

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DE ENSENADA**



**PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS
EN ECOLOGÍA MARINA**

**IMPACTO DEL RUIDO ANTROPOGÉNICO EN LAS PROPIEDADES
ACÚSTICAS DE VOCALIZACIONES DE *Rallus longirostris levipes*,
LA GALLINETA DE MARISMA.**

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

Alicia Adriana Castillo Blancarte

Ensenada, Baja California, México, 16 de Diciembre de 2010.

TESIS DEFENDIDA POR
Alicia Adriana Castillo Blancarte
Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ

Dr. Saúl Álvarez Borrego
Co-Director del Comité

Dr. Constantino de Jesús Macías García
Co-Director del Comité

Dra. Gisela Heckel Dziendzielewski
Miembro del Comité

Dr. Oscar Velasco Fuentes
Miembro del Comité

Dr. Axayácatl Rocha Olivares
*Coordinador del programa de posgrado
en Ecología Marina*

Dr. David Hilario Covarrubias Rosales
Director de Estudios de Posgrado

16 de Diciembre de 2010

RESUMEN de la tesis de Alicia Adriana Castillo Blancarte, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en ECOLOGÍA MARINA. Ensenada, Baja California 16 de Diciembre de 2010.

Impacto del ruido antropogénico en las propiedades acústicas de vocalizaciones de *Rallus longirostris levipes*, la gallineta de marisma.

Resumen aprobado por:

Dr. Saúl Álvarez Borrego
Co-Director de Tesis

Dr. Constantino J. Macías García
Co-Director de Tesis

Se describen por primera vez las propiedades acústicas de las vocalizaciones espontáneas de *Rallus longirostris levipes*, la gallineta de marisma. Esta especie y subespecie están en peligro de extinción. El objetivo del estudio fue probar si el ruido antropogénico induce a *R. l. levipes* a cambiar las propiedades de sus vocalizaciones. Se realizaron grabaciones digitales de las vocalizaciones en el Estero de Punta Banda, Baja California, de marzo a agosto de 2010, en dos sitios, uno expuesto a sonidos naturales, principalmente del oleaje marino rompiendo en la playa, y otro con ruido antropogénico, principalmente por vehículos transitando por una carretera. Se utilizó una grabadora profesional Marantz PMD660 con parabólica manual, con micrófono uni-direccional de largo alcance y alta sensibilidad, que graba de 40 Hz a 20 KHz. Además, se grabaron los sonidos antropogénicos y naturales, y se midieron las temperaturas del aire y del agua al inicio y al final de cada muestreo. Los sonidos antrópicos llegaron a niveles de 38 a 70 decibeles (dB), mientras que en el sitio con sonidos naturales fueron de 35 a 65 dB. Se compararon valores de variables clave deducidas de sonogramas de las vocalizaciones (para cada sílaba: frecuencia fundamental, número de armónicos, frecuencia del armónico más agudo, duración de las sílabas, y duración de los períodos entre sílabas) entre los dos sitios. Se obtuvieron 141 vocalizaciones emitidas por 75 Individuos. Por primera vez se realizó la caracterización física de los diferentes tipos de vocalizaciones de esta subespecie mediante las medias y los errores estándares de las variables mencionadas. Se propone el cambio de nombre de dos de las vocalizaciones, kek-burr y kek-hurra, por los de clapper-burr y clapper-hurra. El individuo fue la unidad experimental. Las pruebas de hipótesis comparando ambos sitios se realizaron exclusivamente con los clapper, debido al número obtenido de 56 individuos grabados (105 vocalizaciones). Los números de kek, clapper-burr y clapper-hurra no permiten suficientes grados de libertad para un análisis estadístico apropiado. Las pruebas de hipótesis se realizaron comparando las medias de las variables mencionadas. Verbigracia, para la frecuencia fundamental máxima: $H_0: \mu_{f_{\text{omax}(1)}} = \mu_{f_{\text{omax}(2)}}$; $H_1: \mu_{f_{\text{omax}(1)}} \neq \mu_{f_{\text{omax}(2)}}$, donde 1 y 2 se refieren a los sitios de muestreo, y de una manera similar para las otras variables. Al comparar los dos sitios, no se tuvieron diferencias significativas ($p > 0.05$). Los datos no permiten rechazar las hipótesis nulas, el ruido antropogénico del Estero de Punta Banda no afecta significativamente las vocalizaciones de la gallineta de marisma.

Palabras clave: *Rallus longirostris levipes*, Ruido antrópico, Vocalizaciones, Sonogramas, Frecuencia fundamental, Armónicos.

ABSTRACT of the thesis presented by **Alicia Adriana Castillo Blancarte** as a partial requirement to obtain the MASTER OF SCIENCE degree in Marine Ecology. Ensenada, Baja California, México. December 16th, **2010**.

Impact of anthropogenic noise on acoustic properties of vocalizations emitted by the light-footed clapper rail, *Rallus longirostris levipes*.

The acoustic properties of spontaneous vocalizations of the light-footed clapper rail, *Rallus longirostris levipes*, are described for the first time. This species and sub-species are in danger of extinction. The objective of this study was to prove that anthropogenic noise induces *R. l. levipes* to change the properties of its vocalizations. Digital recordings of vocalizations were performed at Estero de Punta Banda, Baja California, during March-August 2010, at two sites, one with natural sounds, mainly by sea waves breaking on the beach, and another with anthropogenic noise, mainly by motor vehicles passing on a nearby highway. A professional Marantz PMD660 recorder, with manual parabolic antenna and a high sensitivity long range uni-directional microphone, was used to record the vocalizations. This equipment records from 40 Hz to 20 KHz. Also, anthropogenic noise and natural sounds were recorded; and air and water temperatures were measured at the beginning and at the end of each sampling. Anthropogenic noise was 38 to 70 dB, while natural sounds at the other site were 35 to 65 dB. Mean values for key variables obtained from sonograms of the vocalizations (for each syllable: fundamental frequency, number of harmonics, frequency of the highest harmonic, duration of the syllables, and duration of the periods between syllables) were compared between the two sites. Seventy five individuals sent out 141 recorded vocalizations. The physical characterization of the different types of vocalizations of this sub-species was done for the first time by providing the means and their standard errors of the key variables mentioned above. A change of name for two of the vocalizations, kek-burr and kek-hurra, by clapper-burr and clapper-hurra, is proposed. The individual was the experimental unit. Hypotheses testing was run to compare the two sites exclusively with the vocalization clapper, because 56 individuals were recorded (105 vocalizations). The number of recorded vocalizations kek, clapper-burr, and clapper-hurra do not allow for sufficient degrees of freedom for a proper statistical analysis. Hypotheses tests were done comparing the means of the variables mentioned above. For example, for the maximum fundamental frequency: $H_0: \mu_{f_{\max(1)}} = \mu_{f_{\max(2)}}$; $H_1: \mu_{f_{\max(1)}} \neq \mu_{f_{\max(2)}}$, where 1 and 2 refer to the sampling sites, and similarly for the other variables. There were no significant differences ($p > 0.05$) when comparing the two sites. The data at hand do not allow for rejecting the null hypotheses, the anthropogenic noise at Estero de Punta Banda does not significantly affect the vocalizations of light-footed clapper rail.

Keywords: *Rallus longirostris levipes*, Anthropogenic noise, Vocalizations, Sonograms, Fundamental frequency, Harmonics.

Dedicatoria

A mis amados abuelos Consuelo Godínez Torres y
Federico Blancarte Molina

Agradecimientos

A mis tías Chelo y Lourdes Blancarte por mostrarme de niña el maravilloso mundo académico al que hoy pertenezco y me hace tan feliz.

Al Profesor Federico Blancarte Molina por sus incontables enseñanzas, su paciencia y amor.

A mis profesores desde kínder hasta hoy.

Quiero agradecer de forma muy especial a mi Co-Director de tesis el Dr. Saúl Álvarez Borrego. Por rescatarme, por confiar en un momento crucial del avance académico, por su valiosa guía como excelente investigador comprometido con la ciencia y sobre todo por ser el gran ser humano que es.

Un muy especial agradecimiento a mi Co-Director de tesis el Dr. Constantino Macías por su valioso compromiso con este trabajo. Por su amistad, su capacidad de transmitirme conocimientos, fuerza y comprensión. Sabes sortear los obstáculos como nadie. ¡Gracias querido MacTino!

Al Dr. Miguel Ángel Cruz, Director del Programa Mazatlán de Pronatura Noroeste, A. C., quién me confió el equipo de grabación profesional que usé en campo. Sin esta herramienta básica no habría sido posible realizar este trabajo.

Agradezco el compromiso, paciencia, dedicación y orientación académica de mis sinodales: Dra. Gisela Heckel Dziendzielewski y Dr. Oscar Velasco Fuentes.

Agradezco especialmente al Dr. David Covarrubias por su confianza, apoyo, palabras, guía siempre constante y desinteresada durante estos dos años.

Agradezco al Dr. Osvel Hinojosa de Pronatura Noroeste A. C. y al Dr. Eduardo Palacios, por su valioso apoyo que impulsó mi primer año en CICESE.

Por el apoyo técnico y orientación a la Dra. Elena Solana, Dr. Modesto Ortiz, Ocean. Eulogio López, Dr. Lalo Millán de CICESE. A Marco Antonio “El Flaco” y Salvador González de UABC.

Muchas gracias a la Sra. Dora habitante valiosa del Estero de Punta Banda.

Gracias al Dr. Alejandro Ríos Chelén de la UNAM, M. en C. Fernando González-García de INECOL, Dr. Eduardo Íñigo y Dr. Greg Budney de Cornell University por su guía y consejos en el camino de la Bioacústica.

CONTENIDO

	Página
Resumen español.....	i
Resumen inglés.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Contenido.....	v
Lista de Figuras.....	vii
Lista de Tablas.....	ix
I. Introducción.....	1
I.1 Descripción de la subespecie de estudio.....	3
I.2 Bioacústica de <i>Rallus longirostris</i>	7
Objetivos.....	8
I.3 Descripción del área de estudio.....	9
II. Materiales y Métodos.....	14
III. Resultados.....	18
III.1 Descripción de las variables ambientales: temperatura y ruido.....	18
III.2 Descripción física de los cuatro tipos de vocalizaciones grabadas en esta investigación.....	23
III.3 Efecto del ruido antropogénico en las vocalizaciones.....	34
III.4 Comparación de las vocalizaciones de <i>R. l. levipes</i> con las de otras especies del estero.....	35
IV. Discusión.....	37
V. Conclusiones.....	42
VI. Sugerencias para estudios futuros.....	43
VII. Literatura citada.....	44

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura</i>		Página
1	Ejemplo de sonograma de la gallineta de marisma del Estero de Punta Banda.	3
2	Distribución actual (círculos amarillos) y potencial (círculos negros) de las colonias de <i>Rallus longirostris levipes</i> en California, USA. Fuente: USF&WS, 2008. La Bahía de San Diego se muestra en el inserto inferior izquierdo.	4
3	Distribución actual de las colonias detectadas de <i>Rallus longirostris levipes</i> en Baja California.	5
4	Adulto y cría de <i>Rallus longirostris levipes</i> en el Estero de Punta Banda.	6
5	Mapa del Estero Punta Banda donde se señala la ubicación de los sitios de muestreo. Tomado de http://proesteros.cicese.mx/archivos/ficha_ramsar_punta_banda.pdf que originalmente fue diseñado para una propuesta de Sitio Ramsar y modificada para mostrar la Bahía de Todos Santos más ampliamente en el inserto superior izquierdo.	9
6	Sonograma que muestra una sílaba con las variables que caracterizan la frecuencia fundamental (Fomin1, Fomax, Fomin2) y el primer armónico (A).	16
7	Temperatura registrada en el sitio sin ruido antropogénico al inicio (17:00 horas, superior) y al final del muestreo (20:00 horas, inferior). Líneas azules indican temperatura del agua y líneas verdes temperatura del aire.	19
8	Temperatura registrada en el sitio con ruido antropogénico al inicio (17:00 horas, superior) y al final del muestreo (20:00 horas, inferior). Líneas azules indican temperatura del agua y líneas verdes temperatura del aire.	19
9	Intensidad del ruido registrada en el zenit para ambos sitios. En el eje Y se indican los decibeles dB. En el eje X se indican los 28 registros realizados en cada sitio.	20
10	Histograma de la intensidad del ruido registrada en el zenit para ambos sitios.	21
11	Sonograma del oleaje, viento y aves del sitio sin ruido antropogénico. La frecuencia está en el eje de las Y (KHz) y el tiempo en el eje de las X (s).	21
12	Sonograma de los automotores, personas y animales del sitio con ruido antropogénico. La frecuencia está en el eje de las Y (KHz) y el tiempo en el eje de las X (s).	22
13	Distancia estimada (aproximada) entre la grabadora y el individuo que emitía la vocalización (m).	23
14	Número de vocalizaciones por cada tipo, en ambos sitios. CR= sitio con ruido antropogénico, SR= sitio sin ruido antropogénico.	24
15	Vocalizaciones grabadas por sitio. Las barras claras representan el sitio sin ruido y las oscuras el sitio con ruido antropogénico.	25
16	Número de individuos grabados por sitio. Las barras claras representan el sitio sin ruido y las oscuras el sitio con presencia de ruido antropogénico.	25

LISTA DE FIGURAS (continuación)

<i>Figura</i>		Página
17	Parte de un sonograma de la vocalización clapper.	27
18	Sonograma de una secuencia de keks. El inserto en la parte superior derecha muestra el acercamiento de un kek.	28
19	Sonograma de la vocalización clapper-burr.	30
20	Sonograma de la vocalización clapper-hurra.	32
21	Sonograma de vocalización con dueto antifonal. La flecha de la izquierda indica el primer individuo y la flecha de la derecha indica el inicio del 2º individuo.	33
22	Análisis de conglomerados de las variables de frecuencia de clapper en el sitio con ruido antropogénico (CR) y el sitio sin ruido (SR).	33
23	Sonograma de clapper de <i>R. l. levipes</i> en las frecuencias de los 650 a 4500 Hz. En el recuadro se señala el piar de un polluelo de sastrecito común (<i>Psaltriparus minimus</i>) en frecuencias más agudas.	36
24	Sonograma de clapper de <i>R. l. levipes</i> en las frecuencias de 1000 a 3550 Hz. En el recuadro se señala el chirrido de grillos (<i>Acheta domesticus</i>) al anochecer, de 3500 a 4300 Hz.	36

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
I	Resultados del número de individuos y vocalizaciones grabadas por sitio de muestreo. SR= sitio sin ruido antropogénico y CR= sitio con ruido.	24
II	Medias, error estándar, mínimo y máximo de las variables físicas de las vocalizaciones clapper. S_E es el error estándar, F^* es la frecuencia del armónico más agudo, n_A es el número de armónicos, n_S es el número de sílabas, t_1 es la duración de las sílabas, t_2 es la duración de los períodos inter-sílabas, t_3 es la duración de las vocalizaciones.	26
III	Resultados de las medias y error estándar de las variables físicas de las vocalizaciones de kek grabadas de 18 individuos en ambos sitios. F^* es la frecuencia del armónico más agudo, n_A es el número de armónicos, n_S es el número de sílabas, t_1 es la duración de las sílabas, t_2 es la duración de los períodos inter-sílabas.	28
IV	Resultados de las medias y error estándar de las variables físicas de las 2 vocalizaciones clapper-burr grabadas de 1 individuo en el sitio sin ruido antropogénico. F^* es la frecuencia del armónico más agudo, n_A es el número de armónicos, n_S es el número de sílabas, t_1 es la duración de las sílabas, t_2 es la duración de los períodos inter-sílabas.	29
V	Resultados de las medias y error estándar de las variables físicas de las vocalizaciones clapper-hurra grabadas de 8 individuos en ambos sitios. F^* es la frecuencia del armónico más agudo, n_A es el número de armónicos, n_S es el número de sílabas, t_1 es la duración de las sílabas en la parte de menor frecuencia, t_2 es la duración de los períodos inter-sílabas, t_3 es la duración de la vocalización.	31
VI	Resultados de las medias y error estándar de las variables para los 56 individuos en ambos sitios de estudio.	34
VII	Resultados de la prueba t de Student entre variables de clapper para ambos sitios. Grupo 1 SR, sin ruido; Grupo 2 CR, con ruido antropogénico ($n_{SR} = 36$, $n_{CR} = 20$).	35

I. Introducción

La bioacústica estudia la comunicación como un fenómeno biológico interdisciplinario que incluye la emisión y audición de mensajes. Consiste en el análisis de emisiones sonoras, su propagación a través de medios diferentes y recepción por los seres vivos, incluyendo humanos (Schafer, 1969; Lewis, 1983; Tubaro, 1999; Rempel *et al.*, 2005). La comunicación acústica juega un papel central en la selección sexual e integración social de las aves (Catchpole y Slater, 1995). La ornitofauna emite vocalizaciones que consisten en ondas sonoras que se encuentran dentro del rango de audición de los seres humanos (entre 20 y 20,000 Hz). Las unidades que se utilizan para medir la intensidad del sonido son los decibeles (dB). El decibel se define como el logaritmo vulgar, o base diez, de la razón de potencia de la fuente entre una potencia de referencia, por lo que el decibel no tiene dimensión ($G'(dB) = 10 \cdot \log_{10}(G)$, donde G es P_2 / P_1 , G = ganancia de potencia (sin unidades) y G' = ganancia de potencia en decibeles). El nivel más bajo audible por el oído humano, llamado umbral auditivo es cero dB (equivalente a $P_2 = P_1 = 20$ micropascales), aunque varía con la frecuencia. El nivel más alto audible sin dolor es alrededor de 120 dB (Gallego Ortiz *et al.*, 2007). El tono o frecuencia del sonido se mide en Hertz o Hertzios ($1 \text{ Hz} = 1 \text{ ciclo s}^{-1}$). El rango audible para los humanos y las aves es de 20 Hz a 20 KHz. La frecuencia determina qué tan agudo o grave es un sonido; un sonido agudo tiene una frecuencia alta mientras que uno grave tiene una frecuencia baja (Ríos Chelén y Macías García, 2009).

La especie humana ha agregado un factor que está ejerciendo presión sobre las señales acústicas y de comunicación en la vida silvestre: los sonidos antropogénicos o ruido antrópico (Ryan y Brenowitz, 1985). El sonido ambiental puede alterar la comunicación acústica, modificando o cortando el mensaje e impidiendo parcial o totalmente que llegue al receptor. Altera aspectos como la formación de parejas, evasión de depredadores y reproducción de la especie (Ríos-Chelén, 2009; Barber *et al.*, en prensa; Bermúdez-Cuamatzin *et al.*, 2008). El sonido de fondo induce al ave a establecer estrategias y procesos de selección que se activan para su sobrevivencia (Patricelli y Blickley, 2006), teniendo repercusiones individuales y poblacionales a corto y largo plazo, respectivamente. Las aves que viven en medios urbanos están expuestas a

altos niveles de contaminación acústica y modifican el tono y la longitud de su canto para compensar el efecto del ruido de fondo y poder comunicarse mejor (Macías García y Gil, 2007). El acondicionamiento se define como el proceso de modificaciones o ajustes de los organismos inducido por factores limitantes del ecosistema (Llebot *et al.*, 2001). En términos amplios de acondicionamiento, algunos machos guardan silencio mientras ocurre un ruido estruendoso y cantan con picos elevados de frecuencia durante periodos de menor ruido (Slabbekoorn & Peet, 2003).

Es necesario caracterizar el efecto de la contaminación por ruido antropogénico en las vocalizaciones de diferentes especies de aves, para determinar si existe un impacto en procesos biológicos importantes como el apareamiento y la reproducción.

Para el análisis de los sonidos se utilizan sonogramas (Figura 1). En un sonograma el tiempo (segundos) está en el eje de las X y la frecuencia (ciclos s^{-1} ó Hertz) en el eje de las Y. Cada vocalización puede dividirse en elementos más simples o sílabas. En el sonograma aparecen, para cada sílaba, la frecuencia fundamental y los armónicos como marcas impresas, un tanto en forma de manchas pero claramente separadas a menudo, que tienen diferentes formas e intensidades. Los sonogramas tienen una tercera dimensión. Las tonalidades de los grises o de los colores del sonograma están en función de la amplitud (dB).

Ruiz-González *et al.* (2005) evaluaron la contaminación acústica y su impacto en la presencia-ausencia de especies de vertebrados silvestres mediante una metodología basada en la utilización de reclamos sonoros (*playback*). Los resultados de presencia se encontraron dentro de un intervalo de ruido (al 99% de nivel de confianza) entre 35.5 y 39.5 dB, mientras que los resultados de ausencia se distribuyeron en un intervalo de 41.5 a 46.5 dB. Estos resultados parecen indicar que el búho cárabo (*Strix aluco*) selecciona positivamente lugares con menor incidencia de contaminación acústica, aunque puede adaptarse a lugares con índices elevados de ruido ambiental.

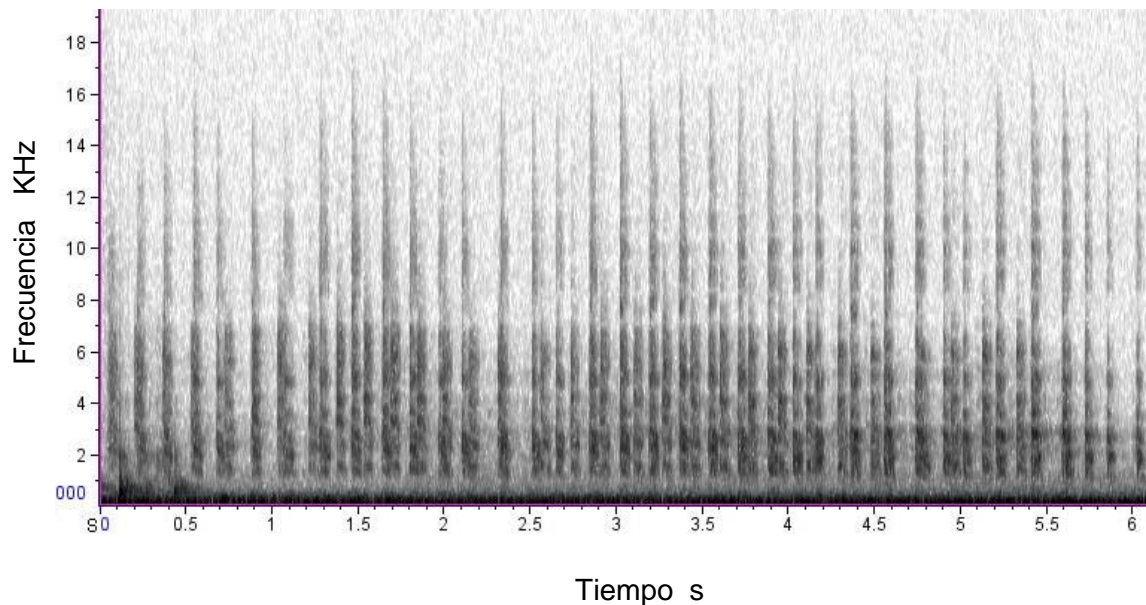


Figura 1. Ejemplo de sonograma de la gallineta de marisma del Estero de Punta Banda.

Se han reportado patrones de variación en el canto de aves canoras expuestas al ruido de ciudad. Las aves modifican la amplitud e incrementan las frecuencias mínimas. La contaminación por ruido afecta las poblaciones y al mismo tiempo amplía la plasticidad de respuesta de las aves frente a la actividad humana (Fernández-Jurácic *et al.*, 2005; Bermudes-Cuamatzin *et al.*, 2009; Bermudes-Cuamatzin *et al.*, 2010). El objetivo de este trabajo fue probar la hipótesis de que el ruido antropogénico afecta significativamente las vocalizaciones del rascón picudo o gallineta de marisma (*Rallus longirostris levipes*) que habita en el Estero de Punta Banda, Baja California.

I.1 Descripción de la subespecie de estudio.

Las poblaciones principales del rascón picudo o gallineta de marisma (*Rallus longirostris levipes*) son habitantes de marismas costeras en California,



Figura 2. Distribución actual (círculos amarillos) y potencial (círculos negros) de las colonias de *Rallus longirostris levipes* en California, USA. Fuente: USF&WS, 2008. La Bahía de San Diego se muestra en el inserto inferior izquierdo.

USA, y en el noroeste de Baja California y se distribuyen en áreas ecológicamente diferentes y con presencia variable de contaminación acústica (Figuras 2 y 3).

Son residentes desde Santa Bárbara, California, hasta El Rosario, Baja California, con distribución particularmente discontinua. *R. l. levipes* es un ave territorial, no migratoria (sin embargo no se conoce si puede trasladarse por

unos cuantos cientos de kilómetros de un hábitat a otro), catalogada como en peligro de extinción en México dentro de la norma NOM-059-SEMARNAT-2001 (SEMARNAT, 2002), en Estados Unidos por el US Fish & Wild Life Service a partir de 1970 (Terres, 1991), y en particular en California por el Department of Fish and Game desde 1989.

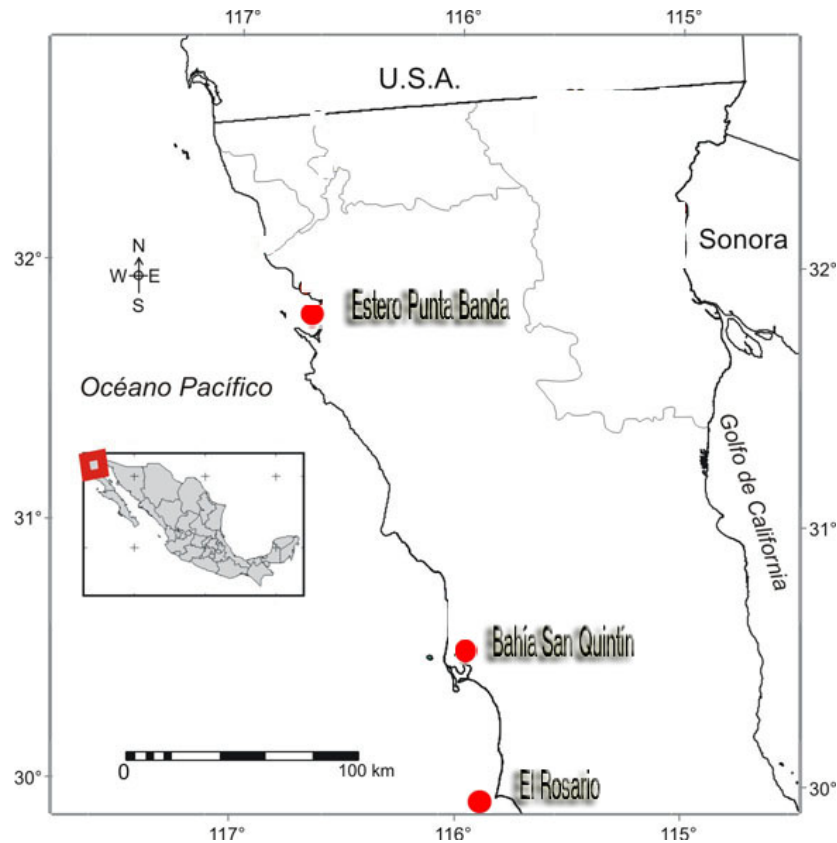


Figura 3. Distribución actual de las colonias detectadas de *Rallus longirostris levipes* en Baja California.

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (IUCN por sus siglas en inglés) enlista a la especie y a la sub-especie como en peligro de extinción desde 2008. La Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) incluye a la especie en el Apéndice I prohibiendo su comercio internacional.

Es un ave principalmente diurna. Se mantiene activa 75 a 90% del día, principalmente al amanecer y atardecer (Eddleman, 1989). Vocaliza para

defender su territorio y existen confrontaciones agresivas entre machos (Conway *et al.*, 1993). Responde a la presencia de depredadores emitiendo vocalizaciones de alarma y se sumerge o interna en la vegetación densa (Eddleman y Conway, 1998). Realiza la mayor parte de sus actividades entre vegetación emergente densa (Figura 4), corriendo o caminando a través de la marisma no cubierta por



Figura 4. Adulto y cría de *Rallus longirostris levipes* en el Estero de Punta Banda.

agua (Ripley, 1977). Vuela sólo ocasionalmente si es perturbada, y lo hace por distancias cortas, con las patas colgando. Sin embargo, extraordinariamente es capaz de volar distancias largas a velocidades similares a las de los patos o aves playeras (Ripley, 1977). Son buenas nadadoras, aunque sólo nadan para cruzar canales profundos o escapar de amenazas inminentes.

González-Guzmán (2007) muestreó 330 ha del Estero de Punta Banda en 2003, y contó 506 individuos, de los cuales reportó 380 como solitarios y el resto formando parejas. Por otro lado, Erickson *et al.* (2002) contaron 28 individuos solos en 165 ha del estero. Ward *et al.* (2004) reportaron 304 parejas para Bahía San Quintín. Se ha reportado que El Rosario es el límite

sur de su distribución, pero no existen censos de esa zona (Adams y Quay, 1958; Foin y Benchley-Jackson, 1991).

I.2 Bioacústica de *Rallus longirostris*

Hasta ahora sólo se habían realizado caracterizaciones onomatopéyicas de las vocalizaciones de la especie. Se describieron a partir de sonidos grabados y su asociación con alguna conducta: territorialidad, agresión, búsqueda de pareja, entre otros (Eddelman y Conway, 1998; Meanley, 1985; Massey y Zembal, 2009), con aproximaciones al número de repeticiones y duración de las mismas. Sin embargo, en la literatura no existen caracterizaciones en términos de parámetros de la física de las vocalizaciones de esta especie.

Ocho llamadas han sido identificadas en el repertorio de *Rallus longirostris*. Las principales han sido llamadas: "clapper," "kek," "kek-hurra" y "kek-burr" (Todd, 1986). El llamado básico es el clapper utilizado por el ave para proclamar su territorio y cuando el reconocimiento entre parejas es necesario. Ambos sexos producen el clapper (Massey y Zembal, 1987). Es la vocalización que emiten en la temporada reproductiva (Simmons, 1914; Meanley, 1985). Se compone de notas separadas que se repiten de 12 a 100 veces por un lapso de hasta 10 s (Massey y Zembal, 1987). Esta vocalización tiene frecuencias e intensidades altas en el inicio; los intervalos entre notas tienen aproximadamente la misma duración. A menudo forman duetos antifonales en pares de aves, o simples (Massey y Zembal, 1987). El kek y el kek-burr son vocalizaciones para llamar la atención, producidos por machos no apareados y hembras, respectivamente (Meanley, 1985). El kek alborotado o kek-hurra es una respuesta a intrusos o a perturbaciones.

Rallus emite llamados (vocalizaciones) y no cantos como lo hacen las aves canoras. Las diferencias en las vocalizaciones se deben a cambios en el tono, duración de la nota, intensidad e intervalos entre notas (Massey y Zembal, 1987). La comunicación para la formación de parejas es a través de vocalizaciones fuertes, emitidas por el macho hasta recibir la respuesta de la hembra (Eddleman y Conway, 1998). Debido a la vegetación del hábitat en que

desarrolla sus actividades, esta especie depende fuertemente de su habilidad de comunicación vocal. Los factores que dificultan la comunicación podrían afectar sus mecanismos fisiológicos, por ejemplo alteración de presión sanguínea y reducción de la producción de huevos (Falch, 1997).

En la literatura científica falta la caracterización física de las vocalizaciones de esta especie. Esta caracterización consiste en proporcionar la estadística básica de variables tales como la frecuencia fundamental, número de armónicos, frecuencia del armónico más agudo, duración total de las vocalizaciones, y duración de las sílabas y de los períodos inter-sílabas.

Objetivos.

1. Caracterizar las variables físicas de las vocalizaciones de *R. l. levipes* (frecuencia fundamental, número de armónicos, frecuencia del armónico más agudo, duración total de las vocalizaciones, duración de las sílabas y de los períodos inter-sílabas) mediante su estadística básica (mínimo, máximo, media, error estándar).
2. Explorar el posible impacto del ruido antropogénico en la media de estas variables, comparando datos de un sitio sin ruido antropogénico con datos de un sitio con ruido antropogénico.

I.3 Descripción del área de estudio.

El estudio se desarrolló en el Estero de Punta Banda, Baja California,



Figura 5. Mapa del Estero Punta Banda donde se señala la ubicación de los sitios de muestreo. Tomado de http://proesteros.cicese.mx/archivos/ficha Ramsar punta_banda.pdf que originalmente fue diseñado para una propuesta de Sitio Ramsar y modificada para mostrar la Bahía de Todos Santos más ampliamente en el inserto superior izquierdo. ubicado en la Bahía de Todos Santos, entre 31° 40' y 31° 48' N, y entre 116° 34' y 116° 40' W (Figura 5).

Escofet *et al.* (1988) consideran que Punta Banda es una de las cuatro lagunas costeras de mayor importancia en Baja California para la avifauna, peces y organismos invertebrados.

El Estero de Punta Banda tiene un canal principal en forma de L, con un brazo corto de 3 km y uno largo de 7 km. Una barra arenosa de aproximadamente 7 km de longitud lo separa de la Bahía de Todos Santos, con una boca permanente en el extremo norte. La anchura promedio del estero es ~800 m, con un rango de ~345 m en bajamar media inferior a ~1100 m en marea alta media superior, con un área total de 16.4 km². En bajamar media

inferior el área navegable (canales) es 4.6 km², y 11.8 km² corresponden a planos cubiertos con pastos marinos y planos fangosos (Pritchard *et al.*, 1978).

El clima de la región es de tipo Mediterráneo, caracterizado por veranos secos y por inviernos con lluvia. Generalmente no hay aporte de agua dulce superficial hacia el estero. A pesar de la construcción de un bordo en 1983, que le quitó parte considerable del área en el vértice de la L, reduciendo su prisma de marea, el estero ha mantenido básicamente el mismo comportamiento hidrológico, con intervalos de variación de temperatura, salinidad y nutrientes muy similares a los de los años setentas (Soto-Balderas y Álvarez-Borrego, 1991).

Debido a que el estero no tiene aporte de agua dulce superficial la mayor parte del año, su salinidad en general aumenta de la boca hacia el interior, de ~33.5 a ~35.2 (Acosta-Ruiz y Álvarez-Borrego, 1974). Sin embargo en algunos años con evento ENSO los arroyos que desembocan en el estero causan una disminución de salinidad en el extremo interno, como en otoño-invierno de 1992-1993, cuando la salinidad bajó a <25 (Galindo-Bect *et al.*, 1999).

Las mareas son semidiurnas y altamente correlacionadas con las del puerto de Ensenada (Pritchard *et al.*, 1978). El rango medio de marea es de 1.04 m. Las corrientes de marea producen un intercambio de agua tal con la bahía que el 60% de agua del estero se puede evacuar en un ciclo de marea (Paz Vela, 1978). Existen grandes planicies fangosas y otras cubiertas de *Zostera marina*, las cuales son los subsistemas ecológicos principales del estero (Pérez Chávez *et al.* 1979; Aguilar Rosas, 1980). Las planicies más amplias, cubiertas de vegetación, se localizan en entradas de marea en la orilla peninsular (hacia tierra), y están particularmente bien desarrolladas hacia el extremo interno de la laguna. Los principales subsistemas ecológicos que se distinguen en el estero son los bajos lodosos, las dunas costeras, los canales de marea y las zonas de pastos marinos. Existe vegetación como hierba cordón, hierba costera (*Monanthochloe littoralis*) y hierba salada (*Salicornia virginicola*) (Ibarra-Obando y Escofet, 1987). La gallineta de marisma se esconde y vive entre los parajes de hierba cordón (*Spartina foliosa*). La marisma del Estero de Punta Banda proporciona hábitat para la gallineta de marisma (*Rallus longirostris levipes*), la golondrina marina (*Sterna albifrons*) y el gorrión sabanero (*Passerculus sandwichensis*), que son especies en peligro

de extinción. Es un ecosistema que sirve como lugar de descanso para aves migratorias marinas (Oberbauer, 1999). Su sedimento suave alberga una infauna muy abundante, además caracoles y cangrejos que sirven de alimento para *Rallus spp.* y otras aves costeras.

El Estero de Punta Banda ha sido considerado por el Programa de Regiones Prioritarias para la Conservación de la Biodiversidad de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) de México, como un sitio prioritario para la conservación en el nivel estatal y nacional dada su alta presencia de endemismos, su riqueza de especies y su importancia funcional como centro de origen y diversificación natural (Pro Esteros, A. C., 2002). Asimismo, se ha designado como un Área Importante para la Conservación de las Aves (AICA) de categoría 5, esto es, un área en donde la realización de trabajo de investigación ornitológica es relevante para la conservación de las aves en el nivel global (CONABIO, 1998). Desde 2005 es sitio RAMSAR. Los sitios RAMSAR son humedales de importancia internacional que representan verdaderos refugios de conservación para la flora y fauna, y son muy importantes para las poblaciones humanas que viven a su alrededor.

Punta Banda se encuentra en la actualidad amenazada por actividades antropogénicas: agricultura extensiva con uso de pesticidas, basura, circulación constante de vehículos automotores, entre otros. Esto puede traer como consecuencia la contaminación del suelo, del mar y del aire, al igual que la destrucción de la vegetación terrestre y marina. Además, existe el problema de la introducción de especies vegetales y fauna potencialmente nocivas que podrían afectar la ecología del lugar (Espejel *et al.*, 2006). Hay mucho por rescatar y preservar. Gómez-Morin *et al.* (1992) elaboraron el programa de ordenamiento de la micro-región Punta Banda - La Bufadora, y propusieron incorporar al Estero de Punta Banda en las zonas de protección.

Los sitios de muestreo fueron dos: uno con ruidos principalmente antrópicos y otro con ruidos ambientales dominantes (Figura 5). El sitio con ruido antrópico se ubica a 60 m de distancia de la carretera de dos carriles que va de Maneadero a La Bufadora. Se caracteriza por un sustrato lodoso rico en limos y arcillas, con canales de marea cercanos y relativamente profundos, y con una topografía que cambia rápidamente a elevaciones que sólo son

inundadas en marea muy alta y que están cubiertas por *Spartina foliosa* (Camacho-Ibar y Álvarez-Borrego, 1988). El ruido es producido día y noche por el tránsito de camiones, automóviles, motocicletas, vehículos con altoparlantes, sirenas de patrullas y ambulancias. La franja litoral que bordea el estero en esta zona está poblada por casas con ruido de personas, música estruendosa, ladridos de perros y vocalizaciones de aves de las especies: falaropo pico grueso (*Phalaropus fulicaria*) y falaropo cuello rojo (*P. lobatus*), agujeta piquilarga (*Limosa fedra*), gaviota parda (*Larus occidentalis*), rayador americano (*Rynchops niger*), cigüeñuela cuellinegra (*Himantopus mexicanus*), pelícano pardo (*Pelecanus occidentalis*), corúa de mar (*Phalacrocorax auritus*), gallareta gigante (*Fulica americana*), paloma robuda (*Zenaida macroura*), golondrina (*Hirundo rustica*) y garcita blanca (*Egretta thula*) (Escofet et al., 1988); y las canoras: pitirre real (*Tyrannus melancholicus*), bisbita de agua (*Anthus rubescens*) y sastrecillo (*Psaltriparus minimus*) (Jiménez-Pérez et al., 2009). El segundo sitio, con presencia mayoritaria de ruidos ambientales (oleaje de océano abierto presente a 200 m del sitio de muestreo, viento, ocasionalmente petardos y voces de turistas), se localiza a 5 km de la carretera, al final del camino que lleva al fraccionamiento habitacional Punta Estero. Se caracteriza por un sustrato relativamente pobre en limos y arcillas, más bien compuesto por arenas finas y gruesas, y con una pendiente suave hacia el canal principal del estero (Aguñiga-García y Álvarez-Borrego, 1989). La presencia de aves es amplia destacándose las siguientes especies: agujeta silbona (*Limnodromus scolopaceus*), costurero pico corto (*L. griseus*), aguja colipinta (*Limosa lapponica*), playero patiamarillo (*Tringa melanoleuca*), chorlo o playero mayor (*T. flavipes*), *Larus occidentalis*, *Zenaida macroura*, cuclillo pico amarillo (*Coccyzus americanus*), pibí boreal (*Contopus cooperi*), mosquero occidental (*Empidonax difficilis*), benteveo real (*Tyrannus melancholicus*), bisbita de agua (*Anthus rubescens*), sastrecillo (*Psaltriparus minimus*), vireo de Filadelfia (*Vireo philadelphicus*), chirulí o capa negra (*Carduelis psaltria*) (Escofet et al., 1988).

II. Materiales y Métodos

Las visitas a los sitios de muestreo se realizaron principalmente durante mareas bajas para contar con mayor área de hábitat sin cobertura de agua, para lo cual se consultó el mareograma del CICESE. Para el propósito de este trabajo, definiremos el ruido como todos los sonidos, naturales (como el oleaje rompiendo en la playa) y antropogénicos, que no son parte de las vocalizaciones de la gallineta de marisma.

Se realizaron grabaciones digitales de las vocalizaciones emitidas espontáneamente (sin usar “*playback*”) por *Rallus longirostris levipes* en horarios de 05:00 a 08:00 horas y de 17:00 a 21:00 h. Estos horarios se eligieron debido a que la actividad sonora de la gallineta de marisma es mayor muy temprano y al atardecer, principalmente en el crepúsculo (Eddleman y Conway, 1998). Se utilizó una grabadora profesional Marantz PMD660, con micrófono con cortavientos, de largo alcance y de alta sensibilidad marca Sennheiser, que graba de 40 Hz a 20 KHz. Las grabaciones tienen un error de ± 2.5 dB (especificaciones del fabricante). Se contó con alimentador de poder y una parábola manual. Para el propósito de grabar todas las vocalizaciones y contar con un registro estadístico completo, se utilizó una grabadora con micrófono uni-direccional integrado, sin largo alcance, Microtrack M-Audio 24/96. Para medir el ruido se utilizó un sonómetro digital (sound level meter IEC615, Tipo 2) con rango de 30 a 130 db.

Las temperaturas del aire y del agua superficial se tomaron cada media hora con un termómetro de mercurio. La localización geográfica de los dos puntos de muestreo se realizó con un GPS (Garmin geko 201).

Los dos sitios de estudio se alternaron de día a día para la toma de datos: uno en el extremo interno del estero (31°41'43,1" N y 116° 37' 49.0" W) principalmente con ruido antropogénico; y otro en la orilla de la barra, cerca de la boca (31° 45' 06.0" N y 116° 37' 53.1" W), con ruido natural. Al inicio de cada muestreo se registraron las condiciones climáticas (condiciones de nubosidad, neblina, llovizna y viento) y el estado de la marea (calendario de predicción de marea del CICESE).

El ruido se midió cada inicio del muestreo dirigiendo el micrófono del sonómetro a los cuatro puntos cardinales y al zenit, siguiendo el método empleado por Bermúdez-Cuamatzin *et al.* (2009), que proporciona mediciones más completas en cuanto a las fuentes del ruido. Posteriormente se midió y grabó el ruido cada media hora, durante un minuto, dirigiendo el sonómetro y el micrófono de la grabadora Marantz hacia donde se ubicaron los especímenes de gallineta. Las primeras dos horas y media de muestreo se grabó con el micrófono omni-direccional Microtrack. Previo al crepúsculo se detectó la ubicación de las aves. La siguiente hora y media se hizo el mejor acercamiento posible a ellas para grabar sus vocalizaciones. Las distancias de grabación a los especímenes de gallineta variaron de 50 cm a 1500 m, con la mayoría a distancias cortas.

Para el almacenamiento y manejo de los datos se elaboró una base compatible con dos bibliotecas de sonidos, la de la Universidad Cornell en Ithaca, Nueva York, y la de la Universidad de Londres. Se respaldaron las grabaciones en DVD.

De cada vocalización se obtuvieron sonogramas utilizando programación comercial (Raven Lite 1.0). El resto del procesado estadístico se realizó con Statistica 7.0.

Un análisis preliminar de los sonogramas mostró que la frecuencia fundamental de cada sílaba, así como la frecuencia de cada armónico, varían con el tiempo (en milisegundos) de un valor mínimo a un máximo y luego a un segundo mínimo (Figura 6). Por lo que de cada sílaba se midieron las variables: frecuencia fundamental máxima (F_{omax}) y las dos mínimas (F_{omin1} y F_{omin2}), número de armónicos y frecuencia máxima del armónico más agudo.

El programa utilizado para el análisis de los sonogramas permite obtener la lectura de la intensidad en dB cuando se pone el cursor en cualquier punto del sonograma. La frecuencia fundamental máxima y la frecuencia máxima del

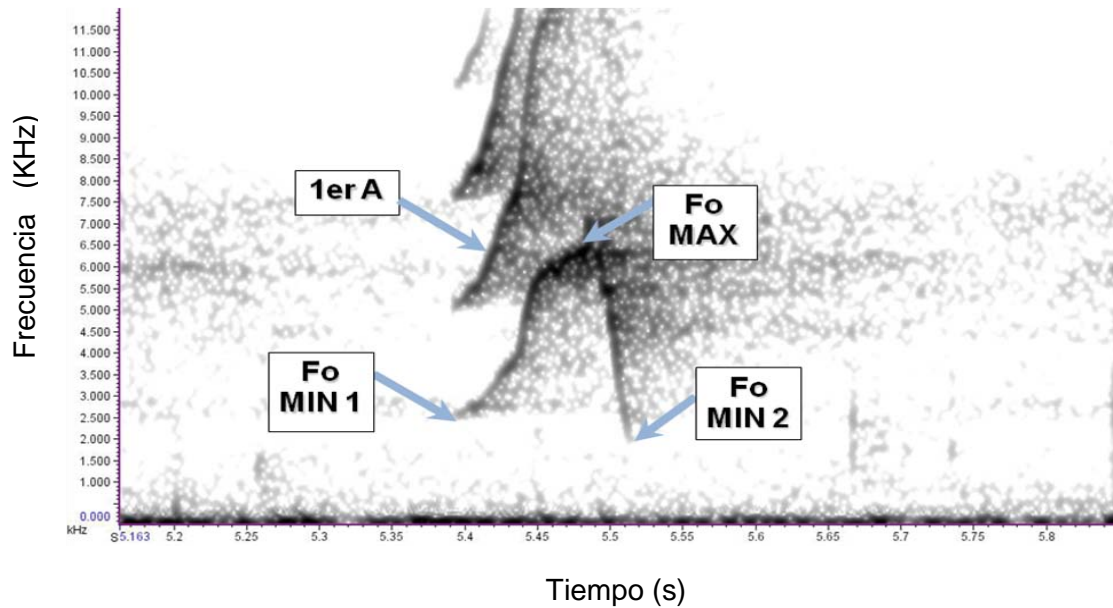


Figura 6. Sonograma que muestra una sílaba con las variables que caracterizan la frecuencia fundamental (Fomin1, Fomax, Fomin2) y el primer armónico (A).

armónico más agudo de cada sílaba se obtuvieron moviendo el cursor dentro del máximo de la marca impresa respectiva en el sonograma, en el sentido de las ordenadas, hasta obtener la mayor intensidad y su frecuencia correspondiente. También se contaron las sílabas de cada vocalización y se midió la duración de la vocalización completa, la duración de cada sílaba, así como la duración de los períodos de silencio entre sílabas.

Para evitar la pseudo-replicación en el procesado estadístico de las vocalizaciones y tener independencia de las mismas, la unidad experimental fue el individuo (Hulbert, 1984). Los valores de cada variable para cada sílaba de un clapper se promediaron para tener los valores representativos del clapper. Cuando se grabaron más de una vocalización por individuo, se tomó la media de esas vocalizaciones, para cada variable, como el valor para ese individuo. La hipótesis de trabajo es: el ruido antropogénico es un factor que modifica las características físicas (frecuencia fundamental, armónicos, etc.) de las vocalizaciones de *R. l. levipes*. Su expresión estadística es: las medias de estas variables para cada sitio de muestreo son significativamente diferentes. Verbigracia, para la frecuencia fundamental máxima:

$$H_0: \mu_{\text{Fomax(SR)}} = \mu_{\text{Fomax(CR)}}$$

$$H_1: \mu_{\text{Fomax(SR)}} \neq \mu_{\text{Fomax(CR)},}$$

donde μ es la media poblacional para el sitio respectivo, los subíndices CR y SR simbolizan los sitios con y sin ruido antropogénico, respectivamente, el subíndice Fomax indica la frecuencia fundamental máxima; y de una manera similar para las otras variables. Las pruebas se realizaron al 95% de nivel de confianza, es decir con una $p = 0.05$. En todos los casos el número que sigue al valor de la media y \pm es el error estándar ($s n^{-0.5}$). Para cada variable se aplicó una prueba t entre dos muestras (sitio sin ruido antropogénico y sitio con ruido antropogénico) en los casos con homogeneidad de variancias, y en los casos en los que las variancias de las dos muestras fueron significativamente diferentes se aplicó una prueba de Tukey (Abraira y Pérez de Vargas, 1996; Zar, 1996). Además, se realizó un análisis de conglomerados con la finalidad de conocer la asociación entre las variables de frecuencia y agrupar las de mayor afinidad (Steel y Torrie, 1986).

III. Resultados

Los muestreos se realizaron de finales de marzo a finales de agosto de 2010. En total fueron 56 muestreos, de los cuales 28 fueron en el sitio sin ruido antrópico y 28 en el sitio con este tipo de ruido. Las observaciones y grabaciones de audio se efectuaron en 45 muestreos en el horario de 17:00 a 21:00 pm y en 11 muestreos de 05:00 a 08:00 am.

III.1 Descripción de la variación temporal de la temperatura y el ruido.

Las condiciones climáticas del estero prevalecieron como días soleados, sin lluvia, y con baja nubosidad durante todo el muestreo. En el sitio sin ruido la temperatura superficial del agua a las 17:00 horas tuvo una mínima registrada de 18.9 °C en abril y máxima de 28.2 °C en junio. La temperatura del agua para las 20:00 horas tuvo una mínima de 13.8 °C en junio y una máxima de 20.0 °C en mayo. La temperatura del aire a las 17:00 horas fue mínima de 23.0 °C en abril y máxima de 30.5 °C en julio. La temperatura del aire a las 20:00 horas fue mínima en abril con 15.0 °C y máxima de 22.8 °C en mayo (Figura 7).

En el sitio con ruido, la temperatura superficial del agua a las 17:00 horas tuvo una mínima registrada de 18.0 °C en marzo y máxima de 28.7 °C en mayo. La temperatura del agua para las 20:00 horas tuvo una mínima de 10.0 °C en marzo y una máxima de 20.0 °C en mayo. La temperatura del aire a las 17:00 horas fue mínima de 20.0 °C en marzo y máxima de 29.0 °C en junio. La temperatura del aire a las 20:00 horas fue mínima en marzo con 13.0 °C y máxima de 23.0 °C en mayo (Figura 8).

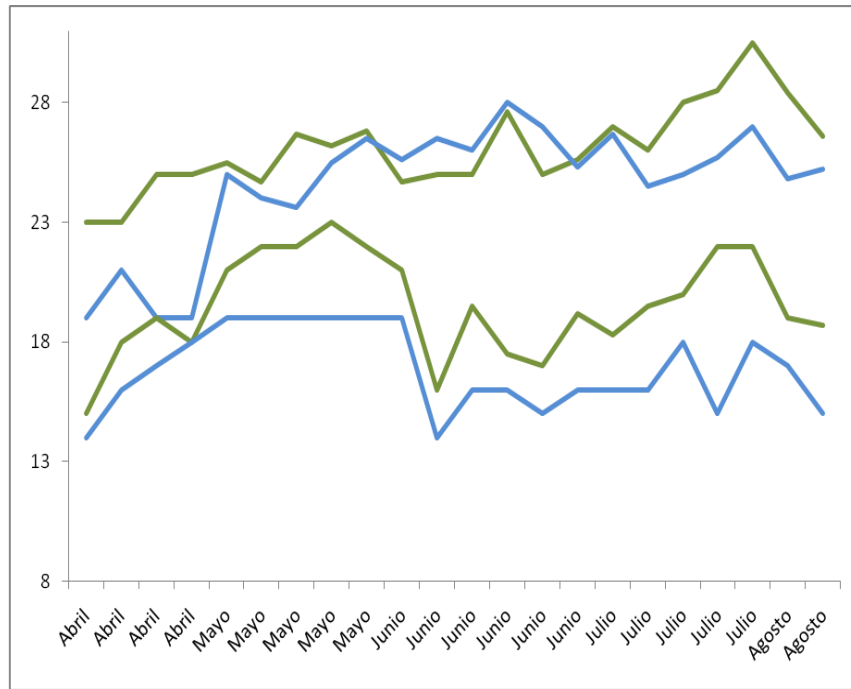


Figura 7. Temperatura registrada en el sitio sin ruido antropogénico al inicio (17:00 horas, superior) y al final del muestreo (20:00 horas, inferior). Líneas azules indican temperatura del agua y líneas verdes temperatura del aire.

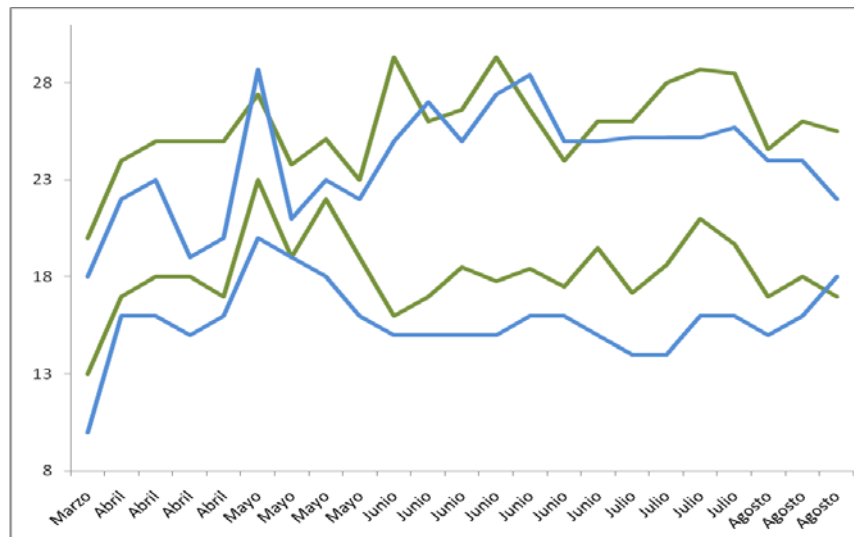


Figura 8. Temperatura registrada en el sitio con ruido antropogénico al inicio (17:00 horas, superior) y al final del muestreo (20:00 horas, inferior). Líneas azules indican temperatura del agua y líneas verdes temperatura del aire.

Las medias de los niveles de ruido en el sitio sin ruido antrópico, en los cuatro puntos cardinales y el zenit fueron: 44 ± 1 dB para la dirección norte, 43 ± 1 para la sur, 43 ± 1 para la este, 43 ± 1 para la oeste y 45 ± 1 para el zenit.

Las medias de los niveles de ruido para el sitio con ruido antrópico son: 50 ± 1 ; 49 ± 1 ; 48 ± 1 ; 50 ± 1 y 50 ± 1 dB para el N, S, E, O y Z, respectivamente. Las intensidades correspondientes al zenit fueron a menudo las máximas y variaron 37 a 65 dB en el sitio sin ruido antrópico, y de 38 a 64 dB en el sitio con ruido antrópico (Figura 9). Estos niveles de ruido fueron similares a las intensidades de las vocalizaciones de *R. l. levipes*. Para el lugar sin ruido antropogénico el promedio de las intensidades de las vocalizaciones fue 44.3 ± 1 dB con valores mínimo de 32 y máximo de 68 dB; y en el sitio con ruido antropogénico tuvieron un promedio de 50.2 ± 1 con mínimo de 40 y máximo de 61. El histograma de los valores del ruido correspondientes al zenit muestra que, en general, el sitio con ruido antrópico tuvo valores altos más frecuentes que el sitio sin ruido antrópico (Figura 10).

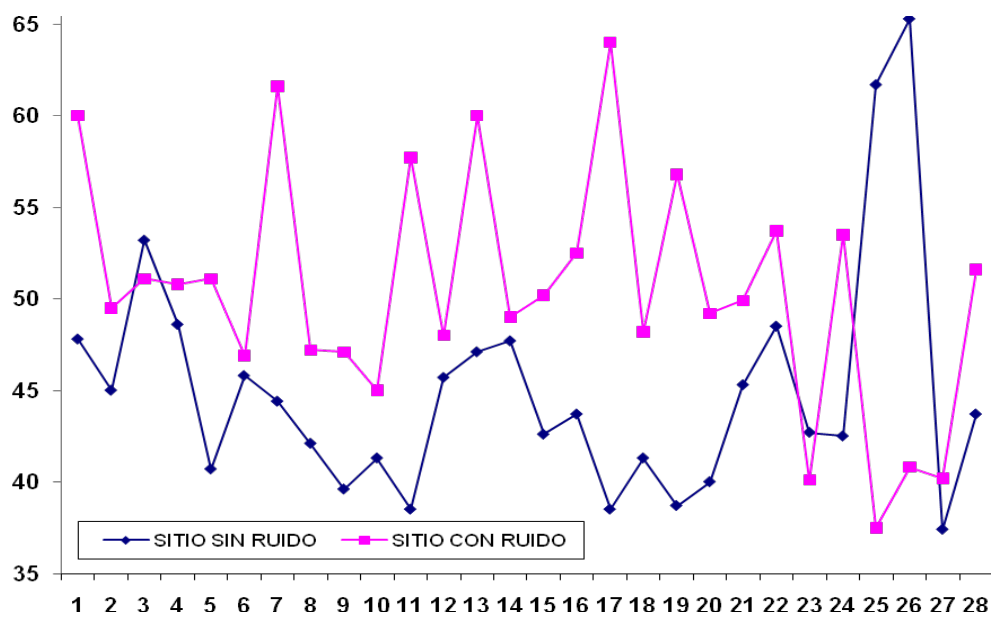


Figura 9. Intensidad del ruido para el zenit en ambos sitios. En el eje Y se indican los decibeles dB. En el eje X se indican los 28 registros realizados en cada sitio.

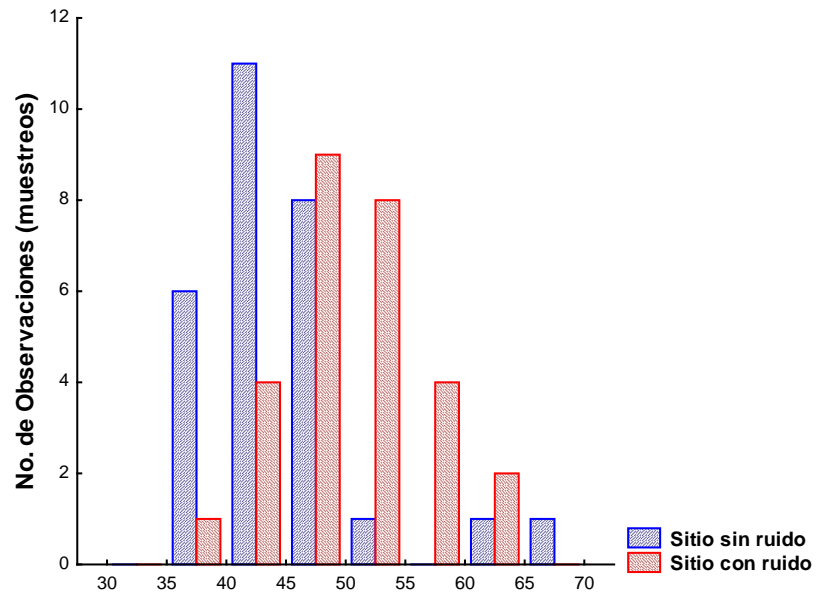


Figura 10. Histograma de la intensidad del ruido para el zenit en ambos sitios.

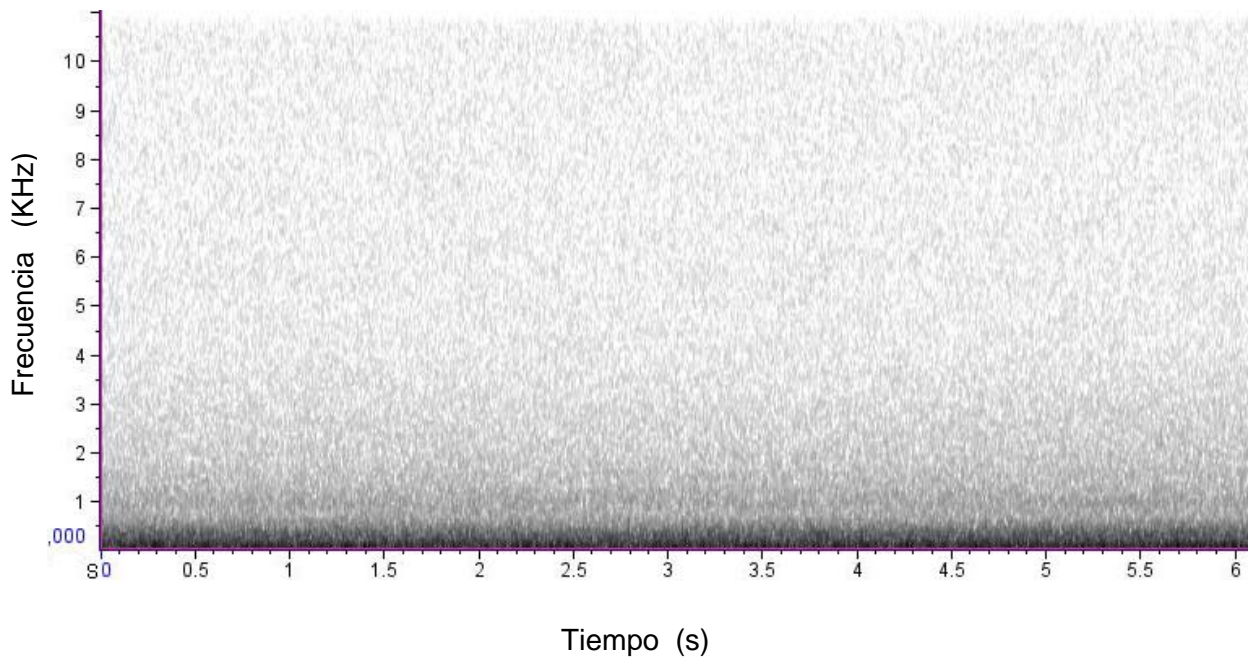


Figura 11. Sonograma del ruido natural (oleaje, viento y aves) del sitio sin ruido antropogénico.

Comparando las medias de los niveles de ruido (dB) de cada dirección cardinal, entre sitios, las pruebas t mostraron diferencias significativas. La prueba t con el mayor valor de p fue la correspondiente al zenit ($n_1 = n_2 = 28$, $p = 0.002$).

En el sitio con ruido antropogénico los sonogramas muestran la mayor parte del fondo con un gris más marcado que el del sitio sin ruido antrópico, lo que indica que a menudo existe un sonido más intenso (dB) desde las frecuencias más bajas (20 Hz) hasta las más altas (>10 KHz) (Figuras 11 y 12).

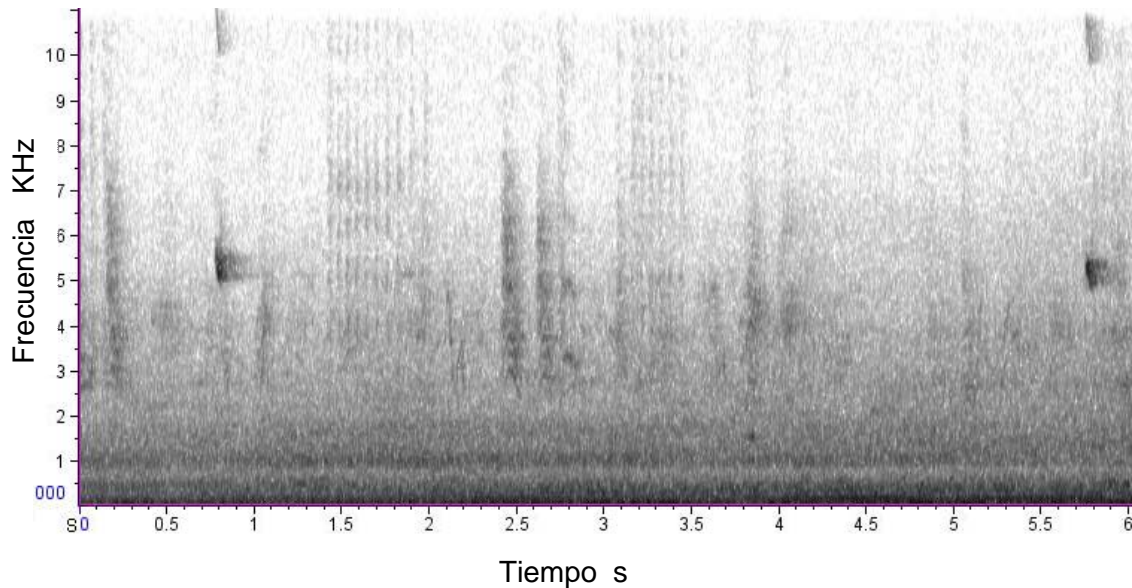


Figura 12. Sonograma de los automotores, personas y animales del sitio con ruido antropogénico. La frecuencia está en el eje de las Y (KHz) y el tiempo en el eje de las X (s).

Las distancias de grabación de las vocalizaciones variaron considerablemente, con aproximadamente un mínimo de 50 cm y máximo de 1500 m (Figura 13).

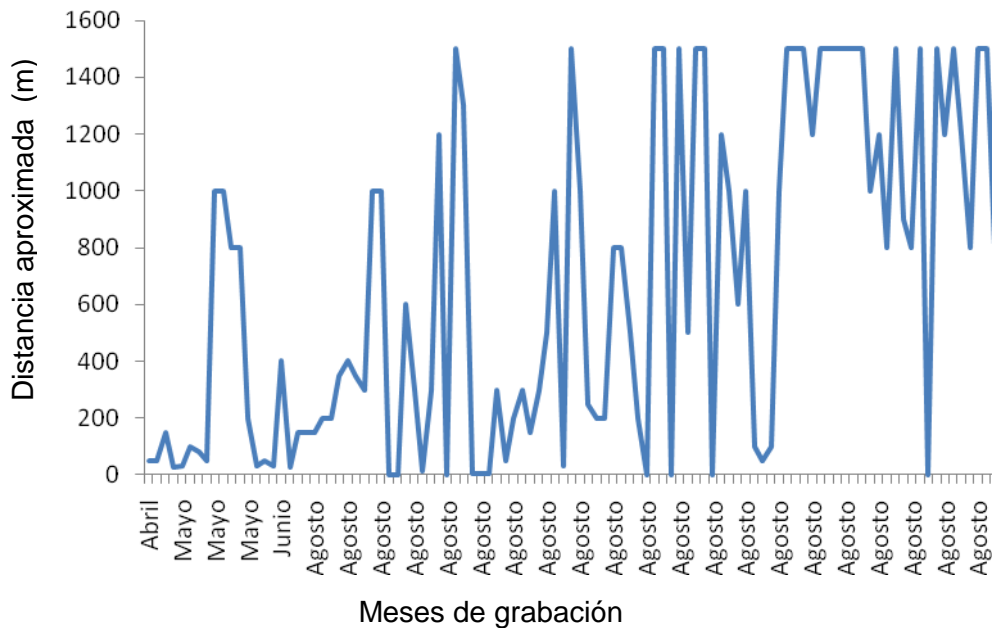


Figura 13. Distancia estimada (aproximada) entre la grabadora y el individuo que emitía la vocalización (m).

III.2 Descripción física de cuatro tipos de vocalizaciones grabadas en esta investigación.

Se obtuvieron 141 vocalizaciones emitidas por 75 individuos, la mayoría se grabaron en agosto (Tabla I). Ciento cinco fueron clapper, 28 kek, dos kek-burr y siete kek-hurra (Figura 14). Cien vocalizaciones fueron emitidas por 44 individuos en el sitio sin ruido antropogénico y 41 vocalizaciones fueron emitidas por 31 individuos en el sitio con ruido antrópico (Figura 15 y 16). La caracterización física acústica general se realizó para cada tipo de vocalización utilizando todas las grabaciones como un solo conjunto de datos (Tablas II a V).

En general para los cuatro tipos de vocalizaciones descritos en esta investigación (clapper, kek, kek-burr y kek-hurra), la intensidad relativa fue mayor en la frecuencia fundamental y menor en los diferentes armónicos, como ocurre en la mayoría de las aves (Tubaro, 1999; González, 2001). En *Rallus longirostris levipes* la mayor parte de las veces fue así, pero en un tercio de los casos se observó la mayor intensidad en el primero, segundo o tercer armónicos.

Tabla 1. Resultados del número de individuos y vocalizaciones grabadas por sitio de muestreo. SR= sitio sin ruido antropogénico y CR= sitio con ruido.

Mes 2010	No. Individuos SR	No. Individuos CR	No. total de individuos
Marzo	0	0	0
Abril	10	0	10
Mayo	5	10	15
Junio	2	1	3
Julio	0	0	0
Agosto	32	15	47
		Total	75

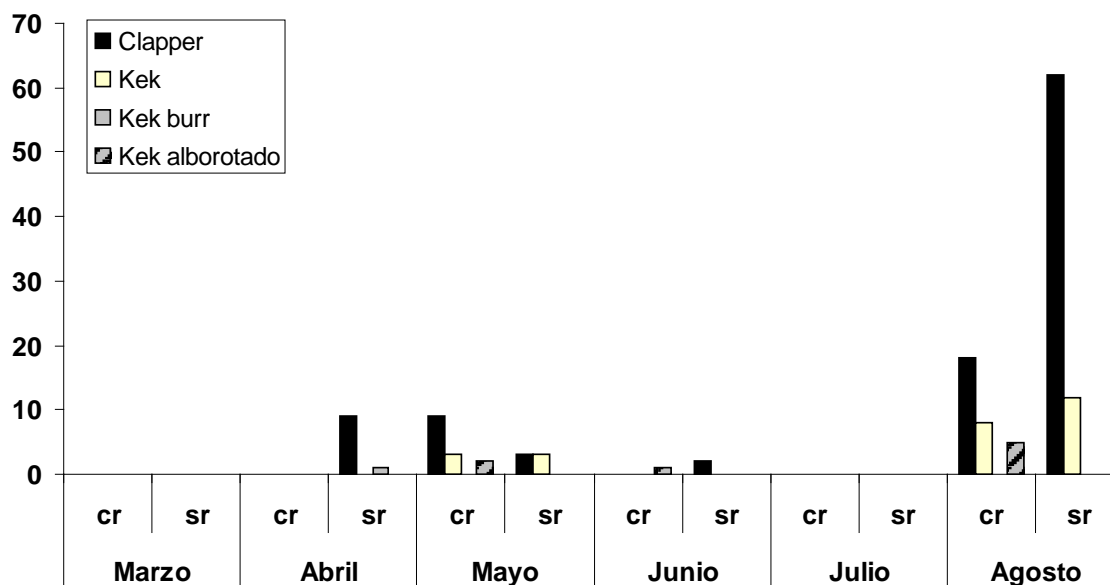


Figura 14. Número de vocalizaciones por cada tipo, en ambos sitios. CR = sitio con ruido antropogénico, SR = sitio sin ruido antropogénico.

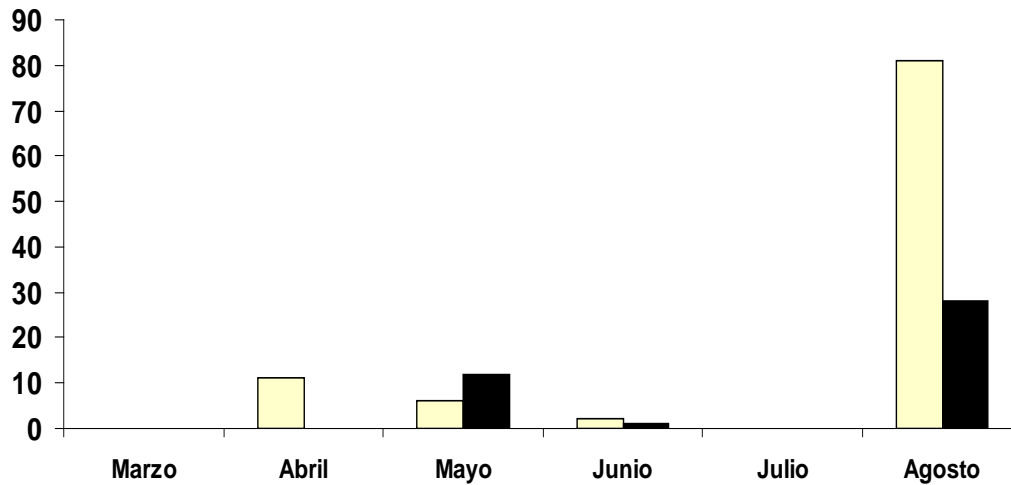


Figura 15. Vocalizaciones grabadas por sitio. Las barras claras representan el sitio sin ruido y las oscuras el sitio con ruido antropogénico.

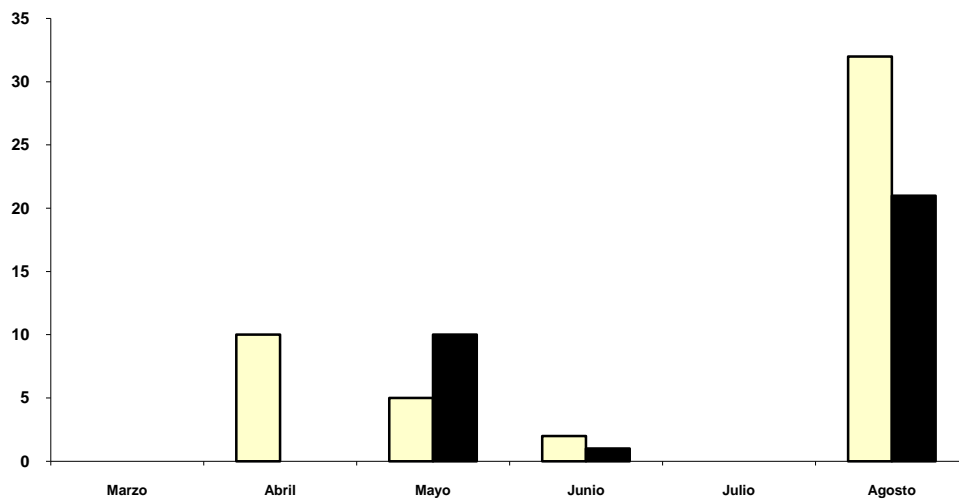


Figura 16. Número de individuos grabados por sitio. Las barras claras representan el sitio sin ruido y las oscuras el sitio con presencia de ruido antropogénico.

Clapper (Tabla II, Figura 17) fue la vocalización más grabada. Fue registrada en machos y hembras durante todos los meses de muestreo. Tuvo una duración total promedio de 8.7 ± 0.5 s. Respecto a las frecuencias, considerando la fundamental y los armónicos, clapper tuvo una media de la frecuencia fundamental mínima 1 (Fomin1) igual a 1391 ± 10.3 Hz, una media de la frecuencia fundamental mínima 2 (Fomin2) igual a 1329 ± 9.8 Hz, y una

media de la frecuencia fundamental máxima (Fomax) igual a 2595 ± 14.1 . El promedio de la frecuencia del armónico más agudo fue 8424 ± 86 Hz. Las duraciones de las sílabas tuvieron un promedio de 0.09 ± 0.001 s (Tabla II).

Tabla II. Medias, error estándar, mínimo y máximo de las variables físicas de las vocalizaciones clapper. S_E es el error estándar, F^* es la frecuencia del armónico más agudo, nA es el número de armónicos, nS es el número de sílabas, t_1 es la duración de las sílabas, t_2 es la duración de los períodos inter-sílabas, t_3 es la duración de las vocalizaciones.

Variable	Media	SE	min	max
Fomin1 Hz	1391	10.3	841	2301
Fomin2 Hz	1329	9.8	844	2996
Fomax Hz	2595	14.1	1700	4207
F^* Hz	8424	86	4614	18907
t_1 s	0.09	0.001	0.06	0.139
t_2 s	0.05	0.001	0.02	0.123
t_3 s	8.7	0.5	1.2	18.3

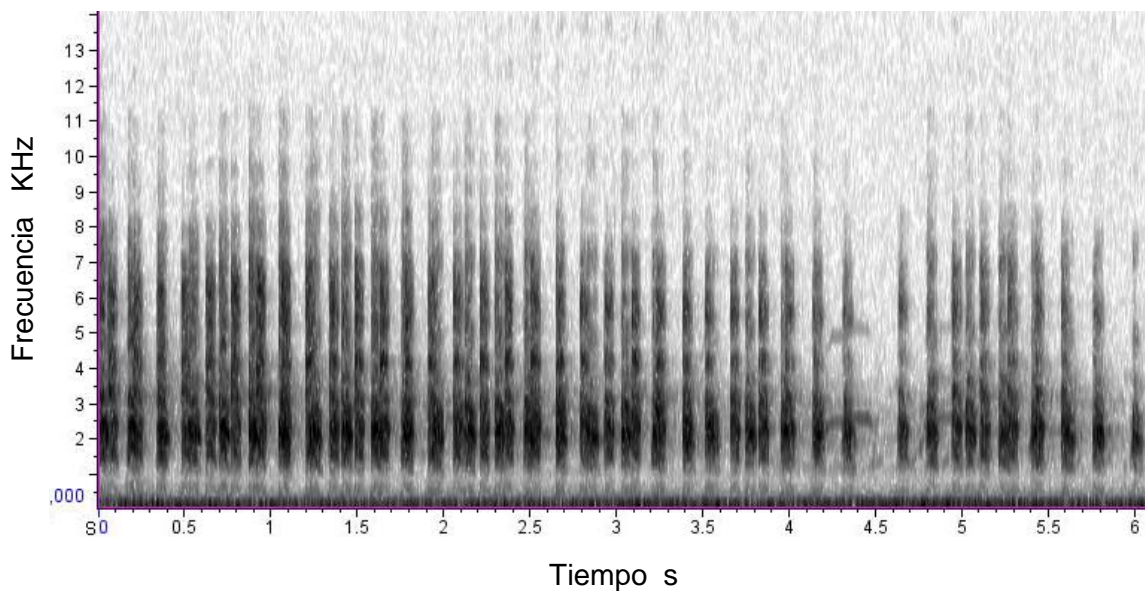


Figura 17. Parte de un sonograma de la vocalización clapper.

Kek (Figura 18 y Tabla III) fue la vocalización mayormente emitida por los machos sin pareja. Cada kek es una sílaba y generalmente se emiten en secuencias. Cada kek tiene una estructura que se diferencia claramente de una sílaba de clapper (Figuras 17 y 18). El kek no tiene la misma duración para todas las frecuencias, la frecuencia fundamental es claramente más duradera que los armónicos con una extensión en el tiempo de hasta cinco veces más que los armónicos, considerando tanto la parte más intensa como la de menor intensidad pero mayor extensión en el tiempo.

En ambos sitios, la secuencia de keks tuvo un máximo de duración de 15 minutos continuos y un mínimo de 1 minuto. (Figura 18). En la frecuencia fundamental del kek, la diferencia entre las mínimas (Fomin1 y Fomin2) y Fomax es más grande (~3 KHz) que en las sílabas de clapper. Para el propósito de caracterizar esta vocalización, de los miles de keks grabados y procesados para obtener sus sonogramas, se sub-muestrearon 60 keks al azar. La parte más intensa de los keks es muy corta, con un promedio de duración de 0.04 ± 0.001 s, pero la extensión menos intensa es de tres a cuatro veces mayor (0.14 ± 0.004).

Tabla III. Resultados de las medias y error estándar de las variables físicas de las vocalizaciones de kek grabadas de 18 individuos en ambos sitios. F* es la frecuencia del armónico más agudo, nA es el número de armónicos, nS es el número de sílabas, t1 es la duración de las sílabas, t2 es la duración de los períodos inter-sílabas.

Variable	Media	SE	min	Max
Fomin1 Hz	888	17	700	1177
Fomin2 Hz	918	14	739	1055
Fomax Hz	4946	260	3327	7549
F* Hz	13130	1128	5505	21915
t1 s	0.04	0.001	0.035	0.05
t2 s	0.40	0.012	0.218	0.53

La frecuencia fundamental tuvo los siguientes valores: media de Fomin1 = 888 ± 17 Hz, media de Fomax = 4946 ± 260 Hz, media de Fomin2 = 918 ± 14 Hz. El promedio de la frecuencia del armónico más agudo fue $13,130 \pm 1128$ Hz (Tabla III).

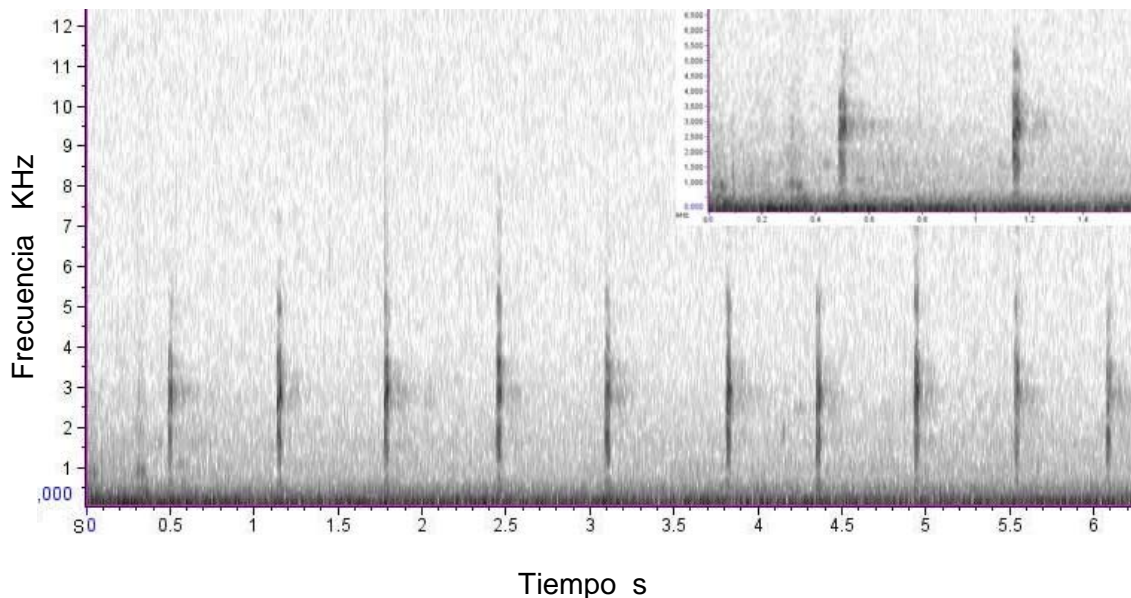


Figura 18. Sonograma de una secuencia de keks. El inserto en la parte superior derecha muestra el acercamiento de un kek.

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis de los sonogramas de los cuatro tipos de vocalizaciones se considera que los nombres apropiados para describir al kek-burr y kek-hurra son clapper-burr y clapper-hurra, respectivamente, ya que antes del burr y el hurra no hay un kek, sino un clapper (Figuras 19 y 20).

Solamente se registraron dos clapper-burr emitidas una seguida por la otra, por una hembra en el sitio sin ruido antropogénico. Cada clapper-burr estuvo compuesta por tres elementos: un clapper, una parte del burr (bu) sin separación clara de sílabas, y una segunda parte del burr (rr) con sílabas y períodos muy breves entre sílabas (Figura 19).

Tabla IV. Resultados de las medias y error estándar de las variables físicas de las 2 vocalizaciones clapper-burr grabadas de 1 individuo en el sitio sin ruido antropogénico. F* es la frecuencia del armónico más agudo, nA es el número de armónicos, nS es el número de sílabas, t1 es la duración de las sílabas, t2 es la duración de los períodos inter-sílabas.

Variable	clapper				bu			
	Media	SE	min	max	Media	SE	min	max
Fomin1 Hz	1373	41	1047	1795	1783	336	1218	2335
Fomin2 Hz	1270	31	922	1654	1642	363	914	2166
Fomax Hz	3753	28	3456	4012	3731	84	3555	3942
F* Hz	9710	115	8940	10840	9510	629	8258	11052
t1 s	0.059	0.001	0.047	0.070	0.027	0.01	0.009	0.046
t2 s	0.070	0.003	0.044	0.120	0	0.001	0	0.001

rr			
Media	SE	min	max
1429	84	609	2041
3743	40	3097	3960
8970	243	6430	9916
0.023	0.002	0.015	0.053
0.004	0.001	0	0.014

La parte de clapper del clapper-burr se diferencia de las vocalizaciones clapper en que los armónicos se presentaron claramente separados en la dimensión de la frecuencia. En las vocalizaciones clapper la separación entre armónicos fue sólo de hasta ~500 Hz (muy a menudo fue mucho menos), mientras que en la parte clapper de clapper-burr la separación entre armónicos fue hasta ~2 KHz (Figuras 16 y 19).

La parte de clapper de la primera vocalización tuvo 14 sílabas, con duración total de 1.7 s, y la de la segunda tuvo 12 con duración total de 1.55 s. La del bu tuvo siete sílabas y duró en total 0.22 s, en la primera vocalización, y tuvo ocho sílabas y duró en total 0.16 s en la segunda vocalización. La parte del rr tuvo nueve sílabas y duró en total 0.23 s, en la primera vocalización, y 12 sílabas y duró en total 0.3 s en la segunda vocalización.

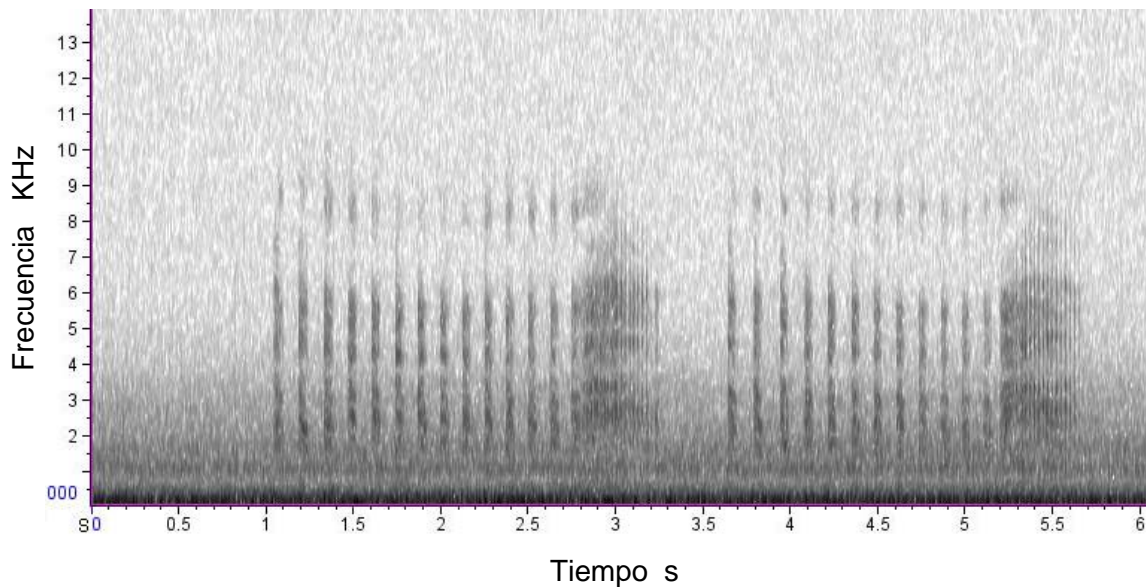


Figura 19. Sonograma de la vocalización clapper-burr.

Los valores para los tres componentes de la vocalización clapper-burr fueron: en el clapper la frecuencia fundamental $F_{\text{min1}} = 1373 \pm 41$ Hz, $F_{\text{max}} = 3753 \pm 28$ Hz, y $F_{\text{min2}} = 1270 \pm 31$ Hz. El promedio de la frecuencia del armónico más agudo fue 9710 ± 115 Hz. La duración promedio de las sílabas fue 0.059 ± 0.001 s, y la del período inter-sílaba fue 0.07 ± 0.003 s; en el bu la frecuencia fundamental $F_{\text{min1}} = 1783 \pm 84$ Hz, $F_{\text{max}} = 3731 \pm 22$ Hz, y $F_{\text{min2}} = 1641 \pm 94$ Hz. El promedio de la frecuencia del armónico más agudo fue 9510 ± 162 Hz. La duración de las sílabas promedió 0.026 ± 0.002 s, y la del período inter-sílaba fue 0.0003 ± 0.0003 s; en el rr sólo se pudo apreciar un mínimo y un máximo en la frecuencia fundamental, $F_{\text{min}} = 1428 \pm 84$ Hz y $F_{\text{max}} = 3743 \pm 40$ Hz. El promedio de la frecuencia del armónico más agudo en este segmento fue $8,569 \pm 243$ Hz. La duración de las sílabas promedió 0.023 ± 0.002 s y la del período inter-sílaba fue 0.004 ± 0.001 s (Tabla IV).

Clapper-hurra (Figura 20 y Tabla V) fue emitida mayormente por juveniles en ambos sitios de estudio. Tuvo una duración mínima de 1 s con 5 sílabas, y una duración máxima de 6 s con 33 sílabas. A diferencia del clapper, donde la duración de la frecuencia fundamental y la de los armónicos es muy similar, en el clapper-hurra la duración de la mayoría de los armónicos es mucho menor que la de la frecuencia fundamental, con una disminución drástica de la duración de la sílaba por encima de 6 KHz en promedio. Las medias de la frecuencia fundamental fueron: $F_{\text{min1}} = 1,288 \pm 47$ Hz, F_{min2}

= $1,227 \pm 32$ Hz, y $F_{\text{omax}} = 3,684 \pm 79$ Hz. El promedio de la frecuencia del armónico más agudo fue $9,254 \pm 581$ Hz. Las

Tabla V. Resultados de las medias y error estándar de las variables físicas de las vocalizaciones clapper-hurra grabadas de 8 individuos en ambos sitios. F^* es la frecuencia del armónico más agudo, nA es el número de armónicos, nS es el número de sílabas, t_1 es la duración de las sílabas en la parte de menor frecuencia, t_2 es la duración de los períodos inter-sílabas, t_3 es la duración de la vocalización.

Variable	Media	SE	min	max
Fomin1 Hz	1289	47	796	1788
Fomin2 Hz	1228	32	936	1779
Fomax Hz	3685	79	3137	4966
F^* Hz	9255	581	6461	21959
t_1 s	0.1	0.005	0.06	0.17
t_2 s	0.063	0.006	0	0.10
t_3 s	6	2	5	8

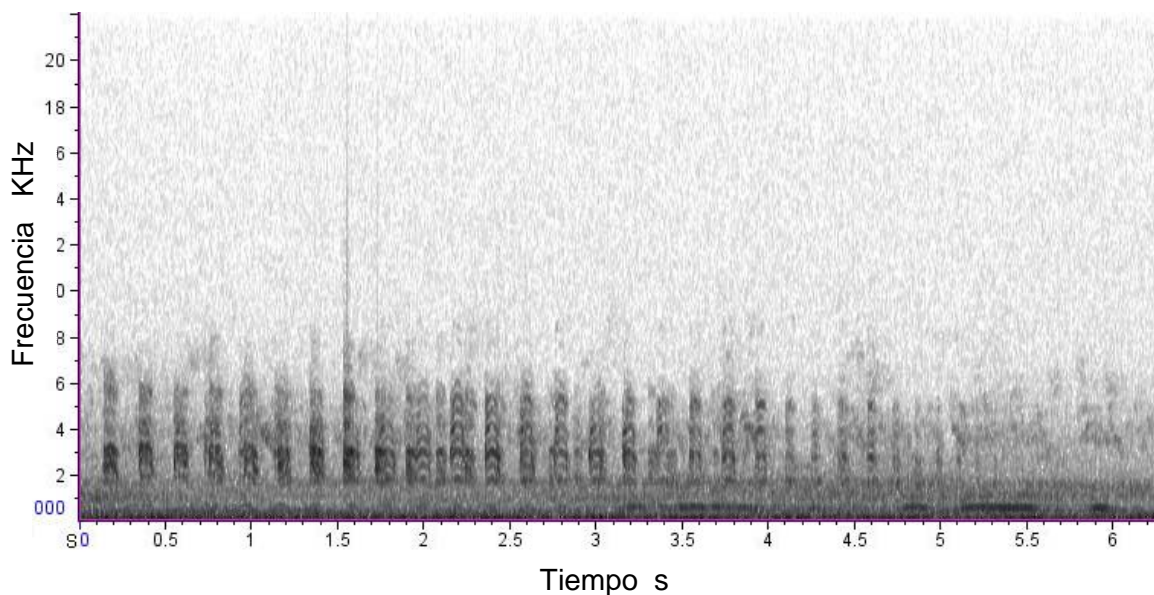


Figura 20. Sonograma de la vocalización clapper-hurra.

duraciones de las sílabas tuvieron un promedio de 0.100 ± 0.005 s en la parte grave (F_0) y un promedio de 0.010 ± 0.0001 s en la parte más aguda. El promedio de las duraciones de los períodos entre sílabas fue 0.063 ± 0.006 s para la parte grave y fue 0.25 ± 0.02 en la parte más aguda. Además de las vocalizaciones aisladas, también se grabaron antifonales (Figura 21). Un antifonal es la emisión de una segunda vocalización por otro individuo cuando

la primera todavía no termina. Un individuo iniciaba con clapper o con clapper-hurra y más tarde otro se le unía vocalizando con clapper o con clapper-hurra (todo tipo de combinación). Se identificaron en campo durante la grabación y posteriormente al escuchar las grabaciones en ocasiones repetidas

El análisis de conglomerados para las componentes de la frecuencia fundamental y la frecuencia del armónico más agudo de clapper, muestra que hay menor distancia euclidiana entre Fomin1 y Fomin2 del mismo sitio, que cada una de ellas entre sitios; hay más cercanía entre los componentes mínimos de ambos

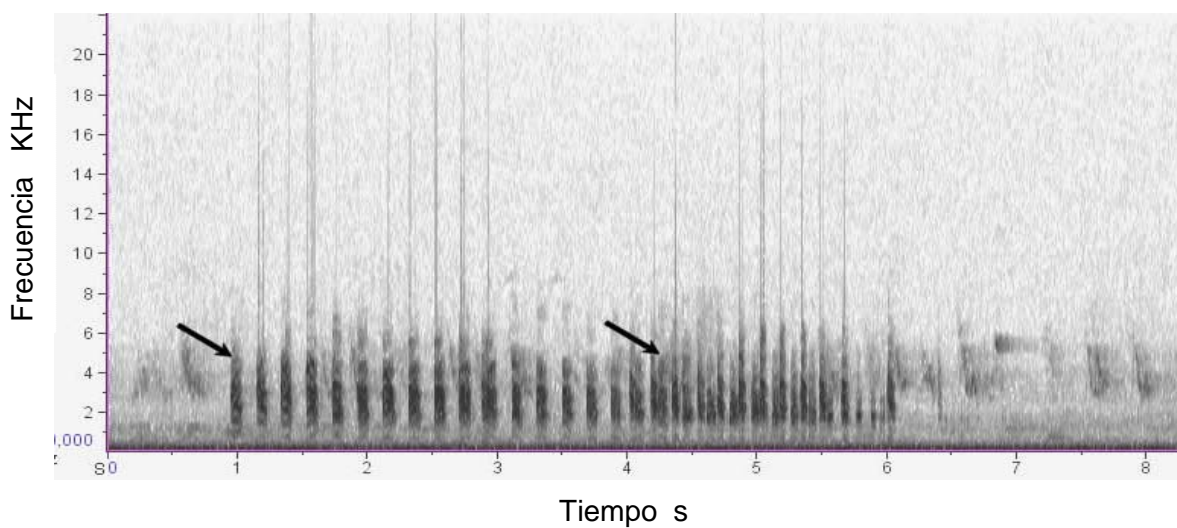


Figura 21. Sonograma de vocalización con dueto antifonal. La flecha de la izquierda indica el primer individuo y la flecha de la derecha indica el inicio del 2º individuo.

sitios que con Fomax; y hay menor distancia euclidiana entre los componentes de la frecuencia fundamental que con el armónico más agudo, lo cual era de esperarse (Figura 22).

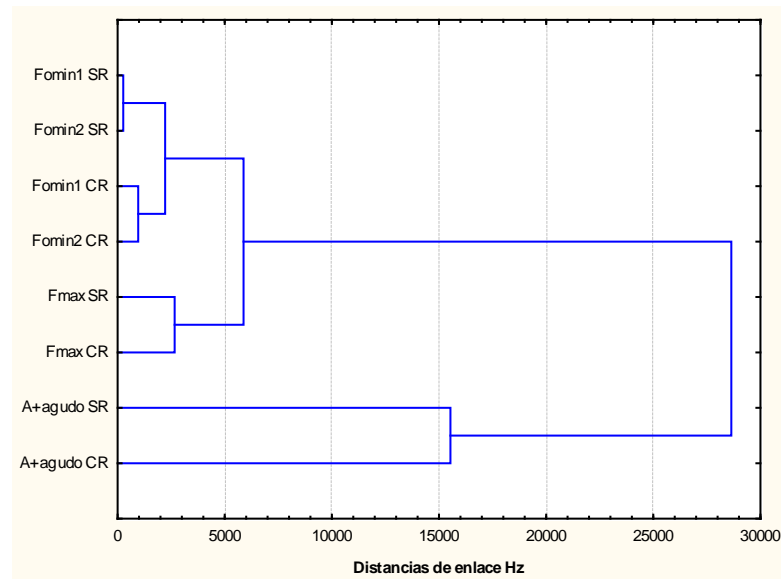


Figura 22. Análisis de conglomerados de las variables de frecuencia de clapper en el sitio con ruido antropogénico (CR) y el sitio sin ruido (SR).

III.3 Efecto del ruido antropogénico en las vocalizaciones

El análisis comparativo entre sitios se realizó exclusivamente con los clapper, debido a que se pudieron grabar este tipo de vocalizaciones de 56 individuos, 36 en el sitio sin ruido y 20 en el sitio con ruido antropogénico. Los números de kek, clapper-burr y clapper-hurra no permiten suficientes grados de libertad para un análisis estadístico apropiado.

No hay diferencias significativas de ninguna de las medias de las variables medidas cuando se comparan ambos sitios. Las estimaciones de intervalo de las medias se traslapan (Tabla VI). La prueba *t* de student confirma este resultado (Tabla VII, $p > 0.05$ en todos los casos). Con los datos con que se cuenta no se pueden rechazar las hipótesis nulas. La prueba *t* para las duraciones de sílabas y de períodos inter-sílaba dio como resultado que las variancias de un sitio son diferentes a las del otro sitio ($p = 0.004$ para la duración de sílaba, y $p = 0.026$ para el período inter-sílaba), por lo que se aplicó una prueba Tukey y el resultado fue que no hay diferencias significativas entre sitios para las medias de estas variables.

Tabla VI. Resultados de las medias y error estándar de las variables de clapper para los 56 individuos en ambos sitios de estudio.

Variables	Sitio sin ruido N= 36	Error Estandar	Sitio con ruido N=20	Error Estandar
Fomin1	1426	66	1352	83
Fomax	2764	90	2631	135
Fomin2	1341	65	1326	108
No. Armónicos	5	0.4	5	0.6
A+agudo	7244	498	8722	754
Dur. Sílabas	0.095	0.003	0.090	0.006
Dur. Intersílabas	0.046	0.003	0.052	0.007

Tabla VII. Resultados de la prueba t de Student entre variables de clapper para ambos sitios. Grupo 1 SR, sin ruido; Grupo 2 CR, con ruido antropogénico ($n_{SR} = 36$, $n_{CR} = 20$).

Grupo 1	Grupo 2	Media Grupo 1	Media Grupo 2	t $\alpha/2$	p
Fomin1 SR vs. Fomin1 CR		1426	1352	0.69	0.49
Fmax SR vs. Fmax CR		2764	2631	0.84	0.40
Fomin2 SR vs. Fomin2 CR		1341	1326	0.12	0.90
No. armónicos SR vs. No. armónicos CR		4	5	-1.93	0.06
A+agudo SR vs. A+agudo CR		7244	8722	-1.70	0.10

III.4 Comparación de las vocalizaciones de *R. l. levipes* con las de otras especies del estero

Las aves canoras del estero emitieron cantos al atardecer en horario de 17:00 a 19:00, y *R. l. levipes* lo hizo más crepuscularmente (después de las 19:00 horas), con un lapso de 20 minutos previos al anochecer. En cuanto a la frecuencia, por ejemplo, el par de polluelos del sastrecito común (*Psaltiriparus minimus*) se ubicó en las frecuencias de 4500 a 5800 Hz (Figura 23), y los chirridos de grillos (*Acheta domesticus*) con frecuencias de 3400 a 4300 Hz

(Figura 24); ambos más agudos que la vocalización que *R. l. levipes* emitió al mismo tiempo que ellos.

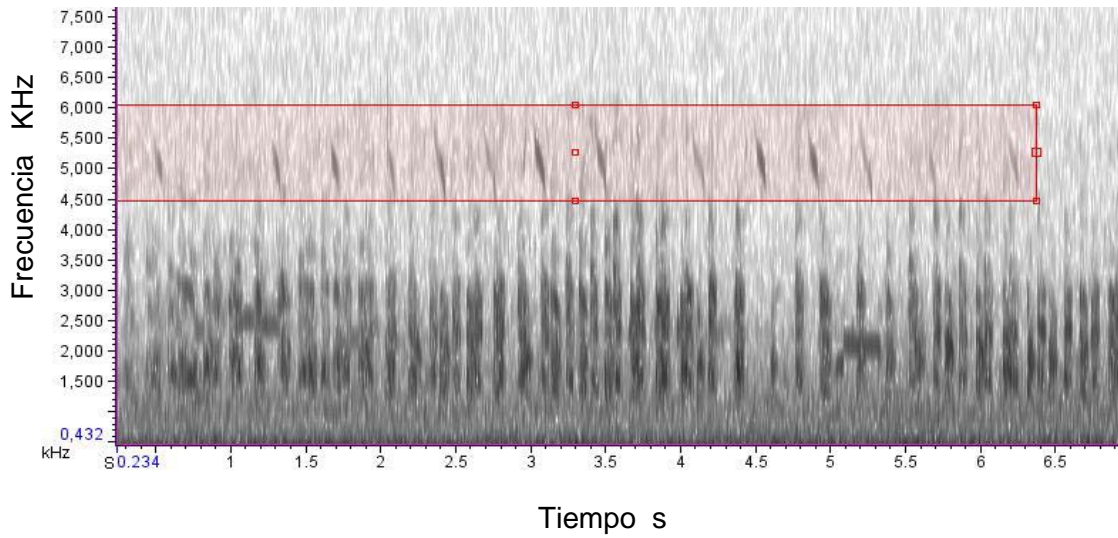


Figura 23. Sonograma de clapper de *R. l. levipes* en las frecuencias de los 650 a 4500 Hz. En el recuadro se señala el par de un polluelo de sastrecito común (*Psaltriparus minimus*) en frecuencias más agudas.

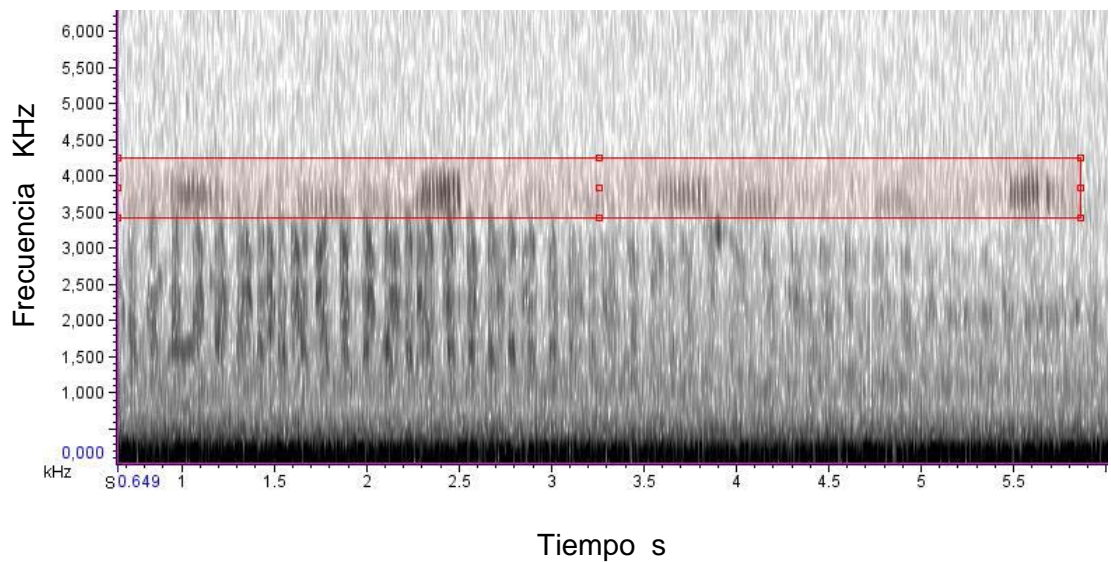


Figura 24. Sonograma de clapper de *R. l. levipes* en las frecuencias de 1000 a 3550 Hz. En el recuadro se señala el chirrido de grillos (*Acheta domesticus*) al anochecer, de 3500 a 4300 Hz.

IV. Discusión

La distancia entre el equipo de grabación y el ave emisora de sonidos es importante, debido a la intensidad y claridad de las marcas en los sonogramas. En unos 25 casos, las vocalizaciones fueron grabadas a una distancia de aproximadamente un km a un km y medio (Figura 13), sin embargo los sonogramas resultantes fueron de una calidad aceptable que permitió la lectura de los valores de las variables consideradas.

La variación del número de vocalizaciones con el paso de los meses mostró un comportamiento diferente al reportado por Zembal y Massey (1987) para humedales del sur de California. En el Estero de Punta Banda no se presentaron vocalizaciones en marzo y julio, el máximo de eventos ocurrió en agosto, con relativamente pocas vocalizaciones en abril-junio (Figura 15). Aparentemente el mayor número de vocalizaciones en agosto se debió a la presencia de juveniles. Es posible que la variación interanual de las poblaciones de *R. l. levipes* en el Estero de Punta Banda sea elevada, ya que las vocalizaciones registradas en 2010 fueron relativamente poco numerosas y los censos realizados por González-Guzmán (2007) en 2003 y por Erickson *et al.* (2002) en 2002 tuvieron resultados muy diferentes. Sin embargo, esta investigación no se diseñó para estudiar la variación temporal de la abundancia de *R. l. levipes*, ni la de la emisión de sus vocalizaciones. Las condiciones topográficas, físicas, químicas y de abundancia de alimento para ambos sitios no fueron evaluadas, factores que seguramente están incidiendo en la abundancia relativa de la gallineta de marisma en ambos sitios de estudio. La temperatura del agua y del aire en el estero a lo largo del muestreo (marzo a agosto) podría dar una indicación sobre la variación temporal del número de vocalizaciones, por su posible relación con procesos biológicos como la reproducción. Sin embargo, su variación no tuvo correlación con el número de vocalizaciones de *R. l. levipes*. La variación de temperatura entre las 17:00 y las 20:00 horas en un día en particular, fue mayor que entre marzo y agosto, en ambos sitios (Figuras 7, 8 y 15).

En esta investigación se grabaron 44 individuos emitiendo 100 vocalizaciones en el sitio sin ruido antropogénico y 31 individuos con 41

vocalizaciones en el sitio con ruido antropogénico. Bayne *et al.* (2008) reportaron los efectos de las actividades humanas en los bosques de Alberta, Canadá, comparando un sitio con ruido antropogénico con otro sin ruido antrópico y concluyeron que los sitios silenciosos tenían una densidad total de paserinos igual a 1.5 veces la de las áreas cercanas a sitios con ruido antropogénico. Posiblemente en el Estero de Punta Banda la observación de una mayor cantidad de gallinetas de marisma en el sitio sin ruido antropogénico se debió a la ausencia de la perturbación por este tipo de ruido, pero de nuevo este trabajo no se diseñó para analizar las abundancias de esta sub-especie.

Los sonogramas del ruido del Estero de Punta Banda mostraron lo que ya se ha descrito (Slabbekoorn y Peet, 2003; Slabbekoorn y Ripmeester, 2007; Barber *et al.*, 2010). El ruido se muestra como una banda ancha, generalmente con más alta intensidad en las frecuencias graves donde no hay muchas variaciones ni riqueza acústica. Es una mezcla compleja de sonidos puros distintos (Barber *et al.*, 2010; Brumm y Slabbekoorn, 2005). Los sonogramas de los dos sitios del Estero son claramente diferentes. El del sitio con ruido antropogénico muestra una mayor riqueza acústica en las frecuencias medias y altas, por la presencia de todo tipo de automotores y otros elementos que no se presentaron en el sitio sin ruido (Figuras 10 y 11).

En las aves es impreciso definir una frecuencia fundamental (F_0) pura, como en música, ya que las sílabas no suelen contener tonos puros, sino que cada marca del sonograma se extiende por más de una frecuencia. Por esta razón, en algunos casos, se hace referencia a una banda de frecuencia, o bien se refieren a los límites bajo y alto de la frecuencia o tono de F_0 y de los armónicos (Brumm y Slabbekoorn, 2005). En este trabajo el determinar los mínimos de F_0 fue relativamente sencillo, y para el máximo de F_0 y los armónicos se decidió escoger la frecuencia de mayor intensidad dentro de la marca del sonograma, como ya se explicó con anterioridad.

Contrario a la percepción directa de las vocalizaciones de *R. l. levipes*, los sonogramas permiten apreciar la riqueza acústica que tiene esta subespecie. Aunque la caracterización física de las vocalizaciones de esta subespecie se puede considerar preliminar, se aprecia con claridad, por ejemplo, que el clapper no es simplemente la repetición de un kek, sino que tiene una estructura acústica muy diferente, como se describió en la sección de

resultados (Figuras 17 y 18). Esto fue descrito para la especie por Eddleman y Conway (1998), aunque de una manera onomatopéyica. Ellos describieron que *Rallus longirostris* tiene un repertorio grande y variado de vocalizaciones, aunque muchas son sutiles y se oyen en muy raras ocasiones.

Aunque el muestreo no se diseñó para probar estrategias de comportamiento de *R. l. levipes* para enfrentar la presencia del ruido antropogénico, se observó que pareciera que la gallineta de marisma a menudo implementa una estrategia de silencio en presencia del ruido antrópico. Esto también se manifiesta claramente en la mayoría de los sonogramas de las vocalizaciones de ambos sitios, en los que no se aprecian ruidos fuertes que hubiesen enmascarado la vocalización. Sólo hubieron cinco vocalizaciones grabadas que fueron simultáneas al ruido de automotores y otros tipos de ruido antropogénico (niños jugando, gente hablando, música y altoparlantes), de un total de 46. Si se consideran sólo los individuos que fueron grabados, se puede intentar una primera aproximación a la prueba de la hipótesis de que en el sitio con ruido la gallineta de marisma tiende a quedarse callada cuando ocurren ruidos fuertes. Se compararon las medias del número de vocalizaciones que emitió cada individuo, para cada sitio. En el sitio sin ruido 45 individuos emitieron 100 vocalizaciones, con una media de 2.22 ± 0.36 por individuo; en el sitio con ruido 31 individuos emitieron 46 vocalizaciones, con una media de 1.48 ± 0.14 por individuo. La prueba de Tukey resultó en que estas medias no son significativas, por lo que no se puede concluir sobre una estrategia de silencio de *R. l. levipes* en presencia de ruidos fuertes en el estero. Esta estrategia de silencio en presencia de ruidos fuertes fue reportada por Barber *et al.* (2010) para aves terrestres, quien expresó que podría estar teniendo como consecuencia una disminución en la comunicación que impactaría la formación de parejas.

Los datos de este estudio indican que el ruido antropogénico no produce variación de los parámetros físicos acústicos de *R. l. levipes* presente en ambos sitios del Estero de Punta Banda (no se pudieron rechazar las hipótesis nulas). Con los ruidos antropogénicos presentes en la zona cercana a la carretera, *R. l. levipes* aun puede vivir y reproducirse. No ha implementado una estrategia con cambios físicos de sus vocalizaciones como se ha reportado para aves canoras de las grandes ciudades (Bermúdez-Cuamatzin *et al.*, 2009,

Barber *et al.*, 2010; Patricelli y Blickley, 2006; Bayne *et al.*, 2008). En investigaciones realizadas en ciudades grandes, los ambientes comparados han tenido niveles de ruido mucho más contrastados que en los sitios elegidos en la investigación del estero. En las grandes ciudades los ruidos antropogénicos son más constantes, día y noche. En el estero son todavía de relativa baja incidencia y con ciertos horarios, con períodos grandes sin ruido antropogénico.

Los duetos antifonales en las aves son sorprendentes debido a la constancia del tiempo de reacción entre el momento en que un individuo inicia la vocalización y el tiempo de reacción auditiva-fonética del otro (Thorpe, 1963; Baptista y Martínez, 2002). Así un dueto puede parecer la vocalización continua de una sola ave. Los duetos antifonales en las aves han sido considerados como conductas de cooperación en la defensa del territorio, también como un estímulo de un macho hacia la hembra o viceversa, o el reflejo de conflictos entre pares (Dingle y Slabbekoorn, 2010). En el caso de *R. l. levipes* del estero, el tiempo de reacción del segundo individuo fue ~3 s. Los antifonales se presentaron en menos de ~7% del total de las vocalizaciones grabadas. En el ejemplo del antifonal (Figura 21) se observa que hay un quinto tipo de vocalización que tiene características mezcladas de clapper y kek, con sílabas más duraderas en las frecuencias bajas y muy breves en las frecuencias altas. Se requieren más grabaciones para describir más apropiadamente este tipo de vocalización.

Aunque no era uno de los objetivos del presente trabajo, se observó que existe un nicho acústico en tiempo y frecuencia que ocupa *R. l. levipes*, diferente al de las aves canoras, lo que parece minimizar interferencias sonoras y traslape de frecuencias (Figuras 23 y 24). Así la gallineta de marisma parece asegurarse que su mensaje llegue al receptor de forma efectiva.

V. Conclusiones

Con los datos obtenidos en esta investigación no se pueden rechazar las hipótesis nulas. No existen diferencias significativas entre los sitios sin ruido y con ruido antropogénico de las diferentes variables acústicas de las vocalizaciones de *Rallus longirostris levipes* analizadas.

Se presenta por primera vez una caracterización de las variables acústicas de cuatro de las vocalizaciones (clapper, kek, clapper-burr y clapper-hurra) de *Rallus longirostris levipes* mediante su estadística básica (media, error estándar, mínimo y máximo).

Con base en esta caracterización se propone un cambio de nombre de las vocalizaciones kek-burr y kek-hurra a clapper-burr y clapper-hurra.

VI. Sugerencias para estudios futuros

Sería muy interesante el describir cómo un individuo induce a otro a vocalizar, es decir documentar la interacción acústica entre individuos. Posiblemente se trata de una afirmación de extensión territorial. También puede ser comunicación intra e intersexual o bien iniciación en la comunicación en el caso de juveniles que se integran al grupo social imperante.

Profundizar en las interacciones acústicas con otras especies y corroborar si efectivamente existen nichos acústicos diferentes para cada especie, o grupos de especies.

Si realmente las poblaciones de *R. I. levipes* están disminuyendo, las causas deben buscarse en otros factores diferentes al ruido antrópico. Por ejemplo, reducción de hábitat, deterioro del ambiente, contaminantes, entre otros.

En esta investigación no se pretendió la descripción física definitiva de las vocalizaciones de *R. I. levipes*. No era el objetivo de la tesis. Se requiere de un número mayor de grabaciones. De hecho aún faltan cuatro tipos más de vocalizaciones por describir, de acuerdo al listado de Eddleman y Conway (1998).

Se sugiere realizar un muestreo para realizar una caracterización más completa de los tipos de ruido antropogénico, evaluando el nivel de perturbación con respecto al tiempo de exposición a cada uno.

VII. Literatura citada

- Abraira, V. y A. Pérez de Vargas. 1996. *Métodos Multivariantes en Bioestadística*. Ed. Centro de Estudios Ramón Areces. 215 pp.
- Arch-Tirado, E., y M. Á. Collado-Corona. 2002. Análisis de vocalizaciones en cobayos recién nacidos, normoyentes y con sordera provocada en períodos de soledad. *Cirugía y Cirujanos* 70: 442-448.
- Adams, D. A. and T. L. Quay. 1958. Ecology of the Clapper Rail in southeastern North Carolina. *J. Wildl. Manag.* 22:149-156.
- Aguñiga García, S. and S. Álvarez-Borrego. 1989. Patchiness and temporal variation of ammonium and phosphate in pore waters of intertidal sediments in a coastal lagoon. *Ciencias Marinas* 15(3): 97-120.
- Álvarez-Borrego, S. y M. Acosta-Ruiz. 1974. Distribución superficial de algunos parámetros hidrológicos, físicos y químicos, en el Estero de Punta Banda, B.C., en otoño e invierno. *Ciencias Marinas* 1: 16-45.
- Baptista L. Y J. Martínez, 2002. La investigación bioacústica de las aves del Archipiélago de Revillagigedo: un reporte de avance. *Huitzil* Vol. 3 No. 2. 33-41 pags.
- Barber, J., K. Crooks and K. Fristrup. 2010. The costs of chronic noise exposure for terrestrial organisms. *Trends in Ecology and Evolution*. 25(3):180-189.
- Bayne, E. M., Habib, L. and Boutin, S. (2008). Impacts of chronic anthropogenic noise from energy-sector activity on abundance of songbirds in the boreal forest. *Conserv. Biol.* 22,1186 -1193.
- Bermúdez-Cuamatzin E., A. Ríos-Chelén, D. Gil and C. Macías-García. 2008. Strategies of song adaptation to urban noise in the house finch: syllable pitch plasticity or differential syllable use? *Behaviour* 146: 1269-1286.
- Bermúdez-Cuamatzin E., A. Ríos-Chelén, D. Gil and C. Macías-García. 2010. Experimental evidence for real-time song frequency shift in response to urban noise in a passerine bird. *Biol. Lett. Animal Behaviour* 10: 1-3.
- Baró, J. y R. Alemany. 2000. *Estadística II*. Ed. Fundació per a la Universitat Oberta de Catalunya. Barcelona. 340 pags.

- Brumm, H. and H. Slabbekoorn. 2005. Acoustic communication in noise. *Adv. Stud. Behav.* 35: 151-209.
- Camacho-Ibar, V. F., and S. Álvarez-Borrego. 1988. Nutrient concentrations in pore waters of intertidal sediments in a coastal lagoon: patchiness and temporal variations. *The Science of the Total Environment* 75: 325-339.
- Catchpole, C. K., and Slater P. J. B. 1995. Bird Song: Themes and Variations. Cambridge University Press, Cambridge. 221-240 pp.
- CONABIO, 1998. La Diversidad Biológica de México: Estudio de País, 1998. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. <http://conabioweb.conabio.gob.mx/aicas/doctos/aicas.html>
- Conway C., and J. Gibbs, 2005. Effectiveness of call-broadcast surveys for monitoring marsh birds. The American Ornithologists' Union *The Auk* 122: 26–35.
- Eddleman W. and C. Conway, 1998. Clapper rail. The Birds of North America, No. 340 1-32 pp.
- Erickson, R. A., Hamilton, R. A., Palacios, E., y R. Carmona. 2002. The Spring Migration. Baja California Peninsula. *North American Birds* 56: 360-362.
- Escofet, A., D. H. Loya Salinas y J. I. Arredondo. 1988. El Estero de Punta Banda como hábitat de la avifauna. *Ciencias Marinas* 14: 73–100.
- Falch, E. 1997 Guía ambiental: manejo del problema de ruido en la industria minera. Ministerio de Energía y Minas, República del Perú Dirección General de Asuntos Ambientales. Lima 98 pags.
- Fernández-Juricic, E., R. Poston, C. De Collibus, T. Morgan, B. Bastain, C. Martin, K. Jones y R. Treminio. 2005. Microhabitat selection and singing behaviour patterns of male house finches (*Carpodacus mexicanus*) in urban parks in a heavily urbanized landscape in the western U. S. *Urban Habitats* 3: 49–69.
- Fisher, J., Cheney, D.L. y Seyfarth, R. M. 2000. Development of infant baboons' responses to grades bark variants. *Proceedings of the Royal Society of London*, 267, 2317-2321.
- Foin, T. C. y J. L. Benchley-Jackson. 1991. Simulation model evaluation of potential recovery of endangered Light-footed Clapper Rail populations. *Biol. Cons.* 58: 123-148.

- Galindo-Bect, M. S., L. Galindo-Bect, J. Hernández-Ayón, F. Ley-Lou y S. Álvarez-Borrego. 1999. The effect of El Niño on the nutrients and total organic carbon of a coastal lagoon of northwestern Baja California. *Ciencias Marinas* 25: 225-237.
- Gallego H. y Orozco H. 2004 Diseño y construcción de un audiómetro computarizado. *Scientia et Technica Año X*, 24: 52-54.
- Gallego Ortiz c., J. Vélez, C. Zapata Vanegas y J. Marín Correa. 2007. Virtual Ear: Diseño y construcción de un audiómetro virtual. *Ingeniería Biomédica* 1: 52-54.
- González, H. 2001. Conductas de gregarismo y vocalización de la cotorra cubana (*Amazona leucocephala*). *Ornitología Neotropical* 12: 141-152.
- González-Guzmán, S. 2007. Estrategia de manejo y conservación de la gallineta de marisma (*Rallus longirostris levipes*) en el Estero de Punta Banda, Baja California, México. Tesis de Maestría, UABC, Ensenada, 60 pags.
- Hauser, M.D. 1992. Articulatory and social factors influence the acoustic structure of rhesus monkey vocalizations: A learned mode of production? *Journal of Acoustical Society of America* 91: 2175-2179.
- Hulbert, S.H. 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs* 54: 187-211.
- Jiménez Pérez, L., H. De la cueva, F. Molina–Peralta y A. Estrada–Ramírez. 2009. Avifauna del Estero de Punta Banda, Baja California, México. *Acta Zool. Mex.* 25: 1-21.
- Lewis, B. 1983. Bioacoustics. A comparative approach. London and New York *Academic Press* 233-260 pp.
- Llebot, J., C. Sellares, M. Fontcuberta. 2001. *Ecotropía. actualidad, recursos e información científica ambiental*. Barcelona, Rubes Editorial. 450 pags.
- Marco J. L. M. 2006. Audiometría tonal liminar: exploraciones previas y vía aérea. Centro Nacional de Condiciones de trabajo, Madrid. 3 pags.
- Márquez, R. 1997. Competencia e interacciones acústicas en *Alytes obstetricans* y *Alytes cisternasii*, implicaciones en la selección de pareja. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid. 174 pags.

- Martín, M. 2006 Aspectos lingüísticos en las vocalizaciones de los primates. *Anuario de Psicología* 37: 121-139.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001, Protección ambiental - Especies nativas de México de flora y fauna silvestres - Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - Lista de especies en riesgo.
- Patricelli Gail, L. y L. B. Jessica. 2006. Overview: Avian communication in urban noise: the causes and consequences of vocal adjustment. *The Auk* 123: 639-649.
- Pritchard, D. W., R. De La Paz-Vela, H. Cabrera-Muro, S. Farreras-Sanz y E. Morales. 1978. Hidrografía física del Estero de Punta Banda. Parte I. Análisis de datos. *Ciencias Marinas* 5(2): 1-23.
- Pro Esteros, A. C. 2002. Propuesta para la creación de la Reserva Estatal "Estero de Punta Banda", Baja California. 15 pags.
- Rempel, R. S., K A. Hobson, G. Holborn, S. L. Van Wilgenburg y J. Elliot. 2005. Bioacoustic monitoring of forest songbirds: interpreter variability and effects of configuration and digital processing methods in the laboratory. *J. Field Ornithol.* 76: 1-11.
- Ryan, M. J. y E. Breanovizt. 1985. The role of body size, phylogeny, and ambient noise in the evolution of bird song. *American Naturalist* 126: 87-100.
- Ríos-Chelén, A. 2009. Bird song: the interplay between urban noise and sexual selection. *Oecol. Bras.* 13: 153-164.
- Ríos-Chelén, A. y C. Macías-García. 2007. Cantando se entienden las aves. *¿Cómo ves?* 53: 30-33.
- Schafer, R. M. 1969. El nuevo paisaje sonoro. Ricordi, Buenos Aires. 120 pags.
- Seyfarth R. M. and D. L. Cheney. 1986. Vocal development in vervet monkeys. *Animal Behaviour* 34: 1640-1658.
- Slabbekoorn, H. and M. Peet. 2003. Birds sing at a higher pitch in urban noise. *Nature* 424: 267.

- Slabbekoorn, H. and A. P. Ripmeester. 2007. Birdsong and anthropogenic noise: implications and applications for conservation. *Molecular Ecology* doi: 10.1111/j.1365-294X.2007.03487.x.
- Dingle, C. and H. Slabbekoorn. 2010. What's love got to do with it? – Conflict and cooperation in duets of the gray-breasted wood-wren (*Henicorhina leucophrys*). P. 23 In: Collection of abstracts of the 13th Congress of the International Society for Behavioral Ecology 2010 ISBE. The Centre for Evolutionary Biology at the University of Western Australia. Perth, Western Australia.
- Steel, R. G. y J. H. Torrie. 1986. *Bioestadística: Principios y Procedimientos*. Mc Graw-Hill, Bogotá. 622 pags.
- Soto-Balderas, M. y S. Álvarez- Borrego. 1991. Inorganic nutrients in the inundation channels of tidal marshes of a coastal lagoon of northwestern Baja California. *Ciencias Marinas* 17(3): 1-20.
- Terres, J. 1991. The Audubon Society Encyclopedia of North American Birds. Wings Books. New York. 979 pags.
- Thorpe, W. H. 1963. Antiphonal singing in birds as an evidence for avian auditory reaction time. *Nature* 197: 774-776.
- Tubaro, P. L. 1999. Bioacústica aplicada a la sistemática, conservación y manejo de poblaciones naturales de aves. *Etología* 7:19-32
- Zar, J. H. 1996. *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. 662 pags.
- Zemba, R. y B. Massey. 1987. Seasonality of vocalizations by light-footed clapper rails. *J. Field Ornithol.* 58: 41-48.