UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Carrera de Ciencias Biológicas

*“*Estabilidad y cambios a través del tiempo de los dialectos del chingolo (*Zonotrichia capensis*) a lo largo de un gradiente ambiental.*”*

Tesis de licenciatura presentada para optar por el título de Licenciada en Ciencias Biológicas

Autora: Brenda Lorena Poledri Tiriduzzi

Director: Dr. Pablo L. Tubaro

Lugar de trabajo: División Ornitología, Museo Argentino de Ciencias Naturales “Bernardino Rivadavia” (MACN CONICET).

Junio, 2025

Índice **Págs.**

Agradecimientos 3

Resumen 4

Abstract 5

1. Introducción 6

2. Objetivos principales e hipótesis 9

3. Materiales y métodos 10

3.1. Área de estudio 10

3.2. Trabajo de campo 11

3.3. Análisis espectrográfico 12

3.4. Perfiles de ruido ambiental 13

3.5. Análisis estadístico 14

4. Resultados 15

4.1 Patrones de variación del canto 15

4.2 Perfiles de ruido ambiental 24

5. Discusión 28

5.1 Patrones de variación geográfica y temporal del canto 29

5.2 Características acústicas del ambiente y su posible relación con la estructura del canto 31

6 Conclusiones 33

7. Bibliografía 34

8. Anexos 38

Agradecimientos

Quiero expresar mi profundo agradecimiento al Dr. Pablo L. Tubaro, quien confió en mí desde etapas muy tempranas de mi carrera. Gracias a su generosidad y confianza, tuve la oportunidad de integrarme a su equipo de trabajo, un paso fundamental en mi formación. Durante todo este tiempo, su guía, orientación y paciencia fueron esenciales para que pudiera aprender y desarrollarme en este campo desde cero y encontrar mi camino en la ornitología y la investigación.

También quiero agradecer a Darío Lijtmaer, no sólo por su acompañamiento constante y su orientación, sino también por su participación en distintas etapas de esta tesis.

A Natalia García, le agradezco su colaboración con los datos y su análisis. Y por su presencia durante distintas instancias del trabajo de investigación.

Agradezco al Museo Argentino de Ciencias Naturales “Bernardino Rivadavia” y a la fundación Elsa Shaw de Pearson por facilitar el trabajo en la reserva de la estancia “El Destino”, el mismo se llevó a cabo también con la autorización de Áreas Protegidas, OPDS, Ministerio de Ambiente de la Provincia de Buenos Aires. Este estudio se llevó a cabo con el financiamiento de la Richard Lounsbery Foundation.

A mi familia, gracias por estar siempre. En especial a mi abuela y a mi pareja, por acompañarme en todo momento a lo largo de la carrera. Su apoyo emocional, su presencia constante y su ayuda económica fueron fundamentales para que pudiera sostenerme y dedicarme plenamente a mis estudios y formación.

Finalmente, esta tesis está dedicada a mi papá, quien me transmitió su intenso amor por la ciencia, lo cual me impulsó a elegir y a amar esta carrera. Su recuerdo sigue siendo, y será siempre, una parte esencial de mi camino.

Resumen

Los cantos de las aves son señales acústicas que se utilizan en la comunicación a distancia, ya sea tanto para la defensa territorial como para la atracción de pareja. A medida que se propagan en el ambiente, éstos se ven alterados por los efectos de la atenuación y degradación acústica y sufren también enmascaramiento por diferentes fuentes de ruido ambiental. Por lo tanto el tipo de ambiente donde se transmite el canto puede actuar como un factor de selección en su evolución. En este contexto se ha propuesto la hipótesis de adaptación acústica (HAA), según la cual los cantos de las aves presentan características que reducen los efectos de la atenuación, la degradación y el enmascaramiento, los cuales a su vez van a depender de las particularidades de los ambientes en los que son utilizados. Este es uno de los factores que podrían explicar la existencia de dialectos, es decir, variantes de canto utilizadas por diferentes poblaciones de una misma especie, así como también sus poco conocidos patrones de estabilidad y cambio a través del tiempo.

En este trabajo, investigamos los cantos del chingolo (*Zonotrichia capensis*) a lo largo de un gradiente ambiental que se extiende perpendicularmente a la costa del Río de la Plata, en Magdalena, provincia de Buenos Aires. Este gradiente incluye ambientes abiertos y cerrados (estepa y talar, respectivamente), diferenciados por la densidad de la vegetación.

Nuestra investigación analiza espectrográficamente cuatro conjuntos de grabaciones realizadas a lo largo de 36 años, entre 1987 y 2022 y un total de 648 individuos. Además, en 2022 registramos el ruido ambiental utilizando equipos programables de grabación para caracterizar los perfiles acústicos (*soundscapes*) de los ambientes presentes.

Los resultados mostraron una clína vocal en la que los chingolos del talar presentan, entre otras características, trinos más lentos (con notas más separadas temporalmente) y más graves en comparación con los de la estepa pampeana, en concordancia con las predicciones de la HAA. Este patrón se ha mantenido estable en sus características generales y posición a lo largo del período de estudio.

No obstante, observamos cambios sutiles en algunas características acústicas a través del tiempo, como una reducción en las frecuencias mínimas y una mayor lentitud en los trinos. Estos cambios direccionales podrían estar relacionados con modificaciones aún no identificadas en las propiedades acústicas de los ambientes, que podrían favorecer ciertos tipos de cantos, o bien con otros factores independientes del contexto acústico.

Abstract

Bird songs are acoustic signals used for long-distance communication, both for territorial defense and mate attraction. As they propagate through the environment, these signals are altered by the effects of acoustic attenuation and degradation, and are also subject to masking by various sources of environmental noise. Therefore, the type of environment in which the song is transmitted can act as a selective factor in its evolution. In this context, the Acoustic Adaptation Hypothesis (AAH) has been proposed, which suggests that bird songs exhibit characteristics that reduce the effects of attenuation, degradation, and masking, which in turn depend on the specific features of the environments in which they are used. This is one of the factors that may explain the existence of dialects—that is, song variants used by different populations of the same species—as well as their little-known patterns of stability and change over time.

In this study, we investigated the songs of the rufous-collared sparrow (*Zonotrichia capensis*) along an environmental gradient that runs perpendicular to the coast of the Río de la Plata, in Magdalena, Buenos Aires Province. This gradient includes open and closed habitats (steppe and “talar” woodland, respectively), differentiated by vegetation density.

Our research involved a spectrographic analysis of four sets of recordings collected over 36 years, between 1987 and 2022, encompassing a total of 648 individuals. Additionally, in 2022, we recorded ambient noise using programmable recording devices to characterize the acoustic profiles (soundscapes) of the present environments.

The results revealed a vocal cline, with sparrows from the “talar” producing, among other features, slower trills (with more temporally spaced notes) and lower-pitched sounds compared to those from the Pampas steppe, in accordance with the predictions of the AAH. This pattern remained stable in its general characteristics and spatial position throughout the study period.

However, we observed subtle changes in some acoustic traits over time, such as a reduction in minimum frequencies and slower trill rates. These directional changes could be related to as-yet-unidentified modifications in the acoustic properties of the environments, which may favor certain types of songs, or they could be driven by other factors independent of the acoustic context.

1. Introducción

Los cantos de las aves son señales acústicas utilizadas para la comunicación a larga distancia, principalmente en el contexto de la defensa territorial y la atracción de pareja (Catchpole & Slater 2008). Muchas especies de aves presentan además variaciones geográficas en sus cantos, que (por analogía con las variaciones del lenguaje humano) reciben el nombre de dialectos.

Cómo se originan estas variaciones y qué factores afectan su estabilidad y cambios a lo largo del tiempo y el espacio ha motivado un gran interés en el campo de la ornitología. Una posible explicación es la denominada “Hipótesis de Adaptación Acústica” (HAA) según la cual las estructuras de los cantos de cada dialecto son aquellas que minimizan los efectos de la degradación y atenuación acústica en cada tipo particular de ambiente (Morton 1975).

Una vez que son emitidas, las señales acústicas son modificadas por el ambiente a medida que se propagan, lo que determina en última instancia su “Espacio Activo” (EA), es decir el volumen en torno al emisor dentro del cual la señal se encuentra por encima del umbral de detección y reconocimiento de un receptor potencial. Por un lado las señales se atenúan (pierden amplitud) por expansión esférica y otros procesos dependientes de la frecuencia, y se degradan (distorsionan) en su estructura como consecuencia de la acumulación de ecos y fluctuaciones irregulares de la amplitud (Wiley & Richards 1978, Richards & Wiley 1980). Como los ambientes difieren en sus propiedades acústicas, en particular aquellas que afectan a la atenuación y a la degradación de los sonidos, se espera que las vocalizaciones que emplean los organismos para comunicarse a distancia varíen entre ambientes, de manera tal de minimizar estos efectos que restringen su EA. Esta es en pocas palabras la base de la HAA.

A lo largo del último medio siglo se han encontrado evidencias a favor y en contra de la HAA (ver revisiones de Blumstein & Turner 2005, Boncaraglio & Saino 2007, Barker 2008, Ey & Fischer 2009, Hardt & Benedict 2020, Mikula et al. 2021), por lo que aún se discute la generalidad de esta explicación para dar cuenta de los patrones de variación del canto de las aves. Un aspecto que podría explicar esta diversidad de resultados tiene que ver con que su evaluación ha sido hecha teniendo en cuenta sólo la resistencia de las señales a la atenuación y la degradación, sin incorporar el problema del ruido y cómo éste afecta al receptor (Brumm & Zollinger 2013, Wiley 2015, Francis et al. 2023). Los ambientes naturales son intrínsecamente “ruidosos”, ya sea por la presencia de sonidos naturales tales como las

señales acusticas producidas por otras especies (biofonía), el ruido del viento, la lluvia o el agua en movimiento (geofonía), así como también por aquellos sonidos generados por la actividad humana (antrofonía). Estos sonidos también reducen el Espacio Activo de la señal, ya que generan un "enmascaramiento acústico" que eleva el umbral de detección de la misma por parte del receptor (Klump 1996, Goldstein 2010, Dooling & Blumenrath 2013, Luther & Gentry 2013).

El chingolo (*Zonotrichia capensis*) es probablemente el mejor ejemplo conocido de una especie que posee dialectos de canto cuya distribución y estructura acústica está asociada a la variación ambiental. Esta especie está ampliamente distribuida desde el sur de México hasta Tierra del Fuego, ocupando casi todos los ambientes (excepto el interior de las selvas) entre el nivel del mar y los 4500 m de altitud. Posee un canto simple y tonal compuesto por una introducción o "tema" integrado por un número variable de notas silbadas, seguido por un trino consistente en la repetición más o menos rápida de una nota descendente en frecuencia. El tema varía entre individuos de una misma población, pero las características del trino, particularmente la separación temporal entre notas conocida como intervalo de trino (IT), es relativamente constante en una zona pero varía entre ambientes dando lugar a un complejo sistema de dialectos (Nottebohm 1969, 1975, Handford 1981, Handford & Lougheed 1991, Tubaro et al. 1993)(Fig. 1). Las características del canto (y los dialectos) de esta especie son resultado de un proceso de aprendizaje por imitación (Egli 1971, Tubaro et al. 1997). Esto se ha estudiado en profundidad en el chingolo de corona blanca (*Zonotrichia leucophrys*) desde hace más de medio siglo (Marler & Tamura 1964, Marler 1970), habiéndose demostrado que los pichones copian los modelos de canto adulto que escuchan durante un período sensible y que luego de un período de práctica y ajuste (período sensoriomotor) cristalizarán en una vocalización que será usada de por vida.

Volviendo a los dialectos, se ha observado que los cantos de los chingolos de ambientes cerrados poseen un IT mayor que en áreas abiertas (Nottebohm 1969, 1975, Handford 1981, Handford & Lougheed 1991, Tubaro et al. 1993), pero se han visto excepciones (Nottebohm 1975, Handford 1988, Tubaro & Segura 1994, Lijtmaer & Tubaro 2007). Por un lado esto evitaría que la acumulación de ecos que típicamente se produce cuando el sonido rebota sobre las heterogeneidades estacionarias del ambiente (como ramas y hojas) presentes en ambientes boscosos oblitere la estructura temporal del canto, fusionando el final de una nota con el comienzo de la siguiente. Por el otro, en ambientes abiertos y debido a las fluctuaciones aleatorias de amplitud producidas por las heterogeneidades móviles presentes (celdas de aire con diferentes valores de humedad y temperatura movidas por el viento), se favorecerían los IT menores que permitirían la transmisión de "paquetes" completos de notas

preservando su estructura. En otras palabras, el patrón de variación en la estructura temporal de los dialectos del chingolo generalmente concuerda con las predicciones acústicas de la HAA. Asimismo, se ha observado que los dialectos de zonas cerradas, además de tener trinos con mayores valores de IT, poseen también menores frecuencias mínimas y en consecuencia mayores anchos de banda que los de zonas abiertas, lo que en principio no se correspondería con las predicciones de la HAA ya que los sonidos de baja frecuencia son los que sufren menor atenuación cuando son emitidos a más de un metro de altura del piso en cualquier tipo de ambiente.

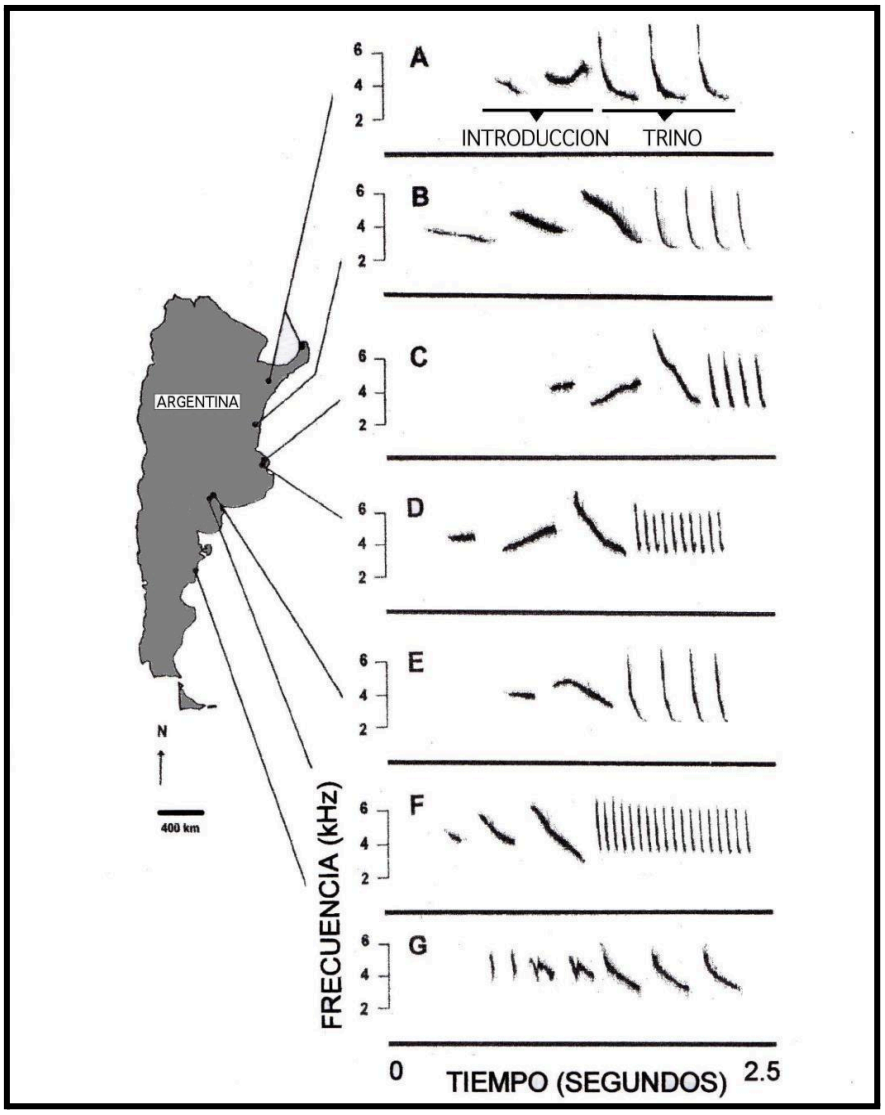


Fig. 1. Ejemplos de variación del canto del chingolo en el este de Argentina. Particularmente notorias son las diferencias en la separación de las notas del trino, que es la característica que en esta especie define los dialectos.

Si bien existen numerosos estudios que ilustran patrones de variación geográfica del canto y dialectos en muchas especies de aves (Mundinger 1982), muy pocos incluyen muestreos extensos a través del tiempo que permitan evaluar la estabilidad espacial y temporal de estos patrones, así como los posibles mecanismos que pueden estar involucrados en su generación, mantenimiento y cambio (Williams 2021). Justamente por estos motivos decidimos realizar un estudio con una elevada densidad de muestreo de una población de chingolos que viene siendo estudiada desde mediados de la década de 1980 (Tubaro 1990, Tubaro et al. 1993, Kopuchian et al. 2004, García et al. 2015), a los efectos de avanzar en el conocimiento de las características y dinámicas de evolución del canto en esta especie.

2. Objetivos principales e hipótesis

Este estudio se centró en el análisis de las variaciones en los cantos del chingolo en el espacio y el tiempo, en el marco de la HAA.

Para ello se plantearon como objetivos principales del estudio:

1) Evaluar la variación en las características del canto del chingolo en relación con la estructura del hábitat, comparando los dialectos presentes en ambientes cerrados (talar) y abiertos (estepa).
2) Analizar estos patrones de canto a lo largo de 34 años, identificando sus cambios, así como las características que se mantuvieron constantes.
3) Estudiar los perfiles de ruido ambiental en los diferentes hábitats para explorar una posible relación con la estructura acústica de los dialectos.

En este contexto, las hipótesis del presente estudio son:

H1) Las características del canto de los chingolos varían de forma adaptativa según la estructura del hábitat, siendo diferentes en ambientes cerrados (talar) en comparación con ambientes más abiertos (estepa).

H2) Los patrones de canto de los chingolos se mantienen esencialmente estables a lo largo del tiempo (dado que los ambientes se han conservado).

H3) Los perfiles de ruido ambiental en hábitats abiertos y cerrados difieren, sugiriendo que las características del ruido ambiental podrían influir en la estructura de los cantos de los chingolos.

3.Materiales y métodos

3.1. Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la reserva natural privada “El Destino”, ubicada en la localidad de Magdalena, en la región costera noreste de la provincia de Buenos Aires, Argentina (coordenadas: 35°05'S, 57°31'W). Dentro de esta reserva se encuentran dos ambientes principales, el Talar, y la Estepa (Fig. 2). El talar es un ambiente cerrado que conforma una faja paralela al Río de la Plata que se extiende entre los 0.5 y los 2.5 km a partir de la costa. Las especies arbóreas características incluyen entre otras al *Celtis tala* (fam. Ulmaceae), *Scutia buxifolia* (fam. Rhamnaceae), *Jodina rhombifolia* (fam. Santalaceae) y *Acacia caven* (fam. Leguminosae). La estepa en cambio es una pradera abierta herbácea casi sin árboles (excepto algunas plantaciones de *Eucaliptus* sp. y algunos pocos *Celtis tala* aislados que se extiende más allá de los 2.5 km de la costa. Las especies hebáceas dominantes pertenecen a los géneros *Stipa*, *Cynara*, *Diodia*, *Distichlis* y *Eryngium*. (Cabrera 1949, Parodi 1940, Vervoorst 1967, Leon et al. 1979). Cabe destacar que estos ambientes, especialmente el Talar no es completamente uniforme, ya que la densidad de la vegetación varía gradualmente, alternando fajas boscosas con sectores herbáceos progresivamente más anchos a medida que nos acercamos a la Estepa, conformando un verdadero ecotono que se desarrolla a lo largo de una escala geográfica muy reducida. En total, desde la costa del Río de la Plata hasta el interior de la Estepa, el área de estudio abarca una superficie aproximada de 7 km^2.

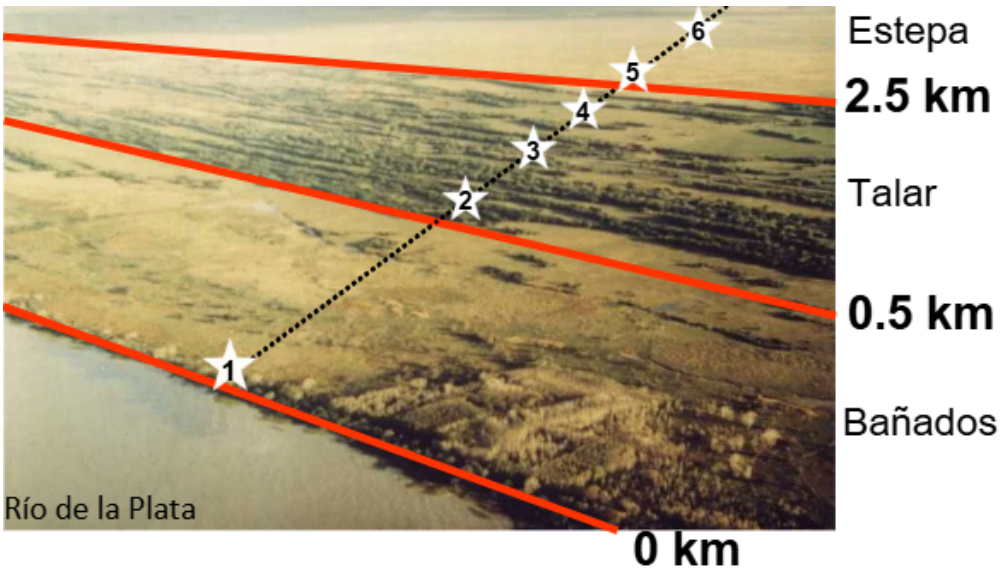


Fig. 2. Vista Panorámica del área de estudio (Estancia El Destino, Partido de Magdalena, Pcía. de Buenos Aires). Se observa la distribución de los principales ambientes que incluyen desde la costa del Río de la Plata hacia el interior a los bañados ribereños, el talar y la estepa herbácea. Si bien las transiciones entre ambientes son bastante abruptas, se observa también (en la parte superior de la foto) que existe una transición entre el talar y la estepa dada por el progresivo incremento de la separación entre las cadenas de bosque y el aumento de la estepa herbácea que se intercala entre ellos.

3.2. Trabajo de campo

Las grabaciones de los cantos se realizaron en dos periodos: septiembre de 2021 y octubre de 2022. Para la grabación de las vocalizaciones se utilizó un micrófono Sennheiser ME67/K6, conectado a un grabador digital Sound Device MixPre-3 o un grabador digital TASCAM HP-P2. Estos equipos permitieron captar un rango adecuado de frecuencias con una calidad de sonido óptima. Las grabaciones se realizaron con una frecuencia de muestreo de 44.1 kHz y una profundidad de bits de 24.

Se grabaron cantos de un total de 114 chingolos, hasta un máximo de 20 cantos por individuo y sin recurrir al uso de playbacks para estimular el canto. Para evitar la repetición de individuos y dado que los mismos no fueron anillados, se evitó grabar sujetos a menos de 50 m de distancia (siguiendo el criterio de Nottebohm 1969), excepto que más de un sujeto se hallara cantando simultáneamente. También, dado que los chingolos en la región pampeana presentan casi sin excepción un solo tipo de canto, con mínima variabilidad en sus vocalizaciones, se seleccionó un canto por individuo para el análisis, eligiendo aquel que tuviera la mejor relación señal/ruido. Cabe resaltar que estas metodologías son las mismas que se han venido aplicando en estudios previos en la zona.

Además del set de datos mencionado en el párrafo anterior, el estudio incluyó los registros de otros tres períodos previos correspondientes a los años: 1987 (221 individuos), 2000 (143

individuos) y 2011-2012 (170 individuos) correspondientes a las publicaciones (Tubaro et al. 1993, Kopuchian et al. 2004, García et al. 2014), lo que permitió analizar la estabilidad y posibles cambios a través del tiempo en la distribución y características acústicas de los cantos a través de un período de tiempo de 35 años.

3.3. Análisis espectrográfico

El análisis espectrográfico de los cantos del chingolo se realizó utilizando el software Raven Pro (versión 1.6 Programa de Bioacústica, Laboratorio de Ornitología de Cornell, Ithaca, NY).

Sobre los espectros de frecuencia (sonogramas) se midieron las siguientes variables (Fig. 3) duración total del canto (SongD), duración del tema (ThemeD) y duración del trino (TrillD); el número de notas en el trino (NNotes) y la duración del intervalo entre notas del trino (IT, calculado como TrillD/(NNotes - 1)). También se midieron las frecuencias máximas y mínimas del canto completo (SongMax, SongMin), del tema (ThemeMax, ThemeMin) y del trino (TrillMax, TrillMin). Además, se calculó el delta de frecuencia o Bandwidth (ancho de banda) de cada parte (SongDeltaFreq, ThemeDeltaFreq, TrillDeltaFreq), que representa la diferencia entre la frecuencia máxima y mínima en kHz. Basado en el espectro de potencia del canto se midió la frecuencia enfatizada (la frecuencia con mayor amplitud) del canto, el tema y el trino (SongEmp, ThemeEmp y TrillEmp).

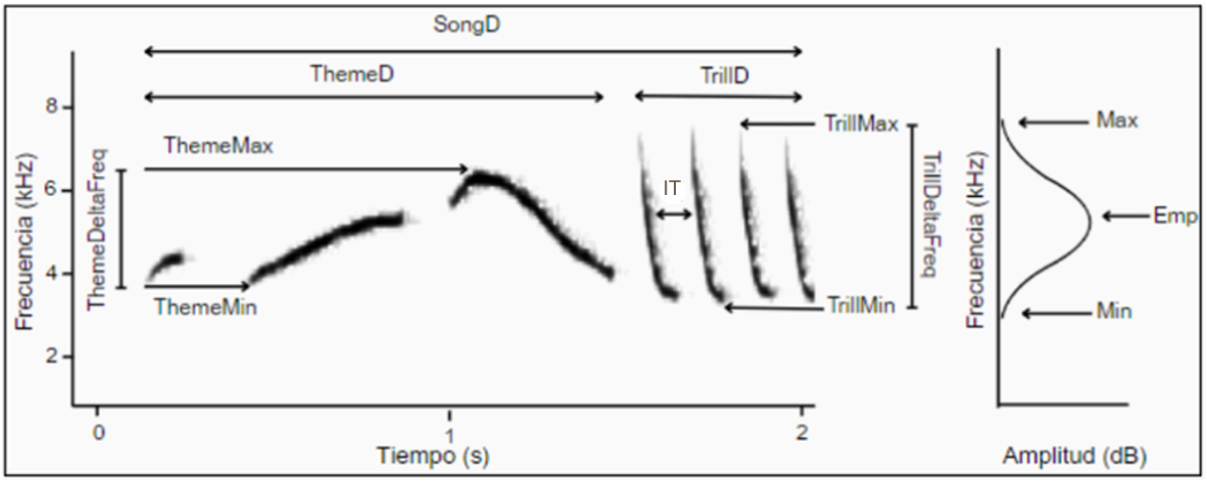


Fig. 3. A la izquierda se muestra el espectro de frecuencia (sonograma) y a la derecha el espectro de potencia de un canto típico de chingolo y las principales medidas de tiempo y frecuencia medidas en este estudio.

3.4. Perfiles de ruido ambiental

Para el tercer objetivo de este estudio, que aborda el análisis de los perfiles de sonido ambiental, se evaluaron las características acústicas de cada ambiente a lo largo del área de estudio mediante la colocación de 6 dispositivos automáticos de grabación (Swift One, Fig. 4). Dichos dispositivos fueron colocados a una altura aproximada de 4m con el fin de aumentar la seguridad del equipo y optimizar la captura de la biofonía del ambiente, a lo largo de una transecta perpendicular a la costa del Río de la Plata, que atravesaron el Talar y alcanzaron el interior de la Estepa. El primero de los equipos se ubicó a 0.2 km de la costa en los bajos ribereños, el segundo, tercero y cuarto a 1, 1.5 y 2 km en el Talar, el quinto y el sexto en la marca de 3 km y 5 km respectivamente y que corresponden a la transición entre Talar y Estepa, y la Estepa propiamente dicha. Cada equipo fue programado para activarse durante 1 semana, en el intervalo de 4 a 10hs, de 12 a 12:30hs, de 14 a 14:30hs, de 16 a 16:30hs y de 18 a 21hs. Con esta programación se garantiza un registro a lo largo de todo el día, especialmente detallado para capturar el coro matutino y el coro vespertino. Estos equipos fueron operados en cada una de las 4 estaciones del año a los efectos de evaluar cambios circanuales en el ambiente acústico. Los archivos de sonido en formato no comprimido wav tuvieron una duración de 30 minutos, y la velocidad de digitalización fue de 32 kHz (lo que permite el análisis de sonidos sin distorsión ni alias de hasta 16 kHz, que incluyen a la mayor parte del paisaje acústico diurno.

El análisis de estos registros se realizó por un lado con Raven Pro 1.6 para obtener los espectros de potencia del ruido ambiental. Siguiendo a Pijanowski (2024), también se calcularon diferentes estimadores del paisaje acústico como: el índice de diversidad acústica (ADI), el de equitatividad acústica (AEI), la entropía acústica (H) y el índice de biodiversidad acústica (BI). El Anexo 2 brinda una descripción más detallada de cada uno de ellos. Estos índices se calcularon a través del empleo de paquete de R SoundEcology (v 1.3.3 Villanueva-Rivera LJ & Pijanowski BC 2018). Tal como se mencionó previamente el objetivo de estos análisis fue caracterizar de alguna manera las diferencias acústicas entre los ambientes que pudiera estar correlacionada con los patrones de variación del canto observados.

Fig. 4. Izquierda: detalle de uno de los equipos Swift One empleados para el registro y caracterización de los paisajes acústicos del área de estudio. Estos equipos de grabación programables son genéricamente conocidos como ARUs (por Acoustic Recording Units). A la derecha se observa la tarea de colocación en altura del dispositivo.

3.5. Análisis estadístico

Todos los análisis estadísticos consistieron en modelos lineales y se realizaron en R versión 4.2.2 corriendo en el entorno provisto por RStudio. Para el caso particular de la comparación entre los cantos del Talar y la Estepa en la temporada 2021-2022, el modelo lineal incluyó la variable categórica hábitat (Talar o Estepa) como variable predictora y las diferentes variables acústicas del canto como variables de respuesta, siendo este enfoque equivalente a una prueba t de Student.

Para las comparaciones a través del tiempo en cada ambiente (Talar o Estepa), el modelo lineal incluyó la temporada como variable predictora y las variables acústicas del canto como variables dependientes. En este caso, además de la prueba t, la significación del coeficiente de regresión se evaluó mediante un análisis de bootstrap (con 1000 remuestreos) a partir del cual se estimaron los intervalos de confianza del 95%, de manera tal que si éstos no incluyen el 0, el resultado se consideró significativo. Los gráficos fueron realizados empleando el paquete ggplot de R y Python.

4. Resultados

4.1 Patrones de variación del canto

La Tabla 1 muestra comparativamente las características de los cantos del Talar y la Estepa registrados durante la última temporada junto con los resultados del análisis estadístico. Esta confirma la existencia de diferencias significativas entre los cantos de los chingolos entre ambos ambientes. En particular, los cantos del Talar presentan trinos con una frecuencia mínima y número de notas menor y mayor separación entre notas (IT) que los cantos de Estepa (Fig. 5). Asimismo, el ancho de banda del trino resultó mayor en el Talar, pero el ancho de banda del tema y del canto completo resultó mayor en la Estepa. Los cantos de este último ambiente poseen además una menor frecuencia mínima tanto cuando consideramos el canto completo como el tema por separado.

Tabla 1. Comparación de los cantos del Talar y la Estepa durante las temporadas 2021/22.Se informan los valores medios ± desvíos estándar para cada ambiente. El estadístico t corresponde a la prueba t de Student para muestras independientes, y el valor p indica el nivel de significancia asociado. Las duraciones se expresan en milisegundos (ms) y las frecuencias en kilohertz (kHz)

	Estepa	Talar	t-value	p
SongD	1624 ± 298	1694 ± 210	1.43	0.154
ThemeD	967± 102	1004 ± 148	1.32	0.189
SongEmp	4.22 ± 0.42	4.29 ± 0.42	0.87	0.388
ThemeEmp	4.34 ± 0.39	4.48 ± 0.39	1.72	0.089
TrillEmp	4.01 ± 0.41	3.85 ± 0.55	–1.57	0.120
SongMax	7.86 ± 0.88	7.50 ± 0.85	–2.09	0.039
ThemeMax	7.77 ± 1.00	7.28 ± 1.03	–2.35	0.020
TrillMax	6.89 ± 0.33	6.98 ± 0.39	1.19	0.234
SongMin	2.81 ± 0.29	3.01 ± 0.22	3.93	< 0.001
ThemeMin	2.82 ± 0.31	3.21 ± 0.32	6.04	< 0.001
TrillMin	3.36 ± 0.20	3.10 ± 0.18	–6.74	< 0.001
SongDeltaFreq	5.05 ± 0.89	4.48 ± 0.84	–3.23	< 0.001
ThemeDeltaFreq	4.45 ± 1.05	4.06 ± 1.07	–4.07	< 0.001
TrillDeltaFreq	3.54 ± 0.34	3.88 ± 0.43	4.19	< 0.001
TrillD	574 ± 161	629 ± 188	1.49	0.137
NNotes	8 ± 2	5 ± 2	–6.07	< 0.001
IT	83 ± 15	132 ± 31	8.66	< 0.001

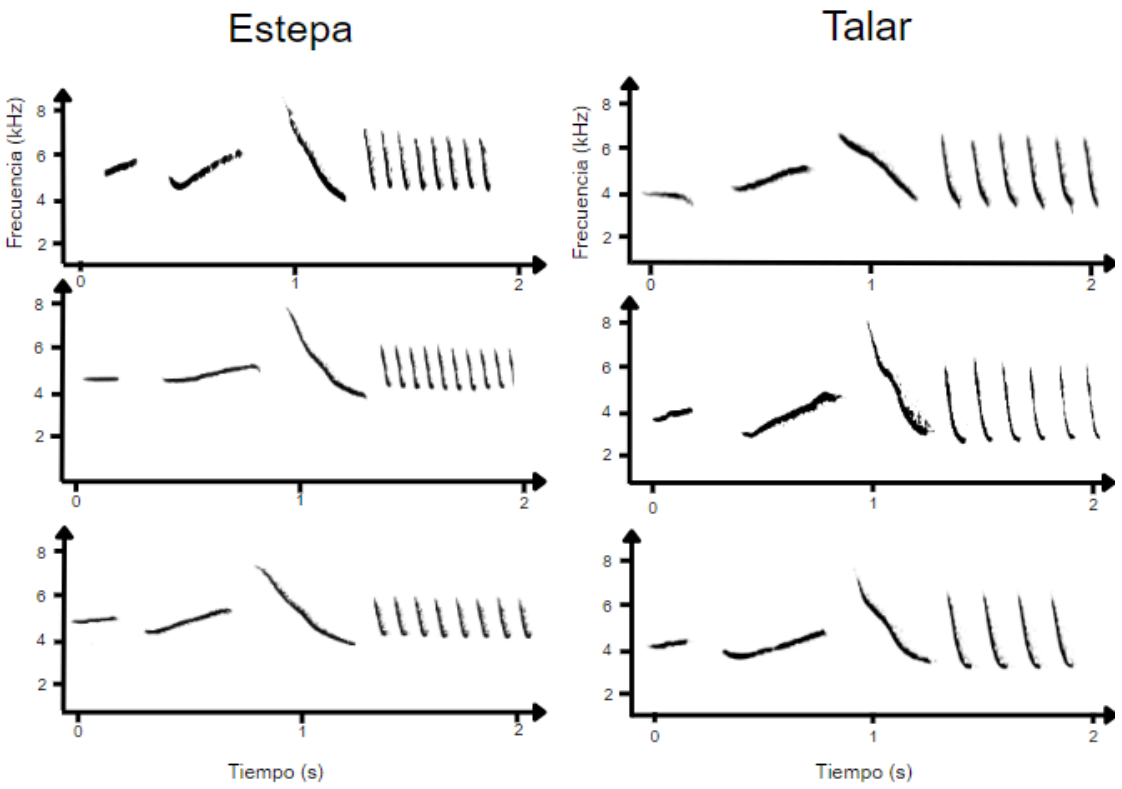


Fig. 5. Sonogramas generados en el programa Raven Pro representativos de cantos de *Zonotrichia capensis* registrados en dos tipos de hábitat: tres correspondientes a estepa y tres a talar.

Las tablas 2 y 3 muestran las medias +/- los desvíos estándar de las variables acústicas de los cantos para cada hábitat en función de la temporada. La Fig. 6, ilustra la distribución del IT en función de la distancia a la costa del Río de la Plata, discriminando por temporada. Este gráfico muestra por un lado las diferencias marcadas existentes entre los cantos de los chingolos del Talar y la Estepa, así como una transición clinal entre ambos en el ecotono. En términos generales la posición de esta clina se ha mantenido sin cambios apreciables a lo largo del espacio, aunque se detectan ciertos cambios en algunos de los valores de las variables acústicas.

Tabla 2. Características de los cantos del dialecto de Talar a través del tiempo. Se expresan los valores medios ± desvíos estándar por período (*n* = número de cantos). Las duraciones se expresan en ms, las frecuencias en kHz.

	1987 **n=137**	**2000** **n=97**	**2010-2011** **n=126**	**2021-2022** **n=91**
SongD	1535 ± 200	1652 ± 194	1707 ± 158	1694 ± 210
ThemeD	937 ± 139	1006 ± 146	979 ± 133	1004 ± 148
SongEmp	4.52 ± 0.56	4.48 ± 0.56	4.23 ± 0.42	4.29 ± 0.42
ThemeEmp	4.72 ± 0.48	4.55 ± 0.50	4.33 ± 0.39	4.48 ± 0.40
TrillEmp	3.95 ± 0.51	4.03 ± 0.76	3.73 ± 0.40	3.85 ± 0.55
SongMax	7.79± 0.75	7.57 ± 0.70	7.75 ± 0.90	7.50 ± 0.85
ThemeMax	7.67 ± 0.91	7.44 ± 0.87	7.29 ± 1.20	7.28 ± 1.03
TrillMax	6.88 ± 0.37	6.83 ± 0.41	7.16 ± 0.47	6.98 ± 0.39
SongMin	3.28 ± 0.28	3.10 ± 0.30	3.01 ± 0.21	3.01 ± 0.22
ThemeMin	3.36 ±0.32	3.32 ± 0.37	3.20 ± 0.31	3.21 ± 0.32
TrillMin	3.45 ± 0.16	3.26 ± 0.15	3.10 ± 0.12	3.10 ± 0.18
SongDeltaFreq	4.65 ± 0.79	4.46 ± 0.78	4.74 ± 0.96	4.48 ± 0.84
ThemeDeltaFreq	4.31 ± 0.93	4.21 ± 0.96	4.10 ± 1.26	4.06 ± 1.06
TrillDeltaFreq	3.43 ± 0.39	3.57 ± 0.43	4.05 ± 0.50	3.88 ± 0.43
TrillD	490 ± 175	531 ± 169	602 ± 170	630 ± 188
NNotes	7 ± 2	6 ± 2	7 ± 2	5 ± 2
IT	86 ± 12	107 ± 17	111 ± 20	132 ± 31

Tabla 3. Características de los cantos del dialecto de Estepa a través del tiempo. Se expresan los valores medios ± desvíos estándar por período (*n* = número de cantos). Las duraciones se expresan en ms, las frecuencias en kHz.

	1987 **n=84**	**2000** **n=46**	**2010-2011** **n=44**	**2021-2022** **n=23**
SongD	1589 ± 222	1606 ± 182	1642 ± 193	1624 ± 298
ThemeD	965± 143	1043 ± 126	972 ± 125	967± 102
SongEmp	4.64 ± 0.49	4.47 ± 0.46	4.19 ± 0.43	4.22 ± 0.42
ThemeEmp	4.71 ± 0.54	4.49 ± 0.39	4.29 ± 0.43	4.34 ± 0.39
TrillEmp	4.55 ± 0.68	4.45 ± 0.78	3.95 ± 0.43	4.01 ± 0.41
SongMax	7.90 ± 0.77	7.80 ± 0.76	8.04 ± 1.07	7.86 ± 0.88
ThemeMax	7.85 ±0. 85	7.74 ± 0.87	7.73 ± 1.42	7.77 ± 1.00
TrillMax	6.92 ± 0.29	6.70 ± 0.32	7.03 ± 0.41	6.89 ± 0.33
SongMin	3.24 ± 0.36	3.12 ± 0.33	2.93 ± 0.25	2.81 ± 0.29
ThemeMin	3.28 ± 0.39	3.16 ± 0.31	2.98 ± 0.27	2.82 ± 0.31
TrillMin	3.66 ± 0.21	3.46 ± 0.28	3.27 ± 0.19	3.36 ± 0.20
SongDeltaFreq	4.66 ± 0.84	4.67 ± 0.93	5.10 ± 1.08	5.05 ± 0.89
ThemeDeltaFreq	4.57 ± 0.91	4.58 ± 1.00	4.75 ± 1.44	4.45 ± 1.05
TrillDeltaFreq	3.26 ± 0.37	3.24 ± 0.49	3.75 ± 0.48	3.54 ± 0.34
TrillD	523 ± 186	461 ± 160	564 ± 169	574 ± 161
NNotes	9 ± 3	7 ± 2	8 ± 2	8 ± 2
IT	65 ± 10	72 ± 8	78 ± 13	83 ± 15

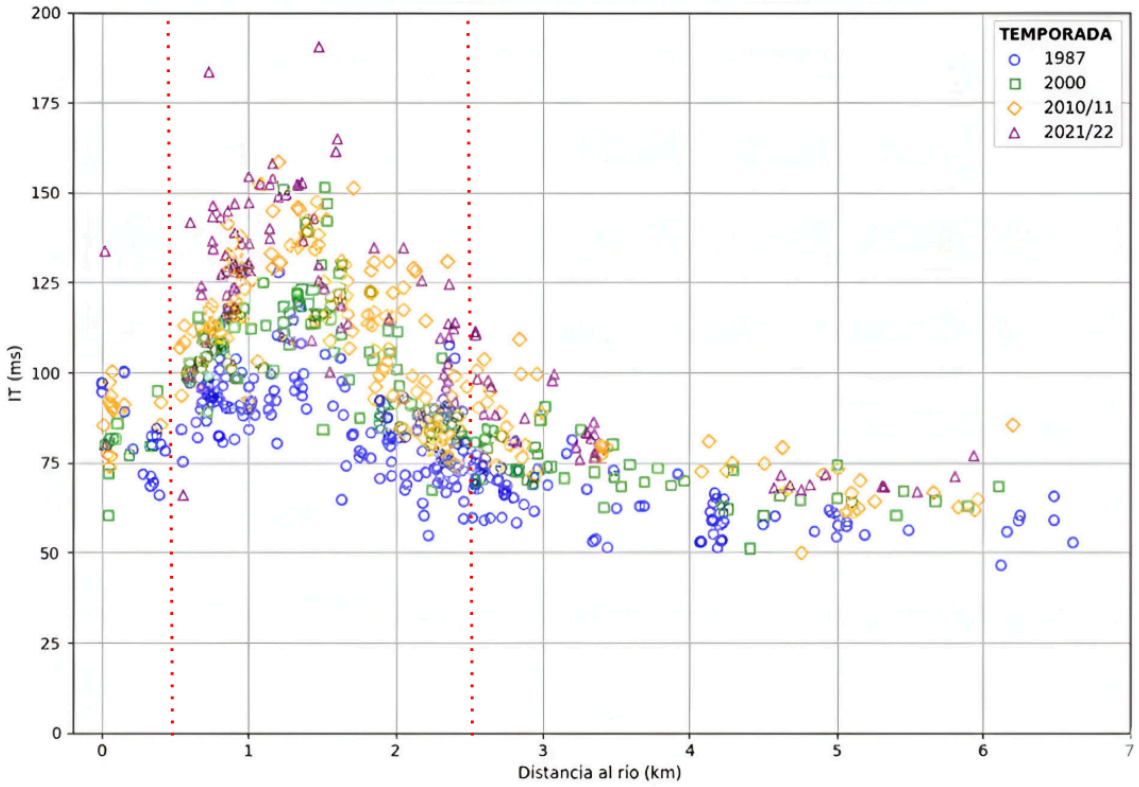


Fig. 6. Variación del intervalo de trino a lo largo de la transecta de 7 km que se extiende desde la costa del Río de la Plata hasta el interior de la provincia de Buenos Aires (en dirección Este-Oeste) y que atraviesa perpendicularmente los tres ambientes presentes en el área de estudio (Rivera, Talar y Estepa). Entre las marcas de 0.5 a 2,5 km (marcado en líneas punteadas) se extiende el Talar y a partir de los 2.5 km se ubica la Estepa. Sin embargo existe un marcado ecotono entre las marcas de 2 y 3 km en el que el bosque se va integrando con la pradera graminosa.

El análisis estadístico entre temporadas (ver Tabla 4 y Fig. 7) muestra variaciones significativas a lo largo del tiempo que incluyen, en el caso de los cantos del Talar, un aumento de la duración total, del tema y del trino, así como también un incremento significativo del IT a través del tiempo. Además, el número de notas del trino se reduce, y disminuyen también ciertas variables de frecuencia, incluyendo la frecuencia enfatizada y mínima del canto y sus partes. Como consecuencia de ello se incrementan los anchos de banda.

Tabla 4. Variación a través del tiempo de las características del canto del dialecto del Talar, basado en un análisis de regresión lineal. Los intervalos de confianza para la pendiente están calculados a partir de análisis de bootstrap como se describe en Materiales y Métodos.

	Estimador	T	*p*	CI
SongD	60.75	7.55	<0.001	[43.63 ; 77.78]
ThemeD	19.12	3.22	<0.001	[7.73 ; 30.68]
SongEmp	-0.10	-4.74	<0.001	[–0.15; –0.06]
ThemeEmp	-0.12	-6.04	<0.001	[–0.15 ; –0.08]
TrillEmp	-0.07	-2.78	<0.001	[–0.11 ; –0.02]
SongMax	-0.07	-1.96	0.051	[–0.13 ; 0.002]
ThemeMax	-0.14	-3.38	<0.001	[–0.23 ; –0.06]
TrillMax	0.07	4.07	<0.001	[0.04 ; 0.10]
SongMin	-0.10	-9.18	<0.001	[–0.12 ; –0.08]
ThemeMin	-0.06	-4.07	<0.001	[–0.08 ; –0.03]
TrillMin	-0.13	-20.16	<0.001	[–0.15 ; –0.12]
SongDeltaFreq	0.04	0.93	0.354	[–0.03 ; 0.1]
ThemeDeltaFreq	-0.09	-1.98	0.049	[–0.17 ; –0.001]
TrillDeltaFreq	0.21	10.73	<0.001	[0.17 ; 0.24]
TrillD	50.09	6.84	<0.001	[35.29 ; 63.41]
NNotes	-0.35	-4.17	<0.001	[–0.50 ; –0.18]
IT	14.15	16.78	<0.001	[12.31 ; 16.10]

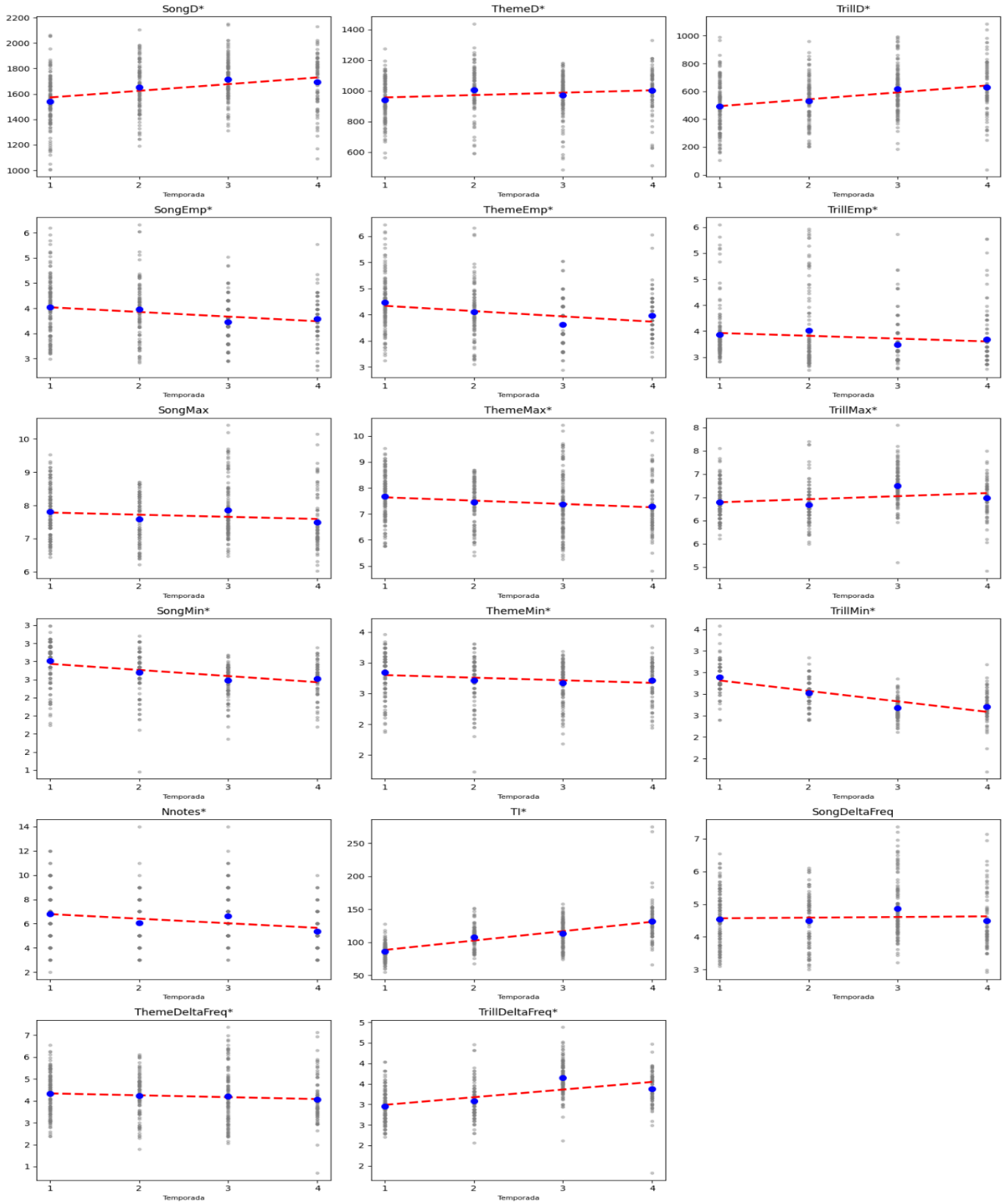


Fig. 7. Diagramas que muestran las tendencias lineales de las diferentes variables acústicas de los cantos del dialecto de Talar a través del tiempo. Se incluye un asterisco (*) junto al título de cada gráfico para indicar aquellas variables cuya tendencia temporal es significativa.

En el caso de la Estepa (Tabla 5 y Fig. 8), también se observa un decrecimiento en las variables de frecuencias enfatizadas y mínimas tanto del canto completo como de sus partes constituyentes. Concomitantemente los anchos de banda tienden a incrementarse. El número de notas también disminuye mientras que el IT se incrementa significativamente.

Tabla 5: Variación a través del tiempo de las características del canto del dialecto de Estepa, basado en un análisis de regresión lineal. Los intervalos de confianza para la pendiente están calculados a partir de análisis de bootstrap como se describe en Materiales y Métodos.

	Estimador	T	*p*	CI
SongD	15.73	1.15	0.252	[–13.44 ; 46.54]
ThemeD	-0.44	–0.05	0.957	[–15.66 ; 15.17]
SongEmp	–0.16	–5.77	< 0.001	[–0.22 ; -0.11]
ThemeEmp	–0.15	–5.17	< 0.001	[–0.21; –0.09]
TrillEmp	–0.22	–5.65	< 0.001	[–0.29 ; –0.15]
SongMax	0.02	0.28	0.777	[–0.09 ; 0.12]
ThemeMax	–0.03	–0.53	0.599	[–0.15 ; 0.09]
TrillMax	0.02	0.76	0.448	[–0.02 ; 0.06]
SongMin	-0.15	-7.33	< 0.001	[–0.18 ; –0.11]
ThemeMin	-0.15	-7.28	< 0.001	[–0.18 ; –0.11]
TrillMin	-0.13	-8.65	< 0.001	[–0.15 ; –0.10]
SongDeltaFreq	0.16	2.82	0.005	[0.06 ; 0.27]
ThemeDeltaFreq	0.12	1.77	0.079	[–0.01 ; 0.24]
TrillDeltaFreq	0.14	5.2	< 0.001	[0.09 ; 0.19]
TrillD	20.19	1.86	0.064	[-0.97 ; 42.31]
NNotes	-0.48	-2.86	0.005	[–0.83 ; –0.17]
IT	6.2	9.02	< 0.001	[4.75 ; 7.84]

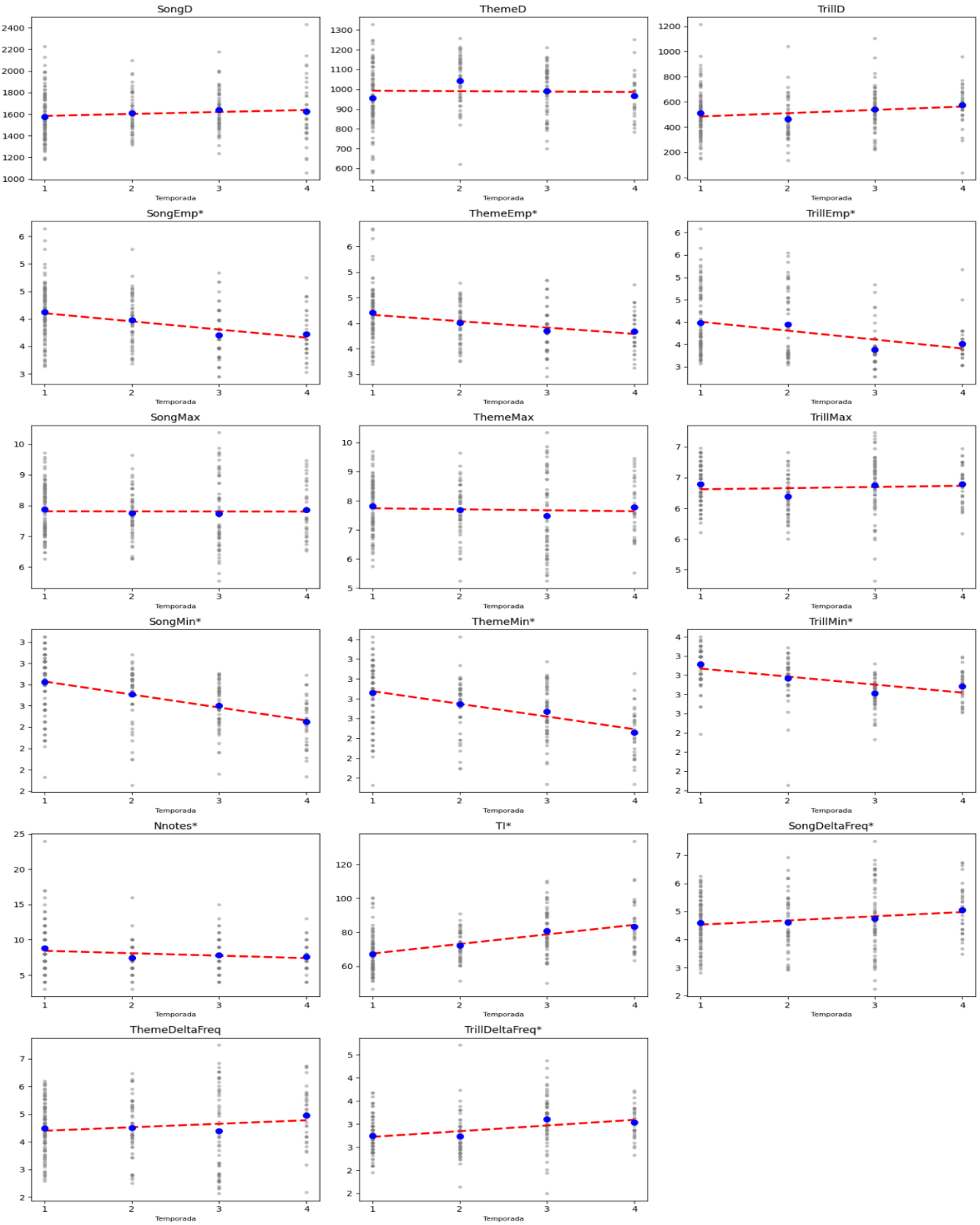


Fig. 8. Diagramas que muestran las tendencias lineales de las diferentes variables acústicas de los cantos del dialecto de Estepa a través del tiempo. Se incluye un asterisco (*) junto al título de cada gráfico para indicar aquellas variables cuya tendencia temporal es significativa .

Cabe destacar que si observamos en detalle las Tablas 1 y 2 se puede apreciar que no todas las variables que cambiaron significativamente a través del tiempo lo hicieron de forma monotónica. Mientras que por ejemplo en el Talar la frecuencia máxima, mínima y el ancho de banda del tema mostraron decrementos consistentes a lo largo de las 4 temporadas y el IT se incrementó, otras como por ejemplo las frecuencias enfatizadas o el número de notas del trino mostraron cambios de tendencia. Lo mismo sucedió en el dialecto de Estepa en donde la frecuencia enfatizada del tema y las frecuencias mínimas del canto y del tema decrecieron y el ancho de banda del canto se incrementó paulatinamente a lo largo de las cuatro temporadas consideradas, otras variables como por ejemplo las del trino presentaron aumentos y decrementos entre temporadas (a pesar de que su tendencia general a lo largo de todo el período de estudio fue significativa).

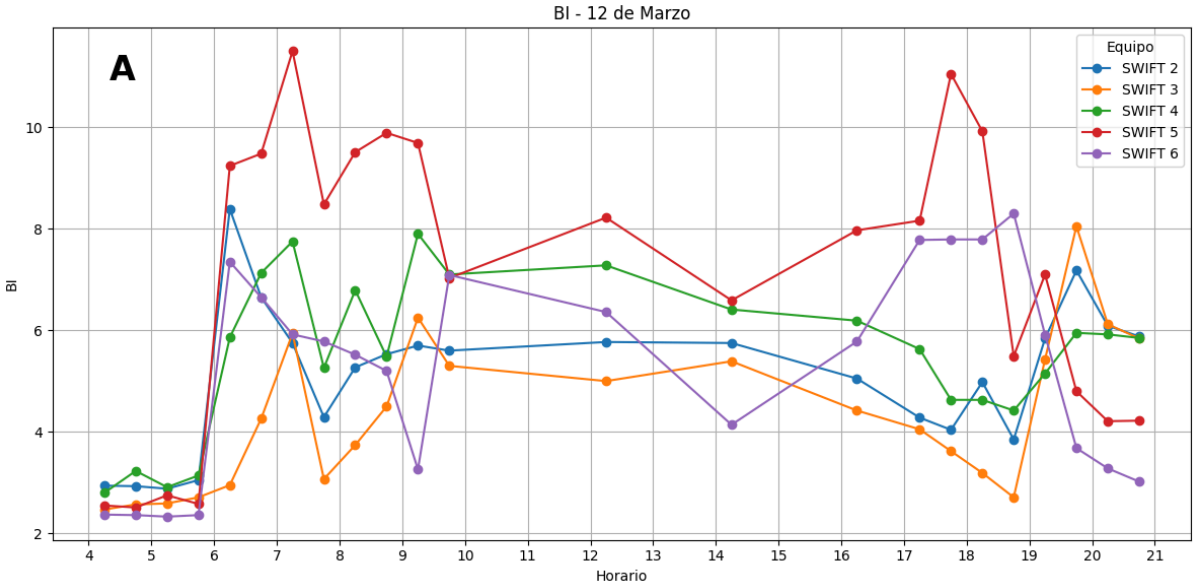
4.2 Perfiles de ruido ambiental

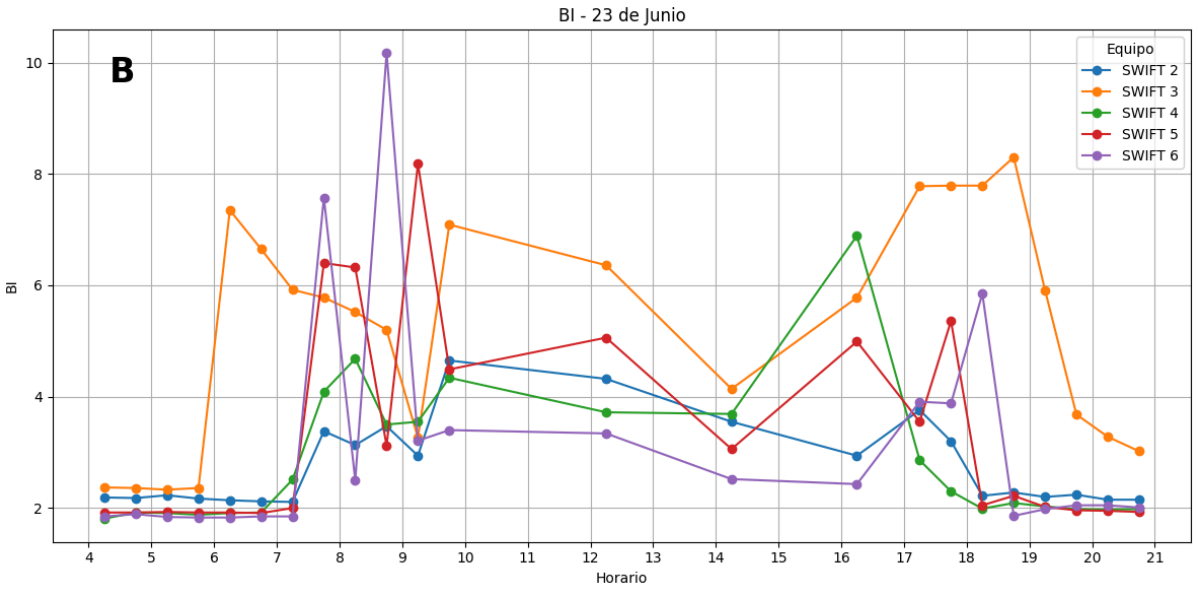
Debido a la naturaleza exploratoria de esta parte del estudio y al gran volúmen de información generada por los dispositivos de grabación automática, se decidió analizar un día representativo por cada período de muestreo, seleccionado en función de la información meteorológica obtenida de Meteoblue para la zona. En particular se eligió un día con condiciones promedio para la semana muestreada en cada estación del año, evitando días de lluvia. De los 6 equipos desplegados, el número 1 correspondiente al ambiente de ribera del Río de la Plata fue sustraído durante el segundo muestreo, por lo que sólo se cuenta con los registros del mes de marzo y no fue incluido en este análisis. Como consecuencia de que los índices capturan distintos aspectos del paisaje acústico es natural que presenten diferentes patrones de variación a lo largo del día, las estaciones del año y los sitios de muestreo. Por ello y para simplificar las cosas decidimos presentar solamente el análisis del BI (ya que es por construcción el que se supone refleja mayoritariamente el componente biofónico del ambiente). Presentamos también los valores de frecuencia de mayor amplitud del ruido de fondo y su amplitud relativa en base a los espectros de potencia de los archivos acústicos generados en el Swift y analizados en Raven Pro (ver Anexo 3).

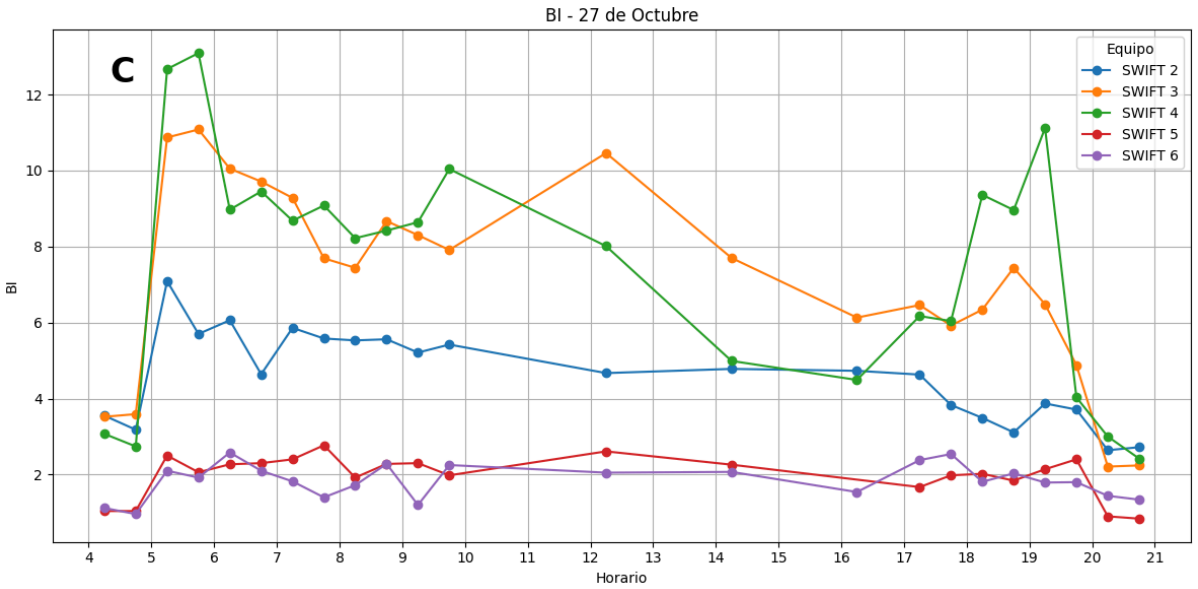
La Fig. 9 muestra los valores de BI en función de las horas del día para cada uno de los cuatro períodos del año muestreados. En ellas se observa en primer lugar la presencia de coros matutinos y vespertinos (caracterizados por mayores valores de BI), sin diferencias claras entre los equipos y su localización, excepto para el mes de octubre (que es el más relevante en cuanto a la actividad vocal de los chingolos). Durante este período los dos Swift de Estepa mostraron valores menores de BI que los ubicados en el Talar. Estos dos equipos junto con el Swift 2 del Talar tampoco mostraron coros matutinos y vespertinos.

En segundo lugar, si se compara los horarios de incremento de la actividad vocal se observa claramente un adelantamiento temporal en el mes de octubre y febrero respecto de los meses marzo y particularmente junio, que es coherente con los cambios en el fotoperíodo que ocurren durante el año.

En cuanto a las frecuencias del ruido ambiente, los espectros de potencia marcan en todos los casos, como es habitual, un pico de intensidad en las muy bajas frecuencias (menores a 200 Hz) que suele corresponder con el ruido del viento, seguido de un decaimiento de ésta con el aumento de la frecuencia (ver Figura Anexo 3). Este pico al ser de mucha menor frecuencia que el canto no lo consideramos en el análisis sino que nos focalizamos en aquellos picos secundarios que aparecen más cercanos a las frecuencias del canto del chingolo ya que son éstos los que tienen mayor posibilidad de causar enmascaramiento acústico (Goldstein 2010). Se observa en la Fig. 10a que las frecuencias dominantes en el ruido ambiente durante octubre estarían en el rango de los 2 a 5 kHz durante la mayor parte del día y serían muy variables. Al atardecer incluso este rango se amplía un poco sobre todo por una disminución del rango inferior de la banda a menos de 1 kHz. En cuanto a la amplitud relativa (Fig. 10b) los dos equipos de Estepa parecen tener valores ligeramente más altos que el promedio de los del Talar (especialmente a mitad del día), pero esto es muy variable como para concluir que hay un patrón en los datos.




BI - 23 de Junio
B
Equipo
SWIFT 2
SWIFT 3
SWIFT 4
SWIFT 5
SWIFT 6
BI
Horario


BI - 27 de Octubre
C
Equipo
SWIFT 2
SWIFT 3
SWIFT 4
SWIFT 5
SWIFT 6
BI
Horario

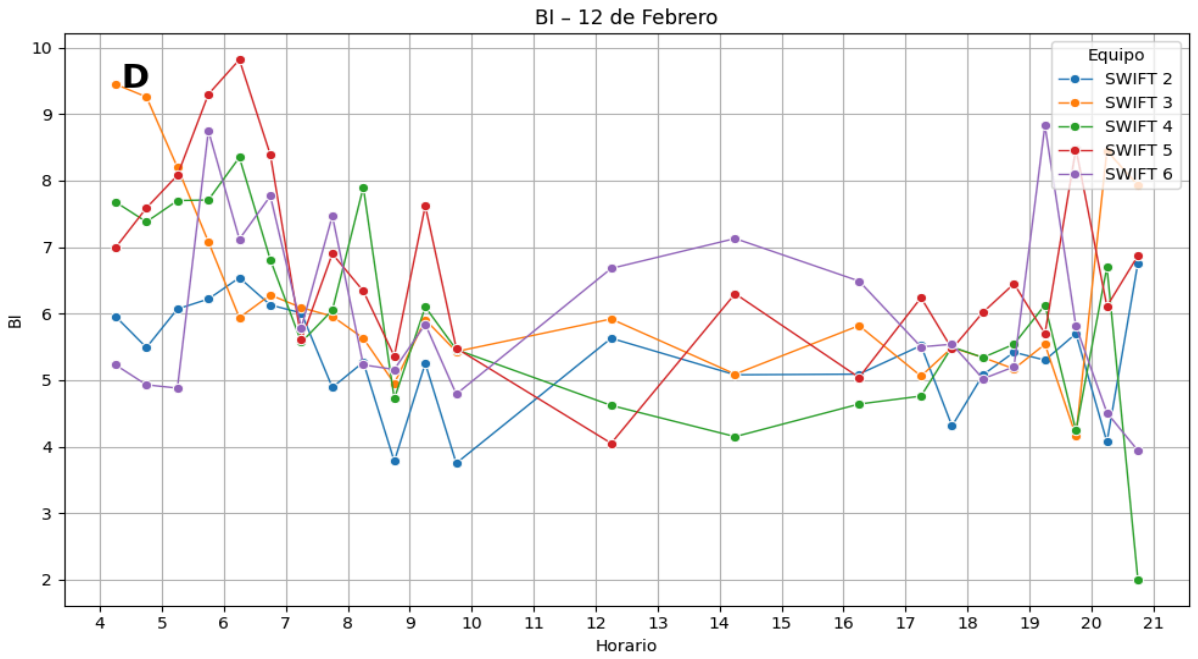
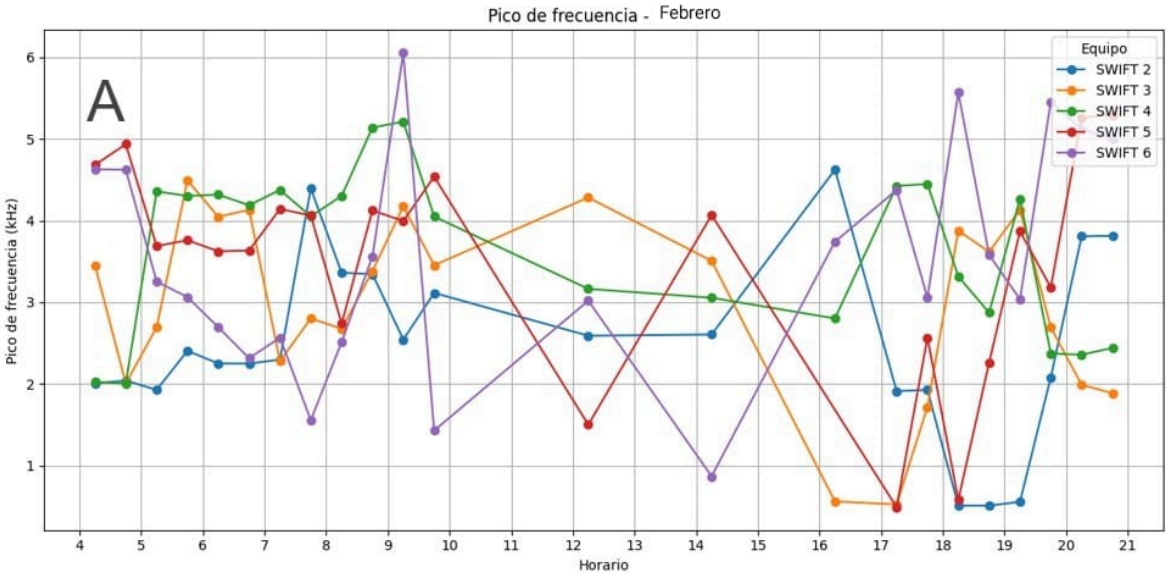


Fig. 9. Variación del índice BI para cinco equipos (Swift, 2, 3, 4, 5 y 6) según el horario, durante cuatro estaciones: (A) marzo, (B) junio, (C) octubre y (D) febrero. Siendo los equipos 2, 3 y 4 de talar y 5 y 6 de estepa.



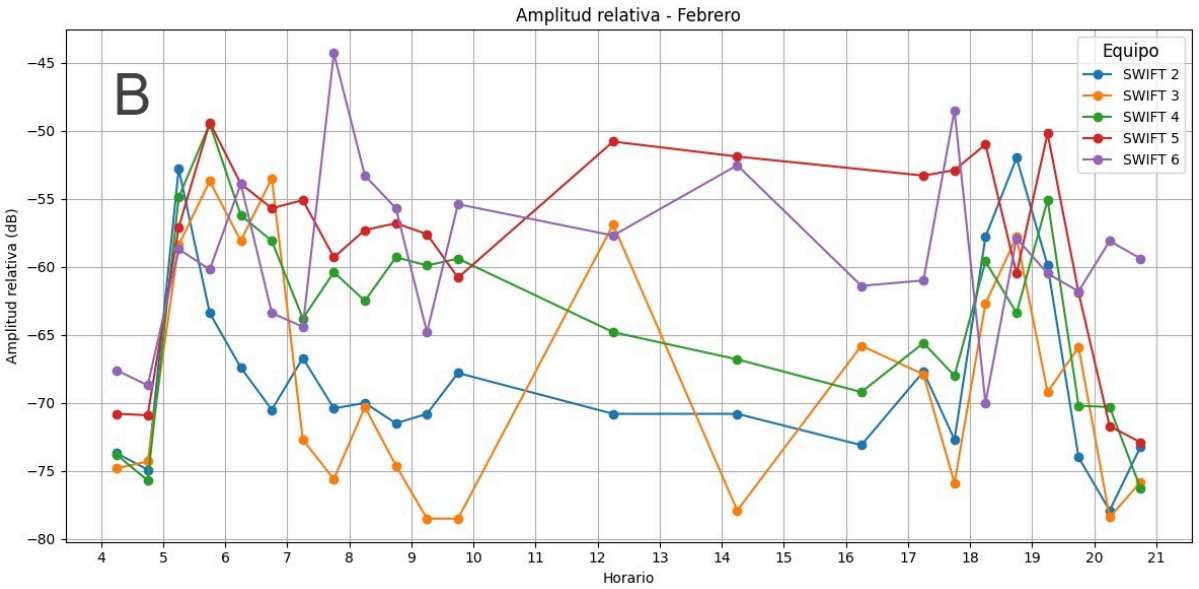


Fig. 10. (A) Variación del pico de frecuencia del ruido ambiente y (B) variación del nivel de amplitud relativa (dB) a lo largo del día 27 de octubre registrada para los cinco equipos SWIFT (2, 3, 4, 5 y 6.). Siendo los equipos 2, 3 y 4 de talar y 5 y 6 de estepa.

5. Discusión

Este estudio confirmó una vez más la existencia de un marcado patrón de variación del canto del chingolo a escala microgeográfica en la localidad de Magdalena, Provincia de Buenos Aires que coincide en términos generales con la distribución de los principales ambientes y tipos de vegetación presentes en la zona. Este patrón consiste en una clina vocal, la cual se ha mantenido estable en posición a lo largo de todo el período de estudio (34 años) y también ha conservado en términos generales sus características acústicas. En particular, los cantos correspondientes al Talar están caracterizados por trinos con un menor número de notas, más separadas y también con frecuencias mínimas menores que los correspondientes a la Estepa. Sin embargo, también hemos detectado ciertos cambios en estas variables a través del tiempo. En particular, se observó en los cantos del Talar un aumento del intervalo de trino, y el ancho de banda tanto del tema como del trino (esto último debido a una reducción de sus frecuencias mínimas). Asimismo, los cantos de la Estepa tendieron a incrementar su ancho de banda acompañado también de una disminución de sus frecuencias mínimas. A continuación se discutirán estos resultados en relación a lo que conocemos para otras especies y la acústica de los ambientes naturales.

5.1 Patrones de variación geográfica y temporal del canto

Como se mencionó en la introducción uno de los puntos sobresalientes de este estudio es que abarca un período extenso de tiempo, con múltiples muestreos a través del mismo, que es algo con pocos antecedentes en la literatura mundial. Particularmente relevantes en términos comparativos por su cercanía filogenética son los estudios sobre el chingolo de corona blanca. Estos han demostrado estabilidad en los dialectos cantados sobre grandes áreas (mayores a las del presente estudio) a lo largo de períodos de hasta 30 años (Trainer 1983, Baker & Thompson 1985, Chilton & Lein 1996, Harbison et al. 1999), pero menor estabilidad cuando se trata de dialectos más locales (Chilton & Lein 1996, Harbison et al. 1999). A diferencia de la especie estudiada en este trabajo, el chingolo de corona blanca no posee dialectos tan claramente asociados a la distribución de los ambientes, sino que parecen ser resultado de eventos de colonización de parches luego de un evento catastrófico (ej. incendios) a partir de un pequeño grupo colonizador que difiere en sus características vocales de la población fuente (Baker 1975, Baptista 1975). Esto determina un mosaico de dialectos cuya distribución no correlaciona claramente con la distribución de la vegetación, no obstante lo cual se han encontrado que algunas variables acústicas pueden estar vinculadas al nivel de ruido ambiental (Davidson et al. 2017, Derryberry et al. 2017, 2020).

¿De qué manera se generarían los dialectos de canto del chingolo que se correlacionan con el ambiente, se mantienen a través del tiempo o varían? Esto puede ser resultado de diferentes procesos no necesariamente excluyentes entre sí. Hansen (1979) propuso un mecanismo basado en el aprendizaje selectivo de aquellos cantos que se propagan mejor a larga distancia en el ambiente. Como muchas de las características del canto de los chingolos (por ejemplo las que definen el dialecto) serían aprendidas (Egli 1971, Tubaro et al. 1997), a partir de la imitación que realizan los pichones de los cantos de los adultos de la población en la que nacen (o se establecen), los cantos que se degradan y atenúan menos podrían ser incorporados preferencialmente por un mayor número de ellos. De esta forma se irían seleccionando culturalmente los tipos de canto acústicamente adaptados a cada tipo de ambiente. Este mecanismo explicaría también la estabilidad de los dialectos a través del tiempo si las condiciones ambientales se mantienen, así como los cambios si el medio modifica sus propiedades acústicas. Al mismo tiempo, podrían operar sobre algunas partes o características del canto procesos no selectivos y los cantos variar por un mecanismo de deriva cultural. Es interesante que ambos procesos sugieren diferentes trayectorias de cambio a través del tiempo. Asumiendo que existe un cambio en el ambiente en una dirección definida, la selección cultural predice un cambio monotónico en las características del dialecto mientras que los cambios culturales “neutros” se corresponderían con trayectorias Brownianas (Lynch et al.1989, Williams 2021) que implican incrementos o decrementos

sucesivos en los valores de las variables aunque la tendencia punta a punta pueda ser significativa. Nuestro estudio parece haber detectado ambos tipos de cambio: la frecuencia máxima y ancho de banda del tema y el IT tendieron a aumentar en el Talar a lo largo de todo el periodo de estudio, mientras que otras variables como por ejemplo el número de notas del trino presentan trayectorias de cambio variables aunque significativas. De manera semejante, los cantos de Estepa disminuyeron consistentemente sus frecuencias mínimas y enfatizada de tema, pero la frecuencia máxima del canto que venía creciendo en los primeros 3 muestreos presentó una ligera disminución durante el último período. Finalmente, las variables que no presentan un patrón significativo de variación (ej. la duración del canto completo y sus partes en la Estepa) podrían ser también neutras o estar bajo una selección cultural normalizadora (Williams 2021). Lamentablemente nuestro estudio no ha sido planeado para detectar cambios ambientales sutiles y menos aún identificar el efecto de estos cambios sobre la propagación del sonido. De esta forma no podemos identificar una causa para explicar los sutiles cambios que detectamos en ciertas variables acústicas dentro de la estabilidad general en la clina vocal presente en Magdalena. En términos generales, la distribución de los ambientes de Talar y Estepa se han mantenido (recordemos que el área de estudio es una reserva privada que forma parte del Parque Costero del Sur) lo que se correspondería con la estabilidad de la clina. Esto puede comprobarse también observando las imágenes satelitales disponibles en Google Time Lapse o las fotos aéreas del siglo pasado. No obstante ello podrían existir otros cambios más sutiles a nivel local (ej. invasión de especies exóticas como el ligustro (gen. *Ligustrum*, que alteran la estructura y acústica del bosque) o global (ej. incremento de la temperatura y régimen de precipitaciones) que podrían impactar de maneras no muy obvias en las condiciones en que las aves se comunican. Existen muy pocos estudios acerca de esto último, pero Möller (2011) encontró que los incrementos de temperatura y precipitación en Dinamarca han producido un aumento de la altura desde las cuales las aves vocalizan en el período comprendido entre 1986 y 2010. Si bien no existen datos que permitan establecer el mecanismo detrás de esta correlación, se presume que es debida a los cambios fenológicos de la vegetación, los que a su vez tienen efectos sobre la transmisión del sonido.

Como se mencionó antes, son muy escasos los estudios como el nuestro que analizan la evolución del canto en una población a través de un extenso período de tiempo, lo cual es esencial para entender su dinámica y los procesos que la generan. Entre ellos podemos mencionar los estudios sobre el pinzón común (*Fringilla coelebs*, Ince et al. 1980, 18 años), el pinzón mexicano (*Haemorhous mexicanus*, Juet et al. 2019, 40 años) el gorrión sabanero (*Passerculus sandwichensis*, Bradley 1994, 15 años) y el chingolo de corona blanca (*Zonotrichia leucophrys*, Nelson et al. 2004, 30 años). Estos estudios muestran tanto cambios

compatibles con fenómenos aleatorios como con cambios direccionales que resultarían de procesos de selección cultural (Williams 2021).

Volviendo al caso del chingolo, además de nuestro estudio, Handford (1981) ha repetido un muestreo de canto a través de una transecta que atraviesa de este a oeste la provincia de Tucumán, y que posee un marcado gradiente ambiental tanto en altura como de vegetación (abarcando bosque chaqueño, diferentes tipos de bosque de altura a través de las sierras hasta llegar a la prepuna y puna). Esencialmente encontró los mismos dialectos hallados por Nottebohm varios años antes (Nottebohm 1975), comprobando la estabilidad de los dialectos a esta escala regional. Más aún, en un estudio posterior Handford (1988) encontró evidencias de que la estabilidad de los dialectos del chingolo podrían extenderse a lo largo de centurias, a partir del descubrimiento que la distribución de los dialectos correlaciona con la distribución histórica de la vegetación en torno a San Miguel de Tucumán más que con la distribución actual (que ha sido muy modificada por el hombre). Esta inferencia es al mismo tiempo interesante porque podría implicar un desajuste del canto con la acústica de los ambientes transformados y pone en duda el mecanismo propuesto por Hansen (1979) a través del cual los dialectos evolucionan y se adaptan a ellos. Una posibilidad, sugerida por Handford (1988) es que aumentos en la densidad de chingolos en los ambientes transformados haga que las distancias entre emisor y receptor sean demasiado cortas como para que el ambiente tenga un efecto significativo sobre la transmisión de la señal. Esto, sumado al aumento de sujetos cantantes de la misma tradición vocal podría dificultar la adopción de variantes de canto más adaptadas a la nueva acústica del ambiente, simplemente por un aprendizaje diferencial dependiente de la frecuencia de modelos (el canto antiguo es mucho más abundante que cualquier nueva variante) generando una “barrera cultural” para el establecimiento de un nuevo dialecto (Tubaro 1990). Se mantendría así el dialecto original a pesar de los cambios en el ambiente.

5.2 Características acústicas del ambiente y su posible relación con la estructura del canto

La descripción del paisaje acústico en el que se comunican las aves es una tarea compleja, no sólo por la dificultad de muestrear adecuadamente un medio heterogéneo espacial y temporalmente, sino también por la dificultad de analizar y describir esa variación. En lo referente al primer aspecto, el empleo de los sistemas automáticos y programables de grabación (ARU en inglés por Automatic Recording Units) se ha transformado en una herramienta indispensable para el registro de los paisajes acústicos. Por otro lado y más complicado aún, es el análisis de los volúmenes excesivos de datos que estos ARUs

generan. Diferentes estrategias son posibles y muchas veces complementarias. En esta tesis, y como primera aproximación a este problema complejo, decidimos emplear una batería de índices que resumen o pretenden capturar diferentes aspectos de la estructura acústica del ambiente, y también analizar directamente los espectros de potencia para identificar las frecuencias con mayor energía que pudieran interferir acústicamente con los cantos del chingolo. Además obtuvimos valores de amplitud relativa de estas frecuencias enfatizadas (que en alguna medida son comparables dado el uso de equipos idénticos).

Por razones de simplicidad, decidimos finalmente presentar sólo una parte de esta información vinculada con el índice BI por ser este una medida que captura el componente biofónico del ruido ambiental (recordemos que el BI evalúa la energía contenida en diferente bandas de frecuencia entre los 2 y los 10 kHz, que son las utilizadas por la mayoría de las especies). Si bien se pueden observar a través del BI ciertos fenómenos como la presencia de los coros matutinos y vespertinos, el adelantamiento de inicio de la actividad vocal en relación al fotoperíodo, etc., también se ve que existe mucha variación en los valores y no se han podido detectar diferencias entre los datos de Estepa y Talar que puedan ser claramente vinculados con las diferencias acústicas de los cantos del chingolo entre estos ambientes. Tal vez la única excepción es que en los registros del mes de octubre el nivel de biofonía parece ser significativamente menor en la Estepa que en el Talar, lo que podría indicar una mayor interferencia acústica en este último ambiente. Sin embargo solamente podemos especular al respecto, ya que las frecuencias del ruido ambiente y su amplitud parecen ser muy variables y no diferir entre ellos.

El enmascaramiento acústico producido por el ruido puede contrarrestarse de diferentes maneras, entre ellas mediante un corrimiento de la frecuencia de la señal (con respecto a la del ruido) y/o el aumento de su amplitud. Respecto de esto último, los datos de otros estudios realizados en diferentes chingolos de Argentina no muestran una relación entre el nivel de ruido y la amplitud del canto, que en todos los casos se sitúa en el rango de los 62-65 dB medidos a 5 m de la fuente (Casale et al. 2025). Sin embargo, el presente trabajo de tesis muestra que existen diferencias en las frecuencias mínimas de los cantos que podrían corresponderse con un corrimiento adaptativo para evitar el enmascaramiento por cuanto los cantos de la estepa resultaron más agudos que los del talar. Sin embargo, no encontramos diferencias ni en las frecuencias del ruido ni en su amplitud que podamos asociar claramente con este patrón. Curiosamente, a lo largo de los 34 años transcurridos entre el primer y el último muestreo, las frecuencias mínimas y enfatizadas de los cantos han disminuido tanto en el talar como la estepa, por lo que de haber habido un cambio en el ruido ambiente, éste debería haber afectado a ambos hábitats por igual.

Cabe recordar aquí (cómo se mencionó en la introducción) que la disminución de frecuencias aumenta el EA de la señal dado que los sonidos graves son los que sufren menor atenuación, siempre que sean emitidos a más de un metro de altura sobre el nivel del piso. Las frecuencias graves son también ideales para reducir la degradación por acumulación de ecos, ya que al tener longitudes de onda mayores sufren menor reflexión y scattering al encontrarse con las heterogeneidades del ambiente. La generación eficiente de estas frecuencias depende del mecanismo de fonación de la siringe y de la resonancia de las cavidades suprasiríngeas, por lo que existen limitaciones biomecánicas y alométricas a las frecuencias graves que un ave pequeña es capaz de producir eficazmente (Bradbury & Vehrencamp 1998; Fletcher 2004).

Con respecto al IT (la principal característica que define a los dialectos en el chingolo) la diferencia entre los trinos lentos del Talar y los rápidos de la Estepa se corresponde con las predicciones de la HAA, maximizando el EA de la señal (notas separadas en zonas boscosas disminuye la degradación por acumulación de ecos mientras que las notas juntas en zonas abiertas disminuye la degradación de la estructura de la señal por fluctuaciones de la amplitud). Sin embargo, a pesar de que los ambientes no parecen haber cambiado su fisonomía general, se detectaron incrementos significativos de esta variable en ambos ambientes cuya causa no resulta evidente. Como se mencionó más arriba, una posibilidad es que cambios sutiles en la densidad y tipo de vegetación en el Talar (como por ejemplo el debido a la invasión del ligustro) podrían aumentar las reflexiones del sonido y la acumulación de ecos. En la Estepa es todavía más difícil de imaginar qué factor podría estar implicado, pero sin duda sería importante realizar experimentos de playback para estudiar la propagación de cantos con diferentes IT y su degradación en función de la distancia a la fuente (Lijtmaer 2001)

6. Conclusiones

El presente trabajo es uno de los pocos existentes que incluyen muestreos reiterados de un patrón de variación del canto a través de un largo período, capaz de detectar su estabilidad y cambios a través del tiempo. En este sentido encontramos que los dialectos de canto del chingolo existentes en la costa del Partido de Magdalena se conservan en sus características generales y distribución espacial, pero al mismo tiempo registran cambios significativos en algunas de sus variables acústicas. Estos cambios en algunos casos parecen ser direccionales y en otros seguir una trayectoria variable, lo que puede sugerir diferentes procesos de evolución a nivel cultural (recordemos que el canto del chingolo es aprendido por imitación). Si las diferencias entre el dialecto del Talar y de la Estepa y sus cambios a través del tiempo son resultado de modificaciones ambientales que han alterado las propiedades

acústicas del ambiente no es evidente, pero tampoco puede ser descartado. Para resolver esta cuestión habría que continuar esta serie temporal de registros de cantos, incorporar la medición de variables ambientales locales (climáticas, acústicas, vegetación, etc.) y realizar estudios de propagación del sonido.

7. Bibliografía

Baker MC. 1975. Song dialects and genetic differences in White-crowned Sparrows (*Zonotrichia leucophrys*). Evolution 29:226-241.

Baker MC & Thompson DB. 1985. Song Dialects of White-crowned Sparrows: Historical Processes Inferred from Patterns of Geographic Variation, Condor 87: 127-141. https://digitalcommons.usf.edu/condor/vol87/iss1/17.

Baptista LF. 1975. Song dialects and demes in sedentary populations of the White-crowned Sparrow (*Zonotrichia leucophrys nuttalli*). Univ. Calif. Publ. Zool. 105:1-52.

Barker NK. 2008. Bird song structure and transmission in the Neotropics: trends, methods and future directions. Ornitologia Neotropical 19:175-199.

Blumstein DT & Turner AC. 2005. Can the acoustic adaptation hypothesis predict the structure of Australian birdsong?. Acta Ethol. 8:35-44.

Boncoraglio G & Saino N. 2007. Habitat structure and the evolution of bird song: a meta-analysis of the evidence for the acoustic adaptation hypothesis. Functional Ecology 21:134-142.

Bradbury JW & Vehrencamp SL .1998. Principles of animal communication. Sinauer Associates, Sunderland, MA.

Bradley RA. 1994. Cultural change and geographic variation in the songs of the Belding´s Savannah sparrow (*Passerculus sandwichensis beldingi*). Bull. Southern Calif. Acad. Sci. 93:91-109.

Brumm H & Zollinger SA . 2011. The evolution of the Lombard effect: 100 years of psychoacoustic research. Behaviour 148:1173-1198.

Brumm H & Zollinger SA . 2013. Avian vocal production in noise. In: Animal communication and Noise. Chapter 7. Pp. 187-227. Springer-Verlag Berlin Heidelberg..

Cabrera AL. 1949. Las comunidades vegetales de los alrededores de La Plata. Lilloa 20:269-347.

Casale AI, Lijtmaer DA & Tubaro PL. 2025. Dialectos de canto del Chingolo (*Zonotrichia capensis*) al norte y al sur de la Laguna Mar Chiquita, Provincia de Córdoba, Argentina. Hornero.

Catchpole C & Slater PJB. 2008. Bird song: biological themes and variations. 2nd Edition. Cambridge University Press, Cambridge.

Chilton G & Lein MR.1996. Long-term Changes in Songs and Song Dialect Boundaries of Puget Sound White-crowned Sparrows. Condor 98:567-580. https://digitalcommons.usf.edu/condor/vol98/iss3/11.

Davidson BM, Antonova G, Dlott H, Barber JR & Francis CD. 2017. Natural and anthropogenic sounds reduce song performance: Insights from two emberizid species. Behav. Ecol. 28:974-982.

Derryberry EP, Danner RM, Danner JE, Derryberry GE, Phillips JN, Lipshutz SE, Gentry K & Luther DA. 2016. Patterns of song across natural and anthropogenic soundscapes suggested that White-crowned Sparrows minimize acoustic masking and maximize signal content. PLOS ONE doi:10.1371/journal.pone.0154456.

Derryberry EP, Gentry K, Derryberry GE, Phillips JN, Danner RM, Danner JE & Luther DA. 2017. White-crowned sparrow males show immediate flexibility in song amplitude but not in song minimum frequency in response to changes in noise levels in the field Ecology and Evolution 7:4991–5001. doi: 10.1002/ece3.3037.

Derryberry EP, Phillips JN, Derryberry GE, Blum MJ & Luther DA. 2020. Singing in a silent spring: birds respond to a half-century soundscape reversion during the COVID-19 shutdown. Science 370:575-579. doi: 10.1126/science.abd5777.

Dooling RJ & Blumenrath SH. 2013. Avian sound perception in noise. In. H. Brumm (ed.). Animal Communication and Noise, Animal Signals and Communication 2. Chapter 2. Pp. 229-250. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

Ey E & Fischer J . 2009. The Acoustic Adaptation Hypothesis – A review of the evidence from birds, anurans and mammals. Bioacoustics 19:21-48.

Egli W .1971. Investigaciones sobre el canto de *Zonotrichia capensis chilensis* (Meyen) (Aves, Passeriformes). Boletín Museo Nacional de Historia Natural 32:173-190. doi:10.54830/bmnhn.v32.1971.557.

Fletcher NH. 2004. A simple frequency-scaling rule for animal communication. J. Acoust. Soc. Am. 115:2334-2338.

Francis CD, Phillips JN & Barber JR . 2023. Background acoustics in terrestrial ecology. Ann. Rev. Ecol. Syst. 54:351-373.

García NC, Arrieta RS, Kopuchian C & Tubaro PL. 2015. Stability and change through time in the dialects of a Neotropical songbird, the Rufous-collared Sparrow. Emu-Austral Ornithology, 115(4):309-316. doi: 10.1071/MU14099.

Goldstein EB. 2010. Sensation and perception .8th edition Wadsworth. Cengage Learning.

Halfwerk W & Slabbekoorn H. 2009. A behavioural mechanism explaining noise-dependent frequency use in urban birdsong. Animal Behaviour 78:1301-1307.

Handford P. 1981. Vegetational correlates of variation in the song of *Zonotrichia capensis*. Behavioral Ecology and Sociobiology 8:203–206.

Handford P. 1988. Trill rate dialects in the Rufouscollared Sparrow, *Zonotrichia capensis*, in northwestern Argentina. Canadian Journal of Zoology 66:2658–2670.

Handford P & Lougheed SC . 1991. Variation in duration and frequency characters in the song of the Rufous-collared Sparrow, *Zonotrichia capensis*, with respect to habitat, trill dialects and body size. Condor 93:644–658.

Hansen P. 1979.Vocal learning: its role in adapting sound structures to long distance propagation, and a hypothesis on its evolution. Animal Behaviour 27:1270-1271.

Harbison H, Nelson DA & Hahn TP. 1999. Long-term Persistence of Song Dialects in the Mountain White-crowned Sparrow. Condor 101:133-148. Available at: https://digitalcommons.usf.edu/condor/vol101/iss1/15.

Hardt B & Benedict L . 2020. Can you hear me now? A review of signal transmission and experimental evidence for the acoustic adaptation hypothesis. Bioacoustics 30:1-27.

Ince SA, Slater PJB & Weismann C. 1980. Changes with time in the songs of a population of chaffinches. Condor 82:285. doi: 10.2307/1367393.

Ju C, Geller FC, Mundinger PC & Lahti DC . 2019. Four decades of cultural evolution in House Finch songs.Auk 136:1-18. doi: 10.1093/auk/uky012.

Klump GM. 1996. Bird communication in the noisy world. En: Ecology and evolution of acoustic communication in birds (Kroodsma DE & EH Miller, Eds.). Pp. 321-338. Cornell University Press, Ithaca.

Kopuchian C, Lijtmaer DA, Tubaro PL & Handford P. 2004. Temporal stability and change in a microgeographical pattern of song variation in the rufous-collared sparrow. Animal Behaviour 68(3):551-559. doi:10.1016/j.anbehav.2003.10.025.

Laiolo P. 2011. The Rufous-collared Sparrow *Zonotrichia capensis* utters higher frequency songs in urban habitats. Revista Catalana d´Ornitologia 27:25-30.

LaZerte SE, Slabbekoorn H & Otter KA . 2016. Learning to cope: vocal adjustment to urban noise is correlated with prior experience in black-capped chickadees. Proc. R. Soc. Lond. B. 283:20161058.

Leon RJC, Burkart SE & Movia C. 1979. Serie fitogeográfica No 17. La vegetación de la República Argentina. Relevamiento fitosociológico del pastizal del norte de la depresión del Salado. Secretaría de Estado de Agricultura y Ganadería, INTA, Instituto de Botánica Agrícola.

Lijtmaer DA. 2001. Efecto de la degradación del canto sobre las respuestas territoriales de los chingolos (*Zonotrichia capensis*). Tesis de Licenciatura. FCEN.

Lijtmaer DA & Tubaro PL . 2007. A reversed pattern of association between song dialects and habitat in the Rufous-collared Sparrow. Condor 109:658-667.

Lombard E. 1911. Le signe de l'élévation de la voix. Annales des Maladies de l'Oreille , du Larynx, du Nez et du Pharynx 37:101-119.

Luther D & Baptista L. 2010. Urban noise and the cultural evolution of bird songs. Proc. R. Soc. Lond. B. 277:469-473.

Luther D & Gentry K . 2013. Sources of background noise and their influence on vertebrate acoustic communication. Behaviour 150:1045-1068.

Lynch A, Plunkett GM, Baker AJ & Jenkins PF. 1989. A model of cultural evolution of chaffinch song derived with the meme concept. American Naturalist 133: 634-653.

Marler P. 1970. A comparative approach to vocal learning: Song development in White-crowned Sparrows. Journal of Comparative and Physiological Psychology Monograph 71:1-25.

Marler P & Tamura M .1964. Culturally transmitted patterns of vocal behavior in sparrows. Science 146:1483-1486.

Mikula P, Valcu M, Brumm H, Bulla M, Forstmeier W, Petruskova T, Kempenaers B & Albrecht T. 2021. A Global analysis of song frequency in passerines provides no support for the acoustic adaptation hypothesis but suggests a role for sexual selection. Ecology Letters 24:477-486.

Möller AP. 2011. When climate change affects where birds sing. Behavioral Ecology 22:212-217. doi: 10.1093/beheco/arq200.

Morton ES. 1975. Ecological sources of selection on avian sounds. American Naturalist 109: 17–34.

Moseley DL, Derryberry GE, Phillips JN, Danner JE, Danner RM, Luther DA & Derryberry EP . 2018. Acoustic adaptation to city noise through vocal learning by a songbird . Proc. R. Soc. Lond B 285: 20181356.

Mundinger PC. 1982. Microgeographic and macrogeographic variation in the acquired vocalizations of birds. Capítulo 6. Pp-.147-208. En: Accoustic communication in birds, Vol 2. DE Kroodsma, Miller EH & H Ouellet Eds. Academic Press, New York, London.

Nelson DA, Hallberg KL & Soha JA . 2004. Cultural evolution of Puget Sound White-crowned sparrow song dialects. Ethology 110:879-908. doi: 10.1111/j.1439-0310.2004.01025.x

Nottebohm F. 1969. The song of the Chingolo, *Zonotrichia capensis*, in Argentina: description and evaluation of a system of dialects. Condor 71:299–315.

Nottebohm F. 1975. Continental patterns of song variability in *Zonotrichia capensis*: some possible ecological correlates. American Naturalist 109:605–624.

Parodi LR. 1940. La distribución geográfica de los talares de la Provincia de Buenos Aires. Darwiniana 4:33-56.

Pijanowski BC. 2024. Principles of soundscape ecology. The University of Chicago Press.

Richards DG & Wiley RH. 1980. Reverberations and amplitude fluctuations in the propagation of sound in a forest: implications for animal communication. American Naturalist 115:38 1–399.

Slabbekoorn H. 2013. Songs of the city: noise-dependent spectral plasticity in the acoustic phenotype of urban birds. Anim. Behav. 85:1089-1099.

Trainer JM. 1983. Changes in song dialect distributions and microgeographic variation in song of White-crowned sparrows (*Zonotrichia leucophrys nuttalli*). Auk 100:568-582.

Tubaro PL. 1990. Aspectos causales y funcionales de los patrones de variación del canto del chingolo (*Zonotrichia capensis*). Tesis doctoral FCEN, UBA.

Tubaro PL & Segura ET. 1994. Dialect differences in the song of *Zonotrichia capensis* in the southern Pampas: a test of the acoustic adaptation hypothesis. Condor 1084-1088. doi:10.2307/1369117.

Tubaro PL, Segura ET & Handford P. 1993. Geographic variation in the song of the Rufous-collared Sparrow in eastern Argentina. Condor 95 :588-595. doi:10.2307/1369603.

Tubaro PL, Handford, PT & Segura ET. 1997. Aprendizaje del canto en el chingolo (*Zonotrichia capensis*). Hornero 014(04):204-210. doi: 10.56178/eh.v14i4.965.

Vervoorst FV. 1967. Serie fitogeográfica No 7. La vegetación de la República Argentina. Las comunidades vegetales de la Depresión del Salado (Provincia de Buenos Aires). Secretaría de Estado de Agricultura y Ganadería de la Nación, INTA. Instituto de Botánica Agrícola.

Wiley RH. 2015. Noise Matters –The evolution of Communication. Harvard University Press. Cambridge Massachusetts.

Wiley RH & Richards DG . 1978. Physical constraints on acoustic communication in the atmosphere. Implications for the evolution of animal vocalizations. Behavioral Ecology and Sociobiology 3:69–94.

Wiley RH & Richards DG .1982. Adaptations for acoustic communication in birds: sound transmission and signal detection. In D. E. Kroodsma and E. H. Miller, Acoustic communication in birds. Academic Press, New York 1:131–181.

Williams H. 2021. Mechanisms of cultural evolution in the songs of wild bird populations. Frontiers in Psychology 12:article 643343. doi: 10-2289/fpsyg.2021.643343.

8. Anexos

Anexo 1. Variables medidas sobre los espectros de canto.

Variable	Descripción
SongD	Tiempo total del canto, medido desde el inicio de la primera nota del tema hasta el final de la última nota del trino.
ThemeD	Tiempo que dura el tema, medido desde el principio de la primera nota del tema hasta el final de la última
TrillD	Tiempo que dura el trino, medido desde el punto medio de la primera nota del trino hasta el punto medio de la última del trino
NNotes	Número de notas del trino
IT	Duración del intervalo entre notas del trino, calculado como la duración del trino dividida por el número de intervalos entre notas
SongMax	Máximo valor de frecuencia del canto medido sobre el sonograma
SongMin	Mínimo valor de frecuencia del canto medido sobre el sonograma
ThemeMax	Máximo valor de frecuencia del tema medido sobre el sonograma
ThemeMin	Mínimo valor de frecuencia del tema medido sobre el sonograma
TrillMax	Máximo valor de frecuencia del trino medido sobre el sonograma

TrillMin	Mínimo valor de frecuencia del trino medido sobre el sonograma
SongDeltaFreq	Diferencia entre la frecuencia máxima y mínima del canto completo
ThemeDeltaFreq	Diferencia entre la frecuencia máxima y mínima del tema
TrillDeltaFreq	Diferencia entre la frecuencia máxima y mínima del trino
SongEmp	Frecuencia con mayor energía del canto. Corresponde a la frecuencia con mayor amplitud dentro del espectro de potencia.
ThemeEmp	Frecuencia con mayor energía del Tema. Corresponde a la frecuencia con mayor amplitud dentro del espectro de potencia.
TrillEmp	Frecuencia con mayor energía del trino. Corresponde a la frecuencia con mayor amplitud dentro del espectro de potencia.

Anexo 2. Explicación de índices acústicos.

Índice	**Descripción**

BI Índice Bioacústico. Evalúa la actividad biológica del paisaje sonoro cuantificando la energía acústica presente en el rango de frecuencias asociado a vocalizaciones de organismos vivos (generalmente entre 2–8 kHz, rango típico de las vocalizaciones de aves). Valores más altos indican mayor intensidad de actividad sonora biológica, aunque no reflejan directamente la diversidad de especies.

ADI Índice de Diversidad Acústica. Mide la diversidad espectral del paisaje sonoro. Cuantifica cuántas bandas de frecuencia contienen señales por encima de un umbral.

AEI Índice de Equidad Acústica. Evalúa la uniformidad con que la energía está distribuida entre bandas de frecuencia. Complementa al ADI.

H Entropía Acústica Total. Mide la aleatoriedad espectral y temporal. Valores altos indican señales distribuidas homogéneamente en tiempo y frecuencia.

Referencias:

Boelman NT, Asner GP, Hart PJ & Martin RE. 2007. Multi-trophic invasion resistance in Hawaii: bioacoustics, field surveys, and airborne remote sensing. Ecological Applications. doi: 10.1890/07-0004.1.

Pieretti N, Pijanowski BC, Villanueva-Rivera LJ, Dumyahn SL, Farina A, Krause BL, Napoletano BM & Gage SH. 2011. Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. BioScience. doi:10.1525/bio.2011.61.3.6

Sueur J, Pavoine S, Hamerlynck O & Duvail S. 2008. Rapid acoustic survey for biodiversity appraisal. PLOS ONE. doi :10.1371/journal.pone.0004065.

Villanueva-Rivera LJ, Pijanowski BC, Doucette J & Pekin B. 2011. A primer of acoustic analysis for landscape ecologists. Landscape Ecology 26:1233–1246. doi: 10.1007/s10980-011-9636-9

Anexo 3. Espectros de potencia del ruido ambiente.

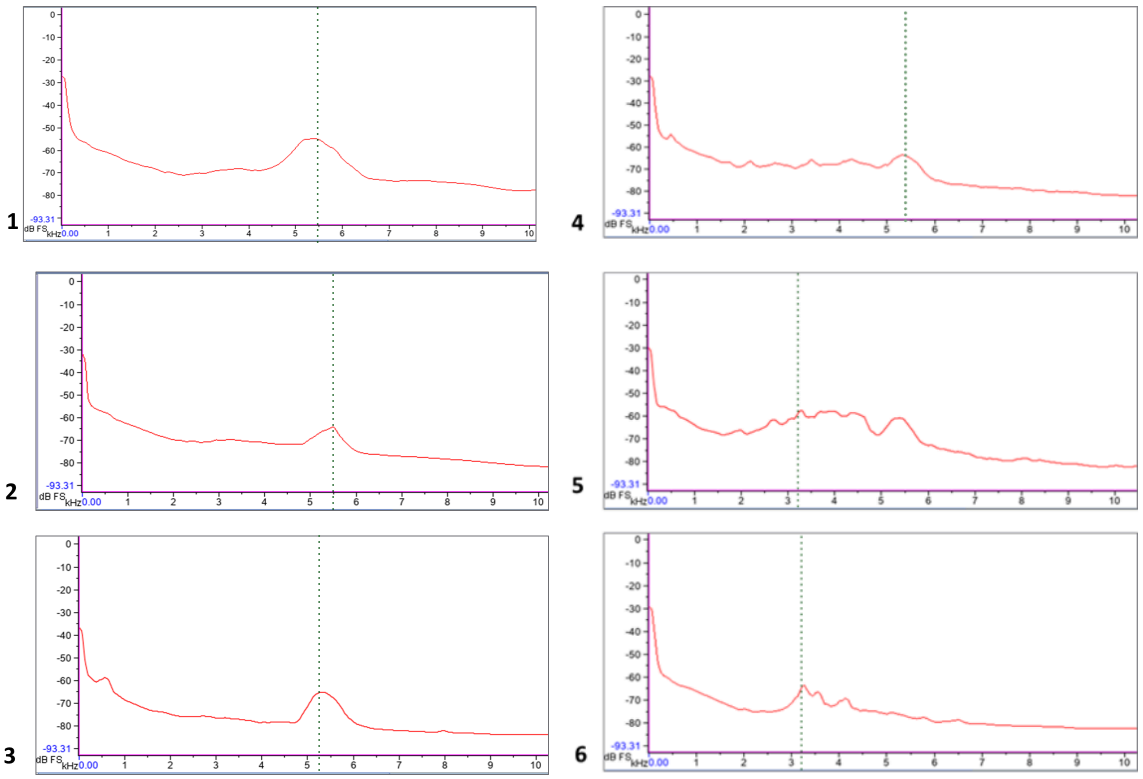


Figura 11. Espectro de potencia del ruido ambiental registrado en un día específico y en un horario definido.

Se presentan los valores de amplitud (dB) en función de la frecuencia (kHz) para los seis equipos SWIFT (1 a 6). Todos los espectros muestran una marcada concentración de energía en frecuencias bajas (por debajo de los 2 kHz), lo cual corresponde a una fuente de origen geofónico, como el viento. En general, se puede apreciar un segundo pico en las frecuencias más altas, el cual podría generar enmascaramiento acústico sobre los cantos de los chingolos. Estos picos están indicados mediante líneas punteadas verticales. Los valores correspondientes a estos picos de frecuencia son los que se representan en la Figura 10.