environmental parasitology: What can parasites tell us about human impact on the environment?. *Parasitol. Today.* 13: 251-255.
- LAFFERTY, K. D. and A. M. Kuris. 1999. How environmental stress affects the impacts of parasites. *Limnol. Oceanogr.* 44: 925-31.
- LAMOTHE-ARGUMEDO, R., G. Salgado-Maldonado and R. Pineda-López. 1997. *Campechetrema herrerae* n. gen. n. sp. (Trematoda: Cryptogonimidae) from the intestine of *Petenia splendida* de Campeche, Mexico. *J. Parasitol.* 83: 137-139.
- LEMLY, D. And M. J. Esch. 1984. Platelmita. In: de Almeida A (ed). *Elementos de ictioparasitologia*. Fundação Eng Porto. 158 pp.
- LÓPEZ LÓPEZ, E., J. E. Sedeño Díaz and L. Favari Perozzi. 2006. Lipid peroxidation and Acetylcholinesterase activity as biomarkers in the black Sailfin Goodeid, *Girardinichthys viviparous* (Bustamante) exposed to water from lake Xochimilco (México). *Aquat. Ecosyst. Health Manage.* 9: 379-385.
- LÓPEZ LÓPEZ, E, Sedeño-Díaz JE, F. Lopez, P. Trujillo-Jiménez (2008) Spatial and seasonal distribution patterns of fish assemblages in the Río Champotón, southeastern Mexico. *Reviews in Fish Biology and fisheries* DOI: 10.1007/s11160-008-9093-y

- MACKENZIE, K. 1999. Parasites as pollution indicators in marine ecosystems: a proposed early warning system. *Mar. Poll. Bull.* 38: 955-959.
- MACKENZIE K., H. H. Williams, B. Williams, A. H. Mc. Vicar and R. Siddall. 1995. Parasites as indicators of water quality and the potential use of helminth transmission in marine pollutions studies. *Adv. Parasitol.* 35: 85-144.
- MADDOCK, D.M. and M.P.M. Burton. 1999. Gross and histological observations of ovarian development and related condition changes in American plaice. *J. Fish Biol.* 53:928-944.
- MALINS, D. C. 1994. Aquatic Toxicology: Biochemical and Cellular Perspective. Malins D. C: and A. Jensen (Eds.). Elseviere. Amsterdam. 539 pp.
- MANCINI, M., A. Larriestra y J. Sanchez. 2000. Estudio ictiopatólogico de poblaciones silvestres de la región centro-sur de Córdoba, Argentina. *Rev. Med. Vet.* 81: 104-108.
- MARCHAND-PAJARES, E. O. 2002. Microorganismos indicadores de la calidad del agua de consumo humano de Lima Metropolitana. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Peru. 55 pp.
- MARCOGLIESE, D.J and D.K. Cone. 1997. Parasite communities as indicators of ecosystem stress. *Parassitologia* 39: 227-232.
- MARCOGLIESE, D. J. and J. Price. 1997. The paradox of parasites. *Global Biodiversity* 7: 7-15.
- MARCOGLIESE D. J., L. Gagnon Brambilla, F. Gagne and A. D. Gendron. 2005. Joint effects of parasitism and pollution on oxidative stress biomarkers in yellow perch *Perca flavescens*. *Dis. Aquat. Org.* 63: 77-84.
- McDOWELL, J. E., B. A. Lancaster, D. F. Leavitt, P. Rantamaki and B. Ripley. 1999. The effects of lipophilic organic contaminants on reproductive physiology and disease processes in marine bivalve molluscs. *Limnol Oceanogr.* 44: 903-909.

- MOLLOY, S., H. Holand and R. Poole. 1995. Metazoan parasite community structure in brown trout from two lakes in western Ireland. *J. Helminthol.* 69: 237-242.
- MÚGICA-RUIZ, E. 2008. Helmintos parásitos de *Astyanax fasciatus* (Cuvier, 1810) (Pisces:Characidae) en el Río Cuautla, localidad "Tlayecac", en el Estado de Morelos. Tesis de Maestría. UAEM. México. 73 pp.
- OLIVERO-VERVEL, J., R. Baldiris-Ávila and B. Arroyo-Salgado. 2005. Nematode infection in *Mugil incilis* (lisa) in Cartagena Bay and Totumo Marsh, North of Colombia. *J. Parasitol.* 91: 1109-1112.
- OLSEN, O. W. 1986. Animal parasites: Their Life Cycles and Ecology. Courier Dover Publications. 562 pp.
- PEÑA, C. E., D. E. Carter and F. Ayala Fierro. 2001. Toxicología ambiental: Evaluación de riesgos y restauración ambiental. Southwest hazardous waste program. University of Arizona. 204 pp.
- PERI, S. I., I. Pereira y S. Quintero-Blanco. 2003. Biomarcadores en *Cichlasoma facetum* (Jenyns, 1842) expuestos a efluentes de papeleras de arroyos periurbanos. *Biol. Acuát.* 20: 80-83.
- RODRÍGUEZ-PERÓN, J. M., J. R. Menéndez-López y Y. Trujillo-López. 2001. Radicales libres en la biomedicina y estrés oxidativo. *Rev. Cubana. Med. Milit.* 30: 15-20.
- ROMANO, L. A. 1999. Bioindicadores de contaminación acuática en peces. AquaTic. 7. En línea: <http://www.revistaaquatic.com/aquatic/art.asp?t=h&c=67>. Consulta en Octubre de 2008.
- SALGADO-MALDONADO, G. 2006. Check list of helminth parasites of freshwater fishes from Mexico. Magnolia Press. New Zeland. 357 pp.

- SALGADO-MALDONADO, G. and C. R. Kennedy. 1997. Richness and similarity of helminth communities in the tropical cichlid fish *Cichlasoma urophthalmus* from the Yucatan Peninsula, Mexico. *Parasitology*. 114:581-590.
- SALGADO-MALDONADO, G., N. Mercado-Silva, G. Cabañas-Carranza, J. M. Caspeta-Mandujano, R. Aguilar-Aguilar y L. I. Íñiguez-Dávalos. 2004. Helminth parasites of freshwater fishes of the Ayuquila river, Sierra de Manantlán Biosphere Reserve, West Central Mexico. *Comp. Parasitol.* 71: 67-72.
- SALGADO-MALDONADO, G., R. Aguilar-Aguilar, G. Cabañas-Carranza, E. Soto-Galera y C. Mendoza-Palmero. 2005. Helminth parasites in freshwater fish from the Papaloapan river basin, Mexico. *Parasitol. Res.* 96: 69-89.
- SANTOS, R.S., S.J. Hawkins and R.D. Nash. 1996. Reproductive phenology of the Azorean rock pool blenny a fish alternative mating tactics. *J. Fish Biol.* 48: 842-858.
- SCHMITTER-SOTO, J. J. 2002. Ictiogeografía de Yucatán, México. In: Libro jubilar en honor al Doctor Salvador Contreras Balderas. Lozano-Vilano, M.L. (Ed). UANL. México. 103 -116 pp.
- SCHOLZ, T. 1997. A revision of the species of *Bothriocephalus* Rudolphi, 1808 (Cestoda: Pseudophyllidea) parasitic in American freshwater fishes. *Syst. Parasitol.* 36: 85-107.
- SCHOLZ, T., M. L. Aguirre-Macedo and G. Salgado-Maldonado. 2001. Trematodes of the family Heterophyidae (Digenea) in Mexico: a review of species and new host and geographical records. *J. Nat. His.* 35: 1733–1772.
- SCHOLZ, T. and G. Salgado-Maldonado. 2001. Metacestodes of the family Dilepididae (Cestoda:Cyclophyllidea) parasitising fishes in Mexico. *Syst. Parasitol.* 49: 23-40.

- SCHULTZ, E. T. and D. O. Conover. 1999. The allometry of energy reserve depletion: test of a mechanism for size-dependent winter mortality. *Oecologia*. 119: 473-483.
- SHERRY, J. P. 2003. The role of biomarkers in the health assessment of aquatic ecosystems. *Aquat. Ecosyst. Health Manage*. 6: 443-440.
- SIDDALL, R., M. Koskivaara and T. Valtonen. 1997. *Dactylogyrus* (Monogenea) infections on the gills of roach (*Rutilus rutilus* L.) experimentally exposed to pulp and paper mill effluent. *Parasitology*. 114: 1-8.
- SILVA, V., A. Valenzuela, P. Ruíz y C. Oyarzun. 2005. *Trypanosoma humboldti* en *Schroederichthys chilensis* (Chondrichthyes, Elasmobranchii, Scyliorhinidae) como indicador no destructivo de contaminación. *Gayana (Concepc.)*. 69:160-165.
- SURES, B. 2006. How parasitism and pollution affect the physiological homeostasis of aquatic host. *J. Helminth*. 80: 151-157.
- TANTALEÁN, M., L. Sánchez, L. Gómez y A. Huiza. 2005. Acantocéfalos del Perú. *Rev. Peru Biol*. 12: 83-92.
- TEJEDA VERA, R., E. López-López and E. Sedeño Díaz. 2007. Biomarkers and bioindicators of the health condition of *Ameca splendens* and *Goodea atripinnis* (Pisces: Goodeidae) in the Ameca river, México. *Environ. Int*. 33: 521-531
- THILAKARATNE, I. D. S. I. P., J. D., McLaughlin and D. J. Marcogliese. 2007. Effects of pollution on biomarkers of fish health in spottail shiners *Notropis hudsonius* (Clinton). *J. Fish Biol*. 71: 519-538.
- VÁZQUEZ-NUÑEZ, R., J. Ramírez-Lesama, D. Osorio-Sarabi, L. A. Chavéz-Soriano y F. Constantino-Casas. 2004. Lesiones causadas por helmintos del aparato digestivo en peces estuarinos de la Laguna Tres Palos, Guerrero, México. *Vet. Méx*. 35: 369-378.

- VIDAL-MATINEZ, V.M., M. L., Aguirre-Macedo, T. Scholz, D. Gonzalez-Solis y E. F. Mendoza-Franco. 2002. Atlas de los helmintos parásitos de cíclidos de México. CINVESTAV-IPN. México, D.F. 283 pp.
- WAAGBO, R., J. Glette, E. R. Nilsen and K. Sandnes. 1993. Dietary vitamin C, immunity and Disease resistance in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *J. Physiol. Biochem.* 12: 61-73.
- WYNES, D. L., T. E. Wissing. 1981. Effects of water quality on fish and macroinvertebrate communities of the little Miami river. *Ohio J. Sci* 81: 259- 267.
- YÁÑEZ-ARANCIBIA, A., F. Amezcua-Linares y M. Tapia-García. 1981. Prospección ictioecológica del estuario del río Champotón, Campeche, verano 1979. Nota científica. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Auton. México.* 9: 395-398.
- ZAR, J. H. 1996. Bioestatistical analysis. Prentice Hall, Inc. Upper Saddle River. New Yersey. 662 pp.
- ZIMMERMAN, M. 1997. Maturity and fecundity of arrowtooth flounder, *Atheresthes stomias*, from the Gulf of Alaska. *Fish. Bull.* 95: 598-611.



## APENDICE I.- Lista sistemática de helmintos

### ❖ *A. aeneus*

Phylum Platyhelminthes

Clase Trematoda

Orden Strigeatida (Larue, 1926)

Familia Diplostomatidae (Poirier 1886)

***Uvulifer ambloplitis*** (Hughes, 1927)

Orden Plagiorchiida (Larue, 1957)

Familia Clinostomatidae (Lühe, 1901)

***Clinostomum complanatum*** (Rudolphi, 1814)

Phylum Nematoda

Clase Aphasmidia

Orden Ascaridida (Skrjabin y Schulz, 1938)

Familia Anisakidae (Skrjabin & Karokhin 1945)

***Contraecum* sp.** (Railliet y Henry, 1912)

***Spiroxys* sp.** (Schneider, 1866)

Phylum Acanthocephala

Clase Paleacanthocephala

Orden Polymorphida (Petrochenko, 1956)

Familia Polymorphidae (Meyer, 1931)

***Polymorphus* sp.** (Lühe, 1911).

❖ ***F. polyommus***

Phylum Platyhelminthes

Clase Cestoda

Orden Cyclophyllidea (Braun, 1900)

Familia Dilepididae (Railliet y Henry, 1909)

***Glossocercus caribaensis*** (Rysavy & Macko,  
1973)

Phylum Nematoda

Clase Aphasmidia

Orden Ascaridida (Skrjabin y Schulz, 1938)

Familia Anisakidae (Skrjabin & Karokhin 1945)

***Pseudoterranova* sp.** (Mozgovoi, 1951)

***Contraecum* sp.** (Railliet y Henry, 1912)

Phylum Acanthocephala

Clase Paleacanthocephala

Orden Polymorphida (Petrochenko, 1956)

Familia Polymorphidae (Meyer, 1931)

***Polymorphus* sp.** (Lühe, 1911)

***Southwellina* sp.** (Witenberg, 1932)

**APÉNDICE II. Descripción general de los helmintos y sus ciclos biológicos.*****Uvulifer ambloplitis*** (Metacercaria) (Fig. 23).

Quiste pequeño (1 mm de diámetro), ovalado, hialino, formado por una gruesa capa externa y una delgada capa interna, con apariencia de un pequeño punto negro. Cuerpo alargado, dividido en dos partes. Parte anterior ligeramente más grande que la posterior. Órganos de fijación en la parte anterior del cuerpo. Ventosa oral esférica, subterminal y rodeada por conductos de glándulas conspicuas. Acetábulo más pequeño que la ventosa oral, preecuatorial y esférico. Parte posterior lanceolada conteniendo los primordios genitales. Esófago relativamente largo; ciegos intestinales largos, delgados y extendidos hasta la parte posterior del cuerpo. Vesícula excretora terminal en forma de I.

Fig. 23. *Uvulifer ambloplitis*

**Ciclo biológico:** Los huevos se dispersan en las heces de aves ictiófagas que son su hospedero definitivo. Los huevos eclosionan en el agua en 3 semanas en forma de larva miracidio, el cual infecta a un caracol. El miracidio se transforma en esporocisto e invade la glándula digestiva y el hígado del caracol. Una vez que el esporocisto madura, da lugar a cercarías que escapan del caracol y penetran la piel de un pez transformándose a metacercaria. La metacercaria forma un quiste redondeado de color negro. Las aves se infectan al comer a los peces. El desarrollo de *U. ambloplitis* hasta alcanzar la madurez sexual dentro del ave toma 27 días aproximadamente (Olsen, 1986)

***Clinostomum complanatum*** (Metacercaria) (Fig. 24)

Quiste esférico, grande y amarillento. Cuerpo aplanado dorsoventralmente, alargado, dividido en dos porciones por una constricción a nivel del acetábulo. Extremo anterior truncado y posterior redondeado. Ventosa oral pequeña, subterminal, situada en medio del anillo tegumental. Acetábulo conspicuo, preecutorial y más grande que la ventosa oral. Ciegos intestinales largos y anchos, sinuosos en la parte postacetabular. Vesícula excretora en forma de Y. Poro excretor terminal.

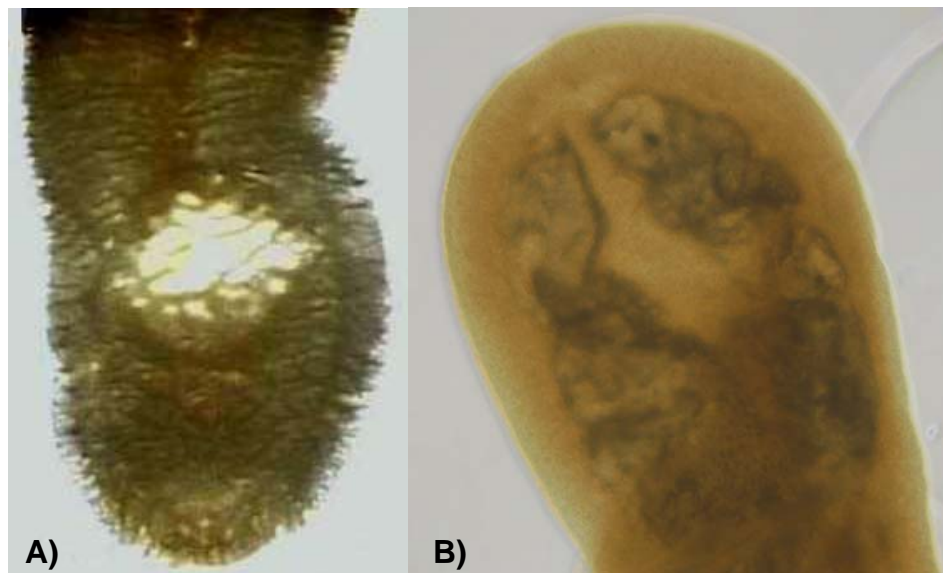


Fig. 24. *Clinostomum complanatum*. A) Porción anterior y B) Porción posterior

**Ciclo biológico:** Los huevos se dispersan en las heces de aves ictiófagas que son su hospedero definitivo. El huevo da origen a un miracidio cubierto de cilios que nada libremente e infecta a un caracol, dando lugar a un esporocisto que migra al intestino o el hígado del caracol. Una vez que el esporocisto madura da lugar a cercarías que salen del caracol, para penetrar y enquistarse en un pez transformándose a metacercaria. El ciclo se completa cuando el pez es ingerido por algún ave ictiófaga, en donde la metacercaria se desenquista y migra al esófago y se aloja en la cavidad bucal para completar su maduración en aproximadamente tres días (Olsen, 1986).

***Glossocercus caribaensis*** (Metacéstodo) (Fig. 25)

Larva muy grande, dividida en escólex y parte posterior. Escólex casi esférico, con cuatro ventosas laterales y un róstelo muscular con dos círculos de 10 ganchos grandes cada uno y de forma semejante, con mango casi recto.

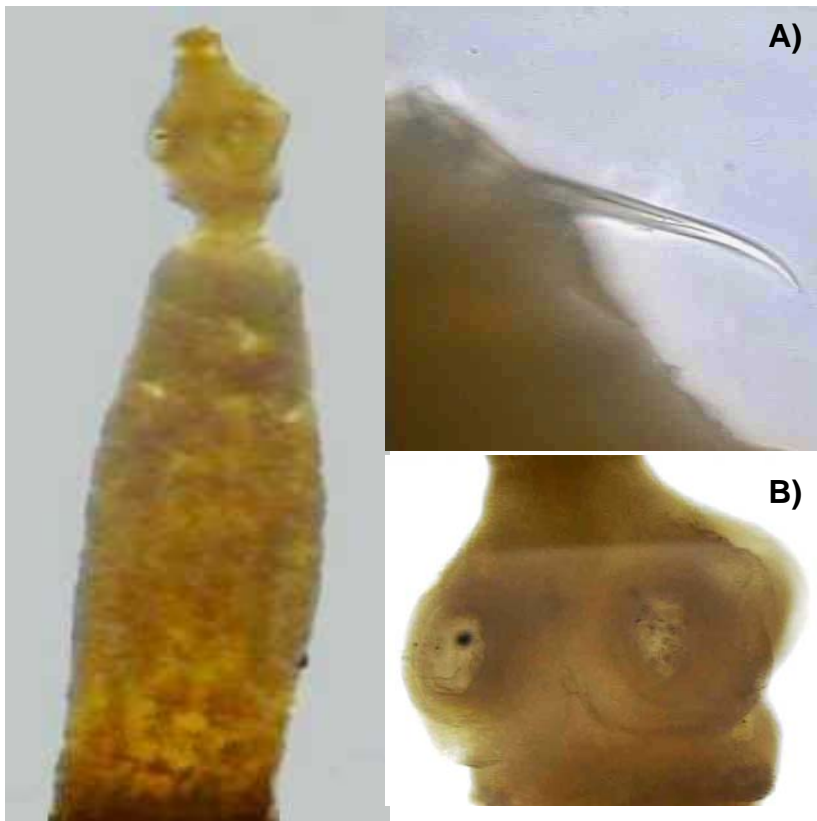


Fig. 25. *Glossocercus caribaensis*. A) Detalle de gancho grande y B) Ventosas laterales

**Ciclo biológico:** El ciclo de vida es desconocido, pero probablemente los copépodos sirvan como primeros hospederos intermediarios y las aves ictiófagas como hospederos definitivos (Vidal-Martínez *et al.*, 2002).



***Contracaecum* sp.** (Larva) (Fig. 26)

Nemátodos pequeños, con cutícula estriada transversalmente. Extremo anterior redondeado, portando un diente larval pequeño. Tres labios poco desarrollados. Ventrículo pequeño y esférico. Apéndice ventricular largo y ancho. Ciego intestinal ancho y extendido anteriormente hasta casi el nivel del anillo nervioso. Cola cónica, terminada en una punta aguda.

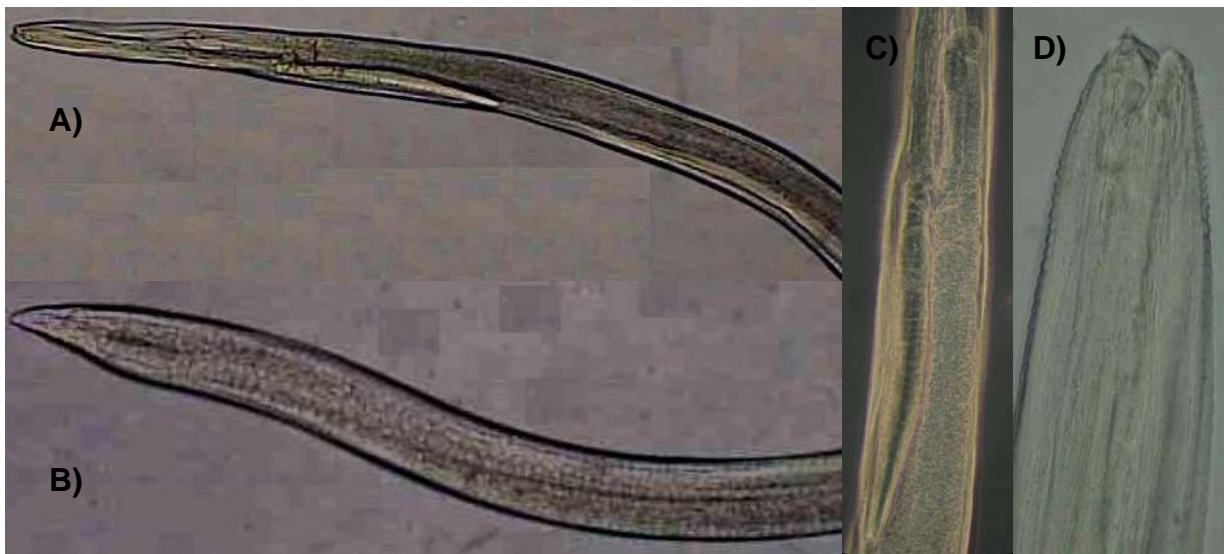


Fig. 26. *Contracaecum* sp. A) Porción anterior; B) Porción posterior; C) Apéndices; y  
D) Diente

**Ciclo biológico:** Los ciclos de vida de los nemátodos son muy complejos e incluyen desde ciclos directos hasta aquellos con mas de tres hospederos. El ciclo de vida generalizado incluye un huevo, cuatro estadios larvales (L1-L4) con cuatro mudas y el estado adulto.

Las formas adultas de *Contracaecum* sp. son aparentemente parásitas de aves ictiófagas y los peces actúan como segundo hospedero intermediario o como hospedero de transporte (Olsen, 1986; Vidal-Martínez *et al.*, 2002).

***Spiroxys* sp.** (Larva) (Fig. 27)

Nemátodo pequeño con cutícula finamente estriada transversalmente. Extremo cefálico provisto con dos pseudolabios, laterales, grandes y triangulares, cada uno con dos depresiones en forma de ranura en su base. Dos papilas cefálicas y un anfidio pequeño en cada lado, al nivel de la base del pseudolabio. Esófago dividido en una parte muscular anterior, estrecha y una parte glandular posterior más ancha. Cola cónica y con punta redondeada.



Fig. 27. *Spiroxys* sp.; Porción anterior

**Ciclo biológico:** Los hospederos intermediarios de éste género son varias especies de copépodos, mientras que los peces sirven como hospederos de transporte. Las tortugas son los hospederos definitivos (Vidal-Martínez *et al.*, 2002).

***Pseudoterranova* sp.** (Larva) (Fig. 28)

Nemátodos de talla media. Cutícula finamente estriada transversalmente. Extremo anterior redondeado con un diente larval cuticular. Tres labios poco desarrollados. Esófago cilíndrico provisto en su extremo posterior con un ventrículo alargado, sin apéndices. Ciego intestinal alargado dirigido anteriormente. Cola cónica con punta redondeada.

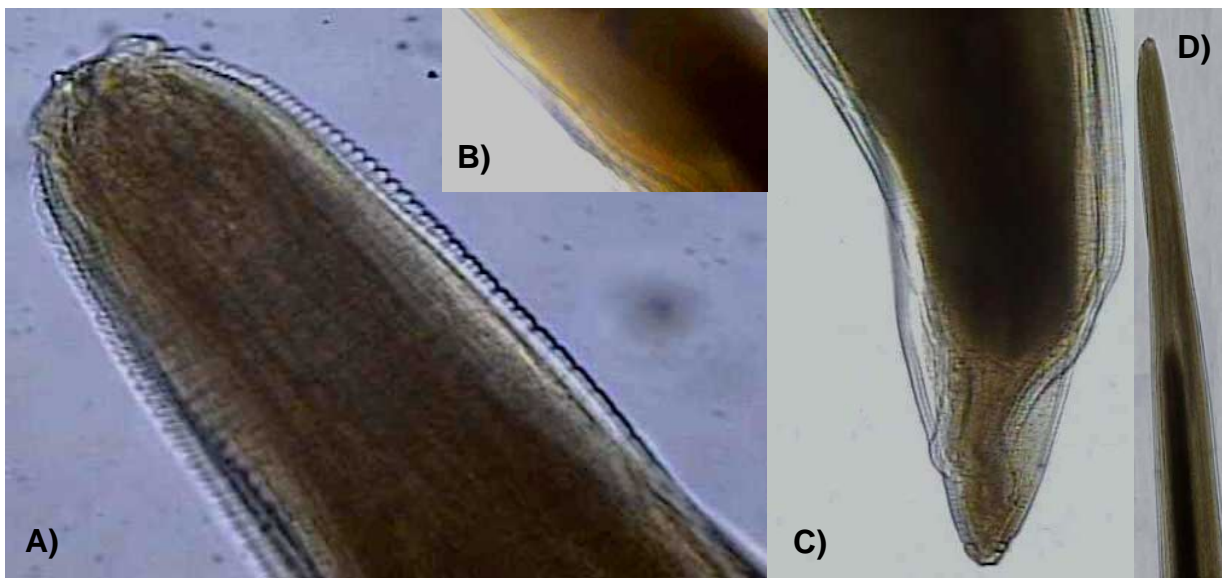


Fig. 28. *Pseudoterranova* sp. A) Porción anterior; B) Porción ventricular; C) Porción posterior; y D) Ciego intestinal

**Ciclo biológico:** Los hospederos definitivos de esta especie son mamíferos marinos que adquieren al nemátodo al alimentarse de peces infectados. Varias especies de invertebrados marinos, principalmente crustáceos, sirven como primer hospedero intermediario; los segundos hospederos intermediarios son peces en los cuales las larvas alcanzan su estado infectivo (Vidal-Martínez *et al.*, 2002).

***Polymorphus* sp.** (Cistacanto) (Fig. 29)

Tronco cilíndrico, más ancho en la parte posterior. Tegumento grueso y estriado en la parte posterior. Un solo campo anterior de espinas tegumentarias pequeñas dispuestas en filas irregulares, hasta 10 espinas disminuyendo en tamaño posteriormente. Proboscis cilíndrica armada con 18 filas longitudinales de al menos 14 ganchos. Receptáculo de la proboscis elongado. Primordios de gónadas situados en la parte posterior del tronco, pobremente desarrollados.

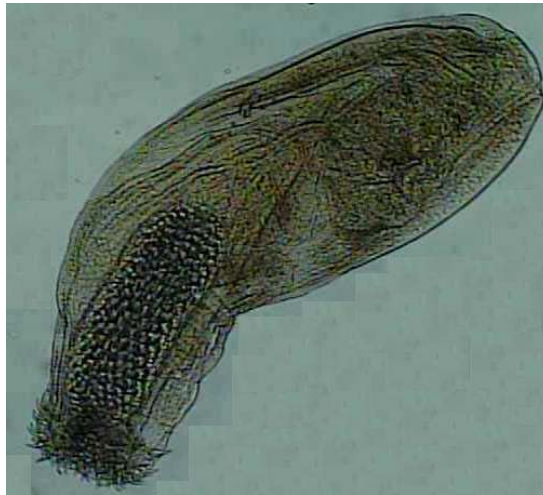


Fig. 29. *Polymorphus* sp.

**Ciclo biológico:** Los huevos se dispersan a través de las aves ictiófagas y no eclosionan hasta que son ingeridos por insectos o crustáceos. En ellos se da el desarrollo total a acantela. Existen muchos hospederos paraténicos para el género, principalmente peces vertebrados en donde la acantela es incapaz de madurar, pero migra hacia el intestino y se enquista. El ciclo se completa cuando el pez es ingerido por un ave (Vidal-Martínez *et al.*, 2002).

***Southwellina* sp.** (Cistacanto) (Fig. 30)

Cuerpo oval, ensanchado en su parte anterior y cónico en la posterior. Tronco separado en dos campos por una zona desnuda de espinas. Proboscis cilíndrica, abultada en su parte media, armada con 8-10 hileras longitudinales de 18 a 20 espinas cada una. Cuello bien desarrollado.



Fig. 30. *Soutwellina* sp.

**Ciclo biológico:** No se conoce; pero se han registrado aves piscívoras como hospedero definitivo (Vidal-Martínez *et al.*, 2002).

## APÉNDICE III. Matriz de correlación de Pearson

Tabla. XI. Matriz de Correlación de Pearson para *A. aeneus*. En negritas se muestran los valores significativos con  $p < 0.05$ .

	IGS	IHS	K	Sp	Ua	Cc	Po	Co	Con.	LPO-B	LPO-M	LPO-H	pH	O <sub>2</sub> Dis	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub>	Dur.	F T	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	DBO	CT	CF	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub>
IGS	1.0	-0.5	0.4	-0.1	<b>0.8</b>	0.3	-0.3	-0.2	-0.1	<b>-0.5</b>	-0.4	<b>-0.8</b>	<b>-0.6</b>	0.0	0.3	0.5	0.0	0.5	0.5	0.2	0.3	0.3	-0.2	-0.3
IHS	-0.5	1.0	-0.3	-0.3	-0.5	-0.4	<b>0.6</b>	-0.2	0.3	<b>0.6</b>	0.5	0.3	<b>0.6</b>	0.4	-0.4	<b>-0.8</b>	<b>-0.7</b>	-0.4	-0.2	-0.5	-0.2	-0.2	0.5	0.2
K	0.4	-0.3	1.0	-0.3	<b>0.7</b>	0.4	0.0	-0.2	0.0	0.0	0.3	-0.2	0.0	0.3	-0.1	-0.1	-0.2	0.0	0.2	-0.3	0.1	0.2	-0.1	0.0
Sp	-0.1	-0.3	-0.3	1.0	-0.2	0.2	-0.2	0.0	-0.1	0.0	-0.1	0.2	-0.2	-0.2	0.0	0.3	0.3	0.3	-0.2	<b>0.5</b>	-0.1	-0.1	0.0	-0.2
Ua	<b>0.8</b>	-0.5	<b>0.7</b>	-0.2	1.0	0.3	-0.2	-0.1	0.0	-0.3	-0.1	-0.5	-0.2	0.3	0.0	0.2	0.0	0.2	0.3	0.0	0.4	0.4	-0.1	-0.1
Cc	0.3	-0.4	0.4	0.2	0.3	1.0	-0.1	0.3	-0.1	-0.2	0.2	-0.5	-0.4	-0.1	0.4	0.2	-0.1	0.0	<b>0.5</b>	-0.1	0.4	0.4	-0.3	-0.2
Po	-0.3	<b>0.6</b>	0.0	-0.2	-0.2	-0.1	1.0	0.0	<b>0.8</b>	<b>0.5</b>	<b>0.6</b>	0.4	<b>0.6</b>	0.5	-0.4	<b>-0.7</b>	<b>-0.7</b>	-0.3	-0.3	-0.4	-0.3	-0.3	0.1	0.0
Co	-0.2	-0.2	-0.2	0.0	-0.1	0.3	0.0	1.0	0.1	-0.2	-0.1	0.0	0.1	-0.2	0.4	0.2	0.4	-0.5	0.2	-0.3	<b>0.6</b>	<b>0.5</b>	-0.5	0.2
Con.	-0.1	0.3	0.0	-0.1	0.0	-0.1	<b>0.8</b>	0.1	1.0	0.3	0.4	0.2	0.5	0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	0.1
LPO-B	<b>-0.5</b>	<b>0.6</b>	0.0	0.0	-0.3	-0.2	<b>0.5</b>	-0.2	0.3	1.0	<b>0.7</b>	<b>0.6</b>	0.3	0.3	-0.2	<b>-0.8</b>	<b>-0.7</b>	-0.1	-0.4	-0.2	-0.1	-0.1	0.3	0.2
LPO-M	-0.4	0.5	0.3	-0.1	-0.1	0.2	<b>0.6</b>	-0.1	0.4	<b>0.7</b>	1.0	0.3	0.5	<b>0.6</b>	-0.3	<b>-0.6</b>	<b>-0.6</b>	-0.4	0.1	-0.5	0.1	0.1	0.2	0.3
LPO-H	<b>-0.8</b>	0.3	-0.2	0.2	-0.5	-0.5	0.4	0.0	0.2	<b>0.6</b>	0.3	1.0	0.5	0.0	-0.3	<b>-0.5</b>	-0.1	-0.2	<b>-0.8</b>	-0.1	-0.3	-0.4	0.2	0.2
Ph	<b>-0.6</b>	<b>0.6</b>	0.0	-0.2	-0.2	-0.4	<b>0.6</b>	0.1	0.5	0.3	0.5	0.5	1.0	<b>0.6</b>	<b>-0.6</b>	-0.4	-0.1	<b>-0.7</b>	-0.1	-0.5	-0.2	-0.2	0.2	0.4
O <sub>2</sub> Dis.	0.0	0.4	0.3	-0.2	0.3	-0.1	0.5	-0.2	0.4	0.3	<b>0.6</b>	0.0	<b>0.6</b>	1.0	<b>-0.6</b>	-0.4	-0.4	-0.3	0.2	-0.5	0.0	-0.1	0.3	0.2
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.3	-0.4	-0.1	0.0	0.0	0.4	-0.4	0.4	-0.4	-0.2	-0.3	-0.3	<b>-0.6</b>	<b>-0.6</b>	1.0	0.3	0.1	0.2	0.1	0.1	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	-0.3	-0.3
SO <sub>4</sub>	0.5	<b>-0.8</b>	-0.1	0.3	0.2	0.2	<b>-0.7</b>	0.2	-0.4	<b>-0.8</b>	<b>-0.6</b>	<b>-0.5</b>	-0.4	-0.4	0.3	1.0	<b>0.8</b>	0.4	0.4	0.5	0.3	0.2	-0.4	-0.3
Dur.	0.0	<b>-0.7</b>	-0.2	0.3	0.0	-0.1	<b>-0.7</b>	0.4	-0.3	<b>-0.7</b>	<b>-0.6</b>	-0.1	-0.1	-0.4	0.1	<b>0.8</b>	1.0	0.1	0.1	0.4	0.2	0.1	-0.4	0.0
F T	0.5	-0.4	0.0	0.3	0.2	0.0	-0.3	-0.5	-0.2	-0.1	-0.4	-0.2	<b>-0.7</b>	-0.3	0.2	0.4	0.1	1.0	-0.3	<b>0.8</b>	-0.2	-0.1	0.0	<b>-0.6</b>
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0.5	-0.2	0.2	-0.2	0.3	<b>0.5</b>	-0.3	0.2	-0.1	-0.4	0.1	<b>-0.8</b>	-0.1	0.2	0.1	0.4	0.1	-0.3	1.0	-0.3	0.4	0.4	-0.2	0.3
DBO	0.2	-0.5	-0.3	<b>0.5</b>	0.0	-0.1	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.5	-0.1	-0.5	-0.5	0.1	0.5	0.4	<b>0.8</b>	-0.3	1.0	-0.3	-0.2	0.0	-0.4
CT	0.3	-0.2	0.1	-0.1	0.4	0.4	-0.3	<b>0.6</b>	-0.2	-0.1	0.1	-0.3	-0.2	0.0	<b>0.7</b>	0.3	0.2	-0.2	0.4	-0.3	1.0	<b>1.0</b>	-0.3	0.0
CF	0.3	-0.2	0.2	-0.1	0.4	0.4	-0.3	<b>0.5</b>	-0.2	-0.1	0.1	-0.4	-0.2	-0.1	<b>0.7</b>	0.2	0.1	-0.1	0.4	-0.2	<b>1.0</b>	1.0	-0.2	-0.1
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-0.2	0.5	-0.1	0.0	-0.1	-0.3	0.1	-0.5	-0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	-0.3	-0.4	-0.4	0.0	-0.2	0.0	-0.3	-0.2	1.0	0.0
NH <sub>4</sub>	-0.3	0.2	0.0	-0.2	-0.1	-0.2	0.0	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2	0.4	0.2	-0.3	-0.3	0.0	<b>-0.6</b>	0.3	-0.4	0.0	-0.1	0.0	1.0

Sp: *Spiroxyis*; Ua: *U. ambloplitis*; Cc: *C. complanatum*; Po: *Polymosphus* sp.; Co: *Contraeaecum* sp.; Con.: Conductividad; Dur.: Dureza; F T: Fosforo Total; CT: Coliformes Totales; CF: Coliformes Fecales.

Tabla. XII. Matriz de Correlación de Pearson para *F. polyommus*. En negritas se muestran los valores significativos con  $p < 0.05$ .

	IGS	IHS	K	Po	So	Co	Ps	Gc	LPO-B	LPO-M	LPO-H	Con	pH	Dis.	O <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub>	Dur.	F T	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	DBO	C T	C F	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub>
IGS	1.0	-0.5	0.1	-0.6	0.9	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.8	-0.3	0.5	0.6	0.8	0.8	0.5	0.7	-0.5	0.8	0.1	-0.6	-0.8	-0.8	0.1	
IHS	-0.5	1.0	<b>-0.8</b>	-0.4	-0.7	0.6	0.8	0.8	-0.6	0.6	-0.7	0.5	0.2	-0.3	-0.2	0.0	0.2	0.8	-0.4	0.8	0.1	0.0	0.0	-0.9	
K	0.1	<b>-0.8</b>	1.0	-0.8	-0.2	0.3	0.5	0.5	<b>-1.0</b>	0.1	<b>-1.0</b>	0.9	0.7	0.3	0.2	0.3	0.8	0.5	0.2	0.9	-0.3	-0.5	-0.5	-0.9	
Po	-0.6	-0.4	-0.8	1.0	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3	0.9	0.3	<b>1.0</b>	<b>-1.0</b>	-0.8	-0.5	-0.6	-0.6	-0.9	-0.3	-0.5	-0.9	0.7	0.9	0.9	0.7	
So	0.9	-0.7	-0.2	-0.3	1.0	-0.2	-0.3	-0.3	0.0	-0.6	0.0	0.3	0.2	0.4	0.9	0.7	0.3	-0.4	0.5	0.0	-0.8	-0.7	-0.7	0.2	
Co	-0.4	0.6	0.3	-0.2	-0.2	1.0	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	0.0	0.9	-0.3	0.2	-0.4	-0.8	0.2	0.5	-0.3	<b>1.0</b>	-0.8	0.6	-0.4	-0.1	-0.1	-0.7	
Ps	-0.4	0.8	0.5	-0.3	-0.3	<b>1.0</b>	1.0	<b>1.0</b>	-0.3	0.8	-0.5	0.4	-0.2	-0.6	0.1	0.5	-0.1	<b>1.0</b>	-0.6	0.7	-0.3	-0.2	-0.2	-0.9	
Gc	-0.4	0.8	0.5	-0.3	-0.3	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	1.0	-0.3	0.8	-0.5	0.4	-0.2	-0.6	0.1	0.5	-0.1	<b>1.0</b>	-0.6	0.7	-0.3	-0.2	-0.2	-0.9	
LPO-B	-0.3	-0.6	<b>-1.0</b>	0.9	0.0	0.0	-0.3	-0.3	1.0	0.2	<b>1.0</b>	-0.9	-0.9	-0.5	-0.3	-0.3	-0.9	-0.3	-0.5	-0.8	0.3	0.6	0.6	0.7	
LPO-M	-0.8	0.6	0.1	0.3	-0.6	0.9	0.8	0.8	0.2	1.0	0.0	-0.2	-0.6	-0.9	-0.3	0.0	-0.6	0.8	<b>-1.0</b>	0.2	0.1	0.4	0.4	-0.5	
LPO-H	-0.3	-0.7	<b>-1.0</b>	<b>1.0</b>	0.0	-0.3	-0.5	-0.5	<b>1.0</b>	0.0	1.0	<b>-1.0</b>	-0.7	-0.3	-0.4	-0.5	-0.8	-0.5	-0.3	<b>-1.0</b>	0.5	0.7	0.7	0.9	
Con	0.5	0.5	0.9	<b>-1.0</b>	0.3	0.2	0.4	0.4	-0.9	-0.2	<b>-1.0</b>	1.0	0.8	0.4	0.6	0.7	0.9	0.4	0.4	0.9	-0.7	-0.9	-0.8	-0.8	
pH	0.6	0.2	0.7	-0.8	0.2	-0.4	-0.2	-0.2	-0.9	-0.6	-0.7	0.8	1.0	0.9	0.3	0.2	<b>1.0</b>	-0.2	0.8	0.5	-0.2	-0.6	-0.6	-0.3	
O <sub>2</sub> Dis.	0.8	-0.3	0.3	-0.5	0.4	-0.8	-0.6	-0.6	-0.5	-0.9	-0.3	0.4	0.9	1.0	0.3	0.0	0.8	-0.7	<b>1.0</b>	0.0	-0.1	-0.5	-0.4	0.2	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.8	-0.2	0.2	-0.6	0.9	0.2	0.1	0.1	-0.3	-0.3	-0.4	0.6	0.3	0.3	1.0	0.9	0.5	0.1	0.4	0.4	<b>-1.0</b>	-0.9	-0.9	-0.3	
SO <sub>4</sub>	0.5	0.0	0.3	-0.6	0.7	0.5	0.5	0.5	-0.3	0.0	-0.5	0.7	0.2	0.0	0.9	1.0	0.3	0.4	0.1	0.6	<b>-1.0</b>	-0.9	-0.9	-0.5	
Dur.	0.7	0.2	0.8	-0.9	0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.9	-0.6	-0.8	0.9	<b>1.0</b>	0.8	0.5	0.3	1.0	-0.1	0.8	0.6	-0.4	-0.8	-0.7	-0.4	
F T	-0.5	0.8	0.5	-0.3	-0.4	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	-0.3	0.8	-0.5	0.4	-0.2	-0.7	0.1	0.4	-0.1	1.0	-0.7	0.7	-0.3	-0.1	-0.1	-0.8	
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0.8	-0.4	0.2	-0.5	0.5	-0.8	-0.6	-0.6	-0.5	<b>-1.0</b>	-0.3	0.4	0.8	<b>1.0</b>	0.4	0.1	0.8	-0.7	1.0	0.0	-0.2	-0.5	-0.5	0.2	
DBO	0.1	0.8	0.9	-0.9	0.0	0.6	0.7	0.7	-0.8	0.2	<b>-1.0</b>	0.9	0.5	0.0	0.4	0.6	0.6	0.7	0.0	1.0	-0.5	-0.7	-0.6	<b>-1.0</b>	
C T	-0.6	0.1	-0.3	0.7	-0.8	-0.4	-0.3	-0.3	0.3	0.1	0.5	-0.7	-0.2	-0.1	<b>-1.0</b>	<b>-1.0</b>	-0.4	-0.3	-0.2	-0.5	1.0	0.9	0.9	0.5	
C F	-0.8	0.0	-0.5	0.9	-0.7	-0.1	-0.2	-0.2	0.6	0.4	0.7	-0.9	-0.6	-0.5	-0.9	-0.9	-0.8	-0.1	-0.5	-0.7	0.9	1.0	<b>1.0</b>	0.5	
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-0.8	0.0	-0.5	0.9	-0.7	-0.1	-0.2	-0.2	0.6	0.4	0.7	-0.8	-0.6	-0.4	-0.9	-0.9	-0.7	-0.1	-0.5	-0.6	0.9	<b>1.0</b>	1.0	0.5	
NH <sub>4</sub>	0.1	-0.9	-0.9	0.7	0.2	-0.7	-0.9	-0.9	0.7	-0.5	0.9	-0.8	-0.3	0.2	-0.3	-0.5	-0.4	-0.8	0.2	<b>-1.0</b>	0.5	0.5	0.5	1.0	

Po: *Polymosphus* sp.; So: *Southwellina* sp.; Co: *Contraecum* sp.; Ps: *Pseudoterranova* sp.; GC: *Glossocercus caribaensis*;  
 Con.: Conductividad; Dur.: Dureza; F T: Fosforo Total; CT: Coliformes Totales; CF: Coliformes Fecales.



