



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

Vicerrectoría de
Vida Estudiantil

Programa de
Voluntariado

Universidad de Costa Rica
Vicerrectoría de Vida Estudiantil
Programa de Voluntariado

Informe de proyecto de voluntariado:
**Línea base poblacional y evaluación de los
impactos ambientales de la represa del río Genio
sobre las especies piscícolas dulceacuícolas
endémicas de la Isla del Coco.**

Elaborado por:
Jean-Philippe Vornière

Enero 2008

Auspician:



RESUMEN

El presente estudio presenta dos objetivos : primero el establecimiento de una línea base poblacional para las tres especies endémicas dulceacuícolas de la Isla del Coco, *Sicydium cocoensis*, *Gobiesox fulvus* y *Eleotris tubularis*, y segundo la evaluación de los impactos de la represa de toma de agua del río Genio sobre las mismas especies.

Para el estudio poblacional, la metodología utilizada está basada sobre el conteo visual, los dos ríos estudiados siendo el río Genio y el río Chatham. El buzo, después elegir sitios de muestreo en adecuación con las preferencias teóricas de hábitat de las especies de interés, se mete al agua, observa las poblaciones, y memoriza las especies encontradas, el número de individuos, su tamaño, y las tres variables de análisis que son la profundidad, la velocidad de corriente y el sustrato donde se encuentran los individuos. Los resultados informan sobre la distribución geográfica de las especies, la estructura poblacional y las preferencias de hábitat.

S.cocoensis es la especie más abundante, presenta una población joven y dinámica puesto que se encuentran todas las clases de edad en todos los puntos de muestreo, y los sub-adultos son la clase mayor en casi todos los puntos. Afecta las zonas de velocidad de corriente y de profundidad moderada y un sustrato rocoso es favorable. Incluso esta especie suele reproducirse en zonas salobres o marinas porque se encontraron una mayoría de ejemplares juveniles cerca de la desembocadura.

G.fulvus y *E.tubularis* son menos frecuentes, y no presentan una estructura poblacional equilibrada porque casi solo se observaron ejemplares adultos o sub-adultos. *G.fulvus* se encuentra en todos los puntos pero *E.tubularis* parece vivir siempre aguas abajo de los obstáculos naturales o artificiales mayores, lo que muestra una sensibilidad a los cambios morfo-dinámicos. Mientras *G.fulvus* tiene básicamente las mismas preferencias que *S.cocoensis*, *E.tubularis* suele preferir los sitios más profundos, con menos velocidad de corriente y un sustrato rocoso para descansar y arenoso para cazar.

El estudio de impacto de la represa del río GENIO muestra que la misma no tiene impacto sobre la migración de *S.cocoensis* ni de *G.fulvus* pero sí tiene un efecto sobre la de *E.tubularis*, puesto que no aparece aguas arriba de la presa. En efecto, a pesar de la presencia de un paso de migración, el dique no permite que la guavina pueda subir pues esta especie no suele afectar las zonas de corriente fuerte. Otra razón porque *S.cocoensis* y *G.fulvus* pueden subir y no la guavina es que el chupapiedras y el gobio tienen una ventosa pectoral que les permite subir paredes verticales, mientras la guavina no presenta esta ventaja. Por fin, la represa presenta impactos indirectos teóricos sobre esas especies pero no parecen influir sobre las mismas en este caso, gracias al tamaño reducido de la presa, el alto grado de conservación de la cuenca y el mantenimiento frecuente de la represa.

1. INTRODUCCION

Los ríos son uno de los tesoros naturales de la Isla del Coco y sus peces un fenómeno extraño, por su carácter aislado al continente. Al nivel de la riqueza piscícola dulceacuícola, la Isla del Coco se encuentra en la provincia íctica ístmica correspondiente, al origen, a las poblaciones piscícolas del pacífico sur. Por su aislamiento y su tamaño reducido, la diversidad piscícola de los ríos de la isla es bastante reducida, pues se encuentran tres especies piscícolas dulceacuícolas que son *Sicydium cocoensis*, *Gobiesox fulvus* y *Eleotris tubularis*, y que conviven con otras dos especies no endémicas que son *Eleotris picta* y *Agonostomus monticola*.

Hace varios siglos, los hombres trajeron animales y plantas para proporcionar comida a base de carne y plantas para que la vida sea sostenible para los hombres. Sin embargo, la ausencia de depredadores naturales aparte del hombre, asociada a la abundancia de comida dio lugar rápidamente a una sobrepoblación de esos mamíferos. Aquella sobrepoblación concernió las especies animales de cerdos, venados y ratas. En cuanto a los vegetales, el café, entre otros, se desarrolló mucho.

Este fenómeno alteró el mantenimiento de las comunidades animales como vegetales endémicas de la isla.

Por eso, se puso en marcha el proyecto de Mejoramiento de las prácticas de manejo de conservación que se divide entre dos sub-proyectos: "Restauración de la fauna" y "Restauración de la flora", siendo el objetivo controlar o más bien erradicar las especies invasoras. Para realizar este proyecto, varias soluciones son utilizadas pero para erradicar las ratas el uso de pistolas no suele ser eficiente, y el uso de granulados anti-ratas daña los pájaros. Entonces se piensa en utilizar químicos.

Entonces, para evaluar posteriormente el impacto del uso de químicos sobre la calidad de agua de los ríos, se quiere establecer una línea base poblacional en relación con las especies endémicas dulceacuícolas.

Por otra parte, En 2005, se realizó la creación del proyecto hidroeléctrico Genio en el lecho del río Genio para proporcionar electricidad a la base Wafer.

Este proyecto se compone de un dique a 1000 m de la sala de máquinas, una tubería de la misma distancia y una sala de máquinas compuesta de dos turbinas y luego se devuelve el agua extraída 100 metros aguas abajo.

Poco antes y poco después de esta construcción, un estudio poblacional se hizo en el río Genio a bajo y arriba de la represa de toma de agua para conocer los impactos de la misma sobre las poblaciones piscícolas.

Hoy en día, dos años después la construcción de aquel proyecto, se requiere medir de nuevo el impacto ambiental del proyecto sobre las tres especies dulceacuícolas endémicas que son el Chupapiedras de la isla del Coco (*Sicydium cocoensis*), el Gobio de la isla del Coco (*Gobiesox fulvus*) y de la guavina *Eleotris tubulares*.

2. OBJETIVOS

2.1. Primer tema: Establecimiento de una línea base poblacional de las especies endémicas dulceacuícolas siguientes: *Sicydium cocoensis*, *Gobiesox fulvus* y *Eleotris tubularis*.

2.2. Segundo tema: Evaluación del impacto ambiental de Proyecto Hidroeléctrico sobre las poblaciones de las tres especies endémicas de peces enunciadas en el primer tema.

3. RESULTADOS ESPERADOS

3.1. Obtener a partir del trabajo práctico, un conocimiento de la distribución geográfica de las tres especies de estudio, la estructura poblacional, y las preferencias de hábitat de las mismas.

3.2. Determinar como afecta los obstáculos tanto naturales como artificiales de los dos principales ríos de la Isla del Coco sobre las especies piscícolas dulceacuícolas endémicas de la isla.

3.3. Conocer los efectos negativos de la represa del río Genio, determinar la eficiencia del paso de migración existente en la obra, y poder mejorar las operaciones de mantenimiento de la misma.

4. METODOLOGÍA.

4.1. Área de estudio

La isla del Coco se encuentra a más de 530 km al sur-oeste de la costa pacífica de Puntarenas, Costa Rica, entre los paralelos latitud $5^{\circ} 30''$ y $5^{\circ} 34''$ y los meridianos $87^{\circ} 1''$ y $87^{\circ} 6''$. Ocupa una superficie de 24 km². El río Genio y el río Chatham son los principales ríos de la isla y los que son los más accesibles.



Fuente: "Isla del coco, evaluación de esquemas para micro-centrales hidroeléctricas, informe preliminar, San José, Agosto 1999"

La cuenca del río Genio se extiende sobre una superficie de 3,4 km² y el río Chatham sobre 1,5 km². El río Genio se desemboca en la bahía Wafer donde se encuentra la base de los guarda-parques y corre sobre 5 km. El río Chatham se desemboca en la bahía Chatham y nace 3,5 km arriba en los llanos de la isla. Siendo un área salvaje uniforme, se caracterizaran las cuencas como parte integrante de la isla.

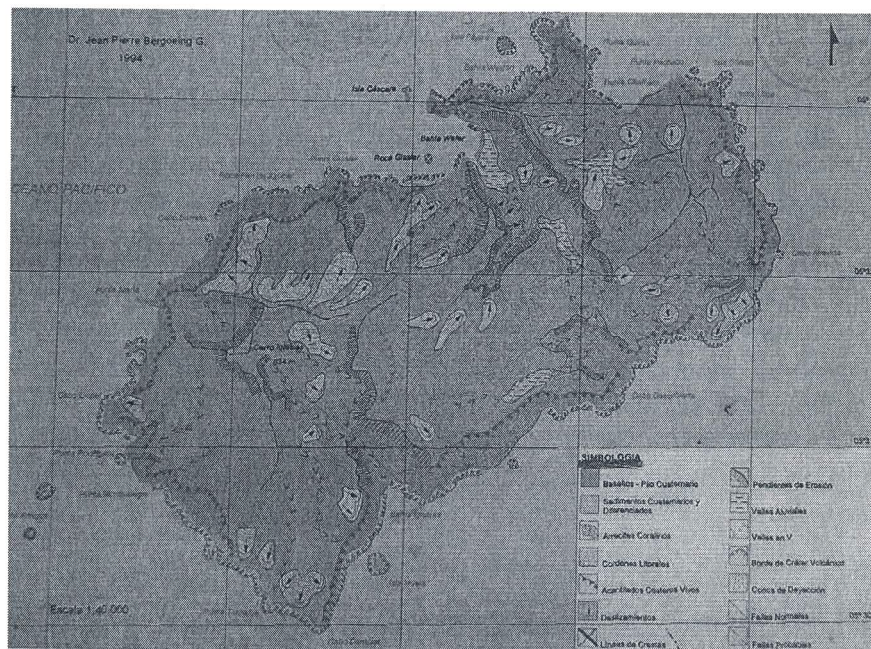
4.1.1. Zonas de Vida:

La isla del Coco es dominada por varios tipos de formaciones: el Bosque muy Húmedo Premontano, el bosque nuboso y el bosque lluvioso. El clima de la isla se caracteriza por la presencia de lluvia todos los meses, sin estación seca propia. Las precipitaciones promedio varían entre 5000 y 7000 mm/año. No se tienen a disposición datos sobre promedio de precipitación ni de temperaturas respecto de la isla.

4.1.2. Usos del suelo:

Siendo antiguamente un volcán, el subsuelo es mayoritariamente compuesto de materia volcánica. Los suelos son mayoritariamente arcillosos, con propiedades ándicas. Con respecto a la geología de la cuenca, de observan en el mapa 2 de geomorfología la presencia de basaltos ligados al origen volcánico de la isla. También se encuentran zonas esporádicas de sedimentos que son sujetas a procesos de deslizamiento.

Mapa 2 : Geomorfología de la isla del Coco (fuente: Isla del Coco)



En toda la isla, la única actividad humana consiste en la conservación de los espacios naturales, que son sujetos a todos tipos de medidas de protección.

Entonces, con respecto al uso del suelo, solamente las bahías Chatham y Wafer están aprovechadas por el hombre como base de vida para los guardaparques.

Sino el resto es a 100% natural, ocupado por un bosque natural denso a muy denso. La pendiente muy fuerte asociada a las lluvias intensas favorece la formación de zonas de erosión.

4.1.3. Hidrología - Calidad de las aguas

El río Genio corre sobre una distancia de 5 km y su caudal disponible al nivel de la Desembocadura es de 0,5 m³/s. Con respecto al río Chatham, aquel río presenta un caudal de 0,214 m³/s o sea 214L/s.

Esos datos pueden variar, dependiendo de la intensidad de las lluvias. Aquellos caudales fueron medidos en día regular, es decir durante un día de lluvia moderada, lo que corresponde a una cantidad promedio de lluvia. (Anexo I: Metodología de medición de caudal)

No se tiene a disposición datos promedios con respecto a la hidrología ni para el río Genio ni para el río Chatham por la ausencia de medidas regulares de caudal.

Una toma de agua para el uso hidroeléctrico se establece a 1,3 km aguas arriba de la desembocadura, extrae un caudal de 20L/s que alimenta dos turbinas y entrega este mismo caudal al río al nivel del puente.

En cuanto a la calidad de las aguas, el ICE realizó en 2001 y 2002 un estudio de la calidad de agua que se encuentra en anexo II. Sale de este estudio que la mayoría de los compuestos físico-químicos del agua dulce de la isla se encuentra muy por debajo de las normas internacionales. Eso significa que globalmente el agua es naturalmente potable.

Sin embargo, algunas estaciones de estudio revelaron valores de cadmio Cd y de hierro Fe superiores a las normas, en particular, en el río Genio y en algunas de sus quebradas. Suelen proceder del origen volcánico de los suelos sobre los cuales corren los ríos, o sea de origen natural, es decir no hay contaminación de origen humano.

Con respecto a los efectos sobre la salud, el Cadmio es un elemento pesado que se acumula en el hígado y en los riñones, causando problemas de nefrotoxicología. En cuanto al hierro, no se considera negativo para la salud.

(Fuente: Proyecto Estudio de factibilidad y diseño para la construcción de infraestructura y servicios de apoyo en el parque nacional isla del Coco", Anexo 10, "Características de las aguas dulces insulares", área de conservación marina Isla del Coco, Agosto 2003)

4.2 Primer objetivo: Línea base poblacional para las especies dulceacuícolas *Sicydium cocoensis*, *Gobiesox fulvus*, y *Eleotris tubularis*.

El objetivo del presente estudio consiste en conocer el estado de las poblaciones de los peces dulceacuícolas endémicos de la isla para medir luego la evolución de las mismas a lo largo del tiempo y consecuentemente a operaciones humanas para realizar el proyecto de restauración de fauna.

El establecimiento de la línea base poblacional se compone de dos aspectos principales:

- Determinación de las preferencias de hábitat para las tres especies de estudio, para luego elegir puntos de muestreos adecuados,
- Determinación de la estructura poblacional para cada especie.

Primero, la determinación de las preferencias de hábitat está incluida en el proyecto "Caudal de compensación", proyecto desarrollado por el equipo de Anny Chavez, ICE. El objetivo es reducir el impacto ambiental de las represas hidroeléctricas sobre las especies indicadoras de los ríos de Costa Rica. Se aplica en este caso porque este río está sujeto al aprovechamiento hidroeléctrico por el ICE. Aquí las especies indicadoras son las especies endémicas porque son consideradas como las más sensibles.

También, las preferencias de hábitat están relacionadas con el tema de la línea base poblacional, en la medida en que aportan datos interesantes para conocer concretamente las especies dulceacuícolas.

Entonces este estudio se desarrolla según las etapas siguientes:

- Identificación de las especies,
- Adquisición de conocimientos sobre las especies de interés y sus preferencias,
- Elección de variables para la determinación de las restricciones ambientales,
- Comprobación práctica de la teoría, y elaboración de la línea base poblacional.
- Determinación del impacto de la catarata y de la presa de toma de agua sobre

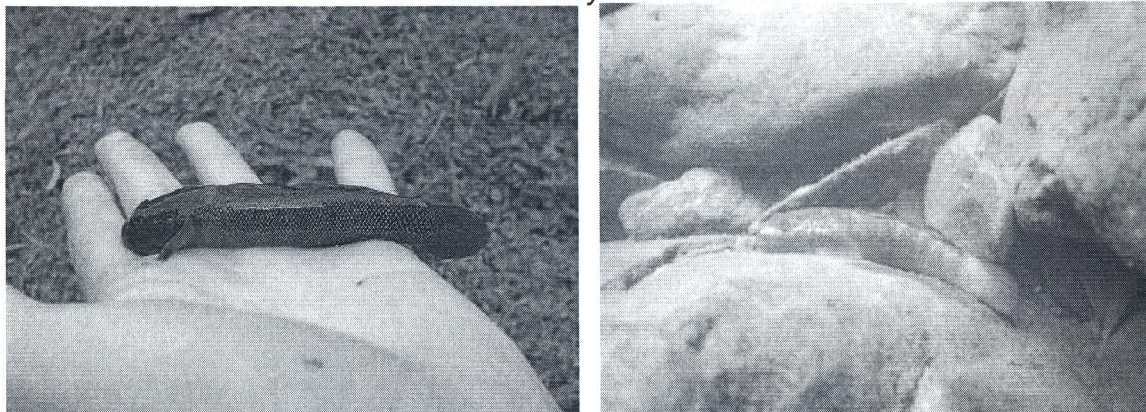
4.2.1. Identificación de las especies.

Conformemente al estudio de preferencias de hábitat, se tuvo que determinar las especies indicadoras o sea las especies por las cuales se realiza este estudio. Por su carácter aislado, la isla presenta especies endémicas que son las que serán identificadas como indicadoras.

En efecto, esas mismas especies, siendo propias de la isla, son ideales para determinar un impacto posible de las actividades humanas sobre los ríos de la isla y su ictyofauna.

- Chupapiedras de la isla del Coco (*Sicydium cocoensis*)

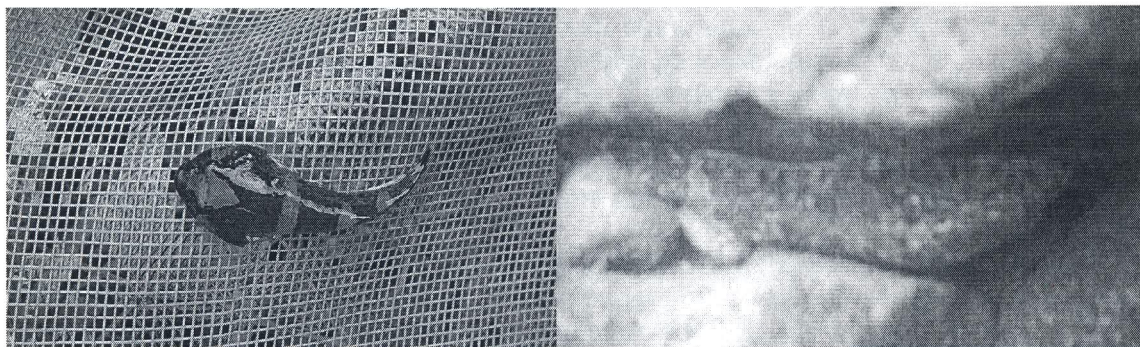
Foto 1 : *Sicydium cocoensis*



El Chupapiedras de la isla del coco se distingue del *S.altum* por el color de sus escamas. En efecto, las del *S.cocoensis* tienen colores negro y café claro, la cabeza de color pardo y las aletas de color anaranjado. Los machos tienen la parte caudal de color amarillo-anaranjado y presentan un comportamiento territorial muy marcado. Este pez alcanza 15cm.

- El Gobio de la isla del Coco (*Gobiesox fulvus*)

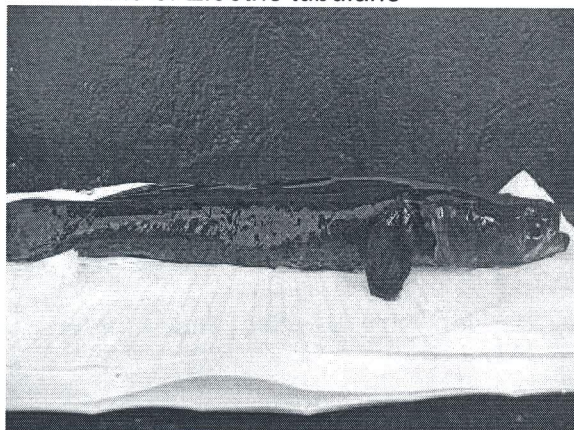
Foto 2: *Gobiesox fulvus*



Gobiesox fulvus tiene rayas de color café claro sobre todo el cuerpo, apareciendo a veces. El color puede variar pero se observa siempre una mancha negra sobre la aleta dorsal. Más grande es, más territorio tiene y es bastante agresivo. La distinción entre macho y hembras no se pudo realizar. Puede alcanzar en la isla un tamaño de 15cm.

- La guavina (*Eleotris tubulares*)

Foto 3: *Eleotris tubularis*



Este pez se distingue de *Eleotris picta* por la presencia de escamas grandes mientras *E.picta* presenta escamas pequeñas. También tiene pequeños puntos en las aletas caudales y pectorales mientras los puntos de cola de *E.picta* forman bandas verticales de color homogéneo. Alcanza 30cm.

Fuente : Rev. biol. trop v.53 n.s2 supl.2 San José jun. 2005

4.2.2. Adquisición de conocimientos sobre las especies y sus preferencias.

Para establecer una línea base poblacional, hemos de saber donde se pueden encontrar los peces, es decir conocer sus preferencias de hábitat. Por eso, la etapa previa al trabajo de campo es acumular conocimientos teóricos sobre esos peces, en cuanto a la biología, la ecología y particularmente en este caso, las preferencias teóricas de hábitat. En el caso del estudio, por la escasez de datos sobre esas especies, puesto que son endémicas y poco conocidas, se refiere a las preferencias de hábitat teóricas de los peces del mismo género que se encuentran en Costa Rica.

Por ejemplo, se estudiaron las preferencias de hábitat para *Sicydium altum*, *Gobiesox nudus* y *Eleotris Picta* para conocer las respectivas a *S.cocoensis*, *G.fulvus* y *E.tubularis*. Esos datos fueron encontrados en los trabajos relacionados con el proyecto "Caudales de compensación", Anny Chavez, ICE.

Además, se buscaron conocimientos en "Peces de las aguas continentales de Costa Rica", w.Bussing, 1998.

4.2.3. Elección de variables para la determinación de las restricciones ambientales.

La metodología de estudio fue sacada del proyecto "Caudales de compensación", Anny Chavez, ICE.

Las variables que se utilizaron para definir las restricciones ambientales para el Gobio, el Chupapiedras y la Guavina fueron la Velocidad de corriente, la Profundidad y el Sustrato.

▪ Velocidad de corriente:

Es un factor determinante para la vida del pez porque los peces se distinguen según:

- El ritmo de vida : nadador, escondido o fijado;
- La técnica de caza y el régimen alimenticio: caza en puesto, caza en perseguida para los depredadores, fijación para los herbívoros, removida del fondo para los detritívoros, etc.
- Los requisitos en oxígeno: las necesidades propias a cada especie.

De hecho la velocidad de corriente de un río determina la presencia de tal especie u otra. Se definieron cinco términos de velocidad: muy lento, lento, moderado, rápido, muy rápido. Los detalles de esos términos están en el cuadro 1.

Cuadro 1. Equivalencia de términos para velocidades de flujo

TERMINO	VELOCIDAD en m/s
Poza (muy lento)	< 0,2
Baja (lento)	0,2-0,4
Moderado	0,4-0,8
Fuerte (rápido)	0,8-1,2
Muy fuerte	> 1,2

Fuente: Proyecto de caudales de compensación, Anny Chaves.

▪ Profundidad:

La profundidad, más que todo, determina el tamaño de los peces, es decir que un río que tiene una escasa profundidad no puede permitir la vida de un pez de gran tamaño porque básicamente, las condiciones físicas del medio no lo permiten.

Además, se encuentran especies que necesitan zonas más profundas para esconderse o también que necesitan una escasa luminosidad, lo que se obtiene en los sitios más profundos.

Se eligieron cinco niveles de profundidad:

- <0,1 m: A bajo de ésta profundidad, no se pueden encontrar ningún pez adulto distinto que las Olominas (*Phallichthys amates*)

- < 0,25 m: A bajo de ésta profundidad, se considera que los peces de altura superior a 25 cm no se pueden encontrar.
- 0,25-0,35 m: A este nivel, se considera el hecho de que se pudieran observar peces pequeños y también peces más grandes porque permitiría el paso de aquellos.
- 0,35-1 m: Esta zona coincide con los sitios de vida para una larga diversidad de peces de tamaños distintos.
- >1 m: se considera que las profundidades mayores a 1m son zonas para peces nadadores de gran tamaño.

▪ Sustrato:

El sustrato es muy importante porque constituye el hábitat de los peces que cazan al acecho y otros se esconden, se fijan, comen y se reproducen. A veces, el sustrato suele ser un estímulo para la reproducción, otras veces es el sitio donde se encuentran los macro-invertebrados que ciertos peces comen. Las denominaciones de tipos de sustratos son los siguientes: arcilloso, limoso, arenoso, grava, pedregoso, rocoso.

En el cuadro 2 se presentan las preferencias de hábitat teóricas para las tres especies de estudio.

Cuadro 2 : Preferencias teóricas de habitats para las tres especies de estudio				
Especie	categoria	Velocidad en m/s	Profundidad en m	Sustrato
Gobio (<i>Gobiesox fulvus</i>)	Optimo	moderado	0,2-0,5	grava, pedregoso, rocoso
Guavina (<i>Eleotris tubularis</i>)	Optimo	bajo	0,5-2	Arenoso, rocoso
Chupapiedras (<i>Sicydium cocoensis</i>)	Optimo	moderado	0,25-1	grava, pedregoso, rocoso

Fuente: Proyecto de caudales de compensación, Anny Chaves.
Peces de las aguas continentales de Costa Rica, w.Bussing.

4.2.4. Comprobación práctica de la teoría, y elaboración de la línea base poblacional.

El trabajo de campo se hizo con respecto al modo operatorio siguiente:

- En primer lugar, la elección de sitios de muestreos: Se eligieron sitios de muestreo que presentaban las características propias de los hábitats teóricos óptimos. Generalmente elegimos colas de pozas con profundidad creciente alrededor de 50 cm o más, de corriente baja a moderada según el caudal variable a lo largo del tiempo, con sustrato de grava o pedregosos.

Se eligió estudiar 6 sitios de muestreo en el río Genio y 4 en el río Chatham. El objetivo es tener una diversidad de sitios y hacer más representatividad de los resultados (ver mapa 3).

Los 6 sitios en el río Genio corresponden a:

- Punto 1 : aguas arriba de la catarata,
- Punto 2 : poza de la catarata,
- Punto 3: arriba de la presa de la toma de agua,
- Punto 4: bajo de la presa de la toma de agua,
- Punto 5: punto equidistante entre la presa y el desfogue,
- Punto 6: poza del puente, donde se devuelve el caudal extraído por la

presa.

Cada punto de muestreo tiene una justificación, los puntos 1 y 2 sirven para medir un posible impacto de la catarata sobre la libre circulación de los peces.

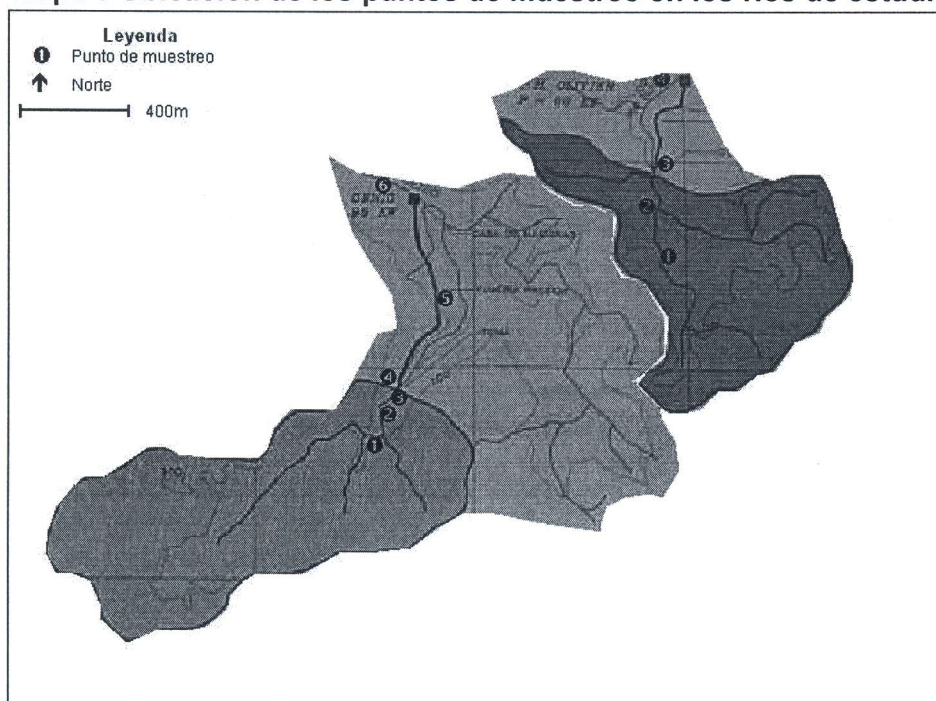
Los puntos 3 y 4 miden el impacto de la presa sobre la misma circulación mientras los puntos 5 y 6 miden las diferencias de poblaciones relacionadas con la reunión de los dos brazos del río y luego con el desfogue.

Los 4 sitios de estudio en el río Chatham son:

- Punto 1: fuente del río,
- Punto 2: Confluencia con "la quebrada del venado",
- Punto 3: Poza arriba de las cataratas,
- Punto 4: Desembocadura.

Para aumentar la fiabilidad de los resultados, se eligió hacer una repetición cada semana para cada sitio de muestreo, porque las condiciones climatológicas en esta zona cambian mucho y determinan las variaciones físicas del río. Entonces se hicieron 4 repeticiones, así que tenemos 5 muestreos para cada sitio. (ver descripción de los sitios de muestreos en anexo III)

Mapa 3 Ubicación de los puntos de muestreo en los ríos de estudio

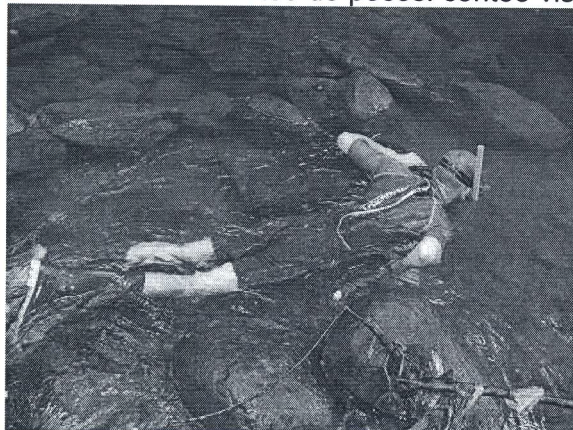


- En segundo lugar, la descripción del material y de la organización de los muestreos: En cada muestreo, se trata de definir la presencia de las tres especies de interés y por otro lado el sustrato, la profundidad y la velocidad de corriente.

Para el conteo de los peces, por falta de material de pesca como redes o attarayas, solo se utilizó el conteo visual, así que tuve que contar con el clima. Efectivamente, a menudo las lluvias intensas causaron una turbidez importante que no permitía trabajar.

A pesar de las limitaciones de este método, debido a los factores climáticos, aquel método permite analizar de manera precisa y concreta la vida acuática, la repartición geográfica de los individuos y la estructura poblacional en cada sitio, lo que es muy adecuado para establecer una línea base poblacional.

Foto 4: método de conteo de peces: conteo visual



Por trabajar sólo en el río, el método de registro de los individuos fue el siguiente:

- Primero, buceando, se observan los peces, identificándolos, y analizando en mismo tiempo la repartición geográfica de los mismos en el lecho del río, la estructura de tamaños, y los comportamientos de los peces entre ellos, y luego el sustrato, la profundidad y la velocidad. El buzo tiene que memorizar esos datos cada vez que encuentra un nuevo grupo de individuos. Por la dificultad de este ejercicio, casi siempre se consideró una distribución homogénea de los individuos para los Chupapiedras que se encontraron en mayor densidad.
- Luego, saliendo del agua, el buzo rellena una "hoja método" disponible en anexo IV. Indica la especie que encontró, el número de individuos o la densidad en caso de grandes cantidades repartidas de forma homogénea, repartición de tamaño, la actividad, y las tres variables que son la profundidad, el sustrato y la velocidad de corriente donde se encontraron los individuos. Después, para permitir una estimación numérica de las poblaciones encontradas, se determina el área de estudio.

Visualmente, la estimación de la distribución de edades en la población se realiza gracias a la distribución de tamaño, como se ve en el cuadro 3.

Cuadro 3: Determinación de la edad según el Tamaño

	Juvenil	Subadulto	Adulto
<i>S.cocoensis</i>	<3cm	3-8cm	>8cm
<i>G.fulvus</i>	<3cm	3-8cm	>8cm
<i>E.tubularis</i>	<10cm	10-20cm	>20cm

De esta manera, se pueden segregar los individuos observados según aquel rango de tamaño, y al final determinar la estructura de edad en la población observada. A parte de esos datos, se tiene que describir los datos generales con respecto a la hora, el clima, la visibilidad y las observaciones que pueden ayudar al análisis de los datos.

Con respecto a la medición de la profundidad y la velocidad de corriente, puesto que yo trabajé solo, sin ayuda en la mayoría del tiempo y por falta de material adecuado, solo se pudo estimar esos datos mirando el curso general de río o con herramientas básicas tales como las que se utilizaron para medir el caudal (Anexo I).

El registro de los datos de presencia da lugar a la elaboración de la línea base poblacional. Se obtiene para cada sitio una densidad o un estado de las poblaciones con respecto a las tres especies endémicas. Aquellos resultados se podrán seguir estudiando a lo largo del tiempo, repitiendo el estudio en los sitios de muestreo elegidos. De esta manera, se podrá determinar la evolución de las poblaciones de aquellas especies de interés.

4.2.5. Medición del impacto de la catarata y de la presa de toma de agua sobre la libre circulación de las tres especies de estudio.

La elección de los puntos de muestreo como puntos estratégicos permitió analizar los efectos de la presencia de los obstáculos naturales y artificiales tanto en el río Chatham como en el río Genio.

De hecho, las diferencias encontradas en cuanto a las poblaciones, cuantitativas y calitativas entre los puntos, muestran los impactos de aquellos obstáculos.

Básicamente los obstáculos conocidos en el río Genio son:

- la catarata
- la presa de toma de agua para el aprovechamiento hidroeléctrico

En el río Chatham, las cataratas sucesivas pueden ser consideradas como obstáculos. (ver mapa 4 ubicación de los obstáculos). Por fin el análisis de los impactos de esos obstáculos sobre la circulación de las especies de estudio fue hecho gracias al programa STAT BOX, con el análisis de varianza entre las diferencias observadas arriba y debajo de aquellos obstáculos.

Foto 5 : represa de toma de agua



La Presa de toma de agua del río Genio mide 9,3m de ancho, 1,4 m de alto y 2,3m de longitud.

Extrae un caudal promedio de 20 L/s mediante parrillas. El edificio está equipado de un paso de migración para peces.

Foto 6: cataratas del río Chatham



Las cataratas del río Chatham son una serie de cataratas de 2 m de altura, se sitúan a unos 20m de la desembocadura

Mapa 4 Ubicación de los obstáculos

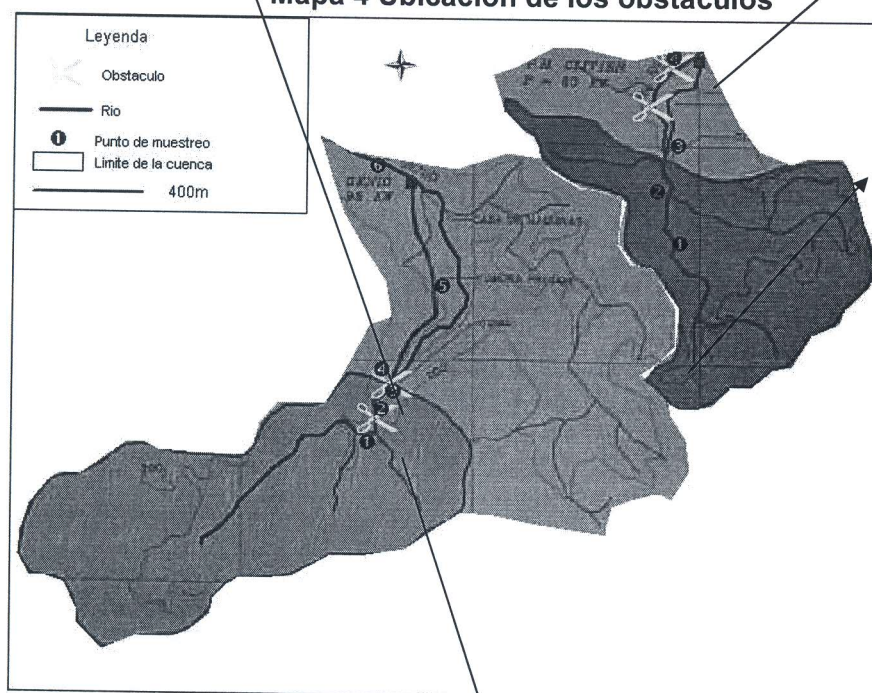


Foto 7: catarata del río Genio

La catarata del río Genio mide al rededor de 25 m de altura, y se encuentra a unos 100 m aguas arriba de la presa de toma de agua, o sea a 1,3 km de la desembocadura.

Esta situada más o menos a la mitad del curso del río entre la fuente y la desembocadura.



El establecimiento de la línea base poblacional, mediante el estudio de sitios de muestreos, introduce el segundo tema: la evaluación de los impactos de la presa de toma de agua sobre las tres especies de peces endémicos dulceacuícolas.

4.3. Segundo objetivo: Evaluación de los impactos ambientales de la presa de toma de agua sobre las especies de peces dulceacuícolas endémicos de la Isla del Coco: *Sicydium cocoensis*, *Gobiesox fulvus* y *Eleotris tubulares*.

El objetivo de este estudio es determinar como afectan la presencia y el funcionamiento de la represa de toma de agua sobre las tres especies de peces endémicos de los ríos de la isla del Coco.

Dos criterios se pueden considerar con respecto a los impactos de la represa: directos o indirectos. Por un lado, los efectos directos de la presa están relacionados con su presencia como obstáculo a la libre circulación piscícola.

Por otra parte, los efectos indirectos de la represa se refieren a los efectos del dique en cuanto a la dinámica fluvial del río, la cual interfiere con la vida acuática. En este caso se refiere también al caudal extraído por el funcionamiento de la planta.

Por fin, la interpretación de los resultados estadísticos de las diferencias de poblaciones piscícolas entre la parte arriba y debajo de la represa permitirá determinar el impacto de la misma sobre las especies piscícolas endémicas de la isla del Coco.

4.3.1. Impactos directos:

Para medir los impactos directos de la represa, se tiene que analizar el dique por los efectos de su presencia en el lecho del río, es decir como obstáculo a la circulación de los peces.

Por eso, dos etapas:

- Análisis teórico: Evaluación teórica de la franqueabilidad del dique por las especies de interés en este estudio, mediante varios criterios que dependen directamente de las capacidades físicas de los peces estudiados.

Todos esos peces viven en el fondo, fijados a un sustrato de tipo rocas para *S.cocoensis* y *G.fulvus*, y pegados y dormidos bajo las piedras para *E.tubularis*. Todas esas especies tienen una movilidad reducida.

Los gobiidaes y gobiesocidaes que comprenden respectivamente *S.cocoensis* y *G.fulvus* presentan una ventosa resultada de la unión de las aletas pectorales que les permite subir paredes verticales y altas. Por lo tanto, la altura de caída de agua no es un problema para aquellas especies.

Para la Guavina (*E.tubularis*), siendo un Eleotridae sin ventosa y de poca movilidad, el tema de la migración es más delicado por la ausencia de datos sobre las capacidades físicas del pez. Solo se sabe que la velocidad de corriente suele ser el factor limitante de su repartición geográfica. Así que esta especie pareciera muy sensible a todo cambio de morfo-dinámica del río.

(Fuente: Taxonomía, biología y ecología de la guavina (*Gobiomorus maculatus*) (Gunther, 1859) de las planicies costeras de la vertiente del pacífico de Costa Rica, resumen, Alpírez Quesada, Oliver Tesis de Maestría. 1985)

Entonces la definición de límites en los criterios de franqueabilidad del dique se refiere a las capacidades del pez Guavina (*Eleotris tubularis*).

Aquellos criterios son los siguientes:

- la altura de la caída de agua: no tiene que ser demasiado grande para permitir el paso de las especies o sea no superar el tamaño de la guavina cuyas capacidades físicas son desconocidas. Escogemos 30 cm que es el tamaño promedio de las guavinas observadas en el trabajo de campo.
- el espesor de la lamina de agua arriba del obstáculo: no puede ser menos de 10 cm para permitir el paso del pez bajando como subiendo,
- la velocidad de corriente que no debe alcanzar la velocidad de natación de la guavina, la cual puede superar 2m/s.
- la presencia de una profundidad adecuada abajo del obstáculo en el caso de la necesidad de saltar. Aquella poza tiene que medir 1,25 * altura de caída de agua, o sea 40 cm.

(Fuente : Causes et Impacts de l'ensablement et des seuils sur les populations piscicoles et hydrobiologiques sur les rivières Sédelle, Cazine et Brézentine, JPh Vornière, 2004).

Para determinar la franqueabilidad del dique, se utilizó una "hoja metodología" (ver Anexo B1) donde se rellenan todos los datos respecto de las dimensiones del edificio, y otras informaciones útiles para la determinación del impacto del dique sobre las poblaciones piscícolas.

- Análisis práctico de las diferencias de poblaciones de las tres especies de estudio entre las partes abajo y arriba del dique. Este análisis se realizó gracias al trabajo de campo para el estudio de Línea base poblacional. Permite validar o rechazar los resultados del análisis teórico. La metodología utilizada para este trabajo esta detallada en la metodología del primer tema: Establecimiento de la Línea Base Poblacional para *S.cocoensis*, *G.fulvus* y *E.tubularis*,

4.3.2. Impactos indirectos:

Los impactos indirectos de la represa sobre las especies de interés conciernen los cambios físicos e hidrológicos del río, causados por la presencia y el funcionamiento de la represa hidroeléctrica, que influyen sobre las tres funciones de vida piscícola: vivir, comer y reproducirse.

Se pueden segregar los impactos indirectos del edificio según dos criterios:

- Impactos por presencia del dique:

Mayoritariamente, son los impactos que se manifiestan aguas arriba del edificio.

Se tratan de los aspectos físicos del río como la pérdida de velocidad de agua, al aumento de profundidad, la acumulación de sedimentos detenidos y las consecuencias que les acompañan.

- Impactos por la actividad hidroeléctrica:

Aquellos impactos están relacionados con la extracción de caudal utilizado para producir electricidad. Básicamente son los efectos de la presa aguas abajo del dique. Igualmente se tratan de los cambios de morfo-dinámica del río, es decir la pérdida de caudal, y los cambios en cuanto al ancho, la profundidad, la velocidad entre otros que pueden causar molestias para la vida de los peces.

Los efectos del caudal se pueden observar a partir de un porcentaje de caudal extraído conocido. Por lo tanto, una medición del caudal al nivel de la represa permitió conocer el porcentaje extraído. Luego, al comparar este resultado con los datos teóricos del ICE, con respecto al caudal ecológico que es el caudal mínimo que el río puede soportar sin observar efectos negativos sobre la vida acuática, se podrá determinar si hay o no un impacto de la extracción de caudal sobre las especies estudiadas.

La metodología ejecutada para evaluar los otros impactos indirectos se establece sobre el análisis visual por debajo del agua o desde el exterior. Los criterios de evaluación de aquellos impactos indirectos son, de acuerdo al mantenimiento de las tres funciones vitales de la vida acuática, los siguientes:

- Disponibilidad en hábitats:

- Cantidad de hábitat : variación del numero de hábitats y causas,
- Calidad de hábitat: diversidad de los hábitats.

- Disponibilidad de la comida:

- Cantidad : variación de la cantidad de comida, por variación de la disponibilidad en hábitat o en comida de las presas,
- Calidad: diversidad de la comida.

- Disponibilidad de sitios de reproducción:

- Acceso a sitios de reproducción, circulación
- Cumplimiento de las condiciones de reproducción

- Evolución de la cualidad fisico-química del agua.

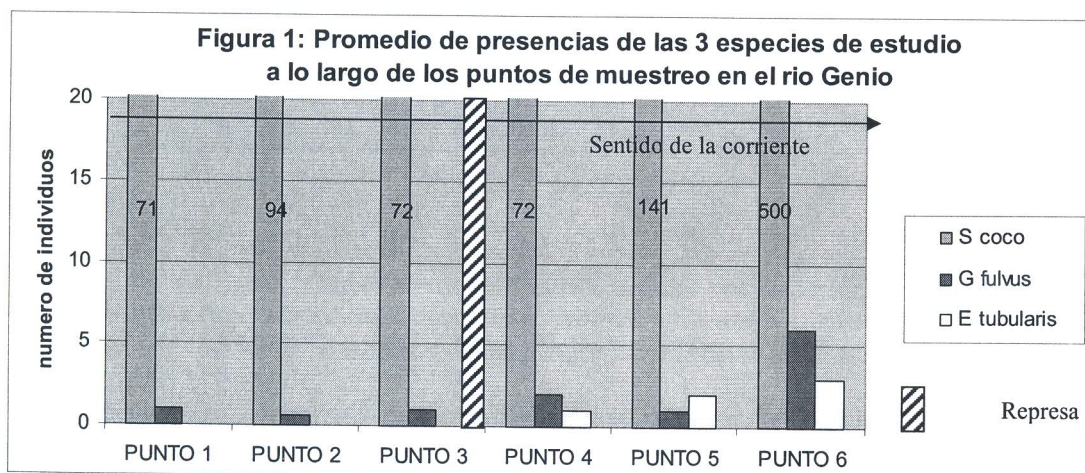
5. RESULTADOS

5.1. Resultados del primer tema.

5.1.1. Distribución geográfica y abundancia a lo largo del río:

- Río Genio

Primero, las cantidades de peces observados a lo largo de los 6 sitios de estudio en el río Genio se pueden apreciar en la figura 1.



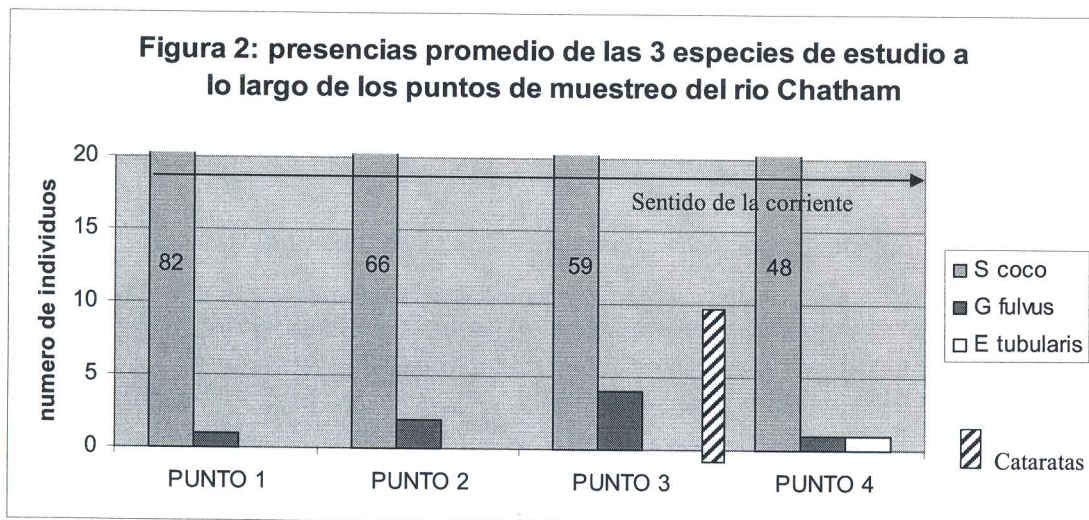
Esta figura muestra que *Sicydium cocoensis* se encuentra de manera abundante al lo largo de los 6 sitios, y más específicamente en el punto 6, que es el punto más cerca de la desembocadura que se sitúa a 300 metros.

Gobiesox fulvus se encuentra en cada punto de forma esporádica, con un pico en este mismo punto 6.

Por fin, *Eleotris tubularis* se encontró solamente en los puntos 4, 5, 6 o sea los sitios debajo de la represa de toma de agua.

Como introducción previa al estudio de impacto ambiental de la represa, se puede ver que aquella represa forma el límite de la distribución geográfica de la Guavina *Eleotris tubularis*.

- Río Chatham:



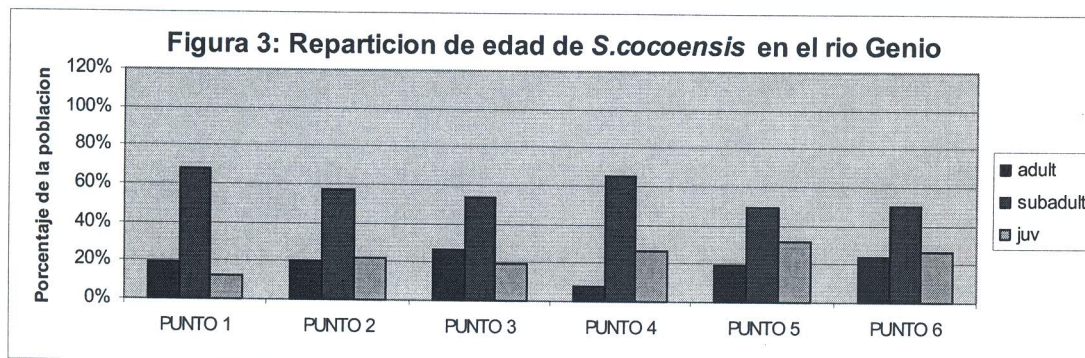
En la figura 2, se puede ver que la especie más presente en el río Chatham es *S.cocoensis*, como en el río Genio. *G.fulvus* se encuentra de forma continua en el río, a pesar de una presencia esporádica, mientras *E.tubularis* solamente se encuentra en el punto 4.

Se nota que arriba de las cataratas que forman una serie de obstáculos naturales de al rededor de 2 metros de altura, ya no se encuentra aquella guayina.

5.1.2. Distribución de edad:

▪ *S.cocoensis*:

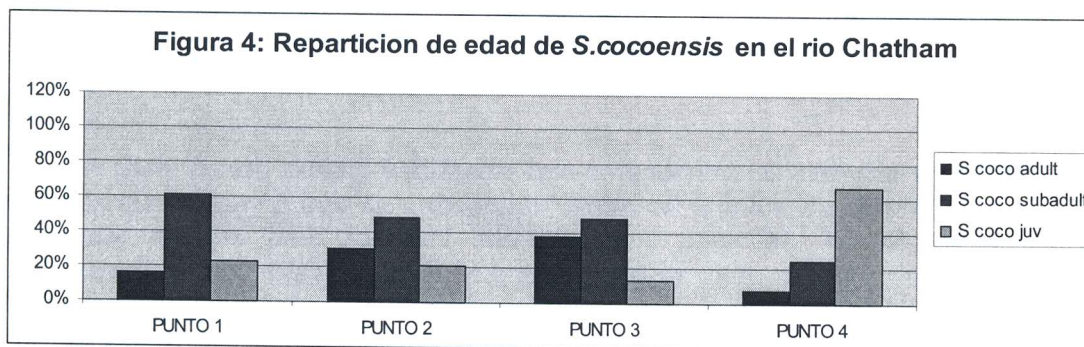
La figura 3 presenta la repartición de edad según el tamaño de los individuos en las poblaciones de *Sicydium cocoensis* observadas en el río Genio.



Se puede ver en esta figura que la estructura poblacional de *S.cocoensis* es relativamente constante a lo largo de los 6 sitios de muestreo. Los adultos representan un 20% de la población en general, salvo en el punto 4, situado a bajo de la represa, donde son menos representados.

Los sub-adultos son mayoritarios y representan por lo menos un 50% en todos los casos. En cuanto a los juveniles representan un 20% de la población.

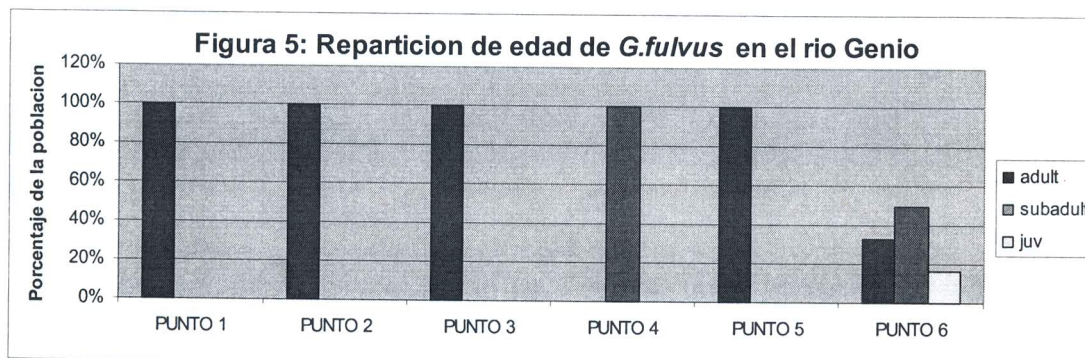
En el río Chatham, según la figura 4, se observa una estructura poblacional bastante parecida a la del río Genio, a pesar de que la diferencia de número de individuos entre las clases de edad adultos y subadultos parece más pequeña que en el río Genio.



En efecto, la clase de subadultos sigue siendo dominante, pero nunca representaron más de un 60 % y la parte de adultos va aumentando del punto 1 a 3 y baja de nuevo en la desembocadura. Solamente en el punto 4 que es la desembocadura, dominan los juveniles que representan más de un 60% y los individuos adultos son casi inexistentes.

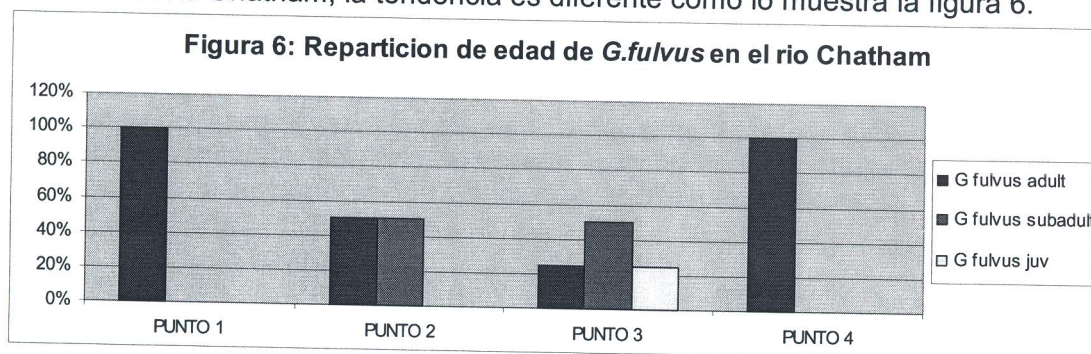
▪ *Gobiesox fulvus*:

La figura 5 presenta la repartición de edad según el tamaño de los individuos en las poblaciones de *Gobiesox fulvus* observadas en el río Genio.



Esta figura muestra globalmente, que según las observaciones realizadas en el río, se observó que la población de *G.fulvus* esta compuesta únicamente de individuos adultos, en los sitios de muestreo en la parte alta del río. El punto 4, sitio debajo de la represa, revela la presencia de ejemplares sub-adultos únicamente. Solamente en el punto 6, se pudo observar una estructura poblacional representada por todas las clases de edad, con un 30% de adultos, un 50% de sub-adultos y un 20% de juveniles.

En el río Chatham, la tendencia es diferente como lo muestra la figura 6.

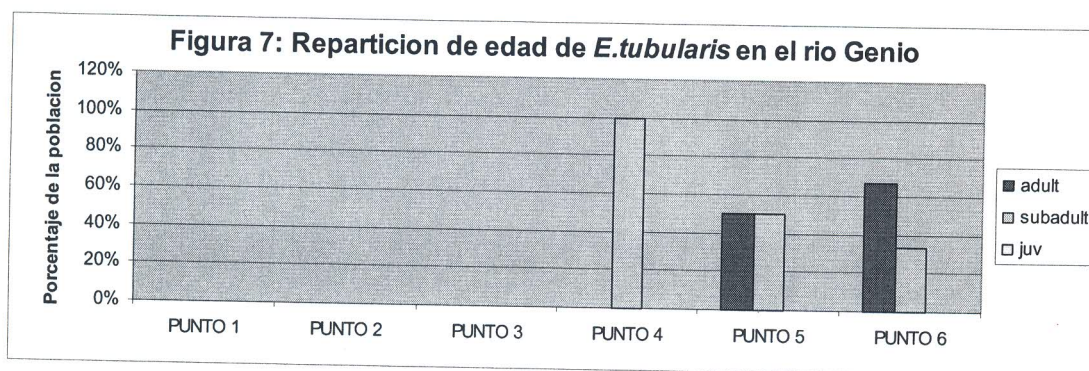


A parte de los sitios 1 y 4 donde solo se encontró un ejemplar adulto en cada sitio, los puntos 2 y 3 que se encuentran arriba de la serie de cataratas presentan individuos adultos pero también sub-adultos y juveniles. En el punto 3 que corresponde a una poza situada al principio de la parte alta de río Chatham, se observa una mayoría de sub-adultos, y más de un 20 % de adultos y jóvenes.

Sin embargo, se nota que el poco número de individuos de esta especie no nos permite un análisis pertinente.

▪ *Eleotris tubularis*:

La figura 7 presenta la repartición de edad según el tamaño de los individuos en las poblaciones de *Eleotris tubularis* observadas en el río Genio.



Solo se pueden observar, según esta figura, unas poblaciones debajo de la represa. Se observa que el porcentaje de subadultos disminuye mientras el de los adultos aumenta. No se pudo ver ejemplares juveniles en los sitios de muestreo. Sin embargo, se observaron de casualidad individuos juveniles en la pura desembocadura del río Genio, lo que muestra que esta guayana podría vivir en zonas de salinidad variable y que tal vez se reproduce en zonas costeras o más bien en el mar.

Con respecto a la repartición de edad de *E.tubularis* en el río Chatham, solo se observó un ejemplar en todo el trabajo de campo. Se trataba de un adulto de 30 cm que se encontró en la desembocadura. Se puede añadir que en este mismo punto 4, se observó igualmente un ejemplar de *Eleotris picta*.

5.1.3. Preferencias de hábitat:

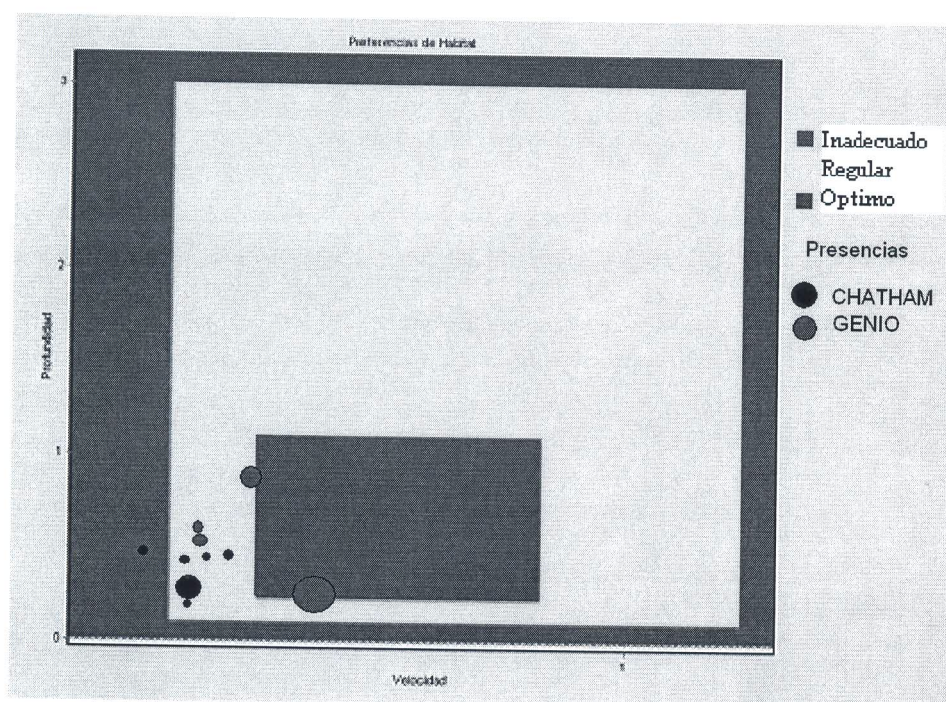
A lo largo del trabajo de campo, se observaron las poblaciones piscícolas y sus ubicaciones en el río.

Analizando las tres variables de estudio que son la profundidad, la velocidad de corriente y el sustrato, se pudo determinar las preferencias prácticas de hábitat, y compararlas con las preferencias teóricas de las mismas especies.

▪ *S.cocoensis*:

Las preferencias de hábitat de *S.cocoensis* y su comparación con las teóricas están reportadas en la figura 8.

Figura 8: Resultados de las preferencias de hábitat para *Sicydium cocoensis*, en el río Genio y río Chatham.



Esta figura muestra las diferencias entre las preferencias teóricas y prácticas de hábitat para el chupapiedras *S.cocoensis* en el río Genio y en el río Chatham.

Los cuadros corresponden a las preferencias teóricas mientras los círculos son las preferencias observadas. Solo se trata aquí de las preferencias en cuanto a la velocidad de corriente y la profundidad pues las preferencias prácticas de sustrato concuerdan con las teóricas, es decir afectan un sustrato de piedra de diámetro superando unos 10 cm.

Se puede ver por ejemplo que teóricamente el óptimo en cuanto a la velocidad de corriente para esta especie está entre 0,3 y 0,9 m/s, mientras que una profundidad entre 0,2 y 1,10 m es más favorable.

Se observó que la mayoría de los ejemplares del río Genio se encuentra en la zona óptima o en el límite en cuanto a la velocidad de corriente.

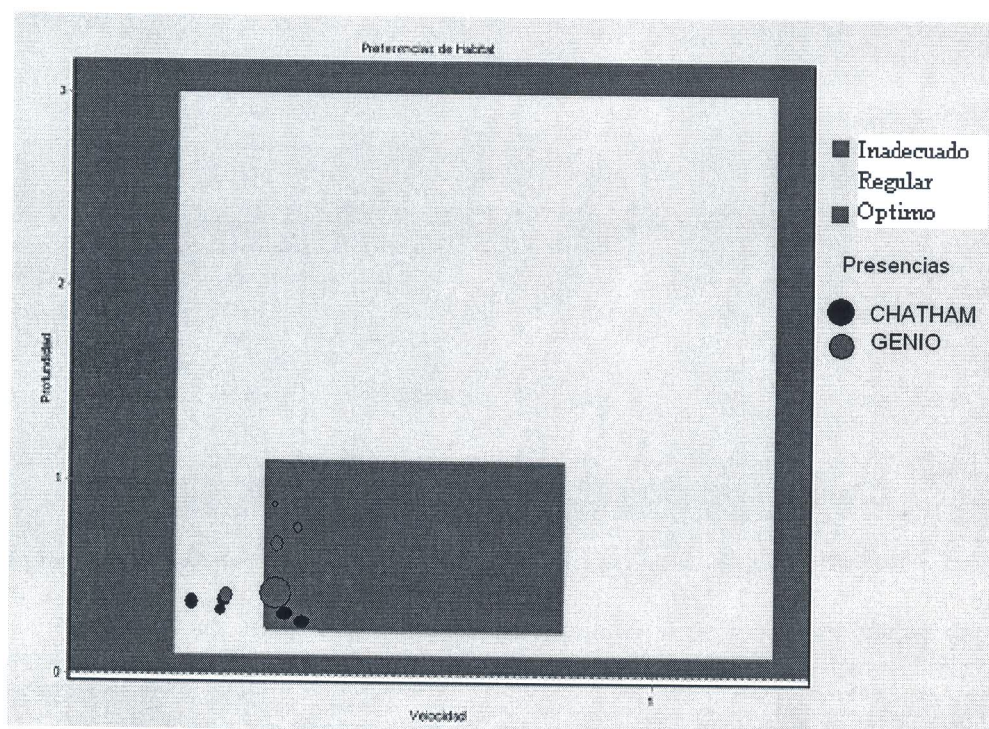
Con respecto a la profundidad, de forma general, las presencias observadas se encontraron en el óptimo.

Sin embargo, para el río Chatham, se puede ver que todos los ejemplares se encontraron afuera del óptimo teórico en cuanto a la velocidad de agua. Unos ejemplares se encontraron en la zona inadecuada con respecto a la velocidad de corriente.

▪ *G. fulvus*:

La figura 9 ilustra las diferencias entre las preferencias de hábitat teóricas y prácticas para *Gobiesox fulvus*.

Figura 9: Resultados de las preferencias de hábitat de *G. fulvus* en el río Genio y Chatham.



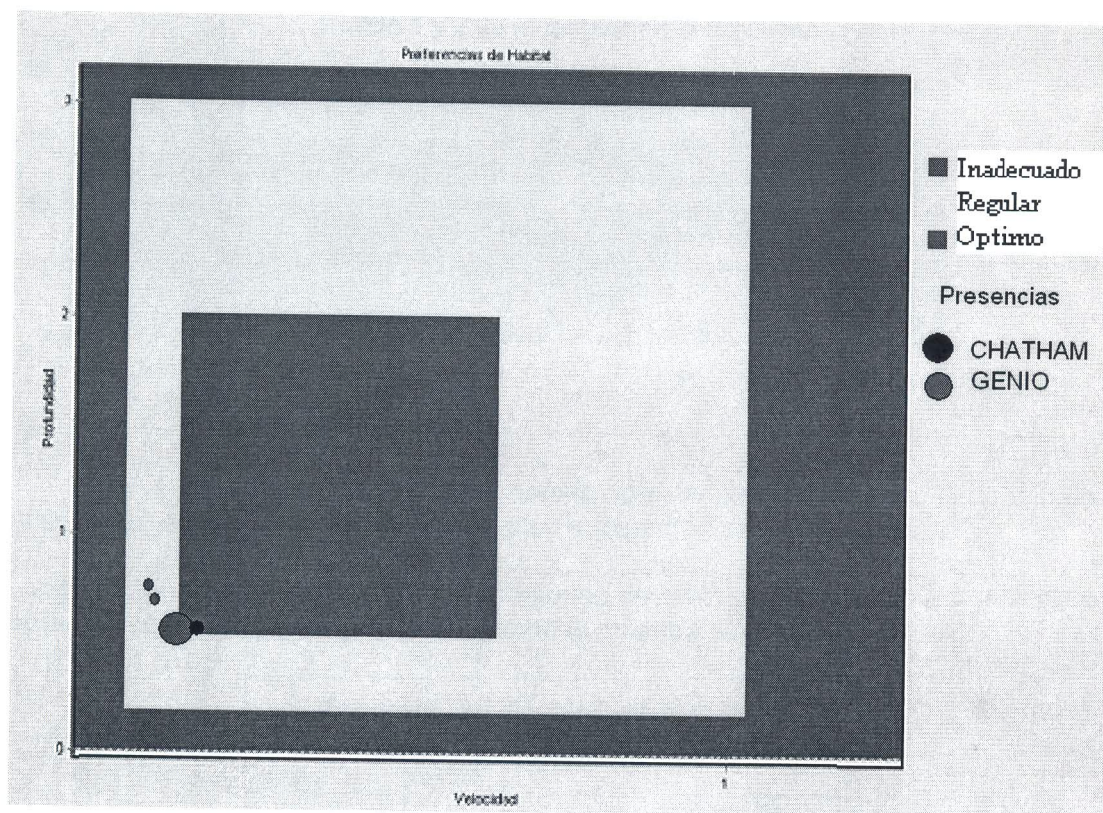
Teóricamente, este pez tiene las mismas afecciones que el chupapiedras en cuanto al sustrato y la profundidad pues es una especie comensal de *S. cocoensis*. Se puede ver que, tanto en el río Genio como en el río Chatham, los individuos observados están al límite del óptimo en cuanto a la velocidad de corriente, mientras se encuentran en las zonas más adecuadas con respecto a la profundidad.

Globalmente, los ejemplares del río Chatham se encontraron más en zonas de velocidad regular o sea más débil que en el río Genio.

▪ *E.tubularis*:

La figura 10 ilustra las diferencias entre las preferencias de hábitat teóricas y prácticas para *Eleotris tubularis*.

Figura 10: Resultados de las preferencias de hábitat de *E.tubularis* en el río Genio y Chatham.



En este caso, esta especie, por su tamaño superior a las otras especies estudiadas, suele vivir preferiblemente en zonas más profundas y tranquilas, donde la corriente es más débil.

Está fenómeno se confirma en la práctica en los ríos de la Isla del Coco, ya que los ejemplares se observaron en rincón bajo izquierdo del óptimo teórico, es decir en los extremos bajos con respecto a la profundidad y la velocidad.

En el río Chatham, el único ejemplar se encontró en esta misma zona.

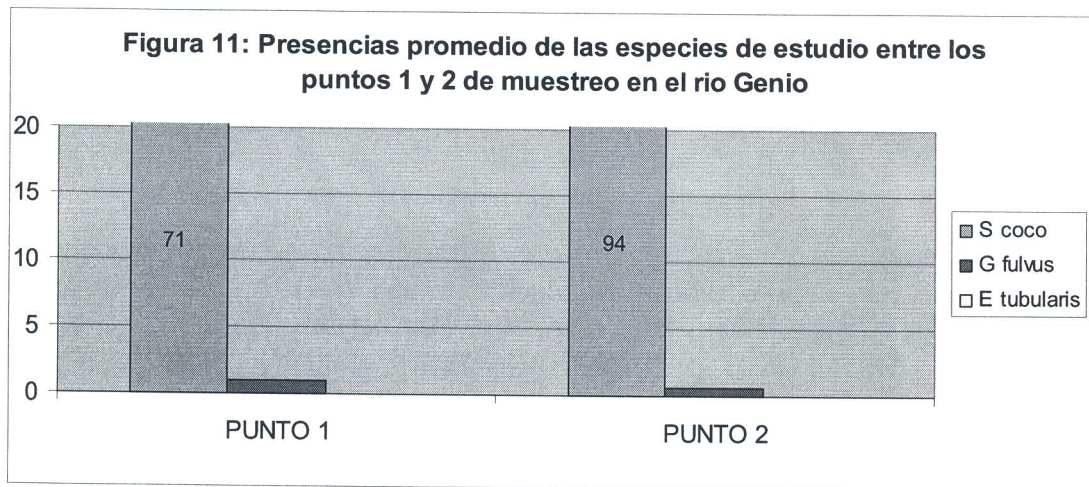
En cuanto al sustrato, parece que *E.tubularis* tiene dos tipos de sustratos de predilección según la actividad. En efecto, durante la caza, el animal suele enterrarse en el sustrato de tipo arena o grava de 1cm de diámetro, dejando salir únicamente la cabeza, la cual parece una piedra que sirve de sustrato para los chupapiedras. Aquí, la guavina solo tiene que abrir la boca para agarrar su presa.

Durante su descanso, este pez se encuentra escondido entre piedras de diámetro de 50 hasta 70cm, y parece durmiendo.

5.1.4. Impacto de las cataratas:

- en el río Genio:

La catarata del río Genio se encuentra entre el punto 1 y el punto 2 de muestreo que se observan en la figura 11.



Se ve que la guayina *Eleotris tubularis* no se encuentra ni arriba ni debajo de la catarata, solo *S.cocoensis* y *G.fulvus* se encuentran en ambos sitios.

El análisis de varianza ANOVA no puso de relieve una diferencia significativa entre las poblaciones abajo y arriba, como lo muestra el cuadro 4.

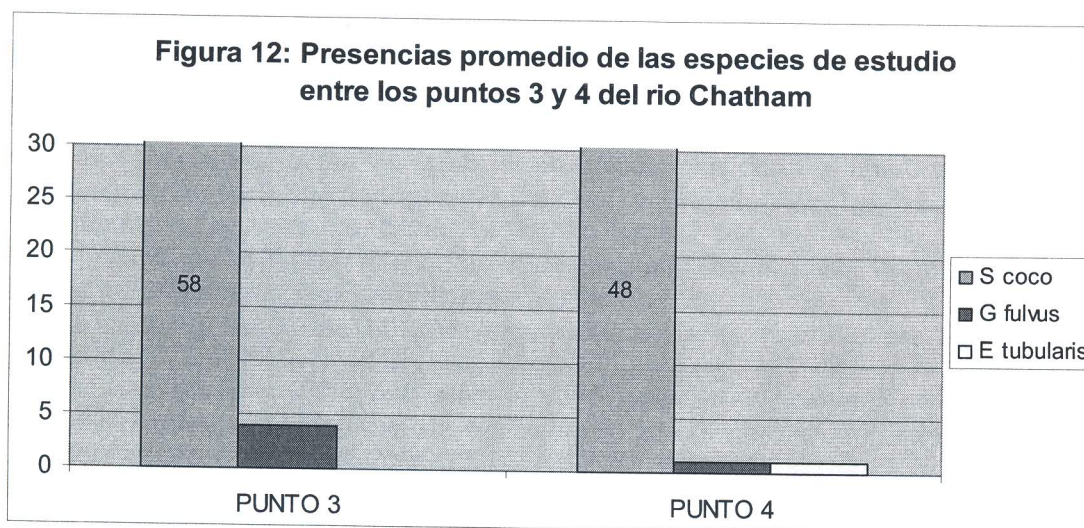
Cuadro 4: Estudio de las diferencias de poblaciones entre los puntos 1 y 2			
riesgo	$\alpha=5\%$		
Especie	Edad	Probabilidad	Nivel de Significancia
<i>S. cocoensis</i>	adu	0,5034	nula
	subadu	0,77465	nula
	juv	0,14532	nula
<i>G. fulvus</i>	adu	0,4007	nula
	subadu	*	
	juv	*	*
<i>E. tubularis</i>	adu	*	
	subadu	*	
	juv	*	
*La ausencia de individuos tanto arriba como abajo de la catarata no permite sacar informaciones estadísticas			

En efecto cuando la probabilidad supera el valor de 0,05, la diferencia ya no es significativa.

Entonces, según los resultados estadísticos, y las presencias observadas, no se puede identificar impactos de la presencia de la catarata del río Genio sobre las especies piscícolas dulceacuícolas.

- en el río Chatham:

Las cataratas del río Chatham forman una serie de cataratas pequeñas de 2 m de altura cada una, cerca de la desembocadura. En la figura 12, las cataratas se ubican entre el punto 3 y 4.



En esta figura, se puede ver que la guavina se encuentra abajo pero no arriba, mientras *S. cocoensis* y *G. fulvus* se encuentran en ambos sitios.

El cuadro 5 del análisis estadístico de las diferencias entre las poblaciones de peces abajo y arriba de las cataratas presenta los resultados siguientes:

Cuadro 5: Nivel de significancia de las diferencias de poblaciones en el río Chatham			
riesgo:	$\alpha=5\%$		
Especie	Edad	Probabilidad	Nivel de Significancia
<i>S. cocoensis</i>	adu	0,00285	fuerte
	subadu	0,06965	medio
	juv	0,00693	fuerte
<i>G. fulvus</i>	adu	0,99	nula
	subadu	0,16977	nula
	juv	0,34868	nula
<i>E. tubularis</i>	adu	0,00001	fuerte
	subadu	*	
	juv	*	
*La ausencia de individuos tanto arriba como abajo de la catarata no permite sacar informaciones estadísticas			

Se observa que el nivel de significancia entre las poblaciones de *S. cocoensis* es de medio a fuerte. En efecto se observa muchos más ejemplares arriba de las cataratas que abajo. La población de Chupapiedras se quedaría arriba de las cataratas.

Para *G. fulvus* la diferencia entre las poblaciones no es significativa, mientras es fuerte para la Guavina que solo se encuentra abajo. Entonces la presencia de las cataratas del río Chatham tiene un impacto sobre las poblaciones de *S. cocoensis* y *E. tubularis*.

5.2. Enumeración de los impactos de la represa de toma de agua sobre *S.cocoensis*, *G.fulvus*, y *E.tubularis*.

5.2.1. Impactos directos:

5.2.1.1. Análisis teórico:

- Descripción del dique (ver anexo B1):

La represa de toma de agua es un edificio que corta el lecho del río Genio, sobre un ancho de 9,3m, una longitud de 2,3m, y una altura de 1,4m. El material que le compone es el cemento. Siendo edificado hace 2 años, el edificio es nuevo y la poca profundidad aguas arriba no provoca una gran presión sobre la obra así que la misma no presenta signos de alteración visibles.

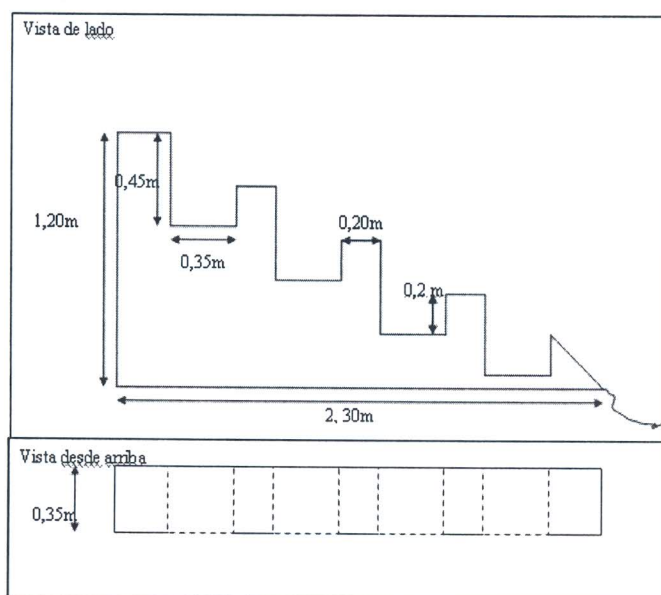
También tiene una utilidad importante así que la presencia del dique es justificada.

En cuanto a la franqueabilidad para los peces, el edificio está equipado por un paso de migración, compuesto de 4 gradas de 20 cm de profundidad en las cuales pasa un caudal preferencial de 30L/s. Aquellas gradas presentan, cada una, una poza de descanso de 25 litros para que los peces, puedan preparar su salto para la grada siguiente. Con respecto a la capacidad de migración, la obra presenta los datos siguientes:

- Altura de caída de agua: 1,20 m divididos 4 gradas de 0,25 m para cada una, y la primera grada de 20cm.
- Espesor de lamina de agua: 10 cm,
- Velocidad de corriente: 0,82m/s,
- Profundidad de la poza de salto debajo de la obra: 50 cm.

Se puede esquematizar así como la figura 13:

Figura 13: paso de migración en la presa del río Genio



- Determinación de la franqueabilidad teórica de la obra:

En cuanto a los criterios teóricos de franqueabilidad de las obras, y considerando que el pez Guavina *Eleotris tubularis* es la especie más sensible que las demás con respecto a las capacidades físicas de migración, se puede deducir que las dimensiones del paso cumplen los requisitos teóricos, como lo muestra el cuadro 6 de comparación de los valores teóricos y prácticos.

Cuadro 6: Comparación de los valores teóricos y prácticos

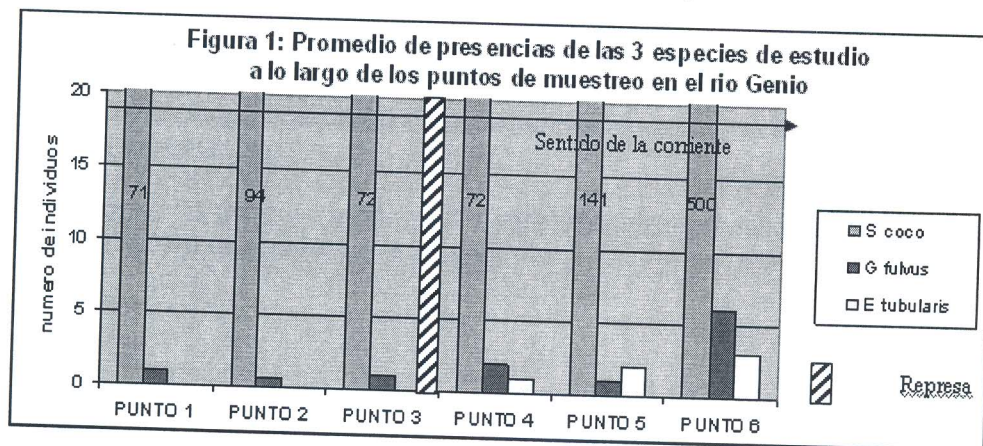
Criterios/valor	Obra	Requisitos
Altura de caída de agua en m	0,25	$\leq 0,3$
Espesor de lamina de agua en m	0,1	$\geq 0,1$
Velocidad de corriente en m/s	0,82	≤ 2
Profundidad de poza de salto en m	0,5	$\geq 0,4$

Teóricamente, la obra es franqueable para cada una de las tres especies de estudio.

5.2.1.2. Análisis práctico:

Básicamente, el trabajo de campo relativo al estudio poblacional (objetivo 1) estableció 6 sitios de muestreo a lo largo del río Genio, o sea 3 debajo de la represa y 3 arriba, de manera a observar las diferencias de poblaciones y deducir los posibles efectos de aquella represa sobre la distribución de las tres especies.

La figura 1, reproducida aquí, muestra las diferencias de las presencias de las tres especies entre la parte abajo y la parte arriba de la represa.



El análisis estadístico de las diferencias de presencias no revela una diferencia significativa de las poblaciones de *S.cocoensis*, *G.fulvus* , pero si revela una diferencia significativa para *E.tubularis*, como lo muestra el cuadro 7:

Cuadro 7: Nivel de significancia de las diferencias de poblaciones entre los puntos 3 y 4, río Genio.			
riesgo:	$\alpha=5\%$		
Especie	Edad	Probabilidad	Nivel de Significancia
<i>S.cocoensis</i>	adu	0,14968	nula
	subadu	0,59542	nula
	juv	0,51507	nula
<i>G.fulvus</i>	adu	0,52925	nula
	subadu	*	nula
	juv	*	nula
<i>E.tubularis</i>	adu	*	nula
	subadu	0,00475	Fuerte
	juv	*	
*La ausencia de individuos tanto arriba como abajo de la catarata no permite sacar informaciones estadísticas			

En efecto, se observa claramente a través de la figura 1 que la guavina *E.tubularis* se encuentra a bajo de la represa pero no arriba. Eso demuestra que la presencia de la represa impide que aquella guavina pueda subir aguas arriba. Unas observaciones de funcionarios revelaron que un día, se observó una guavina en la poza arriba de la represa, hace poco. Esta observación se puede justificar por el hecho de que cada semana, se realiza el mantenimiento de la represa, lo que ocasiona la apertura de la puerta, lo que re-establece la continuidad del río.

Eso permitiría la subida ocasional de *E.tubularis*, y consecuentemente la reducción del impacto de la represa.

Por otro lado, el impacto de la presa no esta revelado con respecto a *S.cocoensis* y *G.fulvus*, en la medida en que esas especies se encuentran aguas arriba de la represa en los puntos 1,2 y 3. Por la presencia de su ventosa pectoral que los permite subir paredes verticales, esas dos especies no suelen ser afectadas por la presencia del dique.

En cambio al análisis teórico, el análisis práctico revela que la represa de toma de agua es infranqueable para *E.tubularis*.

6. Discusión

6.1. Distribución geográfica

En comparación de la distribución de los peces entre el río Genio y el río Chatham, el análisis de las figuras 1 y 2 permite constatar los fenómenos siguientes:

- Primero, con respecto a la cantidad de peces, aunque las tres especies se encuentran, *S.cocoensis* es la especie largamente dominante tanto en el río Genio como en el río Chatham. Es abundante en todos los sitios de muestreo, lo que confirma que no tiene problemas en cuanto a la migración y a las funciones vitales de sus poblaciones ya que se encuentra en abundancia.

- Por otro lado, las dos otras especies *G.fulvus* y *E.tubularis* se encuentran en cantidades muy inferiores, y de forma discontinua a lo largo de los puntos de muestreo. Hay que notar que aquellas especies tienen otro modo de vida, es decir que viven escondidos debajo de las piedras o enterrados, por eso cuesta más verlas que para *S.cocoensis* que vive encima de las piedras y que es muy activo. Por lo tanto, en muchos casos podría ser que no se observaron por ser escondidos. También la probable preferencia por una actividad nocturna de esos peces da más dificultad para contarlos ya que se esconden de día. Sin embargo, aún los pocos individuos de *G.fulvus* observados en las partes arriba de los ríos demuestran que esos peces pueden subir hasta allá a menos que se encuentren poblaciones aisladas, lo que no se pudo verificar en este caso.

- Igualmente, en los dos ríos, se observó que la guavina *Eleotris tubularis* no supera los sitios arriba de los obstáculos, que sean naturales o de origen humana. Este pez suele ser sensible a los cambios morfo-dinámicos del cauce, que sea una alta velocidad de corriente, o la altura de caída de agua. Sin embargo, *G.fulvus* y *S.cocoensis* pueden franquear esos obstáculos porque se encuentran aguas arriba de los mismos. En efecto esas dos especies presentan una ventosa pectoral, resultado de la unión de las aletas pectorales. Aquella ventosa permite a los peces subir hasta paredes verticales de varios metros de altura. En cambio, la guavina no tiene esta adaptación, lo que tal vez podría explicar esta diferencia en sus distribución geográfica.

- Después, se puede constatar las diferencias de abundancia de las tres especies según el sitio de muestreo. A partir de eso, ya se pueden determinar los factores que condicionan la abundancia de las tres especies de estudio, especialmente en el punto 6 del río Genio.

Aquel sitio, a parte de ser lo más cerca de la desembocadura, tiene la particularidad de ser también el más ancho, y el sitio que presenta un fuerte intensidad de luz ya que se encuentra en una zona más despejada que los otros sitios, donde la densidad de vegetación es más débil.

En cuanto a la naturaleza de las tres variables, que son la profundidad, el sustrato y la velocidad de corriente, aquel sitio presenta las mismas características que los otros sitios.

Otro factor que podría influir sin que se pudiera verificar es la temperatura del agua que tiene que ser más elevada en este punto porque la distancia a la fuente, el hecho de mezclarse con el aire ambiente, y el contacto con la luz aumentan sensiblemente la temperatura, lo que correspondería más con los requisitos de esas especies en cuanto a este factor.

Por fin, la cercanía de la desembocadura puede tener una fuerte influencia sobre la abundancia de esas tres especies en la medida en que ciertas especies suelen utilizar el medio marino para reproducirse.

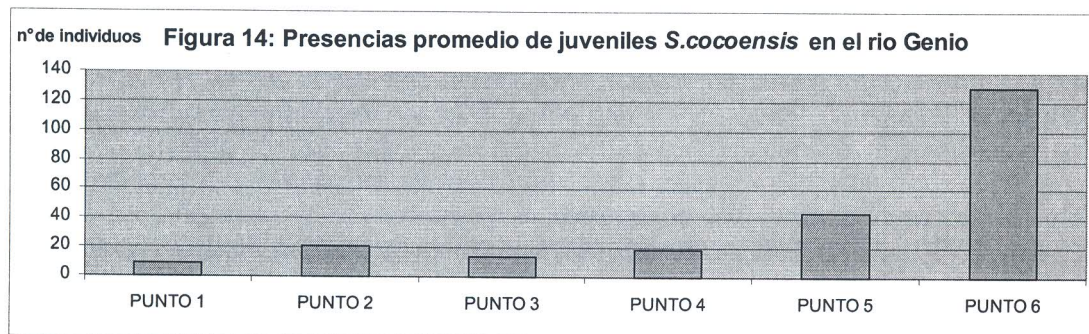
En este caso, esta teoría podría tener más importancia ya que esas especies son endémicas de la isla y por lo tanto no se conocen con certitud las costumbres de reproducción. Este fenómeno se puede determinar gracias a la distribución de edad en las poblaciones, específicamente con la abundancia de ejemplares juveniles.

6.2. Repartición de edad

▪ *S.cocoensis*:

Primero, tanto en el río Genio como en el río Chatham, se observa que las poblaciones encontradas están dinámicas puesto que se observan todas las clases de edad en todos los sitios. Igualmente, se puede ver que la estructura poblacional en todos los ríos y en todos los sitios sigue una misma tendencia: una mayoría de individuos sub-adultos que aseguran el futuro de la población, y un 20% de adultos y de juveniles. Tal estructura muestra que la población de *Sicydium cocoensis* en la isla del Coco es joven, lo que confirma que encuentra todos los requisitos para su vida, y su reproducción.

La figura 3 correspondiente a la repartición de edad de *S.cocoensis* en el río Genio, demuestra que la proporción de los juveniles en la población es superior en el sitio más bajo, o sea más cerca de la desembocadura. Además, la figura 14 de las presencias promedio de juveniles a lo largo de los 6 puntos de muestreo en el río Genio, ilustra mejor esta realidad.



Se observa el mismo fenómeno en el río Chatham, como lo ilustra la figura 4, donde los ejemplares más jóvenes representan una fuerte mayoría en el último sitio. Los juveniles siendo encontrados mayoritariamente en la zona cerca de la desembocadura, se podría emitir la hipótesis de que esta especie se reproduce en el medio marino o por lo menos en zonas costeras.

El análisis de varianza ANOVA no muestra significativamente las diferencias de población de *S.cocoensis* juveniles entre cada punto ($p=0,26$), pero sí sale una diferencia significativa entre los dos últimos puntos se observa una diferencia significativa ($p=0,06$ con $\alpha=5\%$). Efectivamente, se destaca claramente el punto 6 de los demás en cuanto al número de individuos, como lo podemos ver en el cuadro 8.

Cuadro 8: Segregación de los sitios en grupos homogéneos (TEST ANOVA)

F1	Títulos	promedio	Grupos homogéneos	
6.0	site 6	130,2	A	
5.0	site 5	44,2		B
2.0	site 2	20,8		B
4.0	site 4	18,8		B
3.0	site 3	13,8		B
1.0	site 1	9		B

Entonces teóricamente, siendo significativa la diferencia de poblaciones de *S.cocoensis* juveniles entre el punto 6 y los demás, se puede pensar esta especie se reproduce en las partes bajas de los ríos.

▪ *G.fulvus*

Primero, el poco número de individuos (27 individuos observados en total para Genio, 10 en Chatham) no nos permite poner de relieve una estructura poblacional equilibrada, y eso para los dos ríos de estudio. En efecto, muy pocas veces se observaron más de un ejemplar en cada sitio, lo que no revela mucha información en las figuras 5 y 6 relativas a la repartición de edad de *G.fulvus*.

Una similitud entre la distribución de edad en los dos ríos es que en la parte más arriba de los ríos, se encuentran únicamente individuos adultos o sub-adultos, es decir que no se vieron juveniles. Entonces, de eso se puede deducir que los juveniles se quedan en las partes medias, tal vez por incapacidad de subir, por competición para el espacio con los adultos o por otra razón que no se conozca.

Además, la estructura poblacional de los sitios donde se encuentran todas las clases de edad es relativamente igual, en la medida en que los sub-adultos dominan mientras la parte de los adultos y los jóvenes es equilibrada. Eso muestra una población joven, que asegura un futuro para esta especie. Sin embargo, el hecho de que esta estructura no se encuentre a lo largo de los otros puntos de muestreo muestra que aquel futuro no es cierto en todas partes del río.

Del análisis de las diferencias entre las figuras 5 y 6, no se puede deducir nada porque las conclusiones de cada una son contradictorias. En efecto, viendo que los adultos se encuentran aguas arriba y los juveniles aguas abajo en el río Genio, se podría pensar que los adultos se reproducen cerca de la desembocadura, donde se encuentra la cría y luego van subiendo a lo largo del río afuera de la temporada de reproducción.

Sin embargo, la figura 6 relativa al río Chatham, no confirma esta hipótesis, ya que los juveniles se encuentran aguas arriba de las cataratas, y no en la desembocadura.

Entonces lo que sale de esas dos figuras es que seguramente el poco número de individuos observados, y el estilo de vida de *G.fulvus*, viviendo escondido, no permitieron sacar informaciones ciertas con respecto a la estructura poblacional de esta especie en los dos ríos de estudio.

Si nos referimos únicamente a los sitios donde se observó una diversidad de edades, se podría deducir lo mencionado más arriba, es decir una población joven, dinámica gracias a una cantidad equilibrada de adultos y jóvenes, dominados por los sub-adultos que representan los reproductores actuales y del futuro. Igualmente, la presencia de la especie en todos los sitios, revela que la misma vive a lo largo del río, sin problemas evidentes de migración.

- *E.tubularis*

De la misma manera que para *G.fulvus*, el poco número de individuos observados (13 en el río Genio, 1 en el río Chatham), no permite una interpretación pertinente de la repartición de edades en las poblaciones de este pez, sobre todo en el río Chatham. En cuanto al río Genio, se puede ver que los individuos adultos y sub-adultos son los únicos representantes de la población.

Siendo encontrados en la parte baja del río Genio y del río Chatham (el único individuo fue encontrado en la desembocadura), se podría deducir que esta guavina suele vivir preferiblemente en zonas costeras y tal vez reproducirse en el mar ya que unos ejemplares juveniles se encontraron en la pura desembocadura. Por fin, los resultados del trabajo de campo demostraron que la población es adulta, por la ausencia de juveniles.

6.3. Comportamiento: observaciones realizadas en el trabajo de campo

A lo largo del trabajo de campo, analizando las poblaciones de las tres especies de estudios, se realizaron varias observaciones en cuanto al comportamiento de los individuos y las relaciones intra e inter-específicas, que se pueden tomar en cuenta antes de concluir sobre el estado poblacional de las mismas especies.

- *S.cocoensis*:

Los machos adultos se caracterizan por un comportamiento territorial fuerte, una coloración uniforme oscura en el cuerpo y al nivel de la cola, una coloración amarilla. Esos individuos siempre persiguen las hembras que tienen rayas verticales a lo largo del cuerpo e intentan girar al rededor de ellas y pasar encima. Son solitarios y defienden un territorio que se limita a una piedra grande. Ahí cazan los demás.

En cambio, los juveniles y sub-adultos desarrollan un comportamiento gregario, se mueven siempre en cardúmenes.

▪ *G.fulvus*:

Esta especie suele adoptar un comportamiento territorial muy marcado, no importa cual sea la edad. También suelen ser depredadores de *S.cocoensis* porque los chupapiedras se mantienen lejos de *G.fulvus*, aunque tengan los mismos hábitats.

En cuanto a las preferencias de hábitat, esos peces se encontraron preferiblemente en zonas de velocidad de corriente moderada, con poca profundidad, con mucho oxígeno, y con mucha sombra. En efecto suelen salir más cuando la luminosidad es más débil. En este caso, se podría deducir que este pez tiene una actividad preferiblemente nocturna. Entonces eso justificaría el hecho de que no se vieron mucho durante los días de muestreo.

▪ *E.tubularis*:

Con respecto a las relaciones inter-específicas, se observa que a medida que la profundidad aumenta y la corriente se debilita en los sitios de estudio, se aumenta la proporción de grandes depredadores como la guavina, y en mismo tiempo debilita la abundancia de los chupapiedras de tamaño pequeño. Incluso cuando se encuentra una guavina, la densidad de *S.cocoensis* es muy débil. La guavina es depredadora del chupapiedras.

En cuanto a su comportamiento y a sus preferencias de hábitat, la guavina suele preferir el sustrato de tipo grava de 1cm para enterrarse y quedar solamente la boca afuera, simulando una piedra donde se fijan los chupapiedras antes de estar atrapados y comidos.

Conclusión:

El estudio poblacional para *Sicydium cocoensis*, *Gobiesox fulvus* y *Eleotris tubularis* pone de relieve, según la estructura poblacional y la distribución geográfica de las mismas especies, que *S.cocoensis* es la especie más abundante a lo largo de los ríos de estudio.

Por otro lado, *G.fulvus* y *E.tubularis* se encuentran en cantidades inferiores. *G.fulvus* logra encontrarse en todas partes de los ríos mientras *E.tubularis* no lo consigue y solo se encuentra en las partes bajas de los ríos Genio y Chatham, sin presentar una estructura poblacional equilibrada.

Además, siendo encontrados *S.cocoensis* juveniles en mayor cantidad en los puntos cerca de la desembocadura tanto en río Chatham como en río Genio, esta especie suele reproducirse en zonas de desembocadura o marinas.

Entonces, pareciera que *G.fulvus* y *E.tubularis* son las especies más sensibles de los ríos de la isla del Coco.

6.4. Preferencias de hábitat:

Globalmente se observa la misma tendencia cuando se analizan las figuras 8, 9 y 10 relativas a los resultados de preferencias de hábitat respectivamente para *S.cocoensis*, *G.fulvus* y *E.tubularis*.

En efecto, se puede constatar en todos los casos, que las poblaciones observadas se encontraron en las zonas donde la velocidad de corriente es al límite o inferior al óptimo teórico. Este factor se puede explicar por la falta de sitios de estudios adecuados, es decir sitios donde la velocidad de corriente y la profundidad fueron altas en mismo tiempo.

Los ríos Genio y Chatham tienen poco caudal lo que se traduce por una velocidad de corriente o una profundidad poca. Además el morfo-dinamismo de esos ríos se compone de dos tipos: Zonas llanas que se encuentran en las zonas llanas de la isla, llamados "llanos", y por otro lado zonas de cataratas que corresponden a las zonas de pendiente muy importante.

Primero, en las zonas llanas corre el río lentamente, con poca profundidad, alternancia de pozas y rápidos. Puesto que hay poco caudal, los rápidos tienen una profundidad muy poca lo que no permite meterse al agua para estudiar las poblaciones. Solo se puede meter en las zonas donde la profundidad es suficiente para poder observar los peces. De hecho, los sitios de estudio corresponden a zonas homogéneas donde la velocidad de corriente es casi siempre inferior a 0,4m/s. Este aspecto explica porque, en la práctica, nunca se encontraron preferencias de hábitat superior a este valor.

Por otro lado, las zonas de cataratas, siendo ubicadas en zonas de pendiente muy alta, fueron imposibles de acceso, por lo que no permitió estudiar las poblaciones en aquellos sitios.

Más específicamente para las figuras 9 y 10 respecto de las especies *G.fulvus* y *E.tubularis*, el poco número de individuos observados da poca validez a este estudio de preferencias de hábitat en la medida en que no se puede generalizar las preferencias de hábitat sobre la base de 10 individuos observados, para *E.tubularis* por ejemplo. Entonces solo se pueden emitir hipótesis de preferencias de hábitats para estas especies.

Sin embargo, a pesar de este aspecto, globalmente se pudo ver una concordancia relativa entre las preferencias de hábitats teóricas y prácticas, lo que muestra que el ambiente y el aspecto aislado de los ríos de la isla del Coco no cambian realmente las preferencias de hábitats de los peces del género *Sicydium*, *Gobiesox* y *Eleotris*, en comparación a las del continente.

El único aspecto que se puede considerar es la falta de caudal que ocasiona una profundidad y una velocidad de corriente poca, lo que desplaza las preferencias de hábitat de las especies de estudio hacia el rincón bajo izquierdo del cuadro óptimo de preferencias de hábitat., es decir en zonas de velocidad y de profundidad más débil.

Conclusión del estudio "Establecimiento de línea base poblacional sobre las especies piscícolas dulceacuícolas de la Isla del Coco":

El estudio de línea base poblacional para las tres especies endémicas piscícolas de los ríos Genio y Chatham permitió analizar las mismas especies según tres ejes de estudio que son la distribución geográfica, la repartición de edad o sea la estructura poblacional, y las preferencias de hábitat. A lo largo de esos tres aspectos, se pudo poner de relieve unas características con respecto a esas tres especies de estudio y su medio ambiente, los ríos de la isla del coco.

Primero, el análisis de la distribución geográfica de las especies muestra que la represa de toma de agua del río Genio y las cataratas del río Chatham constituyen el límite de zonas de vida de la Guavina *Eleotris tubularis*. Eso demuestra que esta especie es más sensible que las demás en cuanto a la migración.

Con respecto a la estructura poblacional, *S.cocoensis* muestra una población joven y dinámica ya que todas las clases de edad se encuentran en todos los sitios de estudio con una estructura homogénea a lo largo de los ríos, con la dominancia de individuos sub-adultos. Además la dominancia de individuos jóvenes en la parte más baja de los ríos nos permite pensar que esta especie se reproduce en zonas marinas o salobres. *G.fulvus* y *E.tubularis* presentan poblaciones más esporádicas, y las observaciones realizadas no permiten mostrar una estructura equilibrada a lo largo de los sitios de muestreo tanto en el río Genio como en el río Chatham.

Con respecto a las preferencias de hábitat, para las tres especies se pudo ver que prácticamente, las preferencias cambian a favor de una velocidad de corriente y una profundidad más débil. Eso se puede justificar por el poco caudal y las características morfo-dinámicas de los ríos en la isla del Coco, y la falta de sitios de estudio adecuados.

Por fin, el estudio de las diferencias de poblaciones entre las partes arriba y debajo de los obstáculos naturales, revela resultados distintos según el río. En efecto, las cataratas del río Chatham presentan un impacto sobre *S.cocoensis* y sobre *E.tubularis*, mientras la catarata del río Genio no tiene impactos sobre las mismas especies, ya que la guavina aún no se encuentra en la parte debajo de la catarata, y *S.cocoensis* se encuentra de manera igual aguas arriba como aguas abajo. Al final su pudo determinar que *G.fulvus* y *E.tubularis* son las especies más sensibles en los ríos de la isla del Coco.

La validez de este estudio esta limitada por algunos aspectos. Primero, el hecho de trabajar solo la mayoría del tiempo durante el trabajo de campo y la falta de material de medición redujeron sensiblemente la capacidad de recolección de datos y la calidad de los mismos.

Igualmente, este aspecto redujo las posibilidades de estudiar sitios de muestreos más adecuados, por el peligro de caminar solo en la isla por el relieve y la falta de conocimientos sobre la isla. Por lo tanto, la falta de sitios adecuados en el estudio reduce la validez de los resultados.

Por fin, aunque la metodología aplicada para realizar este estudio pareció muy adecuada para observar las estructuras de población y las relaciones ínter específicas, pero tal vez no fue adecuada para estudiar las especies *E.tubularis* y *G.fulvus* puesto que esos peces suelen vivir escondidos durante el día.

En este sentido, una salida de noche habría podido mostrar otras evidencias, pero la naturaleza de los sitios y la dificultad de acceso de los mismos hicieron imposible esta oportunidad.

6.5. Impactos directos de la represa del río Genio:

El análisis de los impactos de la represa de toma de agua del río Genio reveló resultados distintos entre la teoría y la práctica en cuanto a los impactos directos. En efecto, según los criterios de franqueabilidad del dique, este mismo dique presenta características que permitirían la libre circulación de la Guavina *E.tubularis*. Sin embargo resulta que en la práctica no se encuentra esta especie aguas arriba de la represa mientras si está aguas abajo. Además el estudio de varianza realizado con ANOVA muestra una diferencia muy significativa entre las poblaciones arriba y abajo.

Entonces, esta diferencia de diagnóstico pone de relieve un fallo en el análisis teórico, probablemente al nivel de la determinación de los valores con respecto a los criterios de franqueabilidad de la obra para *E.tubularis*. La falta de conocimientos tanto teórico como práctico sobre esta especie suele ser al origen de este error.

Igualmente, el poco número de individuos observados debajo de la represa reduce la validez de los resultados estadísticos.

Sin embargo, con respecto a las otras especies, *S.cocoensis* y *G.fulvus*, se puede ver que los resultados teóricos y prácticos concuerdan. En efecto, no se observó una diferencia significativa entre las poblaciones de estas especies abajo y arriba del dique, mientras el análisis teórico afirmaba que la obra era franqueable.

6.6. Impactos indirectos de la represa del río Genio:

Esos impactos se pueden apreciar por el medio de los cambios físicos que ocasiona la presencia o el funcionamiento de la presa sobre los peces.

- Impactos por presencia del dique:

Mayoritariamente, son los impactos que se manifiestan aguas arriba del edificio y se refieren a los cambios relacionados con las tres variables del estudio poblacional es decir sustrato, velocidad de corriente y profundidad.

En efecto, el establecimiento del dique induce una retención de agua, por lo que aumenta la profundidad del cauce, en ancho del río, y ocasiona una reducción de velocidad de agua en el cauce principal. Igualmente, según la fuerza con la cual llega el agua arriba, puede modificar la estructura del fondo del cauce, formando cuevas, o irregularidades, lo que puede modificar la vida en el fondo.

Por otro lado, la disminución de velocidad de corriente reduce el transporte sólido, lo que causa la acumulación de residuos como materia orgánica que se mineraliza y da lugar a la formación de arena, lo que cambia la naturaleza del sustrato de origen. Las consecuencias de esos fenómenos sobre las especies estudiadas son las siguientes:

▪ Aumento de la profundidad:

El aumento del nivel de agua causado por la presencia del dique provoca una estratificación térmica y en ciertos casos el aumento de la turbidez que puede lastimar los peces.

En términos de disponibilidad de los hábitats, el primer factor no suele cambiar nada, al contrario puede aumentar el número de hábitats favorable por el aumento de volumen disponible. En cambio, el aumento de la turbidez provoca en el fondo una falta de penetración de luz, y consecuentemente, una disminución de O_2 disponible. Por lo tanto, las especies más sensibles a la falta de oxígeno ya no tienen acceso a los hábitats del fondo. Puesto que las tres especies de estudio son bentónicas, este aspecto tiene su importancia.

Con respecto a la disponibilidad de comida, el aumento de volumen disponible puede ocasionar el aumento de cantidad de comida. En cambio, la estratificación térmica puede modificar la cantidad de comida. En efecto, una elevación de temperatura suele modificar el crecimiento de las algas que se come *S.cocoensis*. Si la cantidad de comida va cambiando, la población de Chupapiedras está afectada. Siendo presa, si la población de *S.cocoensis* está afectada, la población de sus depredadores cambia igualmente. También el aumento de turbidez y la disminución de luz en el fondo reducen la producción primaria por las algas que se comen los chupapiedras, entonces limita el crecimiento de las algas, lo que reduce la disponibilidad en comida para los mismos peces.

Esos cambios en la cantidad de comida, y de los hábitats pueden causar impactos sobre la aptitud a reproducirse.

Por fin, el aumento de la profundidad puede causar un cambio en la composición físico-química del agua. Por ejemplo, el aumento de la turbidez provoca en el fondo una falta de penetración de luz y entonces una disminución de O_2 disponible. Eso es una afectación indirecta del cambio de profundidad sobre la composición física-química del agua.

- Disminución de la velocidad de corriente:

La pérdida de velocidad de corriente ocasionada por la instalación del dique provoca dos consecuencias sobre las características del río. Primero, la reducción del transporte sólido, y segundo la reducción de la concentración en O_2 disuelto en el agua.

Con respecto a la disminución del transporte sólido, se sabe que cuando más fuerte es la corriente, o sea más alta es la velocidad de corriente, más sedimentos arrastra el caudal, y más gordas son las partículas arrastradas al sustrato. Igualmente esas partículas se depositan en las zonas lenticas porque la corriente ya no puede llevar más los residuos, por gravedad.

Este fenómeno se observa en la poza arriba de la represa, exactamente en el punto 3 del río Genio. Se ve, según el anexo V "Hoja método presa", que la obra provoca aguas arriba una zona lentic sobre una distancia de 5 metros. Por lo tanto se observa una acumulación de residuos orgánico en el lecho del río. Las consecuencias de este aspecto están descritas en el párrafo siguiente "Acumulación de sedimentos".

Por otro lado, la velocidad de corriente está relacionada directamente con la cantidad de O_2 disuelto en el agua porque la corriente causa una mezcla de la capa superficial del río con el aire ambiente, lo que da lugar a intercambios en oxígeno entre las fases líquida y gaseosa. También, la corriente mantiene un movimiento de la lámina de agua, lo que impide una pérdida de oxígeno.

Entonces, la reducción de velocidad de corriente tiene un impacto directo sobre la calidad física-química del río en este punto.

Las especies encontradas arriba de la represa, *S.cocoensis* y *G.fulvus*, prefieren las zonas ricas en oxígeno donde hay mucha corriente. Si reduce la velocidad de corriente, disminuye la cantidad de O_2 disuelto en el agua, y a fortiori en el fondo del río donde se encuentran mayoritariamente esos peces.

Entonces, por falta de oxígeno, aquellos peces cambian de sitio porque esos ya no son adecuados para su vida.

De esta manera, este fenómeno da lugar a una pérdida de hábitats para las dos especies encontradas en este sitio. Igualmente, esas zonas que cumplían los requisitos en cuanto a las condiciones de vida y/o de reproducción de los peces, ya no los cumplen, es decir que probablemente se pierden zonas de reproducción. Esas zonas se convierten en sitios de acumulación de sedimentos, zonas críticas en el lecho del río.

▪ Acumulación de sedimentos :

La disminución de velocidad de agua aumenta el depósito de materia en suspensión del río en la poza de la represa, y da lugar a una acumulación de sedimentos en el fondo de este sitio.

Efectivamente las observaciones realizadas durante el trabajo de campo permitieron reportar la presencia de material orgánico de tipo madera, hojas, y otros detritos naturales en el fondo del punto 3 del río Genio. Se observó también que donde se acumula esos residuos, no se encuentran los peces. Este fenómeno demuestra que la acumulación de sedimentos perjudica a la vida piscícola.

En primer lugar, esos residuos se depositan en las zonas críticas del río, es decir en las zonas de menor velocidad de agua. Al acumular en este punto, recubren el sustrato de origen y por lo tanto reducen el número de hábitats para los peces. Recubriendo el sustrato, impiden la penetración de la luz y consecuentemente el desarrollo de las algas que forman la comida de los chupapiedras que suelen ser la base de la cadena alimenticia de *G.fulvus* y de *E.tubularis*.

Entonces, la acumulación de sedimentos orgánicos provoca una reducción de los hábitats para las tres especies de estudio, pero también reduce la cantidad de comida tanto para *S.cocoensis* como para *G.fulvus* y *E.tubularis*. Se supone que, en estas zonas, no se pueden reproducir las mismas especies ya que no cumplen los requisitos de vida, en término de velocidad de corriente y de sustrato.

Por otro lado, la degradación de esta materia orgánica constituye una actividad aerobia importante, lo que teóricamente se traduce por una falta de oxígeno localmente, por el consumo de O_2 por las bacterias. Prácticamente, en este punto este problema no suele ser observado, aunque no se pudo realizar mediciones de O_2 disuelto, porque la profundidad no supera 1,30 m y la transparencia del agua permite la penetración de la luz y de O_2 hasta el fondo.

Luego, aquella degradación da lugar a la transformación de la materia orgánica en materia mineral que se compone básicamente de arena. Entonces, los movimientos de agua dentro del río, por las variaciones de caudal, dispersan la arena en todas partes de la poza, provocando una obstrucción del sustrato rocoso.

De eso resulta un cambio de sustrato, especialmente la dominancia de arena que teóricamente perjudica a *S.cocoensis* y a *G.fulvus*, con respecto a las preferencias de hábitat y también en cuanto a la diversidad de comida.

En efecto, la homogeneización del sustrato da lugar a un cambio de las poblaciones de macro-invertebrados que habitan el fondo del río y que constituyen una comida de *G.fulvus*. Si desaparecen estas especies hidrobiológicas, van desapareciendo los depredadores piscícolas.

A pesar de esos impactos teóricos de la presencia de la represa sobre las especies endémicas dulceacuícolas, no se pudo poner de relieve una diferencia significativa de las poblaciones de *S. cocoensis* ni de *G.fulvus* entre los puntos de estudio 3 y 4 en el río Genio, los que corresponden a los sitios más cerca de la represa o sea los que son más afectados por la misma.

Sin embargo, para la guavina que suele ser más sensible que las especies demás, la represa sí tiene un impacto ya que no se encuentra aguas arriba.

Igualmente los impactos enumerados en cuanto a la presencia del dique son los que se observan en la mayoría de los casos porque son relacionados directamente con el principio físico de la instalación de un dique en el lecho de un río.

Después las consecuencias varían según el tamaño del dique, las características físico-químicas del agua, la naturaleza y el manejo de la cuenca del río, y por fin la frecuencia de mantenimiento de la obra. El caso de la isla del Coco es un ejemplo a parte en la medida en que se trata de una zona muy natural, que cuenta con una calidad de agua que raras veces se puede encontrar en el continente por la presión de las actividades humanas. Incluso el tamaño reducido de la presa disminuye los efectos de su presencia. Además, la represa de toma de agua tiene un mantenimiento completo una vez a la semana durante lo cual se abre la puerta y se extraen parcialmente los sedimentos de la poza. De hecho, la discontinuidad provocada por el dique es relativa, lo que atenúa los efectos mencionados.

- Impactos por la actividad hidroeléctrica:

La actividad hidroeléctrica se manifiesta en el río principalmente por el caudal extraído al nivel del dique.

El caudal extraído por el funcionamiento de la planta hidroeléctrica es de 20L/s mientras el del río Genio al nivel de la represa, antes que sea desviado, es de 280L/s en día de lluvia regular, medido el 29 de diciembre de 2007, en condición de caudal regular, es decir ni en periodo temporal ni en periodo seco.

El porcentaje extraído del río para la planta es de 7%, o sea el caudal ecológico libre es de 93%. Según el ICE, el caudal ecológico mínimo que tiene que dejar una planta hidroeléctrica es de 10% del caudal inicial.

Debajo de este porcentaje, se considera que el caudal extraído presenta impactos sobre la vida piscícola.

(Fuente: *Aprovechamiento Hidroeléctrico en Costa Rica: Experiencia en la apertura de la Generación Hidroeléctrica y el desarrollo sostenible*, Jose Miguel Zeledón C. , Jefe Dpto. Aguas MINAE, Costa Rica, Mayo 2001)

Entonces, el caudal ecológico dejado por la planta hidroeléctrica del río Genio siendo muy por arriba del 10% exigido, teóricamente no se puede considerar efectos negativos de la extracción de caudal sobre las especies de estudio.

Sin embargo, las diferencias significativas de las poblaciones de *E.tubularis* entre los puntos 3 y 4 del río Genio, muestran que la represa de toma de agua del río Genio provoca efectos negativos sobre aquella especie. Entonces, si el caudal ecológico no tiene impactos sobre la vida de este pez, la presencia misma del dique suele ser el principal obstáculo a la vida de la guavina aguas arriba de la represa.

Conclusión:

Con respecto a los impactos indirectos, se pudo determinar que la sola presencia del dique provoca consecuencias que pueden alterar las especies de estudio en cuanto a sus principales funciones de vida que son la comida, los hábitats y la aptitud a la reproducción. Efectivamente, el aumento de la profundidad, la reducción de la velocidad de corriente y la acumulación de residuos orgánicos son los principales efectos directos de la instalación del dique. Esos factores más o menos directamente sobre la vida piscícola. Esos impactos indirectos no se pudieron verificar prácticamente de manera significativa, por falta de herramientas de medición u otro material.

Igualmente el efecto de la presa sobre la distribución de *E.tubularis* es relativo porque 200m aguas arriba de la presa, se encuentra la catarata del río Genio, lo que impediría realmente la subida de la guavina.

Por fin, se puede deducir de este estudio de impacto ambiental de la represa del río Genio, que la misma no presenta impactos sobre la migración de *Sicydium cocoensis* ni la de *Gobiesox fulvus*, pero si tiene impacto sobre la libre circulación de la guavina *Eleotris tubularis*. En cuanto a los efectos de la actividad hidroeléctrica por el caudal extraído, este mismo siendo muy por debajo del porcentaje autorizado, no representa un riesgo para la vida piscícola. Además, la calidad del agua, el estado de conservación de la cuenca, el tamaño reducido del dique, sus condiciones de mantenimiento contribuyen a reducir la aparición de los efectos indirectos negativos de la presa.

7. CONCLUSION

A lo largo de los dos estudios que constituyen este informe, se pudo determinar el estado de las poblaciones de las tres especies endémicas dulceacuícolas de la Isla del Coco y los impactos de la represa de toma de agua sobre las mismas.

La primera parte de este trabajo servirá de base de conocimientos del estado poblacional de esas especies, que se podrá comparar en el futuro, tras la realización de actividades humanas específicamente en el marco del proyecto restauración de flora y fauna de la Isla del Coco. En efecto, la repetición de este trabajo permitirá medir la evolución de las especies endémicas dulceacuícolas y por lo tanto medir el impacto de dichas actividades humanas sobre la calidad biológica de los ríos.

Igualmente, la realización de este informe podrá servir como soporte al estudio de factibilidad relativo a la creación del Proyecto Hidroeléctrico río Chatham, para la proporción de electricidad en la base Chatham.

Del estudio poblacional, resulta que *Sicydium cocoensis* es la especie más abundante en los ríos. Se encuentra en cantidad a lo largo de los ríos y presenta una estructura poblacional compleja. Sin embargo, las dos otras especies, *Gobiesox fulvus* y *Eleotris tubularis*, suelen ser más sensibles en la medida en que, según el caso, no se encuentran en todas las partes del río o bien no tienen una estructura poblacional equilibrada en cada parte de los ríos. Las dificultades encontradas durante la realización del trabajo de campo limitaron la validez de los resultados.

La segunda parte del trabajo, el análisis de los impactos de la represa de la toma de agua sobre las especies endémicas dulceacuícolas, reveló que la presa no presenta impactos sobre las poblaciones de *Sicydium cocoensis* ni sobre las de *G. fulvus* puesto que esas dos especies se encuentran aguas arriba como aguas debajo de dicha represa, sin diferencias significativas entre las cantidades de individuos. Sin embargo, sí tiene un impacto sobre las poblaciones de la guavina *Eleotris tubularis*, ya que se encuentra aguas abajo pero no aguas arriba. La extracción de caudal ocasionada por la actividad hidroeléctrica no presenta efectos negativos sobre las especies ya que es superior al caudal ecológico autorizado.

Para reducir los impactos del dique sobre la guavina, el mantenimiento frecuente de la represa y sobre todo la apertura de la puerta son oportunidades de subir para este pez. Aguas arriba, la presencia de un sustrato de grava de 1cm constituye un hábitat de caza de predilección para *E. tubularis*, mientras las rocas grandes presentes son sitios de descanso para la misma especie.

Entonces, a pesar de la velocidad alta de corriente durante la apertura de la puerta, si la guavina pudiera subir, encontraría aguas arriba un hábitat favorable para su vida, particularmente en cuanto a la disponibilidad de hábitat, en cantidad, cualidad y diversidad, y también al nivel de la disponibilidad en comida por la presencia de *S. cocoensis*.

Ahora se extraen tanto residuos orgánicos como gravas durante las operaciones de mantenimiento de la represa. Por otro lado, se reportó la observación de un ejemplar de la guavina aguas arriba de la presa por un funcionario, sin que se pudiera confirmar en el trabajo de campo.

Emitiendo la hipótesis según la cual *E.tubularis* podría subir a veces y encontrarse aguas arriba, el hecho de extraer el sustrato de tipo "grava" presente en la poza aguas arriba durante el mantenimiento sería perjudicial para la vida de esta especie ya que constituye su lugar de caza.

En este sentido, una propuesta para mejorar las oportunidades de vida de la guavina *Eleotris tubularis* aguas arriba de la represa sería solo extraer los residuos orgánicos como las hojas y palos acumulados en el fondo del río, y dejar el sustrato de grava, para que pueda seguir cazando y viviendo aquella guavina.

Sin embargo, aún si se hiciera caso, solo permitiría la vida de *E.tubularis* aguas arriba hasta la catarata o sea sobre una distancia de 200 m, porque la misma, presentando una caída de agua de casi 30 metros, impediría la subida de esta especie. En este sentido, los efectos de la presa del río Genio sobre *E.tubularis* son relativos.

BIBLIOGRAFÍA

- Proyecto Estudio de factibilidad y diseño para la construcción de infraestructura y servicios de apoyo en el parque nacional isla del Coco", Anexo 10, "Características de las aguas dulces insulares", área de conservación marina Isla del Coco, Agosto 2003
- Instituto Costarricense de Electricidad, Centro nacional de planificación eléctrica, proceso tecnologías de generación, "Isla del coco, evaluación de esquemas para micro-centrales hidroeléctricas, informe preliminar, San José, Agosto 1999"
- Recopilación de Información Acerca de las Zonas Acuáticas en la Isla del Coco y Organización de sus Oficinas de Documentación, Katherine Cure Chams, Ilena Zanella Cesarotto, Universidad Nacional, 2004.
- Preferencias de hábitat para la Machaca (*Brycon behrae*) y el Chupapiedras (*Sicydium altum*) en el río Tuis y Propuestas preliminares de vías de migración para el Bobo (*Joturus pichardi*) y el Tepemechín (*Agonostomus monticola*), Jean-Philippe Vornière, Setiembre 2007.
- Causes et Impacts de l'ensablement et des seuils sur les populations piscicoles et hydrobiologiques sur les rivières Sédelle, Cazine et Brézentine, Jean-Philippe Vornière, 2004.
- Peces de las aguas continentales de Costa Rica. -504 páginas, Universidad de Costa Rica. Rev. Biol. Trop. Vol. 46, supl. 2. Bussing, W. A. 1998.
- Taxonomía, biología y ecología de la guavina (*Gobiomorus maculatus*) (Gunther, 1859) de las planicies costeras de la vertiente del pacífico de Costa Rica, resumen, Alpírez Quesada, Oliver Tesis de Maestría. (1985).
- *Aprovechamiento Hidroeléctrico en Costa Rica: Experiencia en la apertura de la Generación Hidroeléctrica y el desarrollo sostenible*, Jose Miguel Zeledón C. , Jefe Dpto. Aguas MINAE, Costa Rica, Mayo 2001
- Caudales ambientales: comentarios para su aplicación en la protección de la biodiversidad acuática y los ríos en Costa Rica, Ruth Thifer Sotomayor, ecología de los ríos
- www.scielo.sa.cr ,Rev. biol. trop v.53 n.s2 supl.2 San José jun. 2005