

**MITIGACIÓN DE COLISIÓN DE AVES CONTRA LÍNEAS DE TRANSMISIÓN
ELÉCTRICA CON MARCAJE DEL CABLE DE GUARDA**
**Mitigation of collisions of birds with high-tension electric power lines
by marking the ground wire**

Susana De La Zerda

Avifauna Ltda., Interconexión Eléctrica S.A. A.A.3751, Bogotá, Colombia, sdelazerda@yahoo.com

Loreta Rosselli

Avifauna Ltda., Interconexión Eléctrica S.A., Dg. 109 # 26-10, Bogotá, Colombia, lrosselli@yahoo.com

RESUMEN

La colisión de aves contra el cable de guarda y los conductores de líneas eléctricas de alta tensión puede ser un problema serio en algunos hábitats y para algunas especies de aves. Obtuvimos datos de colisión de aves en una localidad atravesada por los dos circuitos de una línea a 500kV en el norte de Colombia. Después de dos años de estudio, se instalaron dispositivos de mitigación (espirales plásticos amarillos) en uno de los circuitos y se efectuaron observaciones a posteriori para evaluar la efectividad de los espirales. Los dispositivos para desvío de vuelo redujeron la mortalidad de las aves según lo indican los datos de menor número de aves reaccionando cerca de la línea, menor número de aves volando a la altura de los conductores y menor tasa de colisión en el circuito marcado. Este estudio pionero en la región aporta una metodología adaptada al Neotrópico para el estudio de los efectos de líneas de transmisión. Se concluye que el problema de colisión en Colombia puede ser bastante grave sobre algunas poblaciones locales de aves, especialmente de especies crepusculares, de tamaño relativamente grande y con poca capacidad de maniobrar en vuelo. Se da una serie de recomendaciones preventivas para empresas electricificadoras incluyendo la instalación de espirales desviadores de vuelo en los sectores de líneas localizados en áreas críticas. Esta política ya se está aplicando en el país.

Palabras clave: dispositivos para el desvío de vuelos, líneas de alta tensión, marcaje del cable de guarda, Neotrópico, tasas de colisión, especies sensibles

ABSTRACT

Collision of birds against the ground wire and conductors of high tension lines can be a serious problem in some habitats and for some bird species. Data on collisions were gathered in a wetland locality crossed by a 2 circuit 500kV line in northern Colombia. After two years of study mitigation devices (yellow plastic spirals) were installed on one circuit and observations were carried on after the installation in order to evaluate the effectiveness of the spirals. The bird flight diverters (BFD) proved to reduce mortality of birds as shown by fewer birds reacting close to the line, fewer birds flying at the height of the conductors and lower collision rates with the marked line. This pioneer study in the region provides an appropriate methodology for the study of the effects of transmission lines on birds in the Neotropics. We conclude that collision might have serious effects in the country and might be critical for some local populations, especially crepuscular, medium to large-sized species with limited flight maneuverability. A number of preventive recommendations for electric companies are given. An important recommendation is to install BFD in all portions of transmission lines in critical areas. This practice is being implemented throughout the country.

Key words: bird flight diverters, collision rates, ground wire marking, high tension lines, Neotropics, sensitive species.

INTRODUCCION

Las líneas de transmisión eléctrica pueden afectar a las aves de dos formas principales: la colisión contra el cable de guarda y los conductores y la fragmentación de sus hábitats (especialmente bosques) con la apertura y mantenimiento de las franjas de servidumbre (Rosselli & De La Zerda 1996). En dos estudios contratados por Interconexión Eléctrica S.A., los primeros llevados a cabo en Colombia en el tema (De La Zerda & Rosselli 1997, Rosselli & De La Zerda 1999), encontramos que la frecuencia de colisiones era alta en una zona de humedales en el norte del país. Registramos tasas altas de colisión para especies como la tinguia morada (*Porphyryla martinica*), barraquete (*Anas discors*), iguazas (*Dendrocygna* spp.) y la garza nocturna (*Nycticorax nycticorax*) entre otras. Según Palacios (1998) las poblaciones de estas especies podrían verse afectadas por la pérdida de individuos contra las líneas. De especial peligro para las aves es el cable de guarda, un cable más delgado que los cables conductores, que se extiende entre las partes más altas de las torres y sirve como pararrayos para evitar daños a la línea por descargas de relámpago.

La mayoría de los estudios realizados a nivel internacional sobre el problema de la colisión se han enfocado en la mortalidad, las especies afectadas y los factores técnicos y ambientales que los afectan; algunos artículos reportan resultados de estudios de mitigación (Alonso & Alonso 1999, Alonso et al. 1994, Archibald 1987, Beaulaurier 1981, Brown 1993, Brown & Drewien 1995, Brown et al. 1987, Heijins 1980, Janss & Ferrer 1998, Koops & de Jong 1982, Morkill & Anderson 1991a, 1991b, 1993, Raevel & Tombal 1991, Savereno et al. 1996). El sistema más estudiado y el más efectivo reportado en la literatura es el marcaje del cable de guarda con dispositivos para el desvío de vuelos. Dentro de estos dispositivos, los espirales plásticos son los más populares. Basadas en nuestras experiencias y en los estudios mencionados, el objetivo de este trabajo fue evaluar la efectividad del marcaje de una línea con espirales plásticos para mitigar el choque de aves en un área de altas tasas de colisión en la costa norte de Colombia.

MATERIALES Y METODOS

Area de estudio.-

El área de estudio está localizada en la costa Caribe al norte de Colombia, a 7m sobre el nivel del mar en los límites entre el sur del departamento del Atlántico y el norte de Bolívar en la región del canal del Dique, cerca de la población de Santa Lucía (Fig.1). Ésta es una importante área de humedales que alberga gran cantidad de aves vulnerables a colisión como garzas, patos, corocoras, tinguas, etc. (Rosselli & De La Zerda 1999). El área está localizada en la ruta migratoria de aves acuáticas como el barraquete (*A. discors*), el pato migratorio

más común en Colombia (Hilty & Brown 1986) y en un área de movimientos de aves entre zonas de dormitorio y de alimentación. La precipitación media anual es de 962.4 mm con una estación seca entre diciembre y marzo, una lluviosa entre mayo y octubre y un periodo menos lluvioso entre junio y agosto; la temperatura media anual de 28.4°C.

El estudio se realizó en los vanos (sector entre dos torres) 888-889 y 889-890 del 2° circuito (Línea a 500kV Chinú-Sabanalarga de ISA) y 1019-1020 y 1020-1021 del 1er circuito que corre paralelo al 2° (Fig. 1). Los corredores de servidumbre de estos circuitos corresponden a greda cuarteada con algo de pasto, rebrotes de palma Sará (*Copernicia sancta-martae*), abundante en la zona, algunos árboles y charcos de mayor o menor tamaño según la época. En un tramo corto cerca de las torres 888 y 1019 se encuentra un pequeño bosque de palma Sará en franca disminución ya que está atravesado por los dos corredores de servidumbre en una extensión de 60m de ancho en cada uno; en esta zona se observa crecimiento de pasto y rastrojo bajo. Las condiciones en el resto de los vanos son más variadas; atraviesan potreros con pasto tupido, una carretera, una cerca viva y el Canal del Dique que en este punto tiene unos 100m de ancho (Figs. 1 y 2).

Estos vanos cruzan una gran zona de humedales principalmente entre las Ciénagas del Jobo y Pivijay, Palotal y Palotalito, así como del Canal del Dique con sus brazos viejos (Fig. 1). La ciénaga del Jobo a menos de 0.5km de los vanos estudiados tiene un área aproximada de 1800Ha (Fig. 3). Durante el día alberga numerosas aves acuáticas, especialmente garzas (*Casmerodius albus*, *Ardea cocoi*) y rascones (Familia Rallidae) así como abundantes cormoranes (*Phalacrocorax olivaceus*) que descansan en los árboles alrededor de la ciénaga. En el extremo oriental de ésta ciénaga (más cercano a la línea, Fig. 1) se observó un garcero activo con aproximadamente 700 individuos (unas 300 *C.albus*, 150 *Bulbucus ibis*, 100 *Egretta thula* y 75 *N.nycticorax*), también se observaron varios ibis lustrosos (*Plegadis falcinellus*) y patos aguja (*Anhinga anhinga*). La ciénaga de Bijagual (50Ha aprox.), muy cercana a la línea (en algunos sitios a menos de 100m) es mucho más panda y está rodeada de varios charcos y pantanos que albergan numerosas aves acuáticas vadeadoras como caracoleros (*Aramus guarauna*), pollas de agua (*Porphyryla martinica*, *Gallinula chloropus*), gallitos de ciénaga (*Jacana jacana*), correlimos migratorios (*Tringa* spp., *Calidris* spp.), Ibis o corocoras (*Phimosus infuscatus*, *Plegadis falcinellus*) y en la época en que las migratorias de Norteamérica se encuentran acá, grupos de barraquetes (*Anas discors*). La ciénaga alberga un grupo de unos 300 pisingos del género *Dendrocygna*, principalmente de la especie *autumnalis*. Muchas de estas especies se encontraron en mayor o menor número en diferentes temporadas, indicando que algunas de ellas realizan movimientos estacionales, probablemente entre las ciénagas ya que éstas y los cuerpos de aguas menores aumentan y disminuyen su tamaño según la época del año (Palacios 1998).



Figura 1. Localización del área de estudio en los límites entre el norte del departamento de Bolívar y el sur del Atlántico. El círculo encierra el sitio exacto de muestreo indicando el primer y segundo circuitos de la línea de transmisión a 500kV Chinú-Sabanalarga ISA con el sector en donde se instalaron los espirales desviadores de vuelo marcado con líneas anaranjadas en zig zag. El esquema del ave indica el sitio del garcero activo durante el estudio. Escala 1:30.000. Base cartográfica planchas IGAC Esc: 1:25.000 Nos. 31-I-A y 31-I-B.



Figura 2. Área de estudio en cercanías de Santa Lucía (límites Bolívar-Atlántico). Se observan los dos circuitos de 500kV que corren paralelos en la región. Foto: S. De La Zerda.



Figura 3. Ciénaga del Jobo (Bolívar), aledaña al paso de las líneas de transmisión en el área de estudio en Santa Lucía. Foto L. Rosselli.

Esta situación de dos circuitos paralelos entre dos grandes cuerpos de agua en donde ocurre gran número de choques, proporciona una excelente oportunidad para estudios de colisión (Rosselli & De La Zerda 1996 y artículos citados en éste).

Metodología para estudios de colisión.-

Los muestreos se llevaron a cabo siguiendo la metodología desarrollada por De La Zerda & Rosselli (1997), basada en los trabajos de Meyer (1978), James & Haak (1979) y Beaulaurier (1981), que se concentran en tres aspectos principales:

a. Observación de vuelos diurnos y nocturnos a través de las líneas.

La observación diurna de vuelos fue realizada por dos investigadores. En cada muestreo se realizaron observaciones durante cinco a seis horas continuas durante cuatro días en cada vano, obteniendo dos días completos (todas las horas del día 05:30-18:30) para cada uno. Durante las observaciones se registraron la hora, la especie, tamaño de bandada, dirección del vuelo, reacciones a la línea y altura de vuelo. Las reacciones fueron clasificadas en cuanto al tipo (devolverse, cambio de dirección o altura, desintegración de la bandada, etc.) y la distancia de la línea en que se produjeron (dentro de 10 m o más alejado que 10 m). Se clasificaron las alturas como I = entre el suelo y el conductor más bajo; II = entre el conductor más bajo y el más alto; III = entre el conductor más alto y el cable de guarda (la altura más peligrosa para colisiones); IV = hasta 50 m más alta que el cable de guarda y V = más de 50 m por encima de este cable. Este tipo de muestreo se repitió nueve veces entre enero de 1997 y marzo de 2000 (Tabla 1).

A partir de noviembre de 1997 se realizaron observaciones de vuelos nocturnos, utilizando un equipo de visión nocturna con iluminador (Moonlight® Night Vision COMPACT™ Scope NV-100). Estas observaciones se hicieron durante dos noches (una en cada circuito). Dadas las dificultades que conlleva el uso de estos equipos, las observaciones se hicieron durante varios minutos cada hora y en una parte del vano en siete de los nueve muestreos (Tabla 1, más detalles en De La Zerda & Rosselli 2000). Los resultados de estas observaciones parciales se extrapolaron a toda la noche y toda la extensión del vano.

b. Búsqueda de cadáveres

Debido a que es casi imposible ver y contar las colisiones por observación directa el estimativo de total de colisiones se basa en la búsqueda de cadáveres debajo de las líneas (Anderson 1978, Beaulaurier 1981, Bevanger 1995, Dedon et al. 1989, James & Haak 1979, McNeil et al. 1985, Meyer 1978, Rusz et al. 1986). La búsqueda de cadáveres la realizaron dos biólogos recorriendo el terreno debajo de las líneas en un área

comprendida entre las dos torres (largo de cada vano) y una franja de 100m de ancho (50m a cada lado del centro de la línea) según lo recomendado para líneas de esta tensión, buscando e identificando y removiendo cuerpos y restos de aves que presumiblemente habían chocado con la línea. F.G. Stiles, ornitólogo del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional, identificó los restos que no pudieron ser clasificados en campo.

c. Estudios de error

La búsqueda y encuentro de cadáveres están sujetos a varias fuentes de error relacionadas con la dificultad de encontrar los cuerpos en el campo. Para reducir estas fuentes de incertidumbre se realizaron varios estudios:

Error de búsqueda. Cada buscador de cadáveres realizó un ensayo de efectividad de búsqueda de un número conocido de cuerpos de codornices, siguiendo el procedimiento usual de rastreo en el área. De esta manera se obtuvo el porcentaje individual de éxito de encuentro. Ya que este error puede variar a lo largo del muestreo, se realizaron dos pruebas, una al inicio y una al final del muestreo. El porcentaje de aves colocadas que no fue encontrado por cada buscador corresponde al "error de búsqueda" de cada uno.

Error de desaparición. Con cuerpos de codornices colocados al azar, se hizo un seguimiento diario de la suerte de los cadáveres para monitorear su descomposición y desaparición del área. Estos datos dan una idea de la cantidad de cadáveres

Tabla 1. Muestreos realizados en Santa Lucía, Atlántico entre ene/97 y mar/00.

Fechas	Vanos muestreados	Horas de muestreo	Observaciones nocturnas
Ene.27- feb.5 /97	888-889-890	06:00-18:30	No
Nov.21- dic.4 /97	888-889-890	05:30-18:00	Si
	1019-1020-1021	06:00-18:00	
Mar.12-25 /98	888-889-890	06:00-18:30	Si
	1019-1020-1021		
Jun.29- jul.11 /98	888-889-890	05:30-18:00	Si
	1019-1020-1021		
Oct. 5-17 /99	888-889-890	05:45-18:00	Si
	1019-1020-1021	06:00-18:00	
Nov.13-22 /99 (Premarraje)	888-889-890	06:00-18:00	No
	1019-1020-1021		
Nov.23- dic.4 /99 (Posmarraje)	888-889-890*	05:30-18:00	Si
	1019-1020-1021		
Ene.24- feb.7 /00	888-889-890*	06:00-18:30	Si
	1019-1020-1021		
Mar. 13- 26 /00	888-889-890*	06:00-18:00	Si
	1019-1020-1021		

* Muestreos en que los vanos 888-889-890 estuvieron marcados con los espirales desviadores de vuelo.

causados por la línea que están desapareciendo antes de ser encontrados.

Error de hábitat. Se estimó el porcentaje del área rastreada en la que no fue posible buscar cadáveres.

Error de lisiados. Este corresponde al porcentaje de aves que se chocan contra la línea y continúan volando o desplazándose de otra forma hasta salir del área de búsqueda. Se calculó mediante observación directa de aves que se colisionan con la línea (24 en total) y la proporción de las mismas que no cayó dentro del área de rastreo. El cálculo de este error tiene el problema de que se asume que todas las aves que se chocan y siguen volando, eventualmente mueren a causa de la colisión, lo cual es imposible de confirmar. Sin embargo, a juzgar por el tipo de lesiones causadas en aves que quedaron vivas, seguramente la predicción no está lejos de la realidad.

Los datos de observaciones de aves se complementaron con visitas a los alrededores del sitio de estudio, para adquirir una visión más amplia de la presencia y movimientos de las aves en los principales cuerpos de agua de la región: Embalse del Guájaro, Ciénaga del Jobo y la serie de ciénagas al este de los sitios de observación (Bijagual, Palotal, La Sabana y Pivijay, Figura 1).

Cálculos.-

El número total de colisiones se obtuvo sumando de la siguiente forma los resultados de los estudios de error al número total de cuerpos y partes de cuerpos encontrados: (Meyer 1978, James & Haak 1979, Beaulaurier 1981):

Error de Búsqueda

$$EB = \frac{TAME}{PAE}$$

EB es el error de búsqueda, TAME es el total de cadáveres encontrados en la zona de búsqueda. Para este valor se incluye el promedio de los cadáveres frescos con menos de 24 horas de presencia durante los días de búsqueda. PAE es la proporción de aves previamente colocadas que fueron encontradas en el ensayo de efectividad de búsqueda

Error de desaparición

$$ED = \frac{TAME + EB}{PNR} - (TAME + EB)$$

ED es el error de desaparición, PNR es la proporción de aves colocadas que no fueron retiradas por los carroñeros y depredadores en las primeras 24 horas de ensayo.

Error de hábitat

$$EH = \frac{TAME + EB + ED}{PP} - (TAME + EB + ED)$$

EH es el error de hábitat y PP es la proporción del área donde es posible la búsqueda.

Error de lisiados

$$EL = \frac{TAME + EB + ED + EH}{PACA} - (TAME + EB + ED + EH)$$

EL es el error de lisiados, PACA es la proporción de aves que colisionaron con la línea y cayeron dentro del área de búsqueda (por observación directa).

El número total de colisiones (NTC) estará dado por la fórmula
 $NTC = TAME + EB + ED + EH + EL$

La tasa de colisión se calculó como un porcentaje mediante la fórmula

$$TC = (NTC/TV) * 100$$

TV es el número total de vuelos durante 24 horas (calculado como el promedio de dos días de observación para cada vano más las observaciones nocturnas). Más detalles de la metodología general y los cálculos de estudios de error y las tasas de colisión se encuentran en De La Zerda & Rosselli (2000) y Rosselli & De La Zerda (1999).

Determinación de la efectividad de los espirales desviadores de vuelos (EDV).-

Para estudiar la efectividad de dispositivos de mitigación se pueden utilizar dos tipos de metodologías:

- Comparar mortalidad o tasas de colisión antes y después de instalar los dispositivos en un área (Janss & Ferrer 1998, Koops & De Jong 1982, Beaulaurier 1981).
- Realizar periodos de muestreo simultáneos y comparar vanos o porciones de la línea marcados con no marcados (Brown & Drewien 1995, Savereno et al. 1996, Morkill & Anderson 1991).

Dado que en nuestro caso teníamos datos previos al marcaje de la línea, utilizamos el primer método de comparar antes y después de la instalación de los EDV. También dejamos un circuito sin marcar para poder comparar el circuito marcado y el no marcado.

La fase del estudio correspondiente a la instalación de los espirales desviadores de vuelo (EDV) se llevó a cabo en cuatro etapas:

- Muestreo inmediatamente antes de la instalación de los marcadores (muestreo premarcaje)
- Instalación de los EDV
- Muestreo inmediatamente después de la instalación de los EDV (muestreo posmarcaje) para poder hacer comparaciones muy cercanas en el tiempo minimizando variaciones por causas diferentes a la instalación de los EDV.
- Dos muestreos posteriores al marcaje del cable de guarda para ser comparados con los muestreos anteriores al marcaje.

Esta metodología nos permitió hacer tres tipos de comparaciones de las características de vuelo pertinentes (reacción, altura, etc.) y de las tasas de colisión:

- Muestreo premarcaje vs. muestreo posmarcaje: con esta comparación esperamos eliminar efectos externos (por ejemplo clima) que pudieran influenciar los datos medidos en diferentes épocas.
- Todos los muestreos anteriores al marcaje de la línea vs. todos los posteriores.
- Parejas de muestreos realizados en la misma época en diferentes años.

Además, al dejar uno de los circuitos sin marcar se pudieron realizar comparaciones entre el circuito marcado (M+) y no marcado (NM).

Instalación de los EDV.-

Los EDV utilizados fueron espirales amarillos de polipropileno de 25cm de diámetro y 80cm de largo aproximadamente e instalados en los vanos 888-889 y 889-890 del 2° circuito.



Figura 4. Esquema de instalación alternada de los espirales desviadores de vuelo en los cables de guarda (vista desde arriba).

Éstos fueron instalados cada 10m en cada uno de los dos cables de guarda que tienen estos circuitos y de forma alternada de tal manera que la vista aparente es como si estuvieran localizados cada 5m y fueran más visibles para las aves (Fig. 4).

RESULTADOS

A lo largo de este estudio se registraron 199 especies de aves en la zona. De estas, 62 son acuáticas o están muy relacionadas con el agua. Aunque la mayoría de las especies del área son residentes, se registran también especies migratorias de Norteamérica como la caica *Gallinago gallinago*, el barraquete *Anas discors*, los chorlos o playeros *Tringa* spp., *Actitis macularia* y *Calidris minutilla*, las reinitas *Setophaga ruticilla* y *Dendroica striata* y el toche *Icterus spurius* que están

presentes solamente entre septiembre y marzo (Anexo 1). Existen en la zona varias especies que son migratorias locales y que se registran en mayores o menores números dependiendo de la época, por ejemplo la tingua azul *Porphyryla martinica*. En esta zona son importantes también los movimientos diarios de las aves ya que la gran mayoría de las especies acuáticas se mueven entre los dormitorios y los sitios de alimentación desplazándose en grupos de diferentes tamaños, que pueden llegar a los cientos de individuos en algunas especies. Se observaron también especies de especial interés como el ibis lustroso (*Plegadis falcinellus*) que había sido registrado para Colombia solamente en el Embalse del Guájaro y que aumentó sus números en la zona hacia el final del estudio, la chauna *Chauna chavarría* (amenazada en el país según Renjifo et al. 2002), el pato real *Cairina moschata* cuyos números se han reducido notablemente, la pava endémica *Ortalis garrula* y el cucú *Coccyzus lansbergi* del que se tienen pocos registros en Colombia.

Vuelos.-

El promedio de vuelos por hora de observación a través de la línea varió mucho a lo largo del estudio con valores extremos de 87.5 en enero de 1997 en el M+ y 837.2 en octubre de 1999 también en el M+ (Fig. 5). No se presentó una diferencia significativa entre los circuitos en estos números (número promedio de vuelos por hora de observación: NM antes: 324.27, NM después: 650.61, M+ antes: 254.13, M+ después: 551.67; Test Wilcoxon, $p=0.5286$). La familia con mayor número de vuelos a través de la línea fue la de las garzas (Ardeidae) y la especie más abundante, la garza del ganado (*Bubulcus ibis*) sumó más del 90% del total de los vuelos a través de la línea. Otras familias abundantes fueron los cormoranes (*Phalacrocoracidae*), ibises (*Threskiornithidae*), patos (*Anatidae*), gallinazos (*Cathartidae*), palomas (*Columbidae*), loros (*Psittacidae*) y golondrinas (*Hirundinidae*). Otras especies comunes fueron el cormorán neotropical (*Phalacrocorax olivaceus*), garza real (*Casmerodius albus*), garza patiamarilla (*Egretta thula*), garza azul (*Egretta caerulea*), coquito (*Phimosus infuscatus*), iguasa careta e iguasa común (*Dendrocygna viduata*, *D. autumnalis*), barraquete, Jacanas (*Jacana jacana*), torcaza morada (*Columba cayennensis*), perico carasucia (*Aratinga pertinax*) y el chamón (*Molothrus bonariensis*). En todos los muestreos el patrón diario de vuelos fue bastante marcado, con periodos de fuerte tráfico al amanecer (05:30-07:00) y al atardecer (16:30-18:00) y mucho menos movimientos durante el resto del día (Rosselli y De La Zerda 1999).

Reacciones.-

El porcentaje de vuelos en que hubo reacción ante la presencia de las líneas de transmisión presentó una fuerte fluctuación entre muestreos y entre líneas en los tres años de estudio con valores desde 1.8% en marzo de 1998 en el NM hasta 26.5%

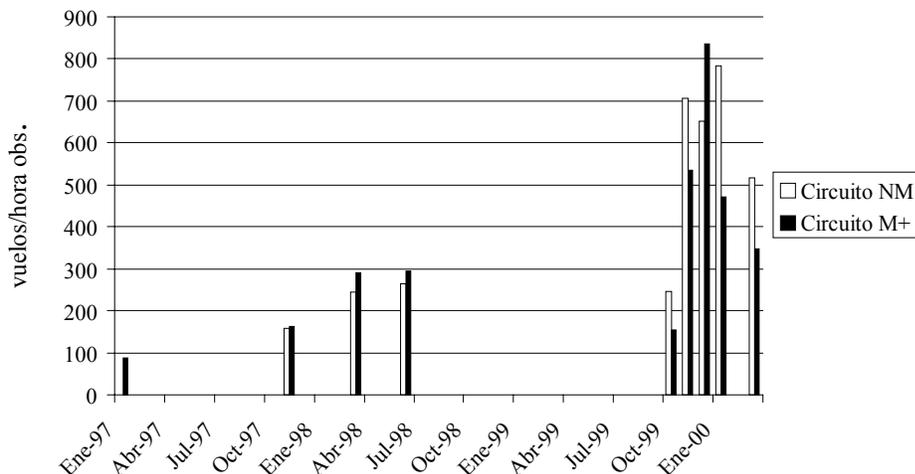


Figura 5. Vuelos por hora de observación a través de los circuitos no marcado (NM) y marcado (M+) de la línea a 500kV Chinú-Sabanalarga entre enero de 1997 y marzo del 2000.

en julio del mismo año en el mismo circuito (Fig. 6).

El promedio de estos porcentajes en cada muestreo resultó muy similar en los dos circuitos antes y después de la instalación de los EDV en el circuito M+ (U de Mann-Whitney $p=0.79$ para el NM antes y después de la instalación, $p=0.90$ para el M+). Es decir aparentemente la presencia de los EDV no incidió en la cantidad de reacciones que presentaron las aves. Esta proporción presentó una notoria variación

especialmente en el NM en los muestreos anteriores al marcaje (Fig. 7).

El porcentaje de reacciones que se dio a menos de 10m de la línea estuvo en general por encima del 50% tanto en el circuito NM como en el M+ con valores entre 38% en junio del 98 en el NM y 90% en noviembre de 1999 en M+, antes de la instalación de los desviadores. Es decir que la mayoría de aves que reaccionan lo hacen muy cerca de las líneas. En esta

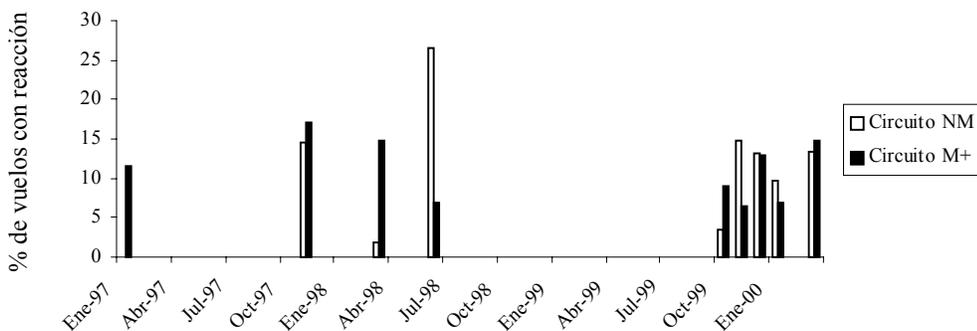


Figura 6. Porcentaje de vuelos con reacción ante la línea de transmisión en los circuitos NM y M+ de la línea Chinú-Sabanalarga entre enero de 1997 y marzo del 2000.

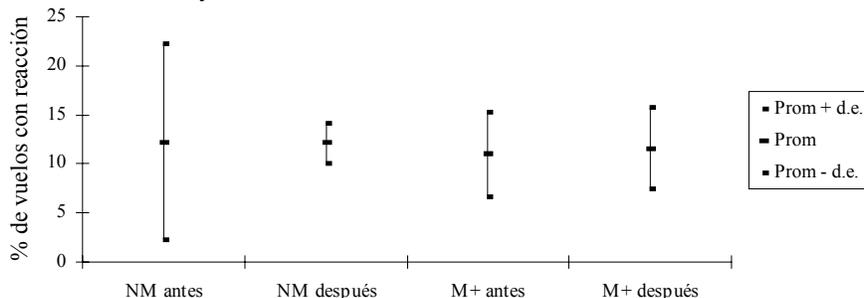


Figura 7. Promedio \pm d.e. de los porcentajes de vuelos en que se presentó reacción ante la presencia de las líneas de transmisión en cada muestreo, en los circuitos NM y M+ de la línea a 500kV Chinú-Sabanalarga antes y después de la instalación de los espirales (n=5 muestreos antes del marcaje en NM, n=6 muestreos antes del marcaje en M+, n=3 muestreos después del marcaje en NM y M+).

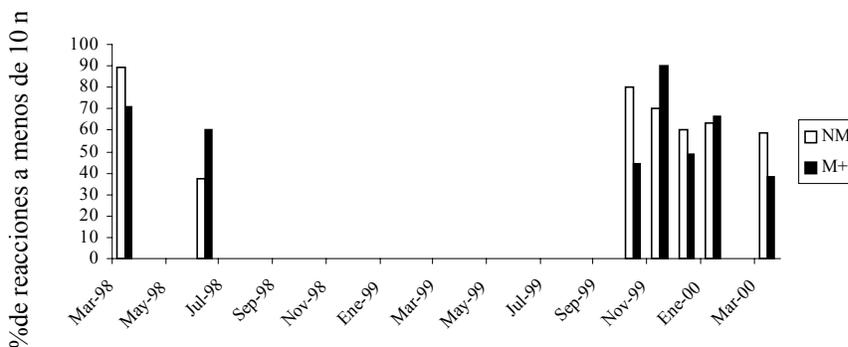


Figura 8. Porcentaje de reacciones que se dieron a menos de 10m de la línea de transmisión en los circuitos NM y M+ de la línea a 500kV Chinú-Sabalarga entre marzo de 1998 y marzo del 2000.

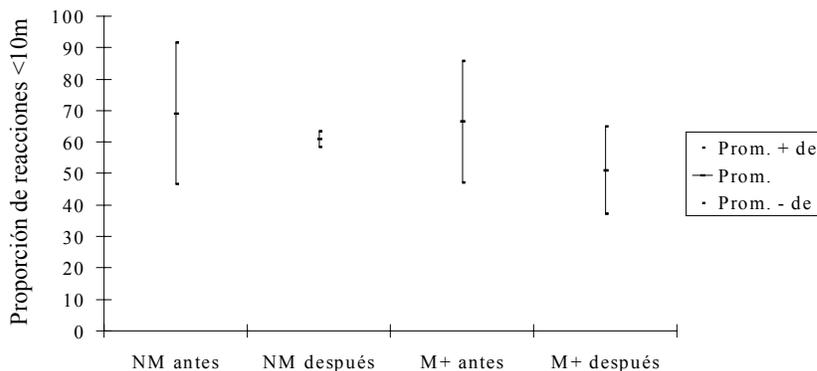


Figura 9. Promedio ± d.e. del porcentaje de reacciones a menos de 10m de la línea en M+ y NM antes y después de la instalación de los EDV (n=4 muestreos antes del marcaje para NM y M+, n=3 muestreos después del marcaje en NM y M+). Santa Lucía, Atlántico, Colombia

variable nuevamente se vio una gran variación en los datos, especialmente antes de la instalación (Fig. 8).

Al comparar el promedio de la proporción de reacciones que se dio a menos de 10m de la línea antes de la instalación con el de después de la instalación de los EDV, se nota una disminución en la proporción de reacciones que se da muy cerca

de la línea después de la instalación en los dos circuitos aunque más marcada en donde se instalaron los EDV, es decir tanto en NM como en M+ las aves reaccionaron más lejos de la línea, aunque en ningún caso la diferencia fue significativa (U de Mann-Whitney, p=0.40 tanto para el NM como para el M+) (Fig. 9). Este resultado puede indicar que las aves están detectando la línea a una distancia mayor y pueden reaccionar

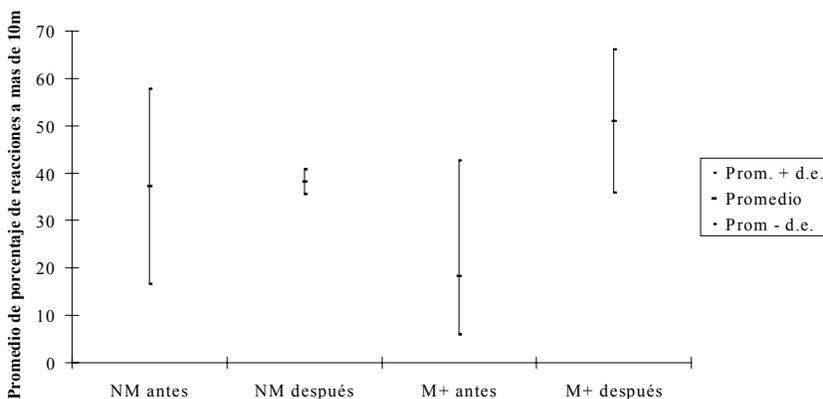


Figura 10. Promedio ± d.e. del porcentaje de reacciones ocurridas a más de 10m en los vuelos que pasaron a través de los circuitos NM y M+ a las alturas 3 y 4 (desde los conductores hasta 50m por encima del cable de guarda), antes y después de la instalación de los espirales (n=4 muestreos antes del marcaje en NM y M+, n=3 muestreos después del marcaje en NM y M+).

Tabla 2. Cadáveres encontrados bajo el 1er y 2º circuitos de la línea a 500kV Chinú-Sabanalarga entre enero de 1997 y marzo del 2000. Las cantidades que aparecen en las filas de las familias corresponden a restos que sólo se pudieron identificar hasta el nivel de familia.

Familia/Nombre común/Especie	Total Cadáveres
Podicipedidae: Zambullidores	10
<i>Tachybaptus dominicus</i>	1
Pelecanidae: Pelicanos	0
<i>Pelecanus occidentalis</i>	1
Phalacrocoracidae: Cormoranes	0
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	25
<i>Phalacrocorax brasilianus?</i>	1
Fregatidae: Fregatas	0
<i>Fregata magnificens</i>	1
Ardeidae: Garzas	19
<i>Ardea cocoi</i>	6
<i>A. cocoi?</i>	1
<i>Casmerodius albus</i>	16
<i>C. albus?</i>	2
<i>Egretta thula</i>	7
<i>E. thula?</i>	2
<i>E. caerulea</i>	1
<i>E. tricolor</i>	2
<i>Butorides virescens?</i>	1
<i>B. striatus</i>	13
<i>Butorides sp.?</i>	1
<i>Bubulcus ibis</i>	44
<i>B. ibis?</i>	5
<i>Nycticorax nycticorax</i>	67
<i>N. nycticorax?</i>	4
Cochleariidae: Pato cuchara	0
<i>Cochlearius cochlearius</i>	9
Ciconiidae: Garzones, Cigüeñas	1
Threskiornithidae: Ibis, corocoras	0
<i>Phimosus infuscatus</i>	10
<i>Plegadis falcinellus</i>	10
Anatidae: Patos	4
<i>Dendrocygna bicolor</i>	5
<i>D. bicolor?</i>	1
<i>D. viduata</i>	10
<i>D. viduata?</i>	5
<i>D. autumnalis</i>	30
<i>D. autumnalis?</i>	5
<i>Dendrocyna sp.</i>	9
<i>Anas discors</i> *	55
<i>A. discors?</i>	8
<i>Oxyura dominica</i>	18
<i>O. dominica?</i>	1
Cathartidae: Chulos, gallinazos	0
<i>Cathartes aura</i>	1
<i>C. burrovianus</i>	2
<i>Coragyps atratus</i>	2
<i>Cathartes sp.</i>	1
Aramidae: Carraos	0
<i>Aramus guarauna</i>	10

Familia/Nombre común/Especie	Total Cadáveres
<i>A. guarauna?</i>	1
Rallidae: Rascones, pollas de agua, tinguas	2
<i>Laterallus exilis</i>	1
<i>Porzana carolina</i>	7
<i>Poliolimnas flaviventer</i>	1
<i>Porphyryla martinica</i>	89
<i>P. martinica?</i>	9
<i>Gallinula chloropus</i>	35
Jacanidae: Gallito de ciénaga	0
<i>Jacana jacana</i>	7
Charadriidae: Playeros, chorlos y alcaravanes	0
<i>Vanellus chilensis</i>	2
Scolopacidae: Chorlos y correlimos	2
<i>Gallinago gallinago</i>	3
Burhinidae: Güerere, Dara	0
<i>Burhinus bistriatus</i>	11
<i>B. striatus?</i>	2
Columbidae: Palomas	0
<i>Columba sp.</i>	1
<i>Columba cayennensis</i>	9
<i>C. cayennensis?</i>	3
<i>Zenaida auriculata</i>	11
<i>Columbina sp.</i>	2
<i>Columbina minuta</i>	1
<i>C. talpacoti</i>	2
<i>Leptotila verreauxi</i>	3
<i>L. verreauxi</i>	1
Psittacidae: Pericos, loros, guacamayas	0
<i>Amazona ochrocephala</i>	1
Caprimulgidae: Chotacabras, Gallina-ciegas	0
<i>Chordeiles acutipennis</i>	2
<i>Nyctidromus albicollis</i>	2
Formicariidae: Hormigueros	0
<i>Thamnophilus doliatus</i>	1
Tyrannidae: Atrapamoscas	0
<i>Tyrannus melancholicus</i>	1
Troglodytidae: Cucaracheros	0
<i>Campylorhynchus griseus</i>	2
Icteridae: Toches, oropéndolas	0
<i>Molothrus bonariensis?</i>	1
<i>Icterus nigrogularis?</i>	1
Parulidae: Reinitas	0
<i>Dendroica striata</i> *	1
Fringillidae: Piquigrueros, semilleros	0
<i>Spiza americana</i> *	3
<i>S. americana?</i>	1
Cadáveres no identificados	174
Total cadáveres identificados	636
Total cadáveres	810

? Cadáveres que parecen ser de estas especies pero no se pudieron determinar con plena seguridad. *Especie migratoria de norteamérica.

Tabla 3. Cantidad de cadáveres encontrados, áreas muestreadas y número de cadáveres por hectárea en los vanos marcado y no marcado para los diferentes muestreos en Santa Lucía, Atlántico: ene/97-mar/00.

Muestreo	Vanos 888-889-890 (M+)			Vanos 1019-1020-1021 (NM)		
	No.total cadáv.	Has.muest.	No. cad/ha	No.total cadáv.	Has.muest.	No. cad/ha
ene-97	125	6.6	19			
nov-97	62	5.6	11	14	3.5	4
mar-98	19	2.6	7	25	3.7	7
jun-98	13	3.5	4	11	4.1	3
oct-99	33	5.6	6	36	4.5	8
nov-99	51	3.3	15	32	3.6	9
Instalación de espirales						
dic-99	22	4.7	5	31	4.6	7
ene-00	28	6.0	5	71	5.5	13
mar-00	35	6.3	6	100	4.72	21

a tiempo.

Al analizar la proporción de reacciones de vuelos a las alturas III (entre los conductores y el cable de guarda) y IV (hasta 50m por encima del cable de guarda); las dos alturas de vuelo más peligrosas y a más de 10m de la línea, antes y después del marcaje encontramos que para NM el porcentaje fue casi el mismo mientras que para M+ aumentó después del marcaje (Fig. 10) aunque la tendencia no es significativa (Prueba Mann-Whitney U, $p=0.4$ para NM y 0.22 para M+).

Comparando los muestreos de inmediatamente antes e inmediatamente después del marcaje encontramos que en M+ la tasa de reacción se duplicó después del marcaje (6.5%-13.0%) mientras que en NM disminuyó levemente (14.7%-13.2%). En M+ la proporción de reacciones a más de 10m de la línea aumentó de 65% a 95% ($\text{Chi}^2=460.2$, $p<0.001$, 1 gl) mientras que en NM la proporción aumentó de un algo menos del 50% antes del marcaje a algo más del 50% después del

marcaje ($\text{Chi}^2=46.6$, $p<0.001$, 1 gl) (Fig. 11).

Altura de vuelo.-

El porcentaje de vuelos a la altura más peligrosa (III: entre los conductores y el cable de guarda) disminuyó en ambos circuitos, pero significativamente en M+ (Prueba Mann-Whitney U, $p=0.0238$ para M+ y $p=0.5714$ para NM) después del marcaje de la línea (Fig. 12). Esto puede indicar que las aves detectaron la línea antes y pudieron cambiar la altura de vuelo a una menos peligrosa. La disminución en NM puede deberse a que muchas aves cambien de altura para cruzar M+ y se mantenga en esa altura para cruzar NM, dado que los dos circuitos corren paralelos y muy cercanos uno del otro.

Cadáveres.-

Durante el estudio encontramos un total de 810 cadáveres de aves debajo de las líneas, pertenecientes a 47 especies

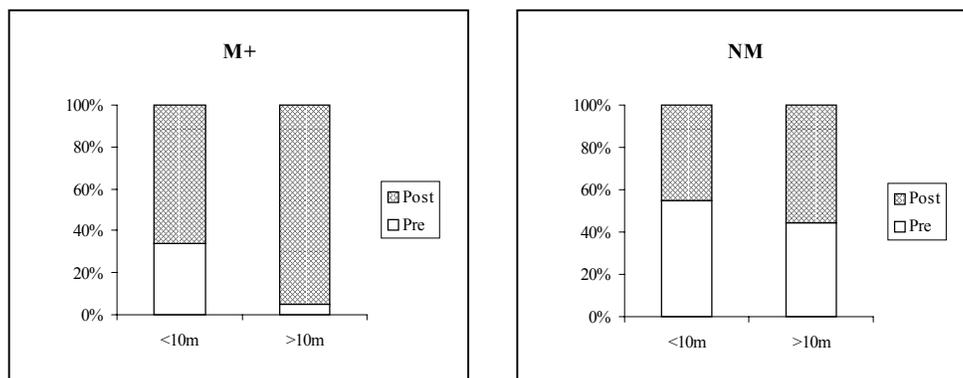


Figura 11. Proporción de reacciones que se dieron a la distancia 1 (menos de 10m) y distancia 2 (más de 10m de la línea) para los 2 circuitos inmediatamente antes e inmediatamente después del marcaje de la línea. Santa Lucía, noviembre de 1999.

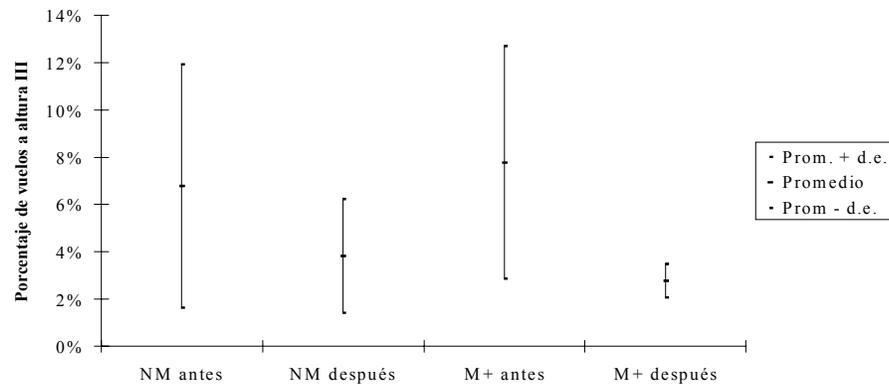


Figura 12. Promedio \pm d.e. del porcentaje de vuelos que ocurrieron entre los conductores y el cable de guarda en cada muestreo en los circuitos NM y M+ de la línea a 500kV Chinú-Sabalarga antes y después de la instalación de los espirales (n=5 muestreos antes del marcaje en NM, n=6 muestreos antes del marcaje en M+, n=3 muestreos después del marcaje en NM y M+).



Figura 13. Pedazo de ala de barraquete (*Anas discors*), pato migratorio que resultó ser una de las especies más afectadas por colisión. La mayoría de cadáveres encontrados en Santa Lucía son parciales como este.

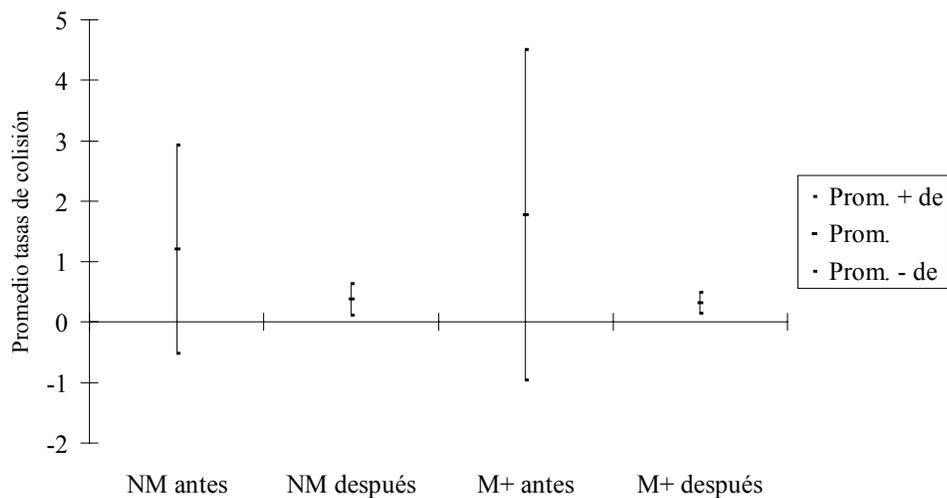


Figura 14. Promedio \pm d.e. de las tasas de colisión registradas antes y después del marcaje (n=5 muestreos antes del marcaje para NM, n=6 muestreos después del marcaje para M+, n=3 muestreos después del marcaje en NM y M+). Santa Lucía, Atlántico, Colombia.

plenamente identificadas. Las víctimas más comunes fueron miembros de las familias Ardeidae, Anatidae y Rallidae con proporciones similares de víctimas (29%, 25%, 21% respectivamente) estas familias incluyeron el 75% de los cadáveres. Las especies más accidentadas fueron la tingua azul (*Porphyryla martinica*), la garza nocturna (*Nycticorax nycticorax*) y el barraquete *Anas discors* (Fig. 13, Tabla 2). El número total de cadáveres por muestreo en los dos vanos varió entre 24 en junio de 1998 y 138 en marzo del 2000. Corrigiendo por el área rastreada en cada muestreo, el número de cadáveres por hectárea, también varió a lo largo de los muestreos siendo máximo para el M+ en enero 1997 y para el NM en marzo del 2000 (Tabla 3).

Antes del marcaje de la línea no hubo diferencia significativa en el promedio de cadáveres/ha entre M+ y NM (10.3 vs. 6.2 cadáveres/ha en M+ y NM respectivamente; $n_1=n_2=5$, prueba Mann-Whitney $U=9$, $p=0.274$) mientras que después del marcaje la diferencia fue significativa (5.3 en M+ vs. 13.6 en NM; $n_1=n_2=3$, $U=0$, $p=0.05$).

En ninguno de los circuitos se presentó una correlación entre el número de cadáveres por hectárea y el número de vuelos ($r=-0.3559$, $gl=7$, $0.1 > p > 0.5$ para M+; $r=0.5063$, $gl=6$, $0.1 < p < 0.2$ para NM). Esto probablemente se debe a que la mayoría de vuelos corresponde a garzas del ganado (*Bubulcus ibis*), especie poco propensa a la colisión por su tipo de vuelo (Rosselli & De La Zerda 1999).

Tasas de colisión.-

Las tasas de colisión variaron entre 0.14% en enero de 2000 en M+ y 7.32% en enero de 1997 también en M+ (Tabla 4). En general las menores tasas de colisión se registraron después del marcaje y las más altas antes de marcar M+ pero los valores de antes del marcaje fueron muy variables en ambos circuitos. La gran variabilidad de estos resultados refleja los cambios en los factores que se tienen en cuenta para hacer estos cálculos (# cadáveres frescos, # vuelos a través de la línea, % muestreable del área, etc.); por ejemplo en enero de 2000 la combinación de un número alto de vuelos a través de la línea y pocos cadáveres frescos dieron como resultado bajas tasas de colisión en ambos circuitos.

Las comparaciones destinadas a estudiar la efectividad de dispositivos de mitigación arrojaron los siguientes resultados:

a. Comparación inmediatamente antes e inmediatamente después del marcaje de la línea (Noviembre-Diciembre 1999). La tasa de colisión inmediatamente después del marcaje disminuyó a la mitad en M+ mientras que en NM disminuyó levemente (Tabla 4).

b. Comparación uno a uno. Otra forma de analizar el efecto de la instalación de los EDV es comparando las tasas de colisión en la misma época del año, antes y después del marcaje de la línea. De esta forma se eliminan posibles factores de variación involucrando más o menos los mismos tipos de aves, las mismas épocas reproductivas y las mismas condiciones climáticas:

- Enero 1997 vs. Enero 2000: La tasa de colisión disminuyó dramáticamente después del marcaje de la línea M+ (Tabla 4).

- Aunque los muestreos no se llevaron a cabo exactamente en el mismo mes, noviembre 1997 y Noviembre 1999 pueden compararse con Diciembre 1999 y una vez más se presentó una disminución en la tasa de colisión en M+ (60% y 50%), mientras que en NM aumentó al compararla con noviembre 1997 (29%) y presentó una leve disminución al compararla con noviembre 1999 (10%) (Tabla 4).

- Para marzo 2000 las tasas en ambos circuitos presentaron un leve aumento al comparar con marzo 1998 (Tabla 4).

c. Promedio de las tasas de colisión. El promedio de las tasas de colisión disminuyó en ambos circuitos después del marcaje de la línea y aunque no fue significativo en ninguno de ellos (Prueba Mann-Whitney U , $p=0.167$ para M+, $p=0.57$ para NM), la diferencia fue mayor en M+ (Fig. 14).

Para los cálculos de las tasas de colisión utilizamos un 0.35% de error de lisiados, obtenido de la observación de 24 colisiones a lo largo de las diferentes fases de este estudio.

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio confirman la importancia de hacer muestreos a largo plazo o en diferentes épocas del año

Tabla 4. Tasas de colisión registradas en el 1° (1019-1020-1021, no marcado NM) y 2° (888-889-890, marcado, M+) circuitos en todos los muestreos en Santa Lucía, Atlántico

	Ene97	Nov97	Mar98	Jun98	Oct99	Nov99	EDV	Dic99	Ene00	Mar00
M+	7.32%	0.82%	0.47%	0.18%	1.16%	0.70%		0.34%	0.14%	0.48%
NM	Sin dato	0.48%	0.27%	0.29%	4.28%	0.74%	0.67%	0.16%	0.30%	

Para el análisis de estas tasas se tuvo cuenta un error de lisiados de 0.35% según los datos de colisiones observadas en estos estudios.

ya que encontramos una gran variación en todas las variables analizadas. Esto puede resultar sorprendente por tratarse de un ambiente relativamente estable como es el trópico. Las tasas de colisión encontradas resultaron bastante altas comparadas con lo que se ha registrado en otros estudios (Beaulaurier 1981, James & Haak 1979, Lee 1978, Meyer 1978 y Thompson 1978) en donde se han reportado tasas desde 0.003% hasta 0.11% para diferentes especies en la zona templada. Esto nos hace pensar que probablemente el problema de la colisión sea más grave en el trópico. Es difícil decir qué tan significativas

biológicamente son las tasas de colisión ya que dependen de la especie en cuestión. Para especies en peligro o con poblaciones reducidas cualquier pérdida puede ser muy significativa; por ejemplo, Crivelli et al. (1988) calcularon que para la especie en peligro de extinción *Pelecanus crispus* en Grecia, la mortalidad debida a choques contra líneas de transmisión podría representar un decrecimiento de entre el 1.3 y 3.5% en el número de aves antes de llegar a la edad reproductiva. Este es un efecto muy significativo sobre la población y la especie. En nuestro caso es muy difícil extrapolar

Tabla 5. Estudios de mitigación de colisión de líneas de transmisión, métodos utilizados y efectividad reportada.

Método de Mitigación	Efectividad	Autor-País
Espirales espantapájaros rojos de 30 cm Ø, 100 cm largo en el cable de guarda	Reducción de 60% en mortandad	Alonso et al. 1994, Alonso y Alonso 1999 (España)
Tubos amarillos	Reducción de mortalidad	Archibald 1987 (Japón)
Remoción del cable de guarda	Reducción de 35-69% en la tasa de colisión	Beaulaurier 1981 (EEUU)
Espirales anti vibratorios amarillos de 1.27 cm Ø, 112-125 cm de largo en el cable de guarda y conductores	Reducción de 61% en la tasa de colisión	Brown y Drewien 1995 (EEUU)
Placas amarillas de 30.5x30.5 cm en cable de guarda y conductores	Reducción de 63% en la tasa de colisión total (no para especies individuales)	Brown y Drewien 1995 (EEUU)
Reemplazo del cable de guarda por uno más grueso (de 0.95 cm a 2.54 cm)	No concluyente	Brown et al. 1987
Espirales espantapájaros rojos de 11 cm Ø	Baja (no presenta datos ni estadística)	Heijins 1980 (Alemania)
Tiras delgadas negras de 50 cm de largo	Baja (no presenta datos ni estadística)	Heijins 1980 (Alemania)
Espirales espantapájaros blancos de 30 cm Ø, 1m de largo en cable de guarda	Reducción de 81% en mortandad	Guyonne, Janss y Ferrer 1998 (España)
Tiras de neopreno en "X" de 35x5 cm en conductores	Reducción de 76% en mortandad	Guyonne, Janss y Ferrer 1998 (España)
Tiras delgadas negras de 50cm de largo x 0.8 cm de ancho en grupos de 3 en conductores	Nula	Guyonne, Janss y Ferrer 1998 (España)
Espirales espantapájaros de 5 y 10 cm Ø en cable de guarda	Reducción entre 57% y 89% en mortandad	Koops y de Jong 1982 (Holanda)
Balizas amarillas de 30 y 50 cm Ø en cables de guarda	Reducción significativa de número de colisiones	Morkill y Anderson 1991 ^a , 1991b, 1993 (EEUU)
Espirales espantapájaros rojos y blancos	Aun no publicado	Ravel y Tombal 1991 (Francia)
Métodos diversos con siluetas de rapaces y otros implementos visuales y auditivos	Aun no publicado	Ravel y Tombal 1991 (Francia)
Balizas amarillas de 30 cm Ø en cables de guarda	Reducción de hasta 50% el número de colisiones	Savereno et al. 1996 (EEUU)

la mortandad registrada en esta limitada área de estudio a nivel regional o nacional ya que nuestros datos demuestran que aún en la misma área las condiciones varían con el tiempo y espacio y no se puede concluir o generalizar sobre diferentes áreas a partir de uno o unos pocos muestreos en una localidad. Sin embargo, al analizar la situación particular para las especies más propensas a colisión se puede afirmar que las líneas pueden contribuir sustancialmente a problemas de extinción local (Rosselli & De La Zerda 1999, Palacios 1998). Según nuestros resultados las aves que vuelan al amanecer, atardecer o en la noche son las más propensas a colisionar contra los cables eléctricos.

No es fácil llegar a conclusiones definitivas sobre la efectividad de la instalación de los EDV en Santa Lucía por dos motivos principales. En primer lugar, existe mucha variación en los factores claves o en los que esperábamos detectar el efecto. Estos incluyen el número y altura de vuelos, la cantidad y localización de las reacciones y sobre todo las tasas de colisión (que toman en cuenta no solamente las cantidades de cadáveres encontradas sino también el número de vuelos). Por lo menos parte de esta variación se debe a cambios estacionales en la presencia y actividad de las aves: las migratorias estaban presentes solo parte del año, y el garcero concentraba muchísimas aves durante la época de anidación, mucho menos en otras épocas. El otro aspecto que dificulta el análisis es el número reducido de períodos de muestreo, especialmente después de la instalación de los desviadores de vuelo. Debido a estos inconvenientes, los resultados de los análisis estadísticos empleando la totalidad de los muestreos no son muy dicentes y en la mayoría de los casos, no resultaron significativos. Debido a esta gran variación entre diferentes períodos de muestreo, creemos las comparaciones más apropiadas para sacar conclusiones válidas son de las tendencias inmediatamente antes y después de la instalación de los EDV.

Estos datos indican que los EDV instalados en el segundo circuito de la línea a 500kV Chinú-Sabanalarga sí tuvieron un efecto positivo para las aves. Es evidente que las aves empezaron a detectar y reaccionar a la línea a mayor distancia y volaron menos frecuentemente a la altura más peligrosa para los choques justo después de la instalación de los EDV en el circuito M+. El resultado más importante, eje principal de la investigación, está relacionado con la disminución en la mortandad de las aves: el número de cadáveres por hectárea disminuyó significativamente en M+ mientras que aumentó en NM y aunque el cambio en el promedio general de las tasas de colisión no fue muy evidente, la tasa de colisión sí bajó a la mitad inmediatamente después de la instalación de los EDV en M+ mientras que en el circuito NM la disminución fue muy leve. Así mismo, en 2 de 3 casos al comparar los muestreos de la misma época del año antes y después del marcaje (uno a uno), la tasa de colisión disminuyó fuertemente en M+ pero no en NM.

Los otros estudios reportados en la literatura con respecto a efectividad de disminución en mortalidad dan resultados similares a pesar de que también son a corto plazo y no son estadísticamente significativos. En 6 de 16 estudios se usaron espirales desviadores de vuelo de tamaños y colores variables. En 4 de estos casos la mortandad se redujo entre el 61 y el 89%, en otro de los casos dicen que la efectividad fue baja y en el último no se han publicado los resultados (Tabla 5). Otros métodos utilizados con resultados positivos incluyen la remoción o aumento de grosor del cable de guarda, la utilización de tubos o balizas sobre el cable de guarda y la instalación de tiras de plástico de diferentes tipos (Tabla 5).

Después de casi cuatro años de estudio, un valioso aporte de esta experiencia es el desarrollo y adaptación de la metodología para estudios de colisión. Existen algunas diferencias entre los estudios que se han realizado en la zona templada y el nuestro tal como el menor número de vuelos, la mayor cantidad de cadáveres y por lo tanto más altas tasas de colisión y la altísima tasa de desaparición de los cuerpos debajo de las líneas en nuestra área de estudio. Antes del estudio no se sospechaba que una gran proporción de las aves que colisionan fueran crepusculares o nocturnas. En la zona templada se esperan las variaciones estacionales pero fue una sorpresa encontrar una estacionalidad tan marcada en Colombia, y esto enfatiza la necesidad de hacer estudios a largo plazo incluso en ambientes “estables”.

Este estudio tiene otros aspectos importantes. Provee información para una región de la cual se sabía muy poco; fue suficientemente largo para abarcar diferentes épocas del año y diferentes partes del ciclo de vida de las aves, cubrió los diferentes aspectos (conteo de vuelos de día y de noche, búsqueda de cadáveres y estudios de error) recomendados para estudios de este tipo por Bevanger (1999). Pudimos evaluar la eficacia de los EDV e identificamos las especies más vulnerables en el área. Estas especies en general son conspicuas y pueden ser utilizadas como bioindicadores en sitios con riesgo de colisión.

En vista de los resultados expuestos, recomendamos las siguientes medidas en relación con la instalación de líneas de alta tensión y el problema de colisión de aves:

- * En lo posible, evitar pasar las líneas por sitios críticos con altas concentraciones de aves (humedales, dormitorios, áreas de alimentación) (APLIC 1994)
- * Realizar estudios previos a la instalación encaminados a localizar áreas críticas, documentar los tipos de aves presentes, sus cantidades, recorridos y alturas de vuelo. Es importante que estos estudios abarquen todo el ciclo anual de las aves
- * Revisar especialmente la presencia y abundancia de especies bioindicadoras propensas a colisión según los resultados de este estudio y la lista de vulnerabilidad producida en la Fase III (Rosselli & De La Zerda 1999)

* Dada la magnitud del problema consideramos que se deben instalar EDV en todas las líneas cercanas a sitios críticos. Esta instalación debe efectuarse después de observaciones de evaluación y sobre tramos amplios ya que hemos encontrado que las rutas de vuelo son bastante variables. En todos los casos es importante seguir monitoreando las tasas de mortandad

* Aunque los EDV utilizados en este estudio resultaron ser efectivos, la investigación que se ha hecho en este campo es limitada y es importante seguir estudiando y evaluando diferentes métodos de marcaje de las líneas ya que pueden existir otros más eficientes y/o más económicos.

* Aunque los humedales han sido identificados como los hábitats más críticos para el problema de colisión de aves, no son los únicos. Es importante seguir estudiando el problema en otros hábitats (filos de montaña, rutas migratorias locales y latitudinales y en general sitios de grandes concentraciones de aves) (APLIC 1994).

* Si el problema continúa, especialmente en áreas donde estén presentes especies de especial interés (endémicas, en peligro, etc.) es necesario que se haga una compensación por parte de la empresa electrificadora y que se restauren o conserven áreas cercanas de hábitat similar, para asegurar que las pérdidas en la población puedan ser reemplazadas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Interconexión Eléctrica S.A. y especialmente a Beatriz Arjona, Fernando Cadena, María Amelia Moncada y Fabio Posada del equipo del Departamento Ambiental por su apoyo y por darnos la oportunidad de realizar esta importante serie de estudios. Agradecemos a los biólogos de campo: Juanita Aldana, Juan David Amaya, Clara Isabel Bohórquez, Carlos Andrés Botero, Alejandro Camero, Sergio Córdoba, Ana Cristina Delgado, María Isabel Moreno, Daniel Restrepo, Edith Rodríguez, María Fernanda Urdaneta, Juan Carlos Verhelst y a F. Gary Stiles, nuestro asesor general, quien identificó gran parte de los restos encontrados en el campo. La hospitalidad y colaboración de la familia Santana y los vecinos de Santa Lucía hicieron posible y agradable la realización de este trabajo. F. Gary Stiles y Germán Andrade hicieron sugerencias valiosas en la preparación del manuscrito.

LITERATURA CITADA

ALONSO, J. C., J. A. ALONSO, R. MUÑOZ-PULIDO. 1994. Mitigation of bird collisions with transmission lines through groundwire marking. *Biological Conservation* 77: 79-86.

ALONSO, J. A., J. C. ALONSO. 1999. Mitigation of bird collisions with transmission lines through ground wire marking. Pags. 113-124 en: M. Ferrer & G.F. Janss (eds.) *Birds and power lines*. Madrid, España.

ANDERSON, W. L. 1978. Waterfowl collisions with power lines at a coal-fired power plant. *Wildlife Society Bulletin* 6: 77-83.

ARCHIBALD, K. 1987. The conservation and status of the breeding of the Red Crowned Crane in Hokkaido, Japan. Pp. 63-86 en *Proceedings of the 1983 International Crane workshop*, Bharatpur, India. Inédito.

AVIAN POWER LINE INTERACTION COMMITTEE (APLIC). 1994. *Mitigating bird collisions with power lines: the state of the art in 1994*. Edison Electric Institute. Washington, D.C.

BEAULAUQUIER, D.L. 1981. *Mitigation of bird collisions with transmission lines*. Rep. 1-83. Boneville, Oregon: Boneville Power Administration US Dept. of Energy. Inédito.

BEVANGER, K. 1995. Tetraonid mortality caused by collisions with power lines in boreal forest habitats in central Norway. *Fauna Norv. Ser. C, Cincus* 18: 41-51.

BROWN, W.M. 1993. Marking power lines to reduce avian collision mortality in the San Luis Valley, Colorado. *Proceedings of the international workshops on avian interactions with utility structures*, Miami. Inédito.

BROWN, W.M., R. C. DREWEN. 1995. Evaluation of two power line markers to reduce crane and waterfowl collision mortality. *Wildlife Society Bulletin* 23: 217-227

BROWN, W.M., R. C. DREWEN, E. G. BIZEAU. 1987. Mortality of cranes and waterfowl from powerline collisions in the San Luis Valley, Colorado. Pp. 128-135 en *Proceedings of the 4th crane workshop, 1985*. Plate River Whooping Crane Habitat Maintenance Trust. Inédito.

CRIVELLI, A.J., H. JERRENTUP, & T. MITCHEV. 1988. Electric powerlines: a cause of mortality in *Pelecanus crispus* Bruch, a world endangered bird species, in Porto-Lago, Greece. *Colonial Waterbirds* 11:301-305.

DEDON, M., S. BYRNE, J. AYCRIGG & P. HARTMAN. 1989. Bird mortality in relation to the Mare Island 115kV transmission line: progress report 1988/1989. Inédito.

DE LA ZERDA, S. & L. ROSSELLI. 1997. Efectos de las líneas de transmisión sobre la fauna colombiana. Informe final inédito. Interconexión Eléctrica S.A. Medellín. 156 pp.

DE LA ZERDA, S. & L. ROSSELLI. 2000. Mitigación del efecto de colisión causado por líneas de alta tensión sobre aves de humedales. Interconexión Eléctrica S.A. ISA – Avifauna Ltda. Informe final. 51 pp. Inédito.

GUYONNE, F.E. JANS, & M. FERRER. 1998. Rate of bird collision with power lines: effects of conductor-marking and static wire marking. *Journ. Of Field Ornithology* 69:8-17,

HEIJNS, R. 1980. Bird mortality from collision with conductors for maximum tension. *Ökologie der Vögel* 2, 111-129.

HILTY, S. L. & W. L. BROWN. 1986. *A guide to the birds of Colombia*. Princeton University Press.

JAMES, B.W. & B.A. HAAK. 1979. Factors affecting avian flight behavior and collision mortality at transmission lines. BPA report: 1-108, Portland, Oregon. Inédito.

JANS, G. F. E. & M. FERRER. 1998. Rate of bird collision with power lines: effects of conductor-marking and static wire marking. *Journal of Field Ornithology* 69: 8-17

- KOOPS, F. B. J. & J. DE JONG. 1982. Verminderin van draadslachtoffers door markering van hoogspanningsleidingen in de omgeving van Heerenveen. *Electrotechniek* 60: 641-646.
- MCNEIL, R., J. R. RODRÍGUEZ & H. OUELLET. 1985. Bird mortality at a power transmission line in northeastern Venezuela. *Biological Conservation* 31: 153-165.
- MEYER, J.R. 1978. Effects of transmission lines on bird flight behavior and collision mortality. BPA report: 1-200. Inédito.
- MORKILL, A. E. & S. H. ANDERSON. 1991a. Aviation marker balls deter Sandhill Cranes from collisions with a transmission line on the Platte River, Nebraska. *Prairie Naturalist* 23: 177-178.
- MORKILL, A. E. & S. H. ANDERSON. 1991b. Effectiveness of marking powerlines to reduce Sandhill CRANE COLLISIONS. *WILDLIFE SOCIETY BULLETIN* 19: 442-449.
- MORKILL, A. E. & S. H. ANDERSON. 1993. Effectiveness of yellow aviation balls in reducing Sandhill Crane collisions with powerlines. En *Proceedings: avian interactions with utility structures*. EPRI. Inédito.
- PALACIOS, S. 1998. Estimación de la densidad de cinco especies de aves (*Nycticorax nycticorax*, *Dendrocygna* spp. (*D.bicolor*, *D.viduata*, *D.autumnalis*), *Porphyryla martinica*) vulnerables a colisión con líneas de transmisión eléctrica en la zona cenagosa del bajo Magdalena en la Costa Caribe Colombiana. Tesis. Universidad de los Andes. Bogotá.
- RAEVEL, P. & J. C. TOMBAL. 1991. Impact des lignes haute-tension sur l'avifaune. *Les cahiers de L'A.M.B.E.*, Francia. Inédito.
- RENJIFO, L.M., A.M. FRANCO-MAYA, J.D. AMAYA-ESPINEL, G.H. KATTAN, Y B. LÓPEZ-LANÚS (eds). 2002. Libro Rojo de Aves de Colombia. Serie Libro Rojos de Fauna, Flora y Hongos Amenazados de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá, Colombia.
- ROSSELLI, L. & S. DE LA ZERDA. 1996. Avifauna colombiana y líneas de transmisión. Vulnerabilidad, amenazas, recomendaciones y revisión de literatura pertinente. Informe final inédito. Ministerio del Medio Ambiente – Dirección Ambiental Sectorial. Bogotá, 150 pp.
- ROSSELLI, L. & S. DE LA ZERDA. 1999. Avifauna colombiana y líneas de transmisión Fase III. Interconexión Eléctrica S.A. – Asociación Bogotana de Ornitología ABO. Informe final inédito. 202 pp.
- RUSZ, P. J., H. H. PRINCE, R. D. RUSZ & G. A. DAWSON. 1986. Bird collisions with transmission lines near a power plant cooling pond. *Wildlife Society Bulletin* 14: 441-444
- SAVERENO, A. J., L. A. SAVERENO, R. BOETTCHER & S. M. HAIG. 1996. Avian behavior and mortality at power lines in coastal South Carolina. *Wildlife Society Bulletin* 2.

Recibido: 1 / VII / 2002

Aceptado: 1 / X / 2003

Familia/Especie	ene-97	oct-99	nov-97	mar-98	jun-98	nov-99	dic-99	ene-00	mar-00	Total muestreos en que la sp. Estuvo presente
<i>Coragyps atratus</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	9
<i>Sarcoramphus papa</i>		x								1
Pandionidae										
<i>Pandion haliaetus^a</i>	x	x				x	x	x	x	6
Accipitridae										
<i>Gampsonyx swainsonii</i>	x			x	x	x		x		5
<i>Elanus caeruleus</i>	x			x		x	x	x	x	6
<i>Rostrhamus sociabilis^a</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	9
<i>Ictinia plumbea ?</i>		x								1
<i>Geranospiza caerulescens</i>	x	x	x	x				x	x	6
<i>Buteogallus anthracinus</i>	x									1
<i>Buteogallus urubitinga</i>								x		1
<i>Heterospizias meridionalis</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	9
<i>Busarellus nigricollis^a</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	9
<i>Parabuteo unicinctus</i>									x	2
<i>Buteo magnirostris</i>	x	x				x	x			5
<i>Buteo albicaudatus</i>				x						
Falconidae										
<i>Polyborus plancus</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	9
<i>Milvago chimachima</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	9
<i>Herpetotheres cachinans</i>		x	x	x	x	x	x		x	7
<i>Falco sparverius</i>	x	x	x	x						4
<i>Falco rufigularis</i>								x		1
<i>Falco femoralis</i>						x		x	x	3
<i>Falco peregrinus</i>	x	x	x				x			4
Cracidae										
<i>Ortalis garrula</i>				x?						1
<i>Ortalis ruficauda</i>								x		1
Phasianidae										
<i>Colinus cristatus</i>	x			x	x	x	x	x	x	7
Aramidae										
<i>Aramus guarauna^a</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	9
Rallidae										
<i>Laterallus exilis^a</i>		x								1
<i>Poliolimnas flaviventer^a</i>							x			1
<i>Porzana carolina^a</i>						x	x	x		3
<i>Porzana albicollis^a</i>							x			1
<i>Porphyryla martinica^a</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	9
<i>Gallinula chloropus^a</i>	x	x		x	x	x	x	x	x	8
<i>Fulica americana^a</i>							x			1
Jacaniidae										
<i>Jacana jacana^a</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	9
Charadriidae										
<i>Vanellus chilensis^a</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	9
Scolopacidae										
<i>Tringa solitaria^a</i>	x	x	x			x	x	x		6
<i>Tringa flavipes^a</i>	x		x				x	x	x	5
<i>Tringa melanoleuca^a</i>	x	x	x	x			x	x	x	7
<i>Actitis macularia^a</i>	x				x	x	x	x	x	6
<i>Calidris minutilla^a</i>		x	x			x	x			4
<i>Gallinago gallinago^a</i>								x	x	2

Familia/Especie	ene-97	oct-99	nov-97	mar-98	jun-98	nov-99	dic-99	ene-00	mar-00	Total muestreos en que la sp. Estuvo presente
<i>Cyanocorax affinis</i>		x			x		x	x		4
Troglodytidae										
<i>Donacobius atricapillus^a</i>	x	x	x	x				x	x	6
<i>Campylorhynchus griseus</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	9
<i>Campylorhynchus zonatus</i>				x		x	x			3
<i>Campylorhynchus nuchalis</i>	x	x	x	x	x	x		x	x	8
<i>Troglodytes aedon</i>	x	x	x	x	x	x		x	x	8
Sylviidae										
<i>Polioptila plumbea</i>								x	x	2
Vireonidae										
<i>Cyclarhis gujanensis</i>		x		x						2
Icteridae										
<i>Molothrus bonariensis</i>		x	x	x		x	x	x	x	7
<i>Scaphidura oryzivora</i>								x		1
<i>Quiscalus mexicanus</i>	x		x	x						3
<i>Agelaius icterocephalus^a</i>	x		x	x		x	x	x	x	7
<i>Icterus spurius</i>								x		1
<i>Icterus nigrogularis</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	9
<i>Icterus galbula</i>								x		1
<i>Leistes militaris</i>		x								1
<i>Sturnella magna</i>								x		1
Parulidae										
<i>Dendroica petechia</i>	x		x		x	x		x	x	6
<i>Dendroica striata</i>					x					1
<i>Seiurus noveboracensis</i>								x		1
<i>Setophaga ruticilla</i>		x								1
<i>Protonotaria citrea</i>	x	x			x	x		x	x	6
Coerebidae										
<i>Coereba flaveola</i>		x								1
Thraupidae										
<i>Euphonia trinitatis</i>							x	x	x	3
<i>Thraupis episcopus</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	9
<i>Thraupis glaucocolpa</i>		x		x				x		3
<i>Thraupis palmarum</i>				x		x		x	x	4
<i>Nemosia pileata</i>		x								1
Fringillidae										
<i>Spiza americana</i>			x				x	x		3
<i>Cyanocompsa cyanoides</i>			x							1
<i>Saltator maximus</i>		x?		x	x	x				4
<i>Saltator coerulescens</i>	x	x		x		x	x	x	x	7
<i>Pheucticus ludovicianus</i>								x		1
<i>Coryphospingus pileatus</i>								x		1
<i>Tiaris bicolor</i>									x	1
<i>Sporophila minuta</i>	x		x	x		x				4
<i>Volatinia jacarina</i>	x			x	x	x		x	x	6
<i>Sicalis flaveola</i>	x	x		x	x	x	x	x	x	8
Total especies	114	102	86	104	86	111	105	141	115	
Especies nuevas	114	25	7	8	5	6	6	24	4	
Especies cumulativas	114	139	146	154	159	165	171	195	199	

^a especie acuática o muy relacionada con el agua