

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

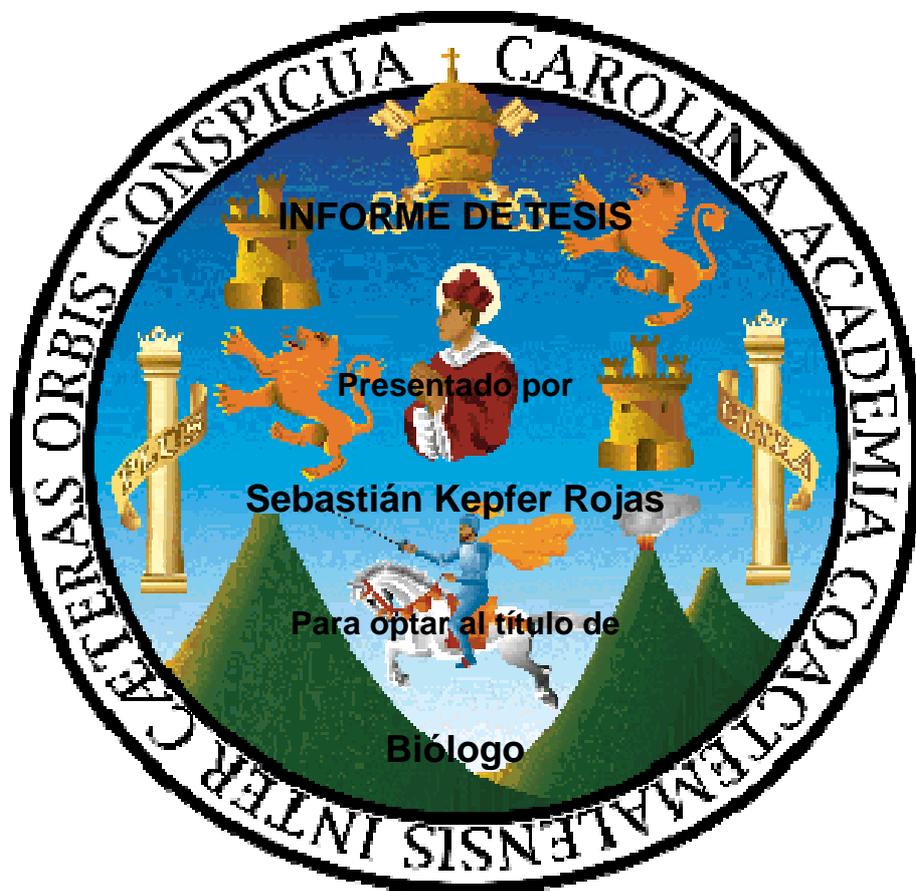
Aves como bioindicadores de la Integridad Ecológica de la  
zona baja del Río Polochic, Alta Verapaz e Izabal



Guatemala, agosto del 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

Aves como bioindicadores de la Integridad Ecológica de la  
cuenca baja del Río Polochic, Alta Verapaz e Izabal



**Guatemala, agosto del 2008**

## JUNTA DIRECTIVA

Oscar Cóbar Pinto, Ph.D.	Decano
Lic. Pablo Ernesto Oliva Soto	Secretario
Licda. Lillian Raquel Irving Antillón, M.A.	Vocal I
Licda. Liliana Vides de Urizar	Vocal II
Licda. Beatriz Eugenia Batres de Jiménez	Vocal III
Br. Andrea Alenandra Alvarado Álvarez	Vocal IV
Br. Anibal Rodrigo Sevillanos Cambronero	Vocal V

*En Dedicatoria a:*

*Mis padres, Rodolfo y Shený, por su apoyo incondicional tanto en mi formación académica como a lo largo de mi vida.*

*La Universidad de San Carlos de Guatemala, por ser la casa de estudios que ha permitido la adquisición de conocimientos y el desarrollo intelectual, mío y de tantos guatemaltecos.*

*Agradezco:*

*A mis padres y hermanos, por brindarme su apoyo, cariño y ejemplo a lo largo de mi vida*

*A mi asesora, Lcda. Raquel Sigüenza de Micheo y al PhD Juan Fernando Hernández por guiarme y apoyarme, tanto en el desarrollo de éste estudio como en mi formación universitaria*

*A la Fundación Defensores de la Naturaleza del Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic por el apoyo institucional y financiero*

*A las fincas Santa Elena y Las Cabañas por permitir el uso de sus instalaciones y su interés por la conservación de los recursos naturales*

*A todos los profesores que participaron en el proceso de formación académica*

*A mis compañeros y amigos, por tantos momentos compartidos...*

## ÍNDICE

1. Resumen.....	1
2. Introducción.....	2-3
3. Antecedentes.....	4-11
3.1. Área de Estudio: Características e Importancia.....	4-6
3.2. Bosques de Galería y Vegetación Riparia.....	6-7
3.3. Integridad Ecológica.....	7-11
4. Justificación.....	12-13
5. Objetivos.....	14
5.1. General.....	14
5.2. Específicos.....	14
6. Hipótesis.....	15
7. Materiales y Métodos.....	16-21
6.1. Universo, Población y Muestra.....	16
6.2. Materiales.....	16
6.3. Métodos.....	16-21
8. Resultados.....	22-30
8.1. Diversidad y Abundancia de aves en el Área de Estudio.....	22-23
8.2. Comparación entre Sitios.....	23-26
8.3. Sitios de Estudio e índice de Perturbación Humana.....	26-28
8.4. Índice de Comunidad de Aves.....	28-30
8.5. Comparación entre el IPH y el ICA.....	30
9. Discusión.....	31-37
9.1. Diversidad y Abundancia de aves en el Área de Estudio.....	31
9.2. Comparación entre Sitios.....	31-32
9.3. Sitios de Estudio e índice de Perturbación Humana.....	32-34

9.4. Índice de Comunidad de Aves.....	34-37
9.5. Comparación entre el IPH y el ICA.....	37
10. Conclusiones.....	38-40
11. Recomendaciones.....	41
12. Referencias.....	42-48
13. Anexos.....	49-62

## 1. RESUMEN

La parte baja de la cuenca del río Polochic es una zona en la cual se llevan a cabo una serie de distintas actividades humanas. El uso del suelo en esta parte de la cuenca se caracteriza por agroindustria (caña de azúcar y palma Africana), agricultura de subsistencia, ganadería y actividades de conservación, particularmente en el Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic.

Para poder implementar programas de conservación es necesario determinar el estado general de salud del ecosistema, así como identificar sitios dañados y grados de perturbación en las distintas zonas que se pretenden proteger o restaurar.

Una de las formas de estimar la integridad ecológica o el “estado de salud” de un ecosistema ha sido el monitoreo de ciertos taxones o comunidades biológicas. El taxón Aves presenta una serie de características que lo hacen ideal para dichos fines.

En este estudio se utilizó una metodología para determinar la integridad ecológica de un sitio, la cual se basa en la estimación de un Índice de Perturbación Humana y un Índice de Comunidad de Aves, para luego determinar si existe alguna relación entre ambos.

Basado en los índices anteriores se observó un descenso en la integridad ecológica desde el sitio 1 hasta los sitios 4 y 5, es decir desde las partes altas de esta porción de la cuenca hasta las que se encuentran cercanas a la desembocadura del río en el Lago de Izabal. Estos sitios se encuentran dentro del Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic por lo que reciben una mayor protección y se encuentran mejor conservados. Este hecho fue demostrado por el aumento en los índices de diversidad y de comunidad de aves en dichos sitios ( $H=3.72$ ,  $ICA = 91$  en el sitio 5;  $H = 3.59$ ,  $ICA= 63$  sitio 4).

Asimismo, se observó una fuerte correlación negativa ( $r=0.0915$ ;  $p=0.029$ ) entre el Índice de Comunidad de Aves y el Índice de Perturbación Humana, por lo que esta metodología demostró ser útil para determinar la integridad ecológica en el período y el sitio de estudio.

## 2. INTRODUCCIÓN

En la región del nororiente de Guatemala se encuentra ubicada la desembocadura del río Polochic, un sistema hídrico que desde su nacimiento en las montañas de Alta Verapaz hace su recorrido hasta alcanzar las zonas bajas de Izabal desembocando en el lago de mismo nombre (FDN 2001). Allí se encuentra el Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic, un sitio de gran importancia para la conservación y el mantenimiento de la biodiversidad (FDN 2006).

La integridad ecológica del Río Polochic varía entre zonas severamente amenazadas por la actividad humana en la parte alta de la cuenca hasta zonas relativamente silvestres que se encuentran en la parte baja principalmente dentro del Refugio de Vida Silvestre Bocas de Polochic, en donde existe cierta regulación de las actividades humanas (Dix 1999).

Los ríos adquieren muchas de sus características de los ecosistemas terrestres a través de los cuales fluyen. Son muchos los factores naturales los que determinan la salud de un ecosistema. Sin embargo, aunados a estos factores naturales, se encuentran las diversas actividades humanas como la urbanización, contaminación, deforestación, erosión y prácticas agrícolas que han degradado los ríos hasta que muchos de ellos se encuentran severamente amenazados, particularmente en zonas tropicales (Davies *et al.* 1983, Sudlow 2004).

El cambio de uso de la tierra, derivado de las distintas actividades humanas, ha provocado la disminución de la cobertura boscosa original y la fragmentación del paisaje (Blair 1996). Esto ha llevado a variaciones en las comunidades biológicas originales en muchas regiones de Guatemala.

Para poder implementar programas de conservación es necesario determinar el estado general de salud del ecosistema, así como identificar sitios dañados y grados de perturbación en las distintas zonas que se pretenden proteger o restaurar (Parrish 2003).

Una de las formas de estimar la integridad ecológica o el “estado de salud” de un ecosistema ha sido el monitoreo de ciertos taxones o comunidades biológicas. El

taxón Aves presenta una serie de características que lo hacen ideal para dichos fines (Morrison 1986, Croonquist 1991, Jansen 2001 ).

En este estudio se desarrolló un Índice de Perturbación Humana (IPH) basado en distintas variables para determinar el grado de perturbación en sitios que presentan distintas actividades humanas (Brooks 1988). El IPH se utiliza para medir la extensión de la perturbación humana en un sitio en particular. Es un método que incorpora varios índices combinados con el juicio profesional del investigador e información disponible, para calcular una calificación que permite clasificar a un sitio que se encuentra en una “condición pobre” (críticamente modificado) hasta uno que se encuentra en una “condición natural” (Sudlow 2004).

Asimismo, a través de puntos de conteo se obtuvieron datos de la comunidad de aves en los sitios que presentan los distintos grados de perturbación. Con estos datos se elaboró un Índice de Comunidad de Aves (ICA). El ICA está basado en los gremios de respuesta de aves, los cuales son grupos de especies con similares requerimientos de hábitat, alimento u otros elementos que les permiten sobrevivir (Verner 1984, Szaro 1986, Brooks y Croonquist 1990). Los cambios en la disponibilidad de un recurso específico se manifiestan por respuestas poblacionales en todas las especies que dependen de dicho recurso.

El ICA fue contrastado con el IPH para determinar si existe una correlación entre ambos (Brooks 1998, O’Connell 1999, Sudlow 2004).

### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1. ÁREA DE ESTUDIO: CARACTERÍSTICAS DEL SITIO E IMPORTANCIA ECOLÓGICA

El río Polochic es el principal afluente del lago de Izabal, aportando aproximadamente el 50 % del volumen de agua que ingresa. Inicia su recorrido de 177 km en el municipio de Cobán, Alta Verapaz hasta desembocar en el extremo oeste del lago de Izabal, en el área del humedal Bocas del Polochic (ver mapa, Anexo I). Tiene un área de cuenca de 2,759 km<sup>2</sup>, abarcando los departamentos de Alta Verapaz, Baja Verapaz, Zacapa, Izabal y una pequeña parte de El Progreso (FDN 2006).

En la cuenca del río Polochic se encuentran representadas cinco biomas: Bosque húmedo subtropical (templado), Bosque muy húmedo subtropical (cálido), Bosque muy húmedo subtropical (frío), Bosque pluvial Montano Bajo Subtropical y Bosque Pluvial Subtropical (Dix 1999).

La cuenca se ubica dentro de las provincias fisiográficas: Tierras Altas Cristalinas que incluyen la sierra de Chuacús y la Sierra de las Minas; las Tierras Altas Sedimentarias que incluyen la sierra de Santa Cruz y la sierra de Chamá; y la Depresión de Izabal que incluye la llanura de inundación y el Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic (Herrera 1999).

Además la cuenca presenta un variado relieve, con altitudes que van desde los 3,015 msnm en la Sierra de Las Minas hasta los 15 msnm en el municipio de Panzós. Asimismo, la precipitación varía entre los 1500-3500 mm y el promedio de temperatura anual entre los 15°C en Cobán hasta los 31°C en las partes bajas de los municipios de Izabal (FDN 2006).

La parte del humedal de la cuenca está sujeta a inundaciones originadas por lluvias y por desbordamientos del río Polochic, ya que el cauce del mismo se encuentra más elevado con respecto a las áreas adyacentes (Dix 1999).

La geología del área está caracterizada por unidades que predominan en la cuenca que pertenecen al Cretácico, con un 24% y los aluviones cuaternarios con un 14%. A

nivel de Subcuencas las conformaciones son variables comprendiendo una gran cantidad de unidades geológicas que se extienden desde el Paleozoico y Mesozoico hasta el período Cuaternario (FDN 2001).

Los suelos en la depresión de Izabal son aluviales profundos, mal drenados, franco arcillosos; en los valles ningún suelo es dominante, por haberse originado de una cantidad de diferentes materiales originales, cuyo material ha sido arrastrado y depositado en áreas planas (MINERA NET.2000). Estos suelos son poco aptos para la agricultura, siendo más utilizados para ganadería y agricultura de inundación. En las Tierras Altas Sedimentarias los suelos son profundos y poco profundos, de bien a excesivamente drenados, de relieves generalmente inclinados, algunos sobre piedra caliza dura y masiva, materiales aluviales y esquistos; consistencia arcillosa, franco arcillosas y en algunos caso franco limosas desarrollados sobre cenizas volcánicas (Simmons *et al.* 1959), en general los suelos están limitados por la pendiente y su vocación predominante es forestal (Herrera 1999).

La gran variedad de materiales originales, exposición a la humedad y pendientes forman un gran mosaico de tipos de vegetación variables espacialmente. Dicha variabilidad propicia una alta biodiversidad, la cual se ve reflejada en los registros de más de 622 especies de plantas endémicas o amenazadas; más de 40 especies de mamíferos, más de 400 especies de aves; 11 especies de anfibios y 32 de reptiles, así como la probable ocurrencia de más de 100 especies de peces marinos y costero marinos. A nivel de la cuenca los datos globales de biodiversidad no están adecuadamente cuantificados y mucha de la información se encuentra dispersa en análisis espaciales circunscritos principalmente a las nueve áreas protegidas que se encuentran en la cuenca (FDN 2006).

La cuenca del Polochic juega un papel clave a través del aporte de cantidad y calidad de agua, la conservación de los procesos biológicos y la mitigación de desastres naturales; es fuente de agua para producción de energía eléctrica, abastecimiento de centros urbanos y rurales y actividades económicas como la pesquería, turismo, recreación, producción de bioenergía y materia prima (Dix 1999).

La parte baja de la cuenca se localiza a partir del municipio de Panzós, desde el cual mantiene una altitud inferior a los 15 msnm. Esta área se encuentra en la zona de vida Bosque muy Húmedo Subtropical (cálido) (FDN 2001).

A lo largo de su recorrido, el río Polochic y los distintos elementos de su cuenca sufren de una serie de amenazas, siendo las principales la transformación del uso del suelo para la ganadería y la agricultura, prácticas forestales inadecuadas y desarrollo de infraestructuras (carreteras). Dichas actividades han provocado alteraciones en los regímenes fisicoquímicos, hidrológicos, cambios en la composición y estructura y, disminución en el tamaño de los remanentes boscosos (FDN, 2006).

### 3.2. BOSQUES DE GALERÍA Y VEGETACIÓN RIPARIA

La zona riparia comprende la porción del canal fluvial y la porción de vegetación terrestre en donde la vegetación puede ser influenciada por incrementos en la altitud del manto de agua durante los períodos de inundación, y se considera una de las áreas más dinámicas del paisaje. Como tal, contiene una gran diversidad de complejos hábitats biofísicos sujetos a perturbaciones significativas frecuentes. A pesar de esto los sistemas riparios se caracterizan por su resiliencia, i.e. su capacidad de recuperarse rápidamente de las perturbaciones. Las altas tasas de crecimiento, alta fecundidad y la capacidad de reproducción asexual son algunos de los factores que permite la rápida recuperación de la vegetación riparia después de una perturbación (Rountree 1997).

Las zonas riparias juegan muchos roles esenciales en el funcionamiento de los ecosistemas del río, como regulación de la corriente, regulación de la calidad de agua, provisión de hábitats para plantas y animales, e incluso sirven como un corredor entre distintos tipos de hábitat (WRC 2001).

A pesar de ser tierras pertenecientes al Estado, y que la Constitución de la República contempla el aprovechamiento de las aguas de los lagos y ríos, especialmente, para fines agrícolas, agropecuarios, turísticos o de otra naturaleza y para su utilización prioritaria al servicio de las comunidades y no de personas particulares, y que obliga a los usuarios a reforestar sus riberas, cauces y lugares aledaños a fuentes de agua, (Congreso de la República de Guatemala 1985), en Guatemala muchas de las zonas

riparias han sido subarrendadas a personas particulares las cuales han transformado la vegetación, deforestando grandes extensiones para la utilización de tierras para ganadería o la introducción de cultivos, con lo que el efecto amortiguador de los bosques de galería se ve afectado y con ello se interrumpe la integridad ecológica, no sólo de los bosques y los ríos sino de todos los ecosistemas de las cuencas (Cerezo 2001).

Las zonas riparias y su biota asociada son influenciadas y alteradas por dos factores principalmente, las inundaciones y la introducción de plantas exóticas (Jansen 2001). Las inundaciones son la fuente primaria de perturbación y se consideran como la fuerza que impulsa la existencia, persistencia, productividad e interacciones de la biota de ribera. Asociados a estos altos grados de perturbación se encuentran altos grados de biodiversidad de plantas. Cuando estas perturbaciones son suprimidas o eliminadas, resulta en grandes modificaciones en la vegetación. Sin embargo, las inundaciones frecuentes también evitan el establecimiento de vegetación debido tanto a la erosión como a efectos fisiológicos de la inundación (Rountree 1997).

En zonas con intensivas actividades humanas como agricultura e industria, los hábitats riparios son especialmente importantes para la vida silvestre, ya que les provee de un refugio y les permite desplazarse a lo largo de la ribera en busca de alimento y sitios de anidamiento. Debido a que estos requerimientos de hábitat son el principal factor que determina la distribución y la abundancia de los organismos, alteraciones en dichos requerimientos determinan la presencia o ausencia de los organismos. Por lo mismo, el conocimiento y comprensión de dichos requerimientos permite hacer predicciones de los efectos que las alteraciones al ecosistema pueden tener en la distribución y abundancia de las poblaciones (Sudlow 2004).

### 3.3. ESTIMACIÓN DE LA INTEGRIDAD ECOLÓGICA

La integridad ecológica de un sitio se refiere a la capacidad de un sistema ecológico de soportar y mantener una comunidad de organismos, cuya composición de especies, diversidad y organización funcional son comparables con los hábitats naturales dentro de una región particular (Parrish *et al.* 2003).

Desde hace mucho tiempo los científicos han tratado de relacionar la distribución y la abundancia de los organismos con algún factor de su entorno. Se han investigado los factores que influyen en su evolución, éxito reproductivo, dispersión, migración y otros aspectos de su ecología (Karr 1991). Estos intentos han ido desde descripciones cualitativas de la distribución y asociación entre plantas y animales hasta análisis estadísticos cuantitativos de las interrelaciones de plantas, animales y su medio ambiente (Morrison 1986).

Diferentes acercamientos han sido utilizados para preparar y analizar datos de indicadores biológicos. Todos comienzan con la elaboración de un listado de especies, o en el caso de organismos cuya identificación hasta nivel de especie no es posible (e.g. organismos bentónicos), se utilizan listados de taxones (USEPA 1999).

Los primeros intentos en la utilización de indicadores se basaron en la presencia o ausencia de especies utilizadas en la pesca deportiva para estimar la salud de los cuerpos de agua. Sin embargo, los científicos se dieron cuenta que dicha estimación era más complicada que la utilización de simplemente ciertas especies indicadoras. Con el tiempo se comenzaron a tomar medidas de peso y longitud de peces para incluirlos a la base de datos y con el tiempo se desarrollaron índices numéricos de organismos bentónicos. Estos índices inicialmente fueron llamados índices bióticos ya que asignaban valores numéricos a la tolerancia a la contaminación de diferentes especies de indicadores biológicos. Al mismo tiempo fueron desarrollados índices de diversidad que crecieron en popularidad (USEPA, 1999).

Muchos índices de integridad biológica fueron desarrollados para numerosos ensamblajes acuáticos (Karr 1981, 1991, Klemm *et al* 2003), pero este método también se ha vuelto prometedor para taxa de especies terrestres incluyendo las aves (Bradford *et al.* 1998, Canterbury *et al.* 2000, Bryce *et al.* 2002).

Los indicadores terrestres pueden ser un importante complemento a la estimación de componentes acuáticos ya que responden directamente a las perturbaciones que, por lo general, preceden a los cambios en las características físicas y acuáticas de los humedales, como son los impactos en la vegetación riparia y en el cuerpo de agua que circundan (Gregory *et al.* 1991, Bryce 2002).

Un grupo particular de organismos que habitan los ecosistemas ribereños y que se ven afectados por los cambios ambientales producidos por los humanos son las aves (Morrison 1986). Debido a su adaptabilidad muchas especies de aves pueden habitar en ambientes humanos exitosamente; sin embargo, algunas especies están altamente especializadas para habitar ambientes específicos, como lo son las zonas riparias y hábitats ribeños, y su presencia o ausencia es una herramienta útil para estimar la integridad ecológica de un área (Szaro 1986).

Nuevas tendencias en el manejo de vida silvestre han demostrado la utilidad de las aves como especies indicadoras de la "salud ambiental" (O'Connell *et al.* 1999). Además, Stotz *et al.* (1996) han identificado al menos seis características que hacen de las aves un buen grupo indicador:

- 1) Comportamiento conspicuo: la mayoría de aves son diurnas y muy activas, por lo que pueden ser inventariadas de forma relativamente fácil.
- 2) Identificación rápida y confiable: los observadores principiantes requieren sólo de una moderada cantidad de entrenamiento y práctica para identificar la mayoría de aves. Estas pueden ser identificadas sólo por sus patrones de color, mientras que otros taxones requieren un entrenamiento técnico considerable (por ejemplo, disección, exámen microscópico o disponibilidad de caracteres efímeros como flores o partes del fruto, en el caso de plantas).
- 3) Facilidad de toma de muestras: listas representativas de especies pueden ser obtenidas en sólo unos pocos días para cualquier hábitat terrestre. Además, en la mayoría de los casos, las aves están activas durante todo el año. Los implementos necesarios para realizar dichos inventarios son de fácil obtención (binoculares, grabadoras, redes de captura y guías de campo).
- 4) Conocimiento del taxón: la taxonomía a nivel de especie es mucho mejor conocida que para cualquier otro grupo de plantas o animales. Para la mayoría de usos, se ha completado la tarea de nombrar y encontrar especies, lo cual no ocurre en otros grupos taxonómicos.

5) Diversidad y especialización ecológica: los números de especies, distribución y grado de especialización de las aves las hacen indicadores ideales. Virtualmente todos los hábitats terrestres contienen una comunidad distinta de aves, y las especialistas y endémicas son numerosas.

6) Alta sensibilidad a la perturbación: las respuestas de las aves a la perturbación y fragmentación de hábitat varía considerablemente entre especies, por lo que se esperaría una respuesta particular a diferentes niveles de la comunidad a estos fenómenos.

Como parte del Programa de Estimación y Monitoreo Ambiental (EMAP, por sus siglas en inglés) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en inglés), fue identificado un indicador de la integridad biótica, basado en la composición de las comunidades de aves (O'Connell *et al.* 1999). Debido a que dichas aves ocupan una gran variedad de hábitats, se pretende que el Índice de Comunidad de Aves (ICA) pueda ser utilizado en amplias regiones fisiográficas que presenten distintos tipos de uso de tierra y distintas intensidades de alteración humana (Sudlow 2004).

Estos estudios han permitido relacionar el ICA con un Índice de Perturbación Humana (IPH) con lo que se han podido determinar variaciones en la composición de la comunidad e aves que responden a un gradiente de perturbación, y que permiten determinar la integridad ecológica de los ecosistemas riberos (Bradford 1998, O'Connell 1999, Jansen 2001, Bryce 2002, Sudlow 2004).

En el hemisferio norte las aves han sido utilizadas como indicadores biológicos de la calidad ambiental en mucho programas de manejo (e.g., Morrison 1986, Jenjins 1988). Desafortunadamente, a nivel del Neotrópico y debido a que la mayoría de los ambientes naturales han sido altamente alterados por las actividades humanas, esta útil herramienta de conservación no ha sido utilizada exitosamente, entre otras razones, por la falta de conocimiento de la avifauna Neotropical (Anjos *et al.* 1997).

En años recientes, en Latinoamérica se han realizado un mayor número de estudios en los que se han descrito las comunidades de aves en relación a su hábitat (e.g. Anjos *et al.* 1997; Milesi *et al.*, 2002; Price 2006). En Guatemala, y especialmente en el

departamento de Izabal se han realizado tanto estudios ornitológicos de partición de hábitat (Cerezo 2001) como estudios más específicos en los que se utiliza al taxón como posible indicador de sitios de conservación (Ver Cerezo y Hernández 2006).

#### 4. JUSTIFICACIÓN

El rápido incremento en la pérdida de los bosques tropicales y subtropicales es una de las principales amenazas a las especies de flora y fauna silvestres. Esta destrucción de hábitat y cambio de uso de la tierra han provocado la variación en la biodiversidad al cambiar grandes extensiones de bosques por paisajes fragmentados en los que parches de cultivos aíslan y disminuyen las áreas boscosas (Blair 1996).

Este fenómeno ocurre actualmente a lo largo de la cuenca del Río Polochic, amenazando la integridad ecológica de la misma. Por lo tanto, es necesario tener una idea del grado en que la perturbación humana ha provocado variaciones en biodiversidad, ya que esto nos da una idea de la calidad del hábitat en general.

Las aves también sufren reducción en la riqueza hasta el punto en que algunas especies son sujetas a extinciones locales o son reemplazadas por otras especies más adaptables a los nuevos ambientes. Por esta razón son un útil indicador que permite estimar el estado de la biodiversidad general de un hábitat intervenido al compararlo con bosques prístinos o mejor conservados (Morrison 1986; Croonquist 1991; Jansen 2001).

A pesar de que existen algunos estudios ornitológicos más específicos (ver Cerezo 2001; Cerezo y Hernández), la mayor parte de la investigación ornitológica en el Neotrópico y en Guatemala se ha concentrado en los mejores casos en describir detalladamente la comunidad de especies de un sitio particular o entre hábitats, por lo general muy disímiles, a una escala local (ver, por ejemplo, Terborgh *et al.* 1990 y Robinson y Terborgh 1997). Por lo que es necesario determinar la factibilidad en la aplicación de estos biomonitoreos ya que permiten la obtención de resultados a corto plazo y costos bajos.

Se espera que los resultados de este estudio ayuden a evaluar el estado de conservación del ecosistema de la cuenca del río Polochic, permitan implementar medidas de manejo, justifiquen la protección de los remanentes boscosos e identifiquen sitios importantes para la restauración y/o protección. Asimismo, con este estudio se determinará la factibilidad del uso de aves como indicadores de la integridad ecológica o del “estado de salud” del ambiente y su posible implementación

como una medida sencilla, rápida y poco costosa para determinar la calidad de ambientes en la cuenca del río Polochic y posiblemente en otros humedales.

## 5. OBJETIVOS

### 5.1. General:

Determinar si existen diferencias en la composición de las comunidades de aves residentes y migratorias expuestas a distintos grados de perturbación humana y utilizar un índice de comunidad de aves como una herramienta para determinar la integridad ecológica de la cuenca baja del Río Polochic.

### 5.2. Específicos:

5.2.1. Determinar si existe relación entre el Índice de Perturbación Humana y el Índice de Comunidades de Aves en la cuenca baja del río Polochic.

5.2.2. Corroborar el uso de aves como indicadores de impacto humano en zonas riparias en la cuenca baja del río Polochic.

5.2.3. Elaborar y validar el uso de una metodología que permita la rápida estimación de la integridad ecológica en zonas riparias del país.

## 6. HIPÓTESIS

El Índice de Comunidad de Aves está inversamente relacionado al Índice de Perturbación Humana en la parte baja de la cuenca del Río Polochic

## 7. MATERIALES Y MÉTODOS

### 7.1. UNIVERSO:

Población: Aves de la cuenca baja del río Polochic

Muestra: Aves detectadas en 5 sitios en la cuenca baja del río Polochic

### 7.2. MATERIALES

- Boletas pre-diseñadas (ver Anexos)
- Binoculares
- Guías de campo de identificación de aves
- Lápiz
- Reloj
- Cámara fotográfica digital
- 2 cayucos de fibra de vidrio
- GPS (Garmin 12 XL)

### 7.3. MÉTODOS

#### 7.3.1. Sitios de Estudio

El estudio se llevó a cabo en la parte baja de la cuenca del río Polochic, en los departamentos de Alta Verapaz (municipio Panzós) e Izabal (municipio El Estor). Cinco sitios fueron seleccionados a lo largo del río Polochic, dos de estos sitios se encuentran dentro del Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic y tres por fuera de éste. Los sitios fueron seleccionados de acuerdo a las distintas actividades humanas que se lleven a cabo y al grado de perturbación para poder obtener un gradiente.

#### 7.3.2. Puntos de Conteo

En cada uno de los sitios anteriormente identificados se establecieron transectos acuáticos de 1 km de longitud. En cada uno de estos transectos se identificaron puntos de conteo a 100 metros de distancia uno de otro. En estos puntos se realizaron observaciones de 10 minutos de duración durante los cuales se reportaron todas las

especies de aves observadas y escuchadas (Hutto *et al.* 1986; Manuwal y Carey, 1991). Los sitios fueron visitados uno por día, a partir de la salida del sol, una vez al mes durante los meses de noviembre y diciembre de 2007.

### 7.3.3. Índice de Perturbación humana (IPH)

La disponibilidad de hábitat y la diversidad son determinantes en la estructura de la comunidad acuática y en la capacidad en que un sistema puede mantener una biota específica. Los cambios adversos en las comunidades biológicas pueden ser atribuidos al deterioro en la calidad de agua o a la degradación del hábitat, o a ambos (Sudlow 2004). El índice de Integridad de Hábitat (IIH) (Kleynhans 1996), ha sido desarrollado para determinar los impactos de las perturbaciones en las cuencas de los ríos. El IIH se basa en un procedimiento cualitativo descrito por Kleynhans (1996) Este método también ha sido propuesto por el Departamento de Asuntos Hídricos y Forestales de Sudáfrica (DWAF por sus siglas en inglés) para determinar la integridad del hábitat (DWAF 1999). Este índice investiga a gran escala la integridad del hábitat de un río, i.e. a nivel de cuencas, y estima la integridad del río tanto en su hábitat en sí como en el componente ripario del mismo (Kotze 2002).

La colecta de datos en este procedimiento varía entre la inspección aérea y terrestre y se inclina hacia la estimación de las modificaciones de la vegetación riparia y del canal del río causadas por las actividades antropogénicas. Se utilizó el método propuesto por Sudlow (2004), en el cual solamente se utiliza la inspección a nivel terrestre de cada uno de los sitios. Los criterios utilizados en la estimación de la integridad de hábitat incluyen: abstracción de agua, modificación del flujo, modificación del manto, modificación de la calidad del agua, inundación, macrófitas exóticas, deposición de sólidos, remoción de la vegetación nativa, invasión de vegetación exótica y erosión de los bancos del río. Estos criterios fueron estimados y medidos de acuerdo a su impacto (de ninguno a crítico) en la integridad del hábitat. A cada criterio utilizado se le asignó un valor de en una escala de 1 a 10. Para determinar el índice de Perturbación de cada sitio, los valores de cada criterio fueron sumados y este total fue dividido dentro del máximo valor total (i.e. No. De criterios \* 10). Dicho valor fue expresado como un valor porcentual, siendo el valor más cercano a 100 el que tuvo el mayor grado de perturbación. El puntaje final fue utilizado para ubicar a cada sitio en una categoría descriptiva específica de integridad de hábitat. (Kotze 2002).

#### 7.3.4. Gremios de Respuesta

Para la construcción del Índice de Comunidad de Aves (ICA), las aves detectadas fueron asignadas a gremios de respuesta fisiológicos y conductuales en base a una revisión bibliográfica. O'Connell *et al.*, (1998) proponen 16 gremios en 8 categorías de gremio en base a factores como la alta correlación con otros gremios y una respuesta predecible a los cambios en la cobertura de la tierra (Ver cuadro 7.1).

Debido a que se seleccionaron gremios específicos que reflejan aspectos de la biología de cada especie, las especies pueden pertenecer simultáneamente a varios gremios. No obstante, una especie sólo puede pertenecer a 8 categorías de gremio, por ejemplo, sólo puede tener una estrategia de forrajeo o un sitio de anidamiento.

Los gremios individuales son categorizados como “especialistas” o “generalistas” basándose en la relación de cada uno de los gremios con la estructura, función y la composición del ecosistema. Por ejemplo, el sitio de anidamiento se relaciona directamente con la disponibilidad de sustrato para anidar (un elemento estructural). Las especies que anidan en arbustos son consideradas como generalistas debido a que arbustos pueden ser encontrados tanto en bosques secundarios, sitios suburbanos y lugares agrícolas. Por el otro lado, las especies que anidan en el dosel son consideradas como especialistas ya que los bosques maduros no se encuentran en zonas urbanas, agrícolas o con cualquier otro tipo de perturbación humana. La Categoría trófica (i.e. omnívoro) refleja aspectos de función del ecosistema: los omnívoros pueden funcionar como consumidores primarios, por lo que pueden explotar un rango más amplio de recursos que los insectívoros, que son consumidores secundarios obligados, por esto se considera a los omnívoros como generalistas en relación con los insectívoros.

Cuadro 7.1 Resumen de los Gremios de respuesta utilizados para la Determinación del ICA.

Elemento de Integridad	Categoría de Gremio	Gremio de Respuesta	Especialista	Generalista
Función	Trófico	Omnívoro		X
Función	Conducta de Forrajeo Insectívoro	Forrajero de corteza	X	
Función	Conducta de Forrajeo Insectívoro	Colector de suelo	X	
Función	Conducta de Forrajeo Insectívoro	Forrajero de dosel alto	X	
Función	Conducta de Forrajeo Insectívoro	Forrajero de dosel bajo	X	
Composición	Limitante de Población	Predador de nido/ Parásito de nidada		X
Composición	Origen	Exótico		X
Composición	Migratorio	Residente		X
Composición	Migratorio	Latitudinal		X
Composición	Número de la nidada	1-nidada	X	
Estructura	Anidamiento	dosel	X	
Estructura	Anidamiento	Arbustivo		X
Estructura	Anidamiento	Suelo abierto	X	
Estructura	Anidamiento	Suelo del bosque	X	
Estructura	Hábitat primario	Generalista de bosque		X
Estructura	Hábitat primario	Obligado de interior de bosque	X	

Modificado de O'Connell *et al.* (1998).

Con las especies asignadas a los gremios, se resumen la riqueza proporcional de las especies de cada gremio en cada sitio para construir un perfil de comunidad de aves. Por ejemplo, si dos de las especies en un sitio que contiene un total de 10 especies son omnívoras, entonces la comunidad de aves en este sitio fue asignada con un "0.20" para el gremio de omnívoras (para información más detallada ver O'Connell *et al.* 1996).

Para obtener el índice final para cada sitio que fue contrastado con el índice de Perturbación, a cada atributo se le asignó un valor que va de 1 a 10 mediante una interpolación lineal utilizando como rango de referencia los valores más altos y los más bajos determinados. Así, si el valor más alto de especies de algún atributo especialista observadas en todos los sitios es de 7 y el más bajo es de 1 y en un determinado sitio se encuentran 3 especies especialistas, el rango para dicho atributo se encuentra entre  $7 = 10$  y  $1 = 0$ ; por lo tanto el sitio con 3 especies obtendrá una calificación de  $(2/6) * 10 = 3.3$ .

Para los atributos considerados como generalistas se invirtieron los rangos, por ejemplo, para el caso anterior, el sitio con un mayor número de especies corresponderá a la calificación más baja y el que tiene el menor número a la más alta (i.e.  $7 = 0$  y  $1 = 10$ ). El total de todas estas calificaciones fueron sumadas y divididas del total máximo para obtener el índice final.

#### 6.3.5. Análisis de Datos

- Índice de Shannon para determinar la riqueza de especies de cada sitio (diversidad  $\alpha$ )

El índice de Shannon es otro índice basado en la abundancia proporcional de las especies, y se deriva de la teoría de información. El índice se calcula de la siguiente manera:

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

donde  $p_i$  es la proporción de individuos encontrados en la especie  $i$ . En una muestra el valor verdadero de  $p_i$  se desconoce, pero es estimado como  $n_i/N$ . Los cálculos de los índices de diversidad se harán con el programa PAST.

- Índice de Similitud Cuantitativo de Sorensen (diversidad  $\beta$ )

La diversidad  $\beta$  se relaciona principalmente con las similitudes (y diferencias) a través de gradientes ecológicos o diferentes sitios (Magurran 1988). En el presente estudio, se utilizó el índice cuantitativo de Sorensen para evaluar la diversidad  $\beta$  entre las comunidades de aves:

$$C_N = 2jN / (aN + bN)$$

donde aN= número total de individuos en el sitio A, bN= número de individuos en el sitio B, y jN= la suma de la más baja de las dos abundancias de las especies compartidas por ambos sitios. El índice se calculó por medio del programa PAST.

- Los sitios se agruparon de acuerdo a la similitud de sus perfiles de comunidad de aves mediante un Análisis de Agrupamiento Multivariado y se determinó diferencias estadísticamente comprobables entre las proporciones de gremios individuales por medio de un Análisis de Varianza (ANDEVA) (USEPA 1999).

Este análisis se basa en el cálculo de una matriz de similitud (o distancia) entre unidades experimentales, donde los valores de la matriz corresponden a valores de similitud entre cada par de sitios (índice cuantitativo de Sorensen). Los dos sitios más similares en esta matriz se combinan para formar un grupo. Este análisis procede sucesivamente, agrupando los sitios similares hasta que se combinen en un solo dendrograma. En este contexto el análisis jerárquico se trata de que las agrupaciones grandes estén compuestas de agrupaciones pequeñas (Gauch 1982). Este método, no provee ninguna medida directa de la diversidad  $\beta$  *per se* pero puede ser utilizado para inferir el número de distintas comunidades presentes (Jongman et al. 1987). Los cálculos se hicieron utilizando el programa PAST.

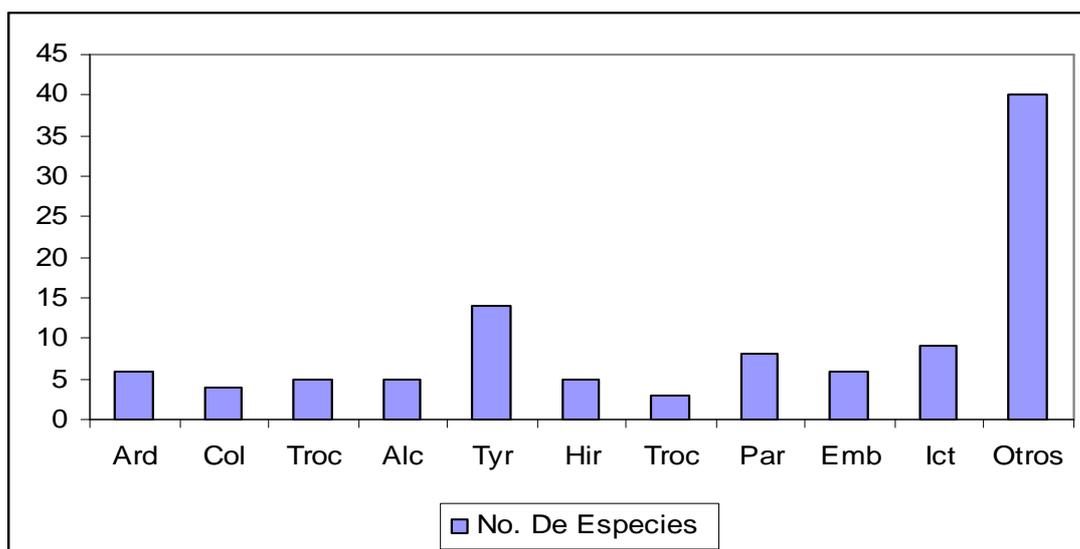
- Mediante un coeficiente de correlación de Pearson se comparó el Índice de Perturbación Humana y el Índice de Comunidad de Aves.

## 8. RESULTADOS

### 8.1. Diversidad y Abundancia de aves en el Área de Estudio

Durante el estudio fueron detectadas 105 especies de aves de 33 familias, lo que corresponde al 28% de las especies reportadas para el departamento de Izabal (FUNDAECO, datos no publicados) y el 15% de las especies reportadas para el país (Howell y Webb 1995). La familia con el mayor número de especies fue Tyrannidae (14 especies), seguida de Icteridae (9 especies) y Parulidae (8 especies) (ver Gráfica 8.1). Asimismo, un total de 11 familias fueron representadas solamente por una especie (Ver Anexo II).

Gráfica 8.1 Porcentaje de especies de cada familia



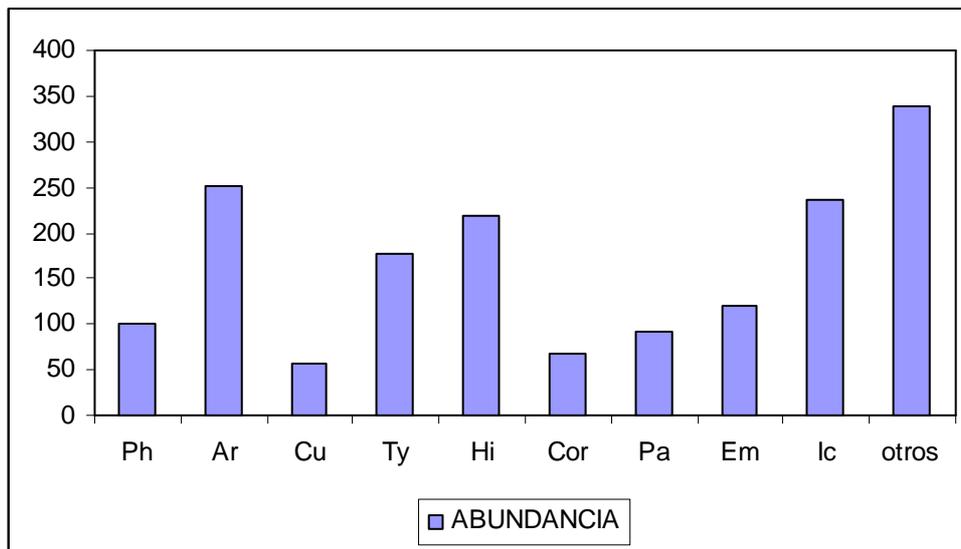
Ard=Ardeidae; Col=Columbidae; Troc=Trochilidae; Alc=Alcedinidae; Tyr=Tyrannidae; Hir=Hirundinidae; Tro=Troglodytidae; Par=Parulidae; Emb=emberezidae; Ict=icteridae

Fueron detectados un total de 1628 individuos. Las familias más representadas fueron Ardeidae (252 individuos), Icteridae (236 individuos) e Hirundinidae (218 individuos) (ver Gráfica 8.2). Las familias Ciconiidae, Aramidae y Charadriidae fueron representadas solamente por un individuo. En el Anexo II se presenta un listado detallado de las especies detectadas y del número de individuos en cada sitio.

En cuanto a los distintos sitios, la mayor cantidad de especies (77) fue encontrada en el sitio 5 y la mayor abundancia de individuos (381) en el sitio 4. Por su parte, en el sitio 1 fue en donde se reportó la menor cantidad, tanto de especies (25) como de

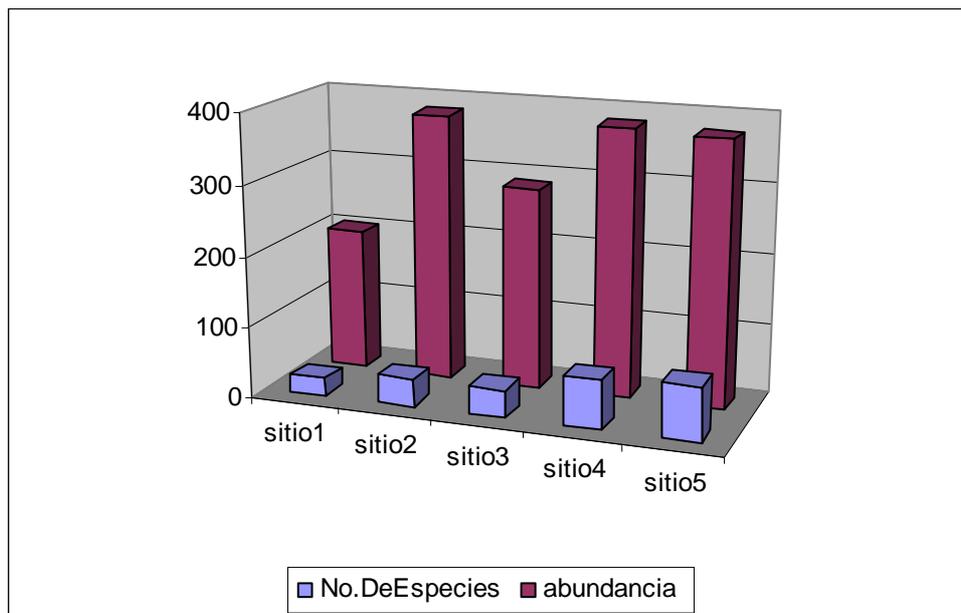
individuos (204). En la gráfica 8.3 se observa el número de especies y las abundancias para cada uno de los sitios.

Gráfica 8.2 Abundancias relativas por Familia



Ph=Phalacrocoracidae; Ar=Ardeidae; Cu=Cuculidae; Ty=Tyrannidae; Hi=Hirundinidae; Cor=Corvidae; Par=Parulidae; Emb=Emberizidae; Ict=Icteridae

Gráfica 8.3 No. De especies y abundancias por sitio de estudio



## 8.2. Comparación entre Sitios

En Cuadro 8.1 puede observarse que el Índice de diversidad de Shannon más alto (3.72) fue encontrado en el sitio 4 seguido por el sitio 5 (3.58). Ambos sitios están ubicados dentro del área protegida. Los sitios que se encuentran fuera del RVSBP fueron los que presentaron los menores Índices de Diversidad, siendo el sitio 1 el que presentó la menor (2.73).

Cuadro 8.1 Diversidad, número de especies e individuos por cada sitio

	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5
No. de Especies	25	40	39	71	77
Abundancia	204	381	287	381	375
Índice de Shannon	2.730	3.082	3.237	3.720	3.581

Para hacer un Análisis de Varianza (ANDEVA) es necesario determinar si las muestras tienen una distribución normal. Para esto se determinó la Normalidad de las muestras a través de una prueba de Shapiro Wilk . Con esta prueba se determinó que ninguno de los sitios sigue una distribución normal (sitio 1,  $p=2.118E-19$ ; sitio 2  $p=2.95E-18$ ; sitio 3,  $p=2.596E-17$ ; sitio 4,  $p=4.449E-15$ ; sitio 5,  $p=4.491E-18$ ), por lo que se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Con esta prueba no se encontraron diferencias significativas entre los sitios 1, 2 y 3, ni entre los sitios 4 y 5. Todas las demás comparaciones detectaron diferencias. Los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis se resumen en el cuadro 8.2.

Cuadro 8.2 Resultados de los valores "p" de la prueba de Kruskal-Wallis ( $\alpha = 0.05$ ); (diferencias significativas en negrilla)

	Sitio1	Sitio2	Sitio3	Sitio4	Sitio5
Sitio1		0,07405	0,1013	<b>1,212E-06</b>	<b>2,147E-08</b>
Sitio2	0,7405		0,854	<b>0,00514</b>	<b>0,0003325</b>
Sitio3	1,013	8,54		<b>0,003907</b>	<b>0,0002286</b>
Sitio4	<b>1,212E-05</b>	<b>0,0414</b>	<b>0,03907</b>		0,2888

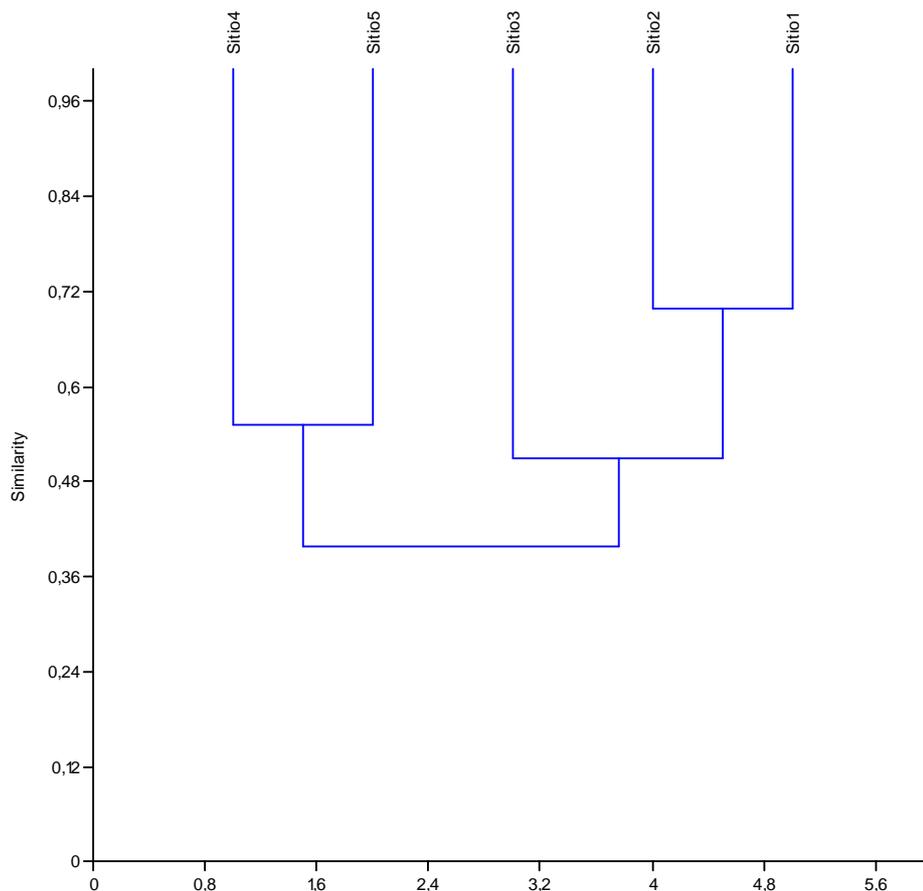
Sitio5	2,147E-07	0,003325	0,002286	2,888	
--------	-----------	----------	----------	-------	--

En la tabla 8.1 puede observarse que los sitios 4 y 5 son los que presentaron la mayor cantidad de especies únicas (10 y 13 respectivamente). El sitio 3 solamente presentó una especie única. Sin embargo, si se toma en cuenta el total de especies de cada sitio, los sitios 1, 2, 4 y 5 presentan cifras similares (12%, 12.5%, 14% y 13 %, respectivamente). En el sitio 3, el porcentaje de especies únicas es de 2.6%. Por otra parte, 10 especies fueron detectadas en todos los sitios (ver Anexo II).

Tabla 8.1 Especies únicas encontradas en cada uno de los sitios

Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5
<i>Falco ruficularis</i>	<i>Caracara Plancus</i>	<i>Empidonax albigularis</i>	<i>Anas discors</i>	<i>Mycteria americana</i>
<i>Quiscalus mexicanus</i>	<i>Charadrius vociferus</i>		<i>Columbina inca</i>	<i>Dendrocygna autumnalis</i>
<i>Elanus leucurus</i>	<i>Aratinga nana</i>		<i>Streptoprocne zonaris</i>	<i>Falco sperverius</i>
	<i>Troglodytes aedon</i>		<i>Phaethornis superciliosus</i>	<i>Aramides cajanea</i>
	<i>Thraupis episcopus</i>		<i>Oncostoma cinereigulare</i>	<i>Jacana spinosa</i>
			<i>Myiodinastes luteiventris</i>	<i>Tapera naevia</i>
			<i>Hylophilus decurtatus</i>	<i>Nyctridromus albicollis</i>
			<i>Ramphocelus passerinii</i>	<i>Trogon massena</i>
			<i>Saltator maximus</i>	<i>Chloroceryle americana</i>
			<i>Amblycercus holocericeus</i>	<i>Mionectes oleagineus</i>
				<i>Attila spadiceus</i>
				<i>Mimus gilvus</i>
				<i>Wilsonia pusilla</i>

En el Análisis de Agrupación Jerárquica de Sorensen (Gráfica 8.4) puede observarse, en primera instancia, la formación de dos grupos. Asimismo se encontró que la mayor similitud (0.72) se encuentra entre los sitios 1 y 2. Los sitios 4 y 5 forman otro grupo, y el sitio 3 se une al grupo conformado por el sitio 1 y 2 con una similitud de 0.52.



Gráfica 8.4 Análisis de Agrupación Jerárquica de Sorensen para los sitios de estudio en el Río Polochic

### 8.3. Sitios de Estudio e índice de Perturbación Humana

Luego de hacer un reconocimiento de campo se seleccionaron los sitios de estudio de acuerdo a las distintas actividades humanas detectadas y al grado de perturbación (en el Anexo III se hace una breve descripción de cada uno de los sitios). Estos sitios fueron categorizados de acuerdo al Índice de Perturbación humana (IPH).

En el IPH los valores que se acercan más a 100 representan a los sitios en que la influencia de las actividades humanas ha ocasionado las transformaciones más severas al ecosistema y los valores más cercanos a 0 son los sitios en donde las condiciones son las más parecidas a las naturales (Cuadro 8.3).

De acuerdo a el índice obtenido, los distintos sitios fueron asignados a una categoría de impacto representada por una letra (A, B, C o D). En el Anexo IV se observan los rangos de las distintas categorías y la descripción de cada una de éstas.

Cuadro 8.3 Índice de Perturbación humana por sitio de estudio en el Río Polochic

	Sitio 1 (Telemán)	Sitio 2 (Panzós)	Sitio 3 (Las Cabañas)	Sitio 4 (BP 1)	Sitio 5 (BP2)
abstracción de agua	5	3	4	0	0
modificación del flujo de agua	6	5	2	1	0
modificación del manto acuífero	8	5	4	2	2
modificación de la calidad del agua	7	5	5	4	2
inundación	5	4	3	3	3
macrófitas exóticas	4	3	1	0	0
deposición de sólidos	7	4	3	1	2
remoción de la vegetación nativa	10	7	3	3	5
invasión de vegetación exótica	4	7	4	2	4
erosión de los bancos del río	9	6	6	2	1
Total (%)	65	49	38	18	19
Categoría de Impacto	C	B	B	A	A
	Impacto moderado	Impacto severo		Impacto leve	

Los valores más altos se dieron en los sitios que se encuentran más alejados del RVSBP y fueron disminuyendo conforme se acercan a éste (ver Cuadro 8.3). El valor más alto (65) fue encontrado en el sitio ubicado en Telemán y el más bajo (18) se encontró en el sitio 4 ubicado dentro del RVSBP.

#### 8.4. Índice de Comunidad de Aves

Para elaborar el Índice de Comunidad de Aves (ICA), se tomaron los criterios específicos de cada especie (Anexo V). Este resultado asigna un valor al total de la comunidad de aves en cada uno de los sitios. Los valores más altos representan a los sitios en que la comunidad de aves presenta atributos que reflejan una mejor condición del ecosistema y los valores más bajos son los sitios en que la comunidad de aves se encuentra deteriorada.

Estos resultados fueron obtenidos de la proporción entre las especies que pertenecen a una categoría y el total de especies de cada sitio (Tabla 8.2). Por ejemplo, el sitio 2 presentó 84 individuos omnívoros de un total de 376 individuos, lo que equivale a 0.22 (ver tabla 8.2 y 8.3).

Tabla 8.2 Abundancia de cada una de los atributos ecológicos en cada sitio de estudio

	Sitio 1 (Telemán)	Sitio 2 (Panzós)	Sitio 3 (Las Cabañas)	Sitio 4 (BP 1)	Sitio 5 (BP2)
Omnívoro	68	84	78	75	92
Forrajeo Insectívoro	30	138	87	172	107
Limitante de Población	30	7	29	40	48
Migración	48	102	74	48	107
1-2-huevo	11	36	27	58	46
Anidamiento arbustivo	89	168	105	121	91
Hábitat primario	4	37	17	73	56
Sensibilidad mediana/alta	8	14	39	84	92
Total de individuos por sitio	204	376	287	381	375

Los valores proporcionales de todos los sitios en cada una de las categorías fueron transformados para obtener una escala de 1 a 10, siendo el 1 la condición más pobre y 10 la más alta (tabla 8.4). Así, para la categoría de hábitat primario el menor dato encontrado fue el sitio 1 (0.02) y el mayor en el sitio 4 (0.22), por lo que al sitio 1 se le asignó el valor de 1 y al sitio 4 el valor de 10. Los valores de los demás sitios fueron encontrados por interpolación de los datos.

Tabla 8.3 Proporciones de cada uno de los atributos en cada sitio

	Sitio 1 (Telemán)	Sitio 2 (Panzós)	Sitio 3 (Las Cabañas)	Sitio 4 (BP 1)	Sitio 5 (BP2)
Omnívoro	0.33	0.22	0.27	0.20	0.25
Forrajeo Insectívoro	0.21	0.37	0.30	0.45	0.29
Limitante de Población	0.15	0.02	0.10	0.11	0.13
Migratorio	0.24	0.27	0.26	0.13	0.29
1-2-huevo	0.05	0.10	0.09	0.15	0.12
Anidamiento Arbustivo	0.44	0.45	0.37	0.32	0.24
Hábitat primario (I.b.)	0.02	0.10	0.10	0.19	0.16
Sensibilidad mediana/alta	0.04	0.04	0.14	0.22	0.18

En la Tabla 8.4 se observan los totales obtenidos para cada sitio en una escala de 1 a 10, y el valor total del ICA para cada sitio. Debido a que se tomaron en cuenta 9 atributos, el valor máximo (10 en cada atributo) es de 90 por lo que el total por sitio fue dividido dentro de ésta cifra para obtener el valor proporcional con lo que se obtiene el ICA.

Tabla 8.4 Índice de Comunidad de Aves y Categoría de condición para cada uno de los sitios

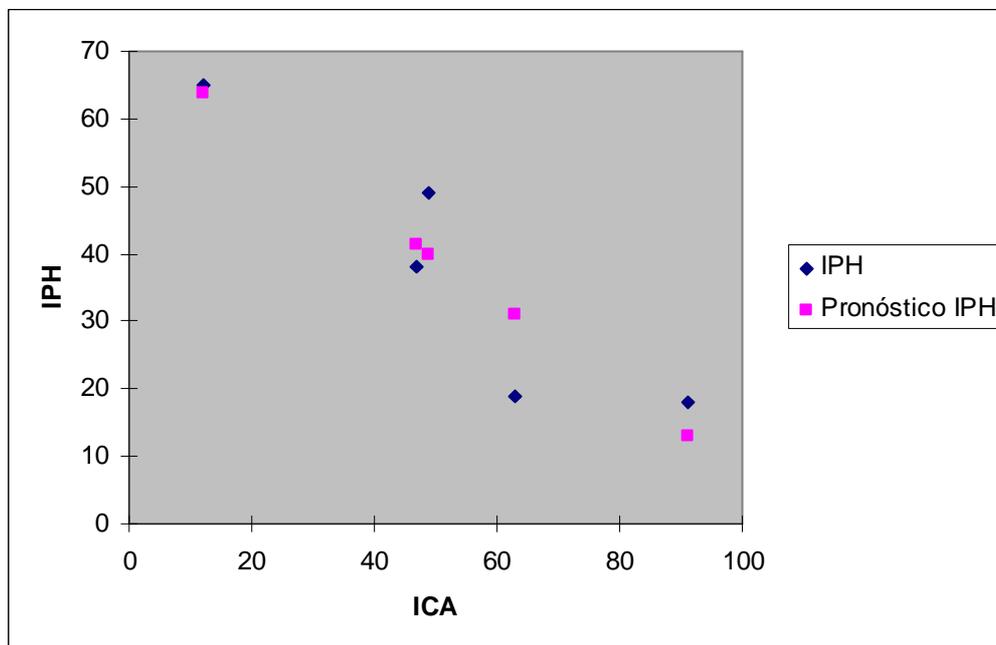
Atributo de la comunidad de Aves	Sitio 1 (Telemán)	Sitio 2 (Panzós)	Sitio 3 (Las Cabañas)	Sitio 4 (BP 1)	Sitio 5 (BP2)
Omnívoro	1	9	5	10	5
Forrajeo Insectívoro	1	7	4	10	4
Limitante de Población	1	10	4	5	4
Migratorio	3	1	2	10	1
1-2-huevo	1	6	5	10	7
Anidamiento Arbustivo	1	1	5	7	10
Hábitat primario (I.b.)	1	5	5	10	9
Sensibilidad mediana/alta	1	1	6	10	8
Índice de Diversidad de Shannon	1	4	6	10	9
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>44</b>	<b>42</b>	<b>82</b>	<b>57</b>
<b>ICA = (Total / 90) * 100</b>	<b>12</b>	<b>49</b>	<b>47</b>	<b>91</b>	<b>63</b>
<b>Categoría de Condición</b>	<b>F</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>B</b>	<b>C</b>

Los valores son presentados como cifras porcentuales lo cual permite establecer rangos que pueden determinar el grado o la condición de cada uno de los sitios de acuerdo al ICA. A cada uno de estas distintas categorías se le asigna una letra (de la A a la F) para determinar la condición del sitio. En el Anexo V se presentan las distintas categorías de condición y los rangos en las que se incluyen.

### 8.5. Comparación entre el IPH y el ICA

A partir de los valores de IPH e ICA obtenidos para cada uno de los sitios se realizó un Análisis de Correlación en el que se obtuvo un Coeficiente de Correlación  $R = -0,915$  y un Coeficiente de determinación de  $R^2 = 0,837$  (ver Anexo VII) . Con estos datos se construyó la curva de que se observa en la gráfica 8.5. Estos datos muestran una fuerte relación negativa entre las variables ( $p=0.029$ , ver anexo VII).

Gráfica 8. 5 Curva de Regresión Ajustada para el ICA y el IPH



## 9. DISCUSIÓN:

### 9.1. Diversidad y Abundancia de aves en el Área de Estudio

El número total de especies (105) y la abundancia de individuos (1628) reflejan la alta riqueza de aves que se encuentra en la zona. A pesar que el esfuerzo de muestreo no fue enfocado en detectar el mayor número de especies, sino en tener una idea general de la comunidad de aves, cabe mencionar que se identificaron el 28% de las especies reportadas para el departamento de Izabal (FUNDAECO, datos no publicados). Asimismo, es importante observar la alta diversidad taxonómica, ya que a pesar que algunas de las familias son representadas solamente por una especie, se detectaron 33 familias de 15 órdenes. Estos datos reflejan la importancia del ecosistema para el mantenimiento y la conservación de las poblaciones de aves de la región.

La mayoría de especies son de familias que pertenecen al orden Passeriformes (Gráfica 8.1). Sin embargo, la mayor abundancia se observó en la familia Ardeidae, las cuales son aves eminentemente acuáticas. Ésta considerable abundancia y la presencia de otras familias representativas de humedales (i.e. Aramidae, Anatidae, Ciconiidae, Jacanidae, Alcedinidae, etc) reflejan la importancia del sistema para las poblaciones de estas aves. Además de la importancia para las aves acuáticas, el sistema también mantiene considerables poblaciones de aves migratorias. El 24% de las especies detectadas (25 especies) son migratorias (ver Anexo V).

### 9.2. Comparación entre Sitios

Los mayores Índices de Diversidad encontrados en los sitios localizados dentro del RVSBP sugieren un mejor estado de conservación dentro del área protegida que en los sitios que se encuentran río arriba que sufren de una mayor intensidad de actividad humana. Este hecho también es apoyado por la presencia de especies únicas detectadas en todos los sitios (Tabla 8.1). Si bien, las cifras porcentuales no ofrecen diferencias obvias (a excepción del sitio 3), se puede observar las diferencias de acuerdo al rol ecológico de las distintas especies.

En los sitios 1 y 2 fueron detectadas especies únicas de aves rapaces (Tabla 8.1) las cuales pueden estar relacionadas a la presencia de grandes áreas de cultivos de caña de azúcar y de maíz, las cuales a su vez, producen un aumento en mamíferos menores que sirven de alimento para éstas especies (Agüero 1991). Asimismo, se detectaron especies como *Quiscalus mexicanus* y *Thraupis episcopus*, las cuales tienen sensibilidades bajas (Anexo V) y se relacionan a sitios urbanos o con influencia antropogénica (Stotz *et al.* 1996).

El sitio 3 se ubica en una categoría de perturbación intermedia, lo cual se ve reflejado en el Índice de Diversidad y, como se verá más adelante, en el grado de perturbación y la composición de la comunidad de aves. A pesar de que se detectaron 39 especies de aves, en este sitio solamente fue encontrada una especie que no se encontró en los demás sitios (*Empidonax albigularis*). Esto puede deberse a que en esta zona se dan varias actividades que propician variedad del paisaje y de tipos de hábitat, lo que permite que se encuentren tanto aves con sensibilidades medianas, como aves generalistas relacionadas a las actividades humanas. En este sitio se encuentran especies de aves que se detectaron tanto en los sitios más intervenidos como en los mejor conservados.

Esta separación entre los sitios fuertemente intervenidos y los mejor conservados se hace evidente en el Análisis de Agrupación Jerárquica (Gráfica 8.4) en la cual se forman dos grupos, uno formado por los sitios dentro de la RVSBP y otro por fuera de ésta. El sitio 3, aunque se une al grupo formado por el sitio 1 y 2, ocupa una posición intermedia en relación a los demás sitios.

### 9.3. Sitios de Muestreo e Índice de Perturbación Humana

La selección de los puntos de muestreo fue realizada con el fin de obtener sitios con distintos grados de perturbación. Tres de los sitios fueron ubicados fuera del RVSBP y dos dentro de éste. Este gradiente de perturbación fue determinado por medio de una observación y basándose en atributos cualitativos (i.e. presencia de bosque de galería, erosión del manto, presencia de vegetación acuática, características físicas del agua, abstracción de agua, etc.). También se tomaron en cuenta las actividades humanas realizadas en cada sitio, el estado general de la porción del río y su ribera y otros

factores como la cercanía a poblados, presencia de carreteras y su localización dentro o fuera del área protegida.

En base a los atributos enumerados en el cuadro 7.1 se obtuvieron los valores para elaborar el IPH. En el anexo VII se presentan los criterios utilizados para la elaboración del IPH y la justificación ecológica para su utilización.

Los sitios de muestreo fueron numerados ascendentemente desde el sitio más lejano, ubicado en Telemán hasta el sitio 5, que se encuentra en el RVSBP a aproximadamente 2 km de su desembocadura en el Lago de Izabal.

Se observa un descenso progresivo en los valores obtenidos para el IPH desde el sitio más lejano a la desembocadura hasta los sitios cercanos a esta. El sitio 5 obtuvo un punto más (19) que el sitio 4 (18). Sin embargo, ambos sitios fueron categorizados como un sitio en condición A (ver cuadro 8.3).

El alto IPH obtenido en el sitio 1 se debe principalmente a la remoción de la vegetación nativa para la introducción de cultivo (caña de azúcar), modificación y erosión del manto. Estos factores han provocado una extensa alteración tanto en el hábitat acuático como en el componente ripario del sistema con la consecuente modificación de las comunidades faunísticas.

En el sitio 2 la mayoría de los impactos son moderados, la puntuación más alta la obtuvo la remoción de la vegetación nativa, principalmente por la introducción de cultivos, lo que también provocó un valor alto en la introducción de vegetación exótica.

El sitio 3 obtuvo una IPH de 38 lo que lo sitúa en una categoría de impacto B. La mayoría de los atributos en este sitio tienen un impacto moderado, esto se debe principalmente al hecho de que al encontrarse dentro de una propiedad privada, se reduce el acceso de las personas al recurso. Sin embargo, en este lugar se encuentra establecido un poblado en la ribera del río por lo que el atributo que mayor puntuación obtuvo fue el de modificación de la calidad de agua. La sedimentación en este sitio es evidente. También es importante mencionar la importancia de la erosión del banco y de la modificación del mismo, ya que en algunos puntos se observa la construcción de murallas de piedra para contener las inundaciones y la propia erosión.

Los sitios 4 y 5 fueron los que obtuvieron los más bajos IPH debido principalmente a que se encuentran dentro de la RVSBP en donde las actividades humanas se encuentran más restringidas, además de que no tienen un fácil acceso por vía terrestre. Sin embargo, se observan muchas zonas en donde han sido introducidas pequeñas plantaciones o en donde la vegetación ha sido removida para extracción de madera. Además estos son los puntos más cercanos a la desembocadura del río Polochic por lo que en este punto la carga de sedimentos es mayor que en cualquier otro. La mayor puntuación del sitio 5 puede deberse a que se encuentra más cercana al lago de Izabal por lo que tiene una mayor accesibilidad para los pobladores de las comunidades del lago y por lo tanto la presión humana es mayor.

En lo que corresponde a las categorías de impacto, el único sitio que se encuentra en una categoría C es el sitio 1 (ver tabla 8.3). Estas condiciones permiten determinar de una forma general el estado de salud o la integridad de cada sitio y permiten formular estrategias de manejo que se adaptan a cada condición.

#### 9.4. Índice de Comunidad de Aves

Los hábitats riparios y acuáticos son esenciales para la vida silvestre, especialmente en regiones con intensa agricultura, industria o actividad humana. Estos sitios representan importantes refugios y funcionan como corredores para animales que migran a lo largo de los ríos en busca de alimento o de sitios de anidamiento. La pérdida de hábitats debida a la tala de grandes extensiones de bosque para producción agrícola y desarrollo industrial es considerada como la mayor causa del declive de la biodiversidad alrededor del mundo (Bryce 2002).

Como resultado de la variación en la naturaleza y la intensidad en la utilización del río Polochic para actividades humanas, la distribución de las especies de aves a lo largo del río se ha modificado. Debido a que la disponibilidad de hábitats apropiados es el factor de mayor influencia en la distribución y la abundancia de especies de aves en los hábitats acuáticos y riparios (Karr 1997), una estimación de la integridad ecológica de estas zonas puede señalar áreas que están afectando las comunidades de aves. Esta integridad puede ser medida por medio del Índice de Comunidad de Aves (ICA).

Las actividades dentro del río y en las zonas riparias aledañas induce cambios directos e indirectos de todos los componentes de los ríos, y por lo tanto, afectan a las comunidades de aves del área.

La zona acuática es alterada por la reducción del flujo y deposición de sedimentos ocasionada por la abstracción de agua para irrigación, así como contaminación orgánica debida a los fertilizantes.

La zona aluvial aumenta de magnitud debido a la deposición de sedimentos. La remoción de vegetación riparia nativa en el canal del río da como resultado erosión del banco, aunada a la sedimentación hacia el agua desde el canal. Esto conlleva al incremento en la turbidez y afecta a macro-invertebrados acuáticos (Bradford 1998).

La mayoría de la vegetación nativa es reemplazada por monocultivos como la caña de azúcar, maíz y palma africana. Esta vegetación exótica destruye y remueve nichos disponibles para insectos nativos y pequeños mamíferos. Por lo tanto, la disponibilidad de fuentes de alimento para las aves también disminuye.

Las puntuaciones de los ICA obtenidas por los distintos sitios aumentan progresivamente desde el sitio 1 hasta el sitio 4 y 5, lo que indica un incremento de la integridad ecológica río abajo. Este patrón también fue demostrado por la progresión en las categorías de condición (Tabla 8.4), que van desde una condición F en el sitio 1 hasta condiciones B y C en los sitios 4 y 5 respectivamente. Este patrón se observa en todos los sitios, a excepción del sitio 4 que presenta una mejor condición y una mayor puntuación de ICA que el sitio 5. Como se señaló anteriormente ambos sitios se encuentran dentro del RVSBP. Sin embargo, el sitio 5 es el que se encuentra más cercano a la desembocadura del río Polochic y el cual, debido a su mayor accesibilidad, presenta mayores alteraciones por actividades humanas, lo que se ve reflejado en su mayor IPH.

Este aumento en el ICA es un indicador del mejoramiento en la calidad de hábitat desde las zonas altas de la cuenca baja hasta las zonas más bajas, debido a que el río hace su trayecto desde áreas altamente impactadas (sitios 1-3) hasta los lugares dentro del RVSBP en donde el impacto se ha reducido (sitios 4 y 5).

Una zona riparia ideal consiste en varias secciones, y cada sección está integrada por ciertos componentes de hábitat, y por consiguiente, fuentes de recursos alimenticios disponibles para las aves (O'Connell *et al.* 1998). Sin embargo, bajo la influencia introducida por las actividades humanas, pocas zonas riparias ideales permanecen hoy en día.

La dependencia de ciertas especies de aves a componentes de hábitat específicos para su supervivencia reitera la necesidad de preservar los remanentes de las zonas riparias y de restaurar las que se encuentran deterioradas. Si las condiciones en estas zonas se deterioran extensamente y/o más allá de su capacidad de resiliencia, muchas de las especies de aves específicas de hábitat desaparecerán (Sudlow 2004).

La completa dependencia de dichas especies a sus particulares zonas de hábitat y tipos de recursos las hace especialmente vulnerables a la alteración y degradación del ecosistema. Los efectos de ésta degradación pueden llevar al reemplazo de especies especialistas por especies generalistas más tolerantes a los cambios en el hábitat, cambiando el balance natural del ecosistema, lo que conlleva a una mayor degradación de la integridad ecológica (Jansen 2001).

Algunas de las especies que fueron detectadas durante el período de estudio a lo largo del río Polochic no indicaron preferencias específicas para un tipo de hábitat. Estas especies fueron detectadas en todos los sitios y presentaron abundancias altas.

Estas especies podrían considerarse como generalistas, de acuerdo a la preferencia de hábitat. Por lo general, son especies con capacidad de adaptarse a cambios e incluso a deterioros en su hábitat, y al hacerlo, ocupan nichos abandonados por especies especialistas que han migrado o muerto. Mientras que las especies especialistas solamente son encontradas en áreas con estrechos rangos de tipos de hábitat y menos intervenidos, las generalistas pueden prosperar y adaptarse a áreas con actividades e influencias humanas presentes.

### 9.5. Comparación entre el IPH y el ICA

Al realizar el análisis de Correlación se demostró una fuerte relación negativa ( $R = -0,915$ ) entre la variable independiente y la dependiente. Es decir que el Índice de Comunidad de Aves disminuye conforme el Índice de Perturbación Humana aumenta. Dicha variación en el ICA puede ser explicada al menos en el 84% ( $R^2 = 0,837$ ) por los cambios en la grado de perturbación de un sitio en particular.

Estos datos muestran una relación entre el gradiente de perturbación y las comunidades de aves, lo que comprueba el uso de esta herramienta para determinar la integridad ecológica de un ecosistema ripario. Es importante mencionar que los resultados de este estudio y de este tipo de análisis son válidos dentro de los límites espacio-temporales contemplados en el desarrollo del mismo.

## 10. CONCLUSIONES

1. A pesar de la intensidad del muestreo, se detectaron 105 especies, aproximadamente el 28% de las especies reportadas para el departamento de Izabal y el 15% de las especies reportadas para el país. Esto refleja la gran diversidad de aves que tiene la región y la importancia del río Polochic para el mantenimiento de poblaciones de aves, especialmente acuáticas y migratorias.

2. La diversidad de especies de aves aumentó desde el sitio 1, ubicado en la parte alta de la cuenca baja del río Polochic, hasta el sitio 4 y 5 en el RVSBP, cerca de la desembocadura del río en el Lago de Izabal. Este aumento en la diversidad de especies puede estar relacionada al incremento en la variabilidad de hábitat y en la diversidad de fauna y flora hacia las partes medias y bajas de la cuenca, así como a la protección que se le da al río Polochic dentro de los límites del RVSBP (reducción del impacto humano). Esto provee de una mayor diversidad de alimentos, lugares de forrajeo y anidamiento, con el respectivo aumento en la diversidad de aves.

3. El análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis mostró diferencias entre los sitios que se encuentran dentro del RVSBP y los que están fuera de éste. Asimismo, el análisis de agrupamiento jerárquico establece la formación de dos grupos. Un grupo formado por los sitios 1, 2 y 3, y, otro grupo formado por los sitios 4 y 5. La prueba no paramétrica no reveló diferencias significativas entre los sitios de cada uno de estos grupos. Estos datos demuestran una clara separación en dos grupos, los que se encuentran dentro del área protegida y los que están fuera de ésta.

4. La diferencia en las comunidades de aves en los distintos sitios no estuvo restringida al número de especies y a la abundancia de éstas (Índice de Diversidad), sino también a la composición de dichas comunidades. Las comunidades de aves de los sitios con mayor influencia antropogénica tuvieron una mayor proporción de especies consideradas como generalistas o que prosperan en hábitats intervenidos. Por el otro lado, en las comunidades mejor conservadas se detectaron especies de aves consideradas como especialistas o especies “indicadoras de bosques”. Este hecho fue demostrado tanto por la composición de aves en general como por la presencia de especies únicas en cada uno de los sitios.

5. Con el propósito de comparar la integridad ecológica de un ecosistema, se desarrolló un Índice de Perturbación Humana. Este índice está compuesto por una serie de variables, las cuales determinan el impacto humano en un sitio determinado del río Polochic. En esta porción de la cuenca del Polochic se observó un gradiente que disminuye en dirección a la desembocadura del río, lo cual indica un mayor grado de intervención humana en los lugares más alejados de la RVSBP.

6. Los datos colectados durante el período de estudio muestran claras indicaciones de la preferencia de hábitat de las especies de aves detectadas. Dentro las especies identificadas, muchas tienen requerimientos de hábitat específicos. La dependencia de dichas especies a sus particulares zonas de hábitat y tipos de recursos las hace especialmente vulnerables a la alteración y degradación del ecosistema. Este hecho reitera la necesidad de preservar los remanentes de hábitats riparios y bosques de galería.

7. Los efectos en la degradación del hábitat pueden ser demostrados por el reemplazo de especies específicas de hábitat por especies más tolerantes a los cambios. El recambio de la composición de especies a lo largo de los sitios es evidencia de este fenómeno y demuestra la presión antropogénica a la que el sistema del río Polochic está siendo sometido.

8. Las puntuaciones del ICA para la cuenca baja del río Polochic aumentaron progresivamente desde el sitio 1 a los sitios 4 y 5 indicando un mejoramiento en la integridad ecológica en dirección hacia la desembocadura en el Lago de Izabal. Éste patrón también fue demostrado por la progresión de las categorías de condición, desde F en el sitio 1 hasta B y C en los sitio 5 y 4.

9. A pesar de que la mayoría de esfuerzos en biomonitorio de ecosistemas riparios se han enfocado en otros taxa como macroinvertebrados, peces, y plantas; por su conspicuidad, relativa fácil identificación, su amplia distribución, las aves parecen ser viables para la incorporación a un índice de integridad biótica, en monitoreos a corto y largo plazo.

10. La metodología utilizada en el estudio demostró ser una forma eficiente, exitosa, de bajo costo y a corto plazo, de detectar y categorizar áreas que se

encuentran deterioradas, así como reflejar el impacto de dicha degradación en las comunidades de aves que se encontraron en la cuenca baja del río Polochic.

11. También puede concluirse que ésta metodología puede ser incluida en programas de monitoreos de ecosistemas riparios, ya que al utilizar aves, que se encuentran al tope de la cadena alimenticia, se integran otros componentes del sistema. La inclusión de aves como bioindicadores de sistemas ribeños puede incrementar la precisión de las estimaciones ecológicas y llevar así, a mejores estrategias de manejo.

12. El Índice de Comunidad de Aves disminuye conforme el Índice de Perturbación Humana aumenta. Dicha variación en el ICA puede ser explicada al menos en el 84% por los cambios en la grado de perturbación de un sitio en particular. Lo que demuestra el uso efectivo de esta metodología para determinar la integridad ecológica en la cuenca baja del río Polochic.

## 11. RECOMENDACIONES

1. Para maximizar los resultados obtenidos, es necesario incluir la mayor cantidad de tipos de hábitat, y que suficiente área del mismo hábitat sea cubierta, esto permitirá detectar una mayor cantidad de aves y obtener una mejor estimación de la composición de la comunidad de éstas.

2. Para el desarrollo del Índice de Perturbación Humana se recomienda el establecimiento de parámetros que permitan dar puntuaciones más específicas (i.e. elaboración de escalas) a cada uno de los componentes de dicho Índice. Esto será especialmente necesario en monitoreos a largo plazo y en estudios en que puedan participar varios observadores, ya que reducirá el sesgo introducida por la subjetividad del investigador.

3. Durante la elaboración de el ICA se recomienda la inclusión de la mayor cantidad de atributos como sea posible, estos atributos pueden ser evaluados a través de un Análisis de Correlación y Regresión para determinar cuales son los que están siendo determinados por el gradiente de perturbación humana y así poder incluirlos en el análisis para obtener resultados más precisos. Debe tomarse en cuenta que dichos atributos pueden variar dependiendo de las localidades por lo que dicha evaluación debe realizarse para cada sitio en el que se pretenda emplear esta metodología.

5. Esta metodología puede ser incluida en los monitoreos de calidad de hábitat del río Polochic, ya que representa una forma viable, de bajo costo y a corto plazo para determinar la integridad ecológica del sistema, determinar las condiciones de las zonas evaluadas y desarrollar estrategias de manejo y planes de conservación.

## 12. REFERENCIAS

Adamus, P. R., T. J. Danielson, and A. Gonyaw. 2001. Indicators for monitoring biological integrity of inland, freshwater wetlands: a survey of North American technical literature (1990-2000). U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Wetlands Division. Washington, D.C. EPA 843-R-01.

Agüero, D. 1991. Biología y control de roedores plagas en cultivos de Venezuela. Informe a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (FAO). Roma, Italia. 18 p.

Anjos, L., Schuchmann, K. & Berndt, R. 1997. Avifaunal composition, species richness, and status in the Tibagi river basin, Parana State, southern Brazil. *Ornitología Neotropical* 8: 145-173.

Blair, R. B. 1996. Land use and avian species diversity along an urban gradient. *Ecological Applications* 6: 506-519.

Bradford, D. F., S. E. Franson, G. R. Miller, A. C. Neale, G. E. Canterbury, and D. T. Heggem. 1998. Bird species assemblages as indicators of biological integrity in Great Basin rangeland. *Environmental Monitoring and Assessment* 49: 1-22.

Brauning, D. W. (ed.) 1992. Atlas of breeding birds in Pennsylvania. University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, PA.

Brooks, R. P. and M. J. Croonquist. 1990. Wetland, habitat, and trophic response guilds for wildlife species in Pennsylvania. *Journal of the Pennsylvania Academy of Science* 64: 93-102.

Bryce, S.A. and R.M. Hughes. 2002. Development of a bird integrity index: using bird assemblages as indicators of riparian condition. *Environmental Management* 30(2): 294-310.

Canterbury, G. E., Martin, T. E., Petit, D. R., Petit, L. J. and Bradford, D. F.: 2000, 'Bird communities and habitat as ecological indicators of forest condition in regional monitoring', *Conserv. Biol.* 14, 544–558

Cerezo, A.M., 2001. Determinación y comparación de los ensambles de aves migratorias y residentes en cuatro hábitats (bosque, pastizal, cerco vivo y bosque ripario), en cinco fincas ganaderas, municipios de Puerto Barrios y Livingston, departamento de Izabal. Tesis de Licenciatura, Universidad del Valle de Guatemala. 174 pp.

Cerezo, A.M. y Hernández, J.F. Determinación de Áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad en la costa caribeña de Guatemala, utilizando el taxón Aves como grupo indicador. FODECYT (en proceso de publicación).

Congreso de la República de Guatemala. 1985. Constitución Política de la República de Guatemala. Artículos 124-126

Croonquist, M. J. and R. P. Brooks. 1991. Use of avian and mammalian guilds as indicators of cumulative impacts in riparian-wetland areas. *Environmental Management* 15: 701-714.

Davies, B.R., O'keefe, J.H. and Snaddon, C.D. 1993. A synthesis of the Ecological functioning, Conservation and Management of South African river ecosystems. WRC Report No. TT 62/93. 232pp. Water Research Commission.

Department of Water Affairs & Forestry (DWAF). 1999. Resource Directed Measures for Protection of Water Resources. Volume 2: Integrated Manual, Version1.0. Pretoria, South Africa.

Dix, A.M. 1999. El impacto de la Cuenca del Río Polochic sobre la integridad biológica del Lago de Izabal. Guatemala: FODECYT. 54 pp

Fundación Defensores de la Naturaleza. 2006. Agenda de conservación de la Cuenca del Lago de Izabal y Río Dulce. FDN. Serie Técnica 4.

Fundación Defensores de la Naturaleza. 2001. Plan Maestro del Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic. FDN.

Gauch, H. G., Jr. 1982. *Multivariate Analysis in Community Ecology*. New York. Cambridge University Press.

Gregory, S.V., F.J. Swanson, W.A. McKee, and K.W. Cummins. 1991. An ecosystem perspective of riparian zones: Focus on links between land and water. *Bioscience* 41: 540-551.

Herrera K.L. 1999. Indicadores biológicos de la calidad de agua del río Polochic y de la integridad Biológica del Lago de Izabal. Tesis de Maestría. Guatemala: UVG. 91 pp

Howell, S:N.G. y S. Webb. 1995. *A Guide to the Birds of Mexico and Northern Central America*. Oxford University Press, Oxford, England. 851 pp.

Hutto, R. L. 1998. Using landbirds as an indicator species group. Pp. 75-92 in Marzluff, J. M., and R. Sallabanks (eds.), *Avian conservation: research and management*. Island Press, Covelo.

Jansen, A. y A.I. Robertson. 2001. Riparian bird communities in relation to land management practices in floodplain woodlands of south-eastern Australia. *Biological Conservation* 100:2, 173-185.

Jenjins, R. E., Jr. 1988. Information management for the conservation of biodiversity. Pp. 231-239 in Wilson, E. O. *Biodiversity*. Washington, D. C.

Jongman, R. H. G., Ter Braak, C. J. F. y Van Tongeren, O. F. R. 1987 (eds.). *Data analysis in community and landscape ecology*. Pudoc Wageningen. 299 pp.

Karr, J.R. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* 6: 21-27.

Karr, J. R. 1991. Biological integrity: a long-neglected aspect of water resource management. *Ecological Applications* 1: 66-84.

Karr, J. R. and E. W. Chu. 1997. Biological monitoring and assessment: Using multimetric indexes effectively. EPA 235-R97-001. University of Washington, Seattle, WA. Klemm, D. J., K. A. Blocksom, F. A. Fulk, A.T. Herlihy, R.M. Hughes, P.R.

Kaufmann, D.V. Peck, J.L. Stoddard, W.T. Thoeny, M.B. Griffith, and W.S. Davis. 2003. Development and evaluation of a macroinvertebrate biotic integrity index (MBII) for regionally assessing mid-Atlantic highlands streams. *Environmental Management* 31:656–669.

Klemm, D.J., K.A. Blocksom, F.A. Fulk, A.T. Herlihy, R.M. Hughes, P.R. Kaufmann, D.V. Peck, J.L. Stoddard, W.T. Thoeny, M.B. Griffith, and W.S. Davis. 2003. Development and evaluation of a macroinvertebrate biotic integrity index (MBII) for regionally assessing Mid-Atlantic Highlands streams. *Environmental Management* 31:5, 656-669.

Kleynhans, C.J. 1996. A qualitative procedure for the assessment of the habitat integrity status of the Luvuvhu River (Limpopo system, South Africa). *Journal of Aquatic Ecosystem Health* 5:41-54.

Kotze, P.J. 2002. The Ecological Integrity of the Klip River and the development of a Sensitivity Weighted Fish Index of Biotic Integrity (SIBI). Ph.D Thesis, Rand Afrikaans University, Johannesburg.

Magurran, A. E. 1988. *Ecological Diversity and its Measurement*. Princeton University Press. Princeton, New Jersey. 179pp.

Manuwal, D. A. and A. B. Carey. 1991. Methods for measuring populations of small, diurnal forest birds. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-278. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR.

Milesi, F.A., Marone L., J. Lopez de Casenave, V.R. Cueto y E.T. Mezquida. 2002. Gremios de manejo como indicadores de las condiciones del ambiente: un estudio de caso con aves y perturbaciones del hábitat en el Monte central, Argentina. *Ecología Austral* 12: 149-161.

MINERA NET.2000. Sector minero de Guatemala-Geología.

[www.mineranet.com.ar/guatemala.asp](http://www.mineranet.com.ar/guatemala.asp)

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. 2006. Mapa de cobertura forestal y uso de la tierra. República de Guatemala, 2003. Guatemala: MAGA

Morrison, M. 1986. Bird populations as indicators of environmental change. *Current Ornithology* 3: 429-451.

Murray, K. 1999. National Aquatic Ecosystem Biomonitoring Programme: National Implementation Assessment. NAEBP Report Series No. 8. Institute for Water Quality Studies, Department of Water Affairs and Forestry. Pretoria, South Africa.

Noss, R. F. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. *Conservation Biology* 4: 355-364.

O'Connell, T.J., R.P. Brooks, D. H. Wardrop, and L. E. Jackson. 1998. Towards a regional index of biological integrity: The example of forested riparian systems. *Environmental Monitoring and Assessment* 51: 131-143.

O'Connell, T.J., Jackson, L.E. & Brooks, R.P. 1999. The Bird Community Index: A tool for assessing Biotic Integrity in the Mid-Atlantic Highlands.

Parrish, D.; D. Braun y R. Unnasch. 2003. Are we conserving what we say we are? Measuring Ecological Integrity within Protected Areas. *Bioscience* 53:9, 851-860

Powell, G.V.N., J.H. Rappole y S.A. Sader. 1992. Neotropical migrant landbird use of lowland Atlantic habitats in Costa Rica: A test of remote sensing for identification of habitat. En *Ecology and Conservation of Neotropical Migrant Landbirds*, eds. J.M. Hagan y D.W. Johnston, 287-298. Smithsonian Institution Press. Washington D.C.

Price, J. 2006. Gauging the Ecological Health of a Costa Rican Cloud Forest: Birds as Bio-Indicators. *Eukaryon* 2, 104-109.

Prosser, D.J. and R.P. Brooks. 1998. A verified habitat suitability index for the Louisiana Waterthrush. *Journal of Field Ornithology* 69:2, 288-298.

Robinson, S.K. and J. Terborgh. 1997. Bird community dynamics along a primary successional gradient of an Amazonian whitewater river. *Ornithological Monographs* 48:637-668.

Rountree, M.W. 1997. Landscape state change in the Sabie River, Kruger National Park, from 1986 to 1996. University of the Witwatersrand, Johannesburg.

Simmons, C., M. Tárano y J. Pinto. 1959. Clasificación de reconocimiento de los Suelos de la República de Guatemala. Instituto Agropecuario Nacional, Ministerio de Agricultura, Editorial del Ministerio de Educación Pública José de Pineda Ibarra, Guatemala

Stotz, D.F., J.W. Fitzpatrick, T.A. Parker III y D.K. Moskovitz. 1996. *Neotropical Birds: Ecology and Conservation*. University of Chicago Press, Chicago 478 pp.

Sudlow, E. 2004. Birds as bio-indicators of the ecological integrity of the Sabie River, Mpumalanga. MSc. Thesis. Rand Afrikaans University. South Africa

Szaro, R.C. 1986. Guild management: an evaluation of avian guilds as a predictive tool. *Environmental Management*. 10:681-688.

Terborgh, J., S.K. Robinson, T.A. Parker, C.A. Munn y N. Pierpont. 1990. Structure and Organization of an Amazonian Forest Bird Community. *Ecological Monographs* 60:(2) 213-238.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1999. Using Multimetric Indices to prepare and analyze data. USEPA Internet Web Page: <http://www.epa.gov/bioindicators/html/multimetric.html>.

Verner, J. 1984. The guild concept applied to management of bird populations. *Environmental Management*. 8:1-14.

Water Research Commission (WRC), 2001. State of the Rivers Report- Crocodile, Sabie-Sand & Olifants River System. WRC Report No. TT 147/01: 39pp.

Wilson, E.O. y E.O. Peter, eds. 1988. Biodiversity. National Academy Press. Washington D.C. 521 pp.



## Anexo II

Especies y número de individuos detectados por sitio de muestreo en el Río Polochic en los meses de noviembre y diciembre de 2007

ESPECIE	Sitio 1 (Telemán)	Sitio 2 (Panzos)	Sitio 3 (Las Cabañas)	Sitio 4 (BP 1)	Sitio5(BP2)
PHALACROCORACIDAE					
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	16			25	60
ARDEIDAE					
<i>Ardea herodias</i>		1			2
<i>Egretta alba</i>	20	12	8	4	18
<i>Egretta caerulea</i>	5		4	4	6
<i>Egretta thula</i>	4	40	22	3	35
<i>Butorides virescens</i>		4		1	5
<i>Bubulcus ibis</i>		8	40		6
CICONIIDAE					
<i>Mycteria americana</i>					1
ANATIDAE					
<i>Dendrocygna autumnalis</i>					3
<i>Cairina moschata</i>				2	5
<i>Anas discors</i>				6	
CATHARTIDAE					
<i>Coragyps atratus</i>	22			2	1
<i>Cathartes aura</i>		1		2	
ACCIPITRIDAE					
<i>Rosthramus sociabilis</i>			4		1
<i>Elanus leucurus</i>	2				
<i>Buteo magnirostris</i>			1	1	1
FALCONIDAE					
<i>Falco sparverius</i>					1
<i>Falco rufigularis</i>	1				
<i>Caracara plancus</i>		1			
RALLIDAE					
<i>Laterallus ruber</i>	4	10	1		1
<i>Aramides cajanea</i>					1
HELIORNITHIDAE					
<i>Helionis fulica</i>	1		2		1
ARAMIDAE					
<i>Aramus guarauna</i>					1
CHARADRIDAE					
<i>Charadrius vociferus</i>		1			
JACANIDAE					
<i>Jacana spinosa</i>					1
COLUMBIDAE					
<i>Columba flavirostris</i>			7	2	1
<i>Columba cayennensis</i>		5		1	2
<i>Columbina inca</i>				2	
<i>Columbina talpacoti</i>	5	7	3		3
PSITTACIDAE					
<i>Aratinga nana</i>		6			
<i>Amazona autumnalis</i>			8	6	1
<i>Amazona farinosa</i>				2	2

CUCULIDAE					
<i>Piaya cayana</i>				3	4
<i>Tapera naevia</i>					3
<i>Crotophaga sulcirostris</i>	8	5	4	15	15
CAPRIMULGIDAE					
<i>Nyctidromus albicollis</i>					2
APODIDAE					
<i>Streptoprocne zonaris</i>				7	
TROCHILIDAE					
<i>Phaethornis superciliosus</i>				4	
<i>Pygmyis longuemareus</i>				1	1
<i>Amazilia candida</i>				4	1
<i>Amazilia tzacatl</i>		4		1	1
<i>Anthracoceros prevostii</i>			4	2	1
TROGONIDAE					
<i>Trogon melanocephalus</i>				5	7
<i>Trogon massena</i>					3
ALCEDINIDAE					
<i>Ceryle torquata</i>		1	8	10	1
<i>Ceryle alcyon</i>				3	1
<i>Chloroceryle amazona</i>			6	3	
<i>Chloroceryle aenea</i>				4	1
<i>Chloroceryle americana</i>					1
PICIDAE					
<i>Centurus aurifrons</i>	1	4	2	6	7
<i>Dryocopus lineatus</i>				1	
TYRANNIDAE					
<i>Elaenia flavogaster</i>		2			1
<i>Oncostoma cinereigulare</i>				3	
<i>Empidonax albigularis</i>			1		
<i>Tyrannus couchii</i>				1	2
<i>Tyrannus melancholicus</i>	4		2	1	5
<i>Megarhynchus pitangua</i>	4	6	9	5	10
<i>Pitangus sulphuratus</i>	5	10	8	10	8
<i>Mionectes oleagineus</i>					3
<i>Myiozetetes similis</i>	8	10	6	12	6
<i>Myiodinastes luteiventris</i>				1	
<i>Attila spadiceus</i>					1
<i>Tolmomyias sulphurescens</i>		4	7	3	3
<i>Myiarchus tyrannulus</i>			2		
<i>Myiarchus crinitus</i>		4	2	5	4
PIPRIDAE					
<i>Manacus candei</i>				5	2
HIRUNDINIDAE					
<i>Tachycineta albilinea</i>		25		22	9
<i>Hirundo rustica</i>	6	30		19	7
<i>Progne subis</i>	6	12			4
<i>Progne chalybea</i>			12	14	6
<i>Stelgidopteryx serripennis</i>				34	12
CORVIDAE					
<i>Cyanocorax morio</i>			25	18	25

TROGLODYTIDAE					
<i>Henicorhina leucosticta</i>		1		3	
<i>Thryothorus maculipectus</i>			2	1	
<i>Troglodytes aedon</i>		4			
TURDIDAE					
<i>Turdus grayi</i>		3		5	2
MIMIDAE					
<i>Dumetella carolinensis</i>			7	1	1
<i>Mimus gilvus</i>					1
VIREONIDAE					
<i>Vireo griseus</i>	2	2	3		1
<i>Hylophilus decurtatus</i>				1	
PARULIDAE					
<i>Dendroica pensilvanica</i>				3	1
<i>Dendroica petechia</i>		6	3	1	3
<i>Dendroica magnaolia</i>		1	4	3	
<i>Setophaga ruticila</i>			5	2	1
<i>Geothlypis trichas</i>	7	9	11	5	2
<i>Vermivora peregrina</i>		8	6	5	2
<i>Wilsonia pusilla</i>					1
<i>Wilsonia citrina</i>				1	2
THRAUPIDAE					
<i>Thraupis episcopus</i>		3			
<i>Ramphocelus passerinii</i>				2	
EMBERIZIDAE					
<i>Euphonia affinis</i>				1	1
<i>Saltator maximus</i>				1	
<i>Saltator atriceps</i>		4		1	2
<i>Volatinia jacarina</i>				1	
<i>Sporophila torqueola</i>	10	42	6	23	3
<i>Sporophila aurita</i>	3	13		7	3
ICTERIDAE					
<i>Dives dives</i>	50	64	30	2	14
<i>Quiscalus mexicanus</i>	6				
<i>Psarocolius montezuma</i>			5	18	15
<i>Agelaius phoeniceus</i>				1	1
<i>Amblycercus holosericeus</i>				3	
<i>Icterus spurius</i>	4	3		1	
<i>Icterus gularis</i>			3	2	1
<i>Icterus dominicensis</i>			4		1
<i>Icterus galbula</i>		5		2	1

## Anexo III

## DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO

Sitio 1. Ubicado en Telemán, Alta Verapaz. El río Polochic, en éste trayecto, se encuentra cercano y atraviesa el poblado. Los puntos fueron ubicados dentro de una plantación de caña de azúcar, en donde las actividades humanas son intensas. En este trayecto se encuentra un puente en construcción que es seguido por una carretera de terracería, la cual es transitada por los pobladores. A lo largo del río, en donde fueron ubicados los puntos, la vegetación natural ha sido completamente removida y sustituida por el monocultivo, y el manto del río ha sido modificado. Se observan grandes bancos de arena y murallas que han sido construidas para evitar los daños producidos por las inundaciones durante la temporada lluviosa. A pesar de estos factores, el río conserva un fuerte caudal, aunque se observa una sedimentación, y erosión del manto.



Construcción de puente cercano al poblado de Telemán

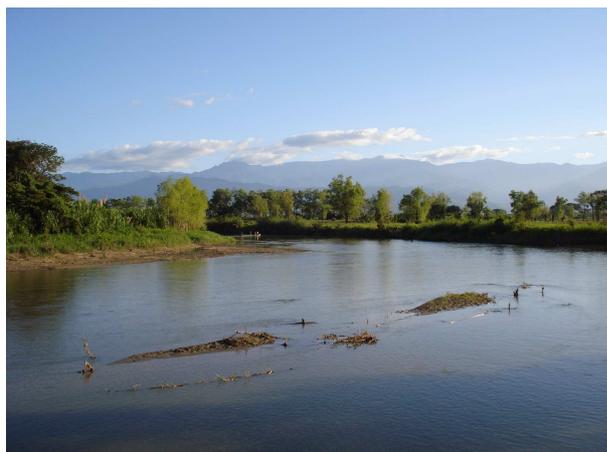


Movimiento de arena en las orillas del río para construcción de carretera



Ausencia de Bosque de Galería por plantaciones Caña de Azúcar

Sitio 2. Panzós, Alta Verapaz. Este sitio se encuentra a aproximadamente 1 km de Panzós. El sitio tiene acceso por una carretera de terracería que no es muy transitada. En las orillas del sitio se encuentran plantaciones de diversos cultivos. La vegetación riparia ha sido removida en su mayoría. Sin embargo, persisten algunos árboles que alcanzan hasta 30 mts de altura. Si bien la franja del bosque de galería es estrecha, está conformada principalmente por grandes gramíneas y muchos arbustos. En este sitio se observa una pequeña playa de apariencia natural.



Árboles esparcidos en la ribera del Polochic



Playa natural y vegetación gramínea

Sitio 3. Finca Las Cabañas / Sta. Elena, El Estor, Izabal. Este sitio se encuentra dentro de dos fincas, una dedicada al cultivo de palma africana y la otra dedicada a la ganadería. Los puntos de muestreo fueron ubicados cercanos al casco de la finca y a un poblado de los trabajadores, aunque la actividad humana no es tan intensa debido a que el acceso a este sitio está restringido a los trabajadores. En la ribera se observa una franja de bosque de galería compuesta de árboles que alcanzan hasta 40 metros de alto y de cañaverales y vegetación arbustiva. El banco del río se encuentra erosionado en algunos puntos y ha sido modificado con la construcción de murallas para evitar inundaciones.



Poblado dentro de la finca cercano al sitio de estudio



Plantación de Palma Africana en la distancia

Sitio 4. Bocas del Polochic, El Estor, Izabal. Ubicado dentro del Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic. Aquí las actividades humanas son restringidas y la vegetación se mantiene en condiciones naturales, por lo menos en su mayor parte. Sin embargo, existen algunas actividades humanas como la recolección de madera para combustible y la pesca. La vegetación consiste en diversos árboles, en su mayoría nativos, aunque, se observan algunos parches que son utilizados para el cultivo de maíz. El caudal del río es lento debido a una mayor profundidad. No se observan problemas de erosión y los linderos se encuentran recubiertos de vegetación.



Bosque de galería compuesto por gramíneas y árboles de hasta 40 metros de altura



En esta porción se observa vegetación y playas y no hay señales de erosión

Sitio 5. Bocas del Polochic, El Estor, Izabal. Este sitio es el sitio más cercano a la desembocadura del río Polochic en el lago de Izabal, aproximadamente a 2 km de ésta. En este sitio las condiciones naturales se han mantenido aunque debido al acceso a través del lago y a la cercanía de este, se da una mayor intensidad en las actividades humanas, encontrándose grandes parches de vegetación removida y sustituida por cultivos. Sin embargo, todavía permanecen las condiciones que permiten que el ecosistema mantenga una alta diversidad de organismos.



En este sitio se observan algunos claros en la vegetación



El bosque de galería en este sitio es maduro

## Anexo IV

## Descripción de las categorías o grados de perturbación

Categoría de Impacto / rango	Descripción
Desdeñable (A) 0-25	Impacto desdeñable, o la modificación se localiza de tal manera que tiene un impacto insignificante en la calidad de hábitat, la diversidad, el tamaño y la variabilidad.
Pequeño (B) 26-50	La modificación se limita a escasas localidades y el impacto en la calidad de hábitat, la diversidad, el tamaño y la variabilidad es muy pequeño.
Moderado (C) 51-75	Las modificaciones están presentes en un número pequeño de localidades y el impacto en la calidad de hábitat, la diversidad, el tamaño y la variabilidad también está muy limitado.
Extenso (D) 76-100	La modificación generalmente se presenta con un claro efecto perjudicial para la calidad de hábitat, la diversidad, el tamaño y la variabilidad. Sin embargo, grandes extensiones permanecen sin ser influenciadas.

## Anexo V

Listado de especies y Clasificación según cada uno de sus atributos ecológicos

ESPECIE	G.A.	C.F.	L.P.	M.	T.N.	A.	H.P.	Sen
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	A	-	-	-	+1	S.a.	G.b.	B
<i>Ardea herodias</i>	A	-	-	M	+1	S.a.	I.b.	B
<i>Egretta alba</i>	A	-	-	M	+1	S.b.	G.b.	B
<i>Egretta caerulea</i>	A	-	-	M	+1	S.b.	G.b.	M
<i>Egretta thula</i>	A	-	-	M	+1	S.b.	G.b.	B
<i>Butorides virescens</i>	A	-	-	M	+1	S.b.	I.b.	B
<i>Bubulcus ibis</i>	A	-	-	R	+1	S.b.	G.b.	B
<i>Mycteria americana</i>	A	-	-	M	+1	D	I.b.	B
<i>Dendrocygna autumnalis</i>	A	-	-	R	+1	+1	G.b.	B
<i>Cairina moschata</i>	A	-	-	R	+1	+1	I.b.	M
<i>Anas discors</i>	A	-	-	M	+1	S.b.	G.b.	B
<i>Coragyps atratus</i>	C	-	P.n	R	+1	+1	G.b.	B
<i>Cathartes aura</i>	C	-	P.n.	R	+1	+1	G.b.	B
<i>Rosthramus sociabilis</i>	Ca	-	-	R	+1	+1	G.b.	M
<i>Elanus leucurus</i>	Ca	-	-	R	+1	+1	G.b.	B
<i>Buteo magnirostris</i>	Ca	-	-	R	+1	+1	G.b.	B
<i>Falco sparverius</i>	Ca	-	-	M	+1	D	G.b.	B
<i>Falco ruficularis</i>	Ca	-	-	R	+1	D	I.b.	B
<i>Caracara plancus</i>	C	-	P.n.	R	+1	+1	G.b.	B
<i>Laterallus ruber</i>	A	F.s.	-	R	+1	S.b.	B.b.	B
<i>Aramides cajanea</i>	A	-	-	R	+1	S.b.	I.b.	A
<i>Heliornis fulica</i>	A	-	-	R	+1	V.a.	I.b.	M
<i>Aramus guarauna</i>	A	-	-	R	+1	S.b./A	I.b.	M
<i>Charadrius vociferus</i>	A	F.s.	-	M	+1	S.b.	G.b.	B
<i>Jacana spinosa</i>	A	F.s.	-	R	+1	V.a.	G.b.	B
<i>Columba flavirostris</i>	F	-	-	R	1	D	G.b.	M
<i>Columba cayennensis</i>	F	-	-	R	1	A/D	G.b.	M
<i>Columbina inca</i>	G	-	-	R	+1	A/D	G.b.	B
<i>Columbina talpacoti</i>	G	-	-	R	2	D	G.b.	B
<i>Aratinga nana</i>	G	-	-	R	+1	D	G.b.	B
<i>Amazona autumnalis</i>	G	-	-	R	+1	D	I.b.	M
<i>Amazona farinosa</i>	G	-	-	R	+1	D	I.b.	M
<i>Piaya cayana</i>	I	F.d.	P.n.	R	+1	D	I.b.	B
<i>Tapera naevia</i>	I	F.d.	P.n.	R	+1	D	I.b.	B
<i>Crotophaga sulcirostris</i>	O	-	P.n.	R	+1	A	G.b.	B
<i>Nyctridromus albicollis</i>	I	F.d.	-	R	2	S.a.	G.b.	B
<i>Streptoprocne zonaris</i>	I	F.d.	-	R	2	-	G.b.	B
<i>Phaethornis superciliosus</i>	N	-	-	R	2	D	I.b.	A
<i>Pygmornis longuemareus</i>	N	-	-	R	2	A	I.b.	M
<i>Amazilia candida</i>	N	-	-	R	2	-	G.b.	M
<i>Amazilia tzacatl</i>	N	-	-	R	2	D	G.b.	B
<i>Anthracorax prevostii</i>	N	-	-	R	2	D	i.b.	B
<i>Trogon melanocephalus</i>	O	-	-	R	1	D	I.b.	B

<i>Trogon massena</i>	O	-	-	R	1	D	I.b.	M
<i>Ceryle torquata</i>	A	-	-	R	+1	-	G.b.	B
<i>Ceryle alcyon</i>	A	-	-	M	+1	-	G.b.	B
<i>Chloroceryle amazona</i>	A	-	-	R	+1	-	G.b.	B
<i>Chloroceryle aenea</i>	A	-	-	R	+1	-	G.b.	M
<i>Chloroceryle americana</i>	A	-	-	R	+1	-	G.b.	B
<i>Centurus aurifrons</i>	I	F.c.	-	R	+1	D	G.b.	B
<i>Dryocopus lineatus</i>	I	F.c.	-	R	+1	D	I.b.	B
<i>Elaenia flavogaster</i>	I	F.d.	-	R	2	A	G.b.	B
<i>Oncostoma cinereigulare</i>	I	F.d.	-	R	2	A	G.b.	B
<i>Empidonax albigularis</i>	I	F.d.	-	M	2	A	G.b.	B
<i>Tyrannus couchii</i>	I	F.d.	-	R	+1	A/D	G.b.	M
<i>Tyrannus melancholicus</i>	I	F.d.	-	R	+1	D	G.b.	B
<i>Megarhynchus pitangua</i>	I	F.d.	-	R	+1	D	G.b.	B
<i>Pitangus sulphuratus</i>	I	F.d.	-	R	+1	D	G.b.	B
<i>Mionectes oleagineus</i>	O	-	-	R	2	A	G.b.	M
<i>Myiozetetes similis</i>	I	F.d.	-	R	+1	A/D	G.b.	B
<i>Myiodinastes luteiventris</i>	I	F.d.	-	M	2	D	G.b.	B
<i>Attila spadiceus</i>	I	F.d.	-	R	+1	D	I.b.	M
<i>Tolmomyias sulphurescens</i>	I	F.d.	-	R	+1	A/D	G.b.	M
<i>Myiarchus tyrannulus</i>	I	F.d.	-	R	+1	D	G.b.	B
<i>Myiarchus crinitus</i>	I	F.d.	-	R	+1	D	G.b.	B
<i>Manacus candei</i>	F	-	-	R	1	A/D	I.b.	M
<i>Tachycineta albilinea</i>	I	F.d.	-	R	+1	+1	I.b.	B
<i>Hirundo rustica</i>	I	F.d.	-	R	+1	+1	G.b.	B
<i>Progne subis</i>	I	F.d.	-	M	+1	+1	G.b.	B
<i>Progne chalybea</i>	I	F.d.	-	R	+1	D	I.b.	B
<i>Stelgidopteryx serripennis</i>	I	F.d.	-	R	+1	+1	G.b.	B
<i>Cyanocorax morio</i>	O	-	P.n.	R	+1	A/D	G.b.	B
<i>Henicorhina leucosticta</i>	I	F.s.	-	R	+1	S.b.	I.b.	M
<i>Thryothorus maculipectus</i>	I	F.d.	-	R	+1	A	G.b.	B
<i>Troglodytes aedon</i>	I	F.s.	-	R	+1	+1	G.b.	B
<i>Turdus grayi</i>	O	-	-	R	+1	A/D	G.b.	B
<i>Dumetella carolinensis</i>	O	-	-	M	2	A/D	G.b.	B
<i>Mimus gilvus</i>	O	-	-	R	+1	A	G.b.	B
<i>Vireo griseus</i>	I	F.d.	-	M	+1	D	I.b.	B
<i>Hylophilus decurtatus</i>	I	F.d.	-	R	2	D	G.b.	M
<i>Dendroica pensilvanica</i>	I	F.d.	-	M	+1	A	G.b.	B
<i>Dendroica petechia</i>	I	F.d.	-	M	+1	A/D	G.b.	B
<i>Dendroica magnolia</i>	I	F.d.	-	M	+1	+1	G.b.	B
<i>Setophaga ruticila</i>	I	F.d.	-	M	+1	+1	G.b.	B
<i>Geothlypis trichas</i>	I	F.d.	-	M	+1	+1	G.b.	B
<i>Vermivora peregrina</i>	I	F.d.	-	M	+1	+1	G.b.	B
<i>Wilsonia pusilla</i>	I	F.d.	-	M	+1	+1	G.b.	B
<i>Wilsonia citrina</i>	I	F.d.	-	M	+1	+1	G.b.	M
<i>Thraupis episcopus</i>	F	-	-	R	2	A/D	G.b.	B
<i>Ramphocelus passerinii</i>	F	-	-	M	+1	A	G.B.	B
<i>Euphonia affinis</i>	F	-	-	R	+1	D	G.b.	B
<i>Saltator maximus</i>	O	-	-	R	2	A	I.b.	B
<i>Saltator atriceps</i>	O	-	-	R	2	A	I.b.	M

<i>Volatinia jacarina</i>	G	-	-	R	+1	A	G.b.	B
<i>Sporophila torqueola</i>	G	-	-	R	+1	A	G.b.	B
<i>Sporophila aurita</i>	G	-	-	R	+1	A	G.b.	B
<i>Dives dives</i>	O	-	-	R	3	A	G.b.	B
<i>Quiscalus mexicanus</i>	O	-	-	R	2	D/A	G.b.	B
<i>Psarocolius montezuma</i>	O	-	-	R	2	D	G.b.	M
<i>Agelaius phoeniceus</i>	O	-	-	R	+2	A/D	G.b.	B
<i>Amblycercus holosericeus</i>	O	-	-	R	2	A	G.b.	B
<i>Icterus spurius</i>	O	-	-	M	+1	A	G.b.	B
<i>Icterus gularis</i>	O	-	-	R	+1	A/D	G.b.	B
<i>Icterus dominicensis</i>	O	-	-	R	+1	D	G.b.	B
<i>Icterus galbula</i>	O	-	-	M	+1	D	G.b.	B

G.A.: Gremio Alimenticio; A: Acuático omnívoro, C: Carroñero, Ca: Carnívoro, F: frugívoro, G: granívoro, I: insectívoro, O: omnívoro, N: nectarívoro

L.P.: Limitante poblacional; P.n.: predador de nidos

C.F.: Conducta de forrajeo; F.s.: forrajero de suelo, F.d.: forrajero de dosel, F.c.: Forrajero de corteza

M.: Migración; M.: migratorio, R.: residente

T.N.: tamaño de nidada

A.: anidamiento; S.a.: suelo abierto, S.b.: suelo del bosque, D.: dosel, V.a.: vegetación acuática, A.: Arbustivo

H.P.: Hábitat primario; G.b.: generalista de bosque, I.b.: interior de bosque

Sen.: Sensibilidad; B.: baja, M.: mediana, A.: alta.

## Anexo VI

## Descripción de las categorías de condición de acuerdo al ICA

Punteo ICA	Condición	Descripción
90-100	A	Hábitat ripario no modificado o en condiciones naturales. Apto para ser habitado por una amplia variedad de aves
80-89	B	Mayormente natural con escasas modificaciones. Un pequeño cambio en el hábitat ripario y en la diversidad de especies pudo haber ocurrido, pero las funciones del ecosistemas esencialmente se han mantenido
60-79	C	Moderadamente modificado. Una pérdida o cambio en el hábitat ripario y en la diversidad de aves ha ocurrido, pero las funciones básicas del ecosistema se mantienen predominantemente intactas
40-59	D	Considerablemente modificado. Una gran pérdida de hábitat ripario, de diversidad de especies de aves y de las funciones básicas del ecosistema ha ocurrido
20-39	E	La pérdidas del hábitat ripario natural, de la diversidad de aves y de las funciones básicas del ecosistema son extensas
0-19	F	Las modificaciones han alcanzado un nivel crítico, el sistema ribertino ha sido modificado completamente, con una completa o casi completa pérdida del hábitat ripario y una reducción en las especies de aves. En el peor de los casos, las funciones básicas del ecosistema han sido destruidas y los cambios son irreversibles

Fuente: Modificado de Sudlow 2004.

## Anexo VII

## Resumen del Análisis de Correlación y Regresión entre el Índice de Perturbación Humana y el Índice de Comunidad de Aves

Valores de IPH e ICA para cada uno de los sitio estudiados

	IPH	ICA
sitio1	65	12
sitio2	49	49
sitio3	38	47
sitio5	19	63
sitio4	18	91

<i>Estadísticas de la correlación</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,91497734
Coeficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,83718353
R <sup>2</sup> ajustado	0,78291137
Error típico	13,3323731
Observaciones	5

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Regresión	1	2741,943481	2741,943481	15,4256538	0,029377731
Residuos	3	533,2565185	177,7521728		
Total	4	3275,2			

## Anexo VIII

Tabla X Criterios utilizados para la estimación del IPH

<b>Criterio</b>	<b>Relevancia</b>
Abstracción de agua	Impacto directo en el tipo, abundancia y tamaño de hábitat. Implicada en las características del flujo, el canal, el manto y de la calidad del agua. La vegetación riparia puede ser influenciada por un descenso en el abastecimiento de agua.
Modificación del Flujo	Consecuencia de la abstracción o la regulación por estancamientos. Los cambios en las características especiales y temporales del flujo pueden tener un impacto en los atributos del hábitat como un incremento en la duración de la temporada de flujo bajo, dando como resultado una baja disponibilidad de ciertos tipos de hábitat o de abastecimiento de agua.
Modificación del manto	Se da como consecuencia del aumento de la deposición de sedimentos o en la reducción en la habilidad del río para transportarlos. Indicador indirecto de la sedimentación es la erosión en los bancos
Modificación del Canal	Puede ser resultado del cambio en el flujo que puede alterar las características del canal causando un cambio en los hábitat ribeños y riparios. Aquí se incluyen la modificación hechas a propósito para mejorar el drenaje.
Modificación de la calidad del agua	Se origina de fuentes puntuales y difusas. Puede ser medida directamente. Su embargo, actividades agrícolas, establecimientos humanos y actividades industriales pueden indicar la modificación. La situación empeora durante la temporada de bajo flujo, debido a la disminución en el volumen del agua
Inundación	Destrucción de hábitat en la zona riparia y la de rápidos. Obstrucción de los movimientos de fauna acuática e influencia en la calidad de agua y el movimiento de los sedimentos.
Macrófitas exóticas	Alteración del hábitat por obstrucción del flujo que puede influenciar a la calidad de agua y aumentar la turbidez. Depende de las especies y del grado de infestación.
Deposición de desechos sólidos	Un impacto antropogénico directo que puede afectar la estructura del hábitat. También es un indicador de mal uso y mal manejo del río.
Remoción de la vegetación nativa	Deterioro de la zona amortiguadora de la vegetación que permite el movimiento de sedimentos y otros productos de la escorrentía de la cuenca hacia el río. Se refiere a la remoción física para cultivos, leña y ganadería.
Invasión de vegetación exótica	Excluye a la vegetación nativa debido al crecimiento vigoroso, causando la inestabilidad del banco y disminuyendo la acción amortiguadora de la zona riparia. La deposición de material orgánica alóctona también cambia. La diversidad de los hábitats de la zona riparia también es reducida.
Erosión del Banco	La disminución en la estabilidad del banco causa sedimentación y un posible colapso del banco del río resultando en una pérdida o una modificación de los hábitats ribeños y riparios. La erosión incrementada puede ser el resultado de la remoción de la vegetación, sobrepastoreo e invasión de plantas exóticas.

Fuente: Modificado de Kleynhans 1996.

---

Sebastián Kepfer Rojas

Autor

---

Licda. Raquel Sigüenza de Micheo

Asesora

---

Juan Fernando Hernández Escobar, Ph.D.

Revisor

---

Licda. Rosalito Barrios de Rodas

Directora Escuela de Biología

---

Oscar Manuel Cobar Pinto, Ph.D.

Decano