

**Centro de Investigación Científica y de Educación
Superior de Ensenada, Baja California.**



**Programa de Posgrado en Ciencias de la Vida
con orientación en Biología Ambiental**

**Actualización del Bird Strike Risk Index (BRI2) para México y su
aplicación en el Aeropuerto Internacional de La Paz, Baja
California Sur como caso de estudio**

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta:
Sandra Mariel Gutiérrez Serralde

Ensenada, Baja California, México
2018

Tesis defendida por

Sandra Mariel Gutiérrez Serralde

y aprobada por el siguiente Comité

Dra. Cecilia Soldatini
Directora de tesis

Dr. Yuri Albores-Barajas
codirectora de tesis

Miembros del Comité

Dr. Eduardo Palacios Castro

Dr. Luis Alberto Delgado Argote



Dra. Clara Elizabeth Galindo Sánchez
Coordinadora del Posgrado en Ciencias de la Vida

Dra. Rufina Hernández Martínez
Directora de Estudios de Posgrado

Resumen de la tesis que presenta Sandra Mariel Gutiérrez Serralde, como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en el Posgrado en Ciencias de La Vida con orientación en Biología Ambiental.

Actualización del Bird Strike Risk Index (BRI2) para México y su aplicación en el Aeropuerto Internacional de La Paz como caso de estudio.

Resumen aprobado por:

Dra. Cecilia Soldatini
Codirectora de tesis

Dr. Yuri Albores-Barajas
Codirector de tesis

Este trabajo se llevó a cabo en el Aeropuerto Internacional de La Paz, que se encuentra ubicado a 5 kilómetros de la Bahía de La Paz, donde se distribuyen especies de aves marinas y terrestres de forma diferencial a lo largo del año, algunas de las cuales se han involucrado en accidentes con aeronaves en otros sitios según los registros históricos, además de que en el sitio se ha reportado la presencia de mamíferos grandes y medianos en áreas de movimiento de aeronaves. El objetivo de este trabajo fue evaluar el riesgo de impacto de fauna silvestre con aeronaves en este aeropuerto, por lo que se aplicaron las debidas actualizaciones a partir del Bird Strike Risk Index 2 (BRI2), índice desarrollado previamente en Italia además de valorarse el índice de Carter, utilizado anteriormente en algunos aeropuertos mexicanos. Después de una amplia búsqueda de información histórica y en campo, todas las especies fueron clasificadas en grupos según sus características ecológicas y de comportamiento y los resultados finales mostraron los grupos con mayor riesgo de impacto con aeronaves. Finalmente, para saber la influencia de la fauna externa en la zona de estudio, se realizó una correlación de valores de diversidad con la planta de tratamiento de aguas negras de La Paz la cual cuenta con un registro extenso de fauna dentro de la zona de amortiguamiento del aeródromo. Los resultados obtenidos sobre el riesgo más alto calculado por el BRI2 en el tiempo coincidieron con los estadísticos más altos de impactos en el continente y las aves rapaces grandes fueron, según el BRI2 y el índice de Carter, el grupo más riesgoso dentro del aeropuerto. El segundo grupo de mayor riesgo fueron los paseriformes gregarios. De ambos grupos se obtuvo información de la distribución espacial y temporal utilizable para el manejo de las mismas en el área aeroportuaria. Nuestros resultados nos permiten concluir que se validó la aplicabilidad y la eficacia del cálculo del BRI2 en México.

Palabras clave: aves, aviones, impacto, aeropuertos.

Abstract of the thesis presented by Sandra Mariel Gutiérrez Serralde as a partial requirement to obtain the Master of Science degree.

Actualization of the Birdstrike Risk Index 2 (BRI2) for Mexico and its application in La Paz International Airport as a case of study.

Abstract approved by:

Dra. Cecilia Soldatini
Director

Dr. Yuri Albores-Barajas
Director

This study was developed in La Paz International Airport, located 5 kilometers from La Paz Bay, where many species of sea and terrestrial birds are distributed in different patterns through the year and some of them have been involved in accidents with aircraft in other locations according to the historical documentation. The aim of the study was to evaluate the risk of wildlife strike applying the updates of the Birdstrike Risk Index 2 (BRI2), previously developed in Italy, and compared with Carter's risk assessment, applied it to La Paz International Airport, Mexico. Then, a diversity correlation was made in order to understand the influence of the sites surrounding the airport on the presence of birds within the airport. The residual water treatment plant of La Paz is adjacent to the airport and this area has been continuously recorded for bird presence. The results regarding to the highest risk calculated by the BRI2 and the timing, coincided with the historical register of bird strikes in the continent. The group of large size birds of prey was the one with the highest bird strike risk in the airport recorded with the BRI2 and with Carter's risk assessment, followed by the group of the flocking passerines. The information about the spatial and temporal distribution of the birds of prey of large size and flocking passerines was obtained and can be used for management planning in the future. Finally, my results allow us to conclude the validation of applicability and effectiveness of the calculation of the BRI2 in Mexico.

Key words: wildlife strike, bird strike, airports.

Dedicatoria

A los que se fueron mientras yo no estaba.

Agradecimientos

Al CONACyT por la beca que me fue otorgada y sin la cual este trabajo de maestría no hubiera sido posible.

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, que me dio la oportunidad de desarrollar mi tema de tesis apoyando con el convenio CICESE-GAP

A la Dra. Cecilia Soldatini, Directora de este proyecto, gracias por su infinita paciencia, préstamo de literatura, por darme un espacio en su equipo de trabajo, por acompañarme al aeropuerto y enseñarme tanto en campo. Creo que nunca terminaré de decir gracias.

Al Dr. Yuri Albores por sus observaciones y ser codirector de esta tesis.

A los sinodales por su tiempo para leer mi proyecto y contribuir con sus comentarios, Dr. Daniel Galindo, Dr. Armando Trasviña, Dr. Eduardo Palacios, Dr. Luis Delgado.

Al Dr. Horacio de la Cueva, gracias por sus clases, la receta del pastel de chocolate con tofu y sus opiniones sobre este proyecto.

Al administrador del Aeropuerto Internacional de la Paz Omar Torres por su confianza y apoyo desde el principio para la realización de este proyecto.

A Rubén González jefe de operaciones por brindarme la información necesaria para efectuar esta tesis.

Al personal administrativo y de seguridad del Aeropuerto Internacional de La Paz por proporcionarme las facilidades para el ingreso a las instalaciones del Aeropuerto Internacional de La Paz para la toma de datos.

Gracias al personal de Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM) por concederme el acceso a la torre de control para realizar mis muestreos y a todos los controladores que conocí por su excelente trabajo, por dejarme hacerles preguntas y por hacerme preguntas sobre mi trabajo, Edgar, Claudia, Raúl, Eros, Héctor, Marlon y Axel. Al personal de control de fauna de las Californias, Rubén y Romario por compartirme sus experiencias y llevarme a algunos de sus recorridos en el aeropuerto.

A todos los que me escucharon exponer y me ayudaron con sus comentarios, y por estar en La Paz, Martha, Giulia, Javier.

A los amigos que hice en la maestría, están lejos pero siempre están, William, Yahir, Maressa, Jamvier, además de ayudarme a hacer todo desde lejos y recibirme cada vez que voy. Gracias, gracias, gracias.

Y a las biólogas que dejé en CDMX por orden alfabético y por darme sugerencias en la escritura de esta tesis y tolerarme cada que me frustró, Alejandra, Fátima y Montse.

Tabla de contenido

	Página
Resumen en español.....	ii
Resumen en inglés.....	iii
Dedicatorias.....	iv
Agradecimientos.....	v
Lista de figuras.....	ix
Lista de tablas.....	xi
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Hipótesis.....	5
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivo general	6
1.3.2 Objetivos específicos.....	6
Capítulo 2. Métodos.....	7
2.1 Área de estudio	7
2.2 Análisis de datos	8
2.2.1 Compilación de información a nivel regional y en el Aeropuerto Internacional de La Paz.....	8
2.2.2 Cálculo del BRI2.....	10
2.2.3 Correlación datos del BRI2.....	12
2.2.4 Grupos de riesgo en el Aeropuerto Internacional de La Paz.....	13
2.2.5 Cálculo del Índice de Carter.....	13
2.2.6 Cálculo de diversidad específica con el índice de Shannon entre el aeropuerto y un sitio cercano	15
2.2.7 Mapas temáticos.....	16
Capítulo 3. Resultados.....	18
3.1 Compilación de datos a nivel regional.....	18
3.2 Cálculo del BRI2.....	19
3.2.1 Cálculo del BRI2 con datos del GCF del Aeropuerto Internacional de La Paz	19

3.2.2 Cálculo BRI2 con datos propios.....	21
3.2.3 Correlación de Pearson con datos BRI2.....	21
3.2.4 Presencia de grupos de riesgo en el aeropuerto y su efecto en el cálculo del BRI2.....	22
3.3 Cálculo índice de Carter.....	27
3.4 Cálculo del índice de Shannon con un sitio dentro de la zona de amortiguamiento.....	27
3.5 Mapas temáticos generales.....	28
Capítulo 4. Discusión.....	29
Capítulo 5. Conclusiones.....	34
Literatura citada.....	35
Anexo.....	39

Lista de figuras

Figura	Página
1 Mapa del Aeropuerto Internacional de La Paz dividido en cuadrantes de 250*250 metros. Su orientación está 7 grados a la izquierda con respecto al Norte geográfico y sus coordenadas 24°4'33.71"N -110°22'2.34"O.....	7
2 Zona de amortiguamiento de 13 km a la redonda del Aeropuerto Internacional de La Paz, establecida por la OACI (2015) en su Manual de Servicios de Aeropuertos	16
3 Total de especies de aves y mamíferos en los monitoreos propios desde octubre de 2017 a julio de 2018.....	18
4 Número de especies de aves y mamíferos registradas en los monitoreos del equipo de GCF durante el periodo de 2014 a abril de 2018, con algunas discontinuidades de datos entre enero y abril de 2016 y julio de 2017.....	19
5 Datos mensuales del cálculo del BRI2 para el periodo de 2014 a 2018 en el Aeropuerto Internacional de La Paz con los datos acumulados del GCF. Se presentan los datos continuos a partir de octubre de 2014 hasta diciembre de 2015. Los valores su vuelven a mostrar continuos desde mayo de 2015 hasta junio de 2017, donde vuelve a haber un lapso vacío que se reanuda hasta agosto del mismo año y continua hasta abril de 2018.....	20
6 Datos mensuales del cálculo del BRI2 desde octubre de 2017 hasta julio de 2018 en el Aeropuerto Internacional de La Paz con datos propios.....	21
7 Información temporal y espacial de presencia de rapaces grandes (grupo5) en el Aeropuerto internacional de La Paz con mis datos. El inciso a) muestra el histograma del número de aves en cada hora de muestreo, la línea color azul representa el periodo de anidación de marzo a julio, la color naranja, la migración de invierno que va de diciembre a febrero y la línea color verde representa el periodo de migración de otoño desde octubre a noviembre. En el inciso b) se presentan los mapas de distribución por época del año en el orden siguiente: A -color azul, periodo de anidación de marzo a julio, B – color rojo, invierno meses de diciembre a febrero y C – color verde, periodo de migración de otoño en los meses de octubre a noviembre.....	23
8 Información temporal y espacial de presencia de passeriformes gregarios (grupo 15) en el Aeropuerto Internacional de La Paz con mis datos. El inciso a) muestra el histograma del número promedio de aves en cada hora de muestreo, la línea color azul representa el periodo de anidación de marzo a julio, la color naranja la migración de invierno desde diciembre a febrero y la línea color verde representa el periodo de migración de otoño que va de octubre a noviembre. En el inciso b) se presentan los mapas de distribución por época del año en el orden siguiente, A –	

	color azul, periodo de anidación de marzo a julio, B – color rojo, invierno meses de diciembre a febrero y C - color verde, periodo de migración de otoño en los meses de octubre a noviembre	24
9	Información temporal y espacial de presencia de rapaces grandes (grupo 5) en el Aeropuerto Internacional de La Paz con datos del GCF. El inciso a) muestra el histograma del número promedio de aves en cada hora de muestreo, la línea color azul representa el periodo de anidación en los meses de marzo a agosto, la color naranja la migración de invierno de diciembre a febrero y la línea color verde representa el periodo de migración de otoño que va de septiembre a noviembre. En el inciso b) se presentan los mapas de distribución por época del año en el orden siguiente, A – color azul, periodo de anidación de marzo a agosto, B – color rojo, invierno meses de diciembre a febrero y C - color verde, periodo de migración de otoño en los meses de septiembre a noviembre.....	25
10	Información temporal y espacial de presencia de paseriformes gregarios (grupo 15) en el Aeropuerto Internacional de La Paz con datos del GCF. El inciso a) muestra el histograma del número promedio de aves en cada hora de muestreo, la línea color azul representa el periodo de anidación desde marzo hasta agosto, la color naranja la migración de invierno que va de diciembre a febrero y la línea color verde representa el periodo de migración de otoño de septiembre a noviembre. En el inciso b) se presentan los mapas de distribución por época del año en el orden siguiente, A – color azul, periodo de anidación de marzo a agosto, B – color rojo, invierno meses de diciembre a febrero y C - color verde, periodo de migración de otoño en los meses de septiembre a noviembre.....	26
11	Mapas de distribución de especies representados con color falso del Aeropuerto Internacional de La Paz. Cada uno representa la abundancia del total de especies en los distintos cuadros, la letra A representa la distribución del total de especies con los datos propios, la figura B muestra los datos del GCF.....	28

Lista de tablas

Tabla	Página
1 Grupos asignados a cada especie según la clasificación establecida en el BRI2 (Soldatini <i>et al.</i> , 2011) con modificaciones en los grupos de mamíferos, que inicialmente se establecieron como los Grupo 16 y 17, de mamíferos pequeños y medianos respectivamente. A la clasificación anterior se le añadió un tercer grupo, el 18, por la presencia de bovinos en el sitio, para así promediar su peso de manera separada de tal manera que las especies de menor peso puedan reflejarse dentro de sus respectivos grupos.....	9
2 Valores de H' calculado para la planta de tratamiento de aguas negras de La Paz y para el Aeropuerto Internacional de La Paz con mis datos.....	27

Capítulo 1. Introducción

Los aeropuertos son sitios clave para el transporte de bienes y personas y están expuestos a la presencia de fauna silvestre dentro de sus áreas operativas, lo que en algunos casos resulta en el impacto de fauna con aeronaves, evento conocido internacionalmente como *wildlife strike* (Skybrary, 2018).

Los protocolos internacionales establecidos por la Organización de Aeronáutica Civil Internacional (ICAO por sus siglas en inglés) en el Manual de Servicios Aeroportuarios recomiendan evaluar el riesgo de impacto de fauna silvestre en cada aeropuerto. Este es el producto de la probabilidad de que ocurra un accidente multiplicado por el daño que ocasiona a las aeronaves. A cada especie identificada dentro de los aeropuertos se le puede asignar un nivel cualitativo de riesgo (OACI, 2011) sin embargo a nivel local, algunos países como Italia, han adoptado métodos específicos como el BRI2 que permite evaluar el riesgo de impacto basándose en evaluaciones históricas y actuales de la problemática en un aeropuerto específico (Soldatini *et al.*, 2011).

A nivel mundial existe registro desde 1912 hasta 2009 de 15 accidentes fatales producidos por uno o varios impactos y aeronaves de aerolíneas y jets ejecutivos, que, en conjunto con los registros de impactos con aeroplanos de menos de 5, 700 kg y helicópteros, resultaron en la muerte de 188 personas (Thorpe, 2009). En todo el mundo los gastos directos e indirectos derivados de estos accidentes ascienden a 1.2 mil millones de dólares anuales, cifra que muy probablemente esté subestimada (Allan, 2000).

En este contexto se hace relevante el desarrollo de herramientas que permitan evaluar el riesgo de choque con precisión bajo las condiciones particulares de cada aeropuerto además de las recomendaciones generales del Manual de Servicios Aeroportuarios. Un índice que funciona como herramienta para la estimación de riesgo de impacto es el Birdstrike Risk Index 2 (BRI2), que estima cuantitativamente cuando el riesgo de que un accidente suceda será mayor a lo largo del año e incorpora características ecológicas de las especies observadas en áreas operativas (Soldatini *et al.*, 2011).

En México no hay referencias de trabajos similares con los que se pueda generar información útil para elaborar planes de manejo de fauna en aeropuertos con miras a evitar un accidente de esta índole. La Paz es un sitio de gran importancia por la cantidad de especies que están registradas en la zona, además de que el aeropuerto se encuentra muy cerca del mar, hábitat de aves marinas y costeras que son riesgo para las operaciones aeronáuticas.

El BRI2 se actualizará para que sirva como base para estimar el riesgo de impacto de fauna silvestre con aeronaves en el Aeropuerto Internacional de La Paz, Baja California Sur; se actualizará a las condiciones ambientales y a las especies presentes en las áreas operativas del aeropuerto. Este índice ha funcionado para análisis de riesgo de impacto en varios aeropuertos italianos brindando resultados comparables entre ellos además de que incorpora características ecológicas de las especies como son patrones de presencia, los hábitos individuales o de agregación, las características del entorno por las que son atraídas para forrajear o reproducirse y el peso de cada una (Soldatini *et al.*, 2011); variables fundamentales para saber cuál será su distribución dentro del Aeropuerto Internacional de La Paz, qué tan grave es el daño que pueden causar y qué tanta probabilidad hay de que estén involucradas en un impacto.

Los resultados de este trabajo podrán ser utilizados para realizar acciones de manejo encaminadas a disminuir el riesgo de impacto en el Aeropuerto Internacional de La Paz y se sienta un antecedente importante pues en ningún aeropuerto de México hay registro sobre desarrollo de trabajos de análisis de riesgo de accidentes que utilicen las características ecológicas de las especies que se utilizarán en este proyecto. Además, servirá para reducir los costos que sufragan aeropuertos y aerolíneas derivados de un accidente y para trabajos futuros en otros aeropuertos del país.

1.1 Antecedentes

Se ha estimado que en el mundo los costos directos e indirectos de impacto pueden ascender a 1 200 millones de dólares anuales, pero se sabe que la cifra ha sido subestimada por la limitación de los datos disponibles, aunque se han visto que el costo se puede reducir si se invierte en un plan de manejo, que cuesta incluso menos que el ahorro que representa para aerolíneas y aeropuertos (Allan, 2000).

Existen varios esfuerzos de compilación de datos de accidentes con fauna silvestre en el mundo, la recopilación de información cobra importancia ya que desde 2003 la ICAO ha emitido la recomendación de que el riesgo de impacto sea calculado con procedimientos nacionales para registrar y reportar cada uno. Es importante tener todos los registros de impactos debido a que con ellos se puede hacer análisis estadísticos que nos puede ofrecer tres tipos de información: la científica, la educativa y garantías de seguridad que se puedan obtener con estos datos (Dekker y Buuma, 2005).

John Thorpe, en 2009 compiló los accidentes en la aviación civil desde 1912 hasta ese año. En su trabajo menciona que las aves marinas, especialmente las gaviotas, son que se tienen un mayor registro de casos de impacto donde se han involucrado con aeronaves de transporte y jets ejecutivos. Por otro lado, el mismo autor informa que en aeroplanos de 5,700 kg, el 50% de los registros de aves que estuvieron implicadas en un accidente fueron aves de presa.

En el mundo se han registrado 47 accidentes fatales producidos por uno o varios impactos con aeronaves de aerolíneas y jets ejecutivos. Las bajas de civiles han sido estimadas por diversos autores, algunos sugieren un total de 450 personas durante todos los eventos de colisión (Thorpe, 2016), otros autores dan cifras de 243 decesos desde los registros de 1919 hasta 2004 (Allan, 2006). Los eventos de impacto también representan un riesgo para la vida de civiles y personal de tripulación en aire y tierra además de costos elevados para aerolíneas y aeropuertos.

Se estima que el 97% de los impactos de aeronaves con fauna silvestre han sido causados por aves (Devault y Washburn, 2013). Uno de los casos de impactos mejor documentados sucedió en 2009 en el Aeropuerto de LaGuardia, dentro del Estado de Nueva York, donde se registró un impacto producido por la colisión de una parvada de aves con un Airbus A320 con 155 personas a bordo a ~8 km del aeropuerto y a una altitud por encima del suelo de ~ 884 m que obligó a un acuatizaje de emergencia en el Río Hudson debido a la pérdida de los dos motores de la aeronave. Las aves fueron identificadas posteriormente con muestras del plumaje colectadas dentro de las turbinas y después del análisis de ADN se obtuvo una afinidad del 99 - 100% con ganso canadiense (*Branta canadensis*) (Marra *et al.*, 2009).

Además de la avifauna como causante de impactos, también hay especies terrestres involucradas que en total ocasionan 2.4% de los accidentes por impactos reportados sólo para Estados Unidos. El 56% de los daños totales por impactos han sido causados por mamíferos terrestres, y de ese total el 51% han sido ocasionados por mamíferos herbívoros de gran tamaño (Dolbeer *et al.*, 2005). A pesar de esta información la ICAO no menciona dentro de sus recomendaciones generales cómo estimar el riesgo de impacto con este tipo de fauna.

La mayoría de los índices y estudios que se han desarrollado en años recientes solo se usan para asignar una categoría de riesgo a las especies o grupos de especies de aves y mamíferos dando prioridad a la masa y el número de individuos como indicadores de mayor probabilidad de impacto con una aeronave, o se centran en el daño ocasionado en el fuselaje (Devault *et al.*, 2018), así como en los gastos

económicos derivados del impacto. Por otro lado, los trabajos que proponen ponderar el riesgo son pocos, por lo aún se busca lograr medidas estandarizadas para cuantificar la probabilidad de impacto.

En la mayoría de los países desarrollados mayoritariamente ha habido diversas propuestas para la estimación de riesgo de impactos con fauna silvestre. Una de las aproximaciones que se usa en México es la categorización de especies de riesgo propuesta por Carter (2001), la cual evalúa de acuerdo a una escala logarítmica una serie de 10 aspectos descriptivos en cada una de las especies o grupos de especies con características similares dentro del aeropuerto, donde cada individuo o grupo se evalúa como un porcentaje de la especie que represente mayor amenaza.

Otra propuesta relevante de medición de riesgo es el de Allan (2006), basada esencialmente en indicadores económicos y bases probabilísticas. Fue elaborada en aeropuertos de Reino Unido, pero con aplicación viable en aeropuertos de Estados Unidos. Allan planteó calcular el riesgo con variables como el daño que puede ocasionar a una aeronave el impacto de un individuo de cierta masa y los datos de impactos previos recuperados del aeródromo para estimar la probabilidad de impacto; los datos se concentran en una matriz para poder estimar de forma categórica el nivel de respuesta requerida por el personal del grupo de control de fauna (GCF, de aquí en adelante se utilizarán estas siglas para referirse al grupo de control de fauna) dentro del aeropuerto.

En Italia se propuso el Bird Strike Risk Index (BRI) elaborado inicialmente en el Aeropuerto Internacional Marco Polo de Venecia como una herramienta con bases ecológicas para definir el riesgo de que un accidente suceda en periodos y áreas particulares para diversas especies. El índice propuso la agrupación de especies de aves según sus características ecológicas tales como hábitat, dieta, tamaño corporal y su comportamiento social (Soldatini *et al.*, 2010). Posteriormente el BRI se validó en nueve aeropuertos del país y se actualizó para poder ser usado por la normativa de la Aeronáutica Civil Italiana y así comparar el riesgo de impacto en aeropuertos con diferentes volúmenes de tráfico aéreo (Soldatini *et al.*, 2011). Las modificaciones al índice inicial del ahora conocido como Bird Strike Risk Index 2 (BRI2) incluyen la introducción de registros de mamíferos de menos de 10 kg y de más de 10 kg, el efecto de un impacto sobre los vuelos en una escala numérica y la normalización de su escala según el número de vuelos en cada aeropuerto. Su cálculo se efectúa por medio de una ecuación que toma en cuenta el riesgo específico de cada especie, el total de grupos, la media mensual de vuelos en el aeropuerto y media diaria del tráfico aéreo calculada periódicamente.

El Aeropuerto Internacional de La Paz, con un promedio de 19,666 operaciones anuales (SCT, 2018), no se ha probado ninguna metodología para estimar el riesgo de impacto. Aunque se encuentra cerca del mar, como muchos aeropuertos italianos considerados en la elaboración del BRI2, sus características específicas son muy distintas.

En los sitios costeros aledaños al aeropuerto existen zonas con gran presencia de avifauna, como la Bahía de La Paz donde anidan 21 especies de aves acuáticas, y tan sólo en la Ensenada de La Paz hay registro de 13 especies de aves acuáticas anidantes (Becerril y Carmona, 1997). Estudios más recientes sugieren la presencia de cuando menos 75 especies de aves acuáticas 48 especies terrestres. Dentro de las aves acuáticas 26 especies fueron residentes y 49 migratorias (Zamora-Orosco *et al.*, 2007) y todas ellas pueden representar un peligro real para las operaciones aeronáuticas.

El área costera colindante con el Aeropuerto Internacional de La Paz es importante como lugar de descanso y anidación para aves migratorias debido a que se ubica dentro de la ruta migratoria del Pacífico, uno de los cuatro principales corredores migratorios de Norteamérica (Wilson, 2011), que abarca desde Alaska hasta el Norte de la Patagonia y por el que viajan millones de aves para anidar, alimentarse y buscar o refugio para el invierno (NOAA, 2018). Lo que se sabe sobre las especies de aves migratorias que pasan por este corredor y la evidencia histórica que algunas de ellas tienen sobre impactos con aeronaves, recalca la relevancia de la aplicación de herramientas de evaluación de riesgo de accidentes en este aeropuerto, que se encuentra a 5 km de sitios con hay gran presencia de aves y a esta distancia puede hacer interacciones entre estas aves y las operaciones aeronáuticas.

1.2 Hipótesis

El cálculo del BRI2 un aeropuerto mexicano además de validar su aplicabilidad, arrojará información que se pueda usar en el manejo proactivo del mismo. En particular, en el Aeropuerto Internacional de La Paz ubicado en la región Neártica, los valores calculados de BRI2 variarán con los periodos de migración de las aves dicha región y, los grupos de mayor riesgo de impacto tendrán presencia temporal y espacial heterogénea en el aeropuerto. Los componentes de este índice reflejarán la distribución espacial y temporal de las especies.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el riesgo estacional de impacto de fauna silvestre con aeronaves en el Aeropuerto Internacional de La Paz, con el índice BRI2 principalmente para reducir el riesgo de impacto en el aeródromo a través de las recomendaciones que se puedan generar a partir de este trabajo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Asignar las especies registradas en el aeropuerto a grupos específicos de acuerdo a la clasificación del BRI2.
- Calcular el índice de riesgo BRI2 y el índice de Carter para comparar resultados.
- Determinar la distribución espacial y temporal de los grupos de riesgo en el aeropuerto.
- Comparar dos tipos de monitoreo, los del personal del aeropuerto o GCF (GCF) y los propios a lo largo del tiempo.
- Verificar la influencia de especies en el aeropuerto a partir de un sitio externo dentro del área de influencia del aeropuerto.
- Dar recomendaciones de manejo de especies según el nivel de riesgo de cada grupo y su presencia estacional dentro del aeropuerto.

Capítulo 2. Métodos

2.1 Área de estudio

El Aeropuerto Internacional de La Paz cubre un área de 513.58 hectáreas y se ubica en las coordenadas $24^{\circ} 4'33.71''\text{N}$ $-110^{\circ}22'2.34''\text{O}$, a 5 km de la Bahía de La Paz. Cuenta con una única pista de 2, 500 metros de largo orientada con dirección 18 - 36 respecto al Norte magnético. Para este trabajo se adoptó el mismo mapa que el personal de tierra, se encuentra dividido con una malla con cuadrantes de 250 por metros y se identifica con letras de la A a la T en dirección Norte – Sur y números del 0 al 3 en dirección W- E (Figura 1).



Figura 1. Mapa del Aeropuerto Internacional de La Paz dividido en cuadrantes de 250*250 metros. Su orientación está 7 grados a la izquierda con respecto al Norte geográfico y sus coordenadas $24^{\circ} 4'33.71''\text{N}$ $-110^{\circ}22'2.34''\text{O}$.

En la zona de estudio la temperatura media anual es de 24.1°C (SMN, 2010) los vientos dominantes en primavera soplan en dirección Oeste-Sur, en verano Sur-Suroeste, otoño del Noroeste y en invierno del Norte y Noroeste (Gobierno del Estado de B.C.S., 2018), el tipo de vegetación dominante es matorral xerófilo (Rzedowski, 2005) con manejo constante para control de crecimiento de malezas en áreas de movimiento de aeronaves y el clima es de tipo cálido seco según la clasificación climática de Köppen (Morillón y Mejía, 2004).

2.2 Análisis de datos

2.2.1 Compilación de información a nivel regional y en el Aeropuerto Internacional de La Paz

Se comenzó con la búsqueda en línea de todas las especies de aves y mamíferos en el estado de Baja California Sur incluyendo datos de peso promedio y distribución de cada una para no descartar la presencia de ninguna y, en caso de accidente de una especie no reportada con anterioridad u observación nueva, contar con el registro y así poder incluirlas de forma más eficiente en la base de datos.

Cada especie se asignó el grupo correspondiente según el BRI2 de acuerdo a la Tabla 1 para simplificar las medidas de manejo que se tomen sobre cada una, donde cada grupo responde a las características ecológicas, comportamentales y de tamaño corporal de cada especie (Soldatini *et al.*, 2011). Los detalles de cada especie y el grupo al que fue asignada se encuentran en el Anexo. Además, para mejor manejo de la información se incluyó el peso promedio de cada una y su clasificación taxonómica desde Clase, Orden, Familia, Género, Especie (Avibase con referencia a la American Ornithologists' Union <https://avibase.bsc-eoc.org/avibase.jsp>, consultado el 1 de abril de 2018) y nombre estandarizado, hábitat predominante (acuático o terrestre) y comportamiento (gregario o solitario).

Los datos de peso promedio de cada especie de avifauna se obtuvieron de The Handbook of the birds of the world Alive (del Hoyo *et al.*, 2018), su distribución fue revisada en la página Avibase con referencia en NatureServe (Avibase- the world bird database, <https://avibase.bsc-eoc.org/avibase.jsp>, consultado el 1 de abril de 2018) y los nombres estandarizados de cada una fueron obtenidos de la lista actualizada de especies y nombres comunes de aves de la CONABIO (Berlanga *et al.*, 2017). El peso promedio de los mamíferos se obtuvo del libro Mammals of Mexico (Ceballos, 2014) y su distribución fue consultada en la lista de mamíferos de Baja California Sur, obtenida de la página de la CONABIO, Naturalista (CONABIO, 2018). Sobre la distribución de aves, esta se confirmó en la base de datos eBird consultados el 3 de febrero de 2018, desde 1976 a la fecha y las listas de artículos publicados del trabajo compilatorios de Carmona *et al.* 2017, con el registro de todas las colecciones zoológicas de aves de estado, mientras que la de los mamíferos, se creó un listado de todas las especies con distribución en el estado especificadas en el libro Mammals of Mexico (Ceballos, 2014).

Tabla 1. Grupos asignados a cada especie según la clasificación establecida en el BRI2 (Soldatini *et al.*, 2011) con modificaciones en los grupos de mamíferos, que inicialmente se establecieron como los Grupo 16 y 17, de mamíferos pequeños y medianos respectivamente. A la clasificación anterior se le añadió un tercer grupo, el 18, por la presencia de bovinos en el sitio, para así promediar su peso de manera separada de tal manera que las especies de menor peso puedan reflejarse dentro de sus respectivos grupos.

Número de grupo	Nombre
1	Zambullidores
2	Cormoranes, cisnes, pelícanos y gansos
3	Garzas, cigüeñas y flamencos
4	Patos y galliformes
5	Rapaces grandes
6	Halcones
7	Aves marinas grandes
8	Aves marinas pequeñas, charranes
9	Aves playeras
10	Palomas
11	Rapaces grandes nocturnos
12	Golondrinas y vencejos
13	Cuervos
14	Paseriformes solitarios y murciélagos
15	Paseriformes gregarios
16	Mamíferos pequeños
17	Mamíferos medianos
18	Mamíferos grandes

Posteriormente se integró una segunda base de datos con los monitoreos del aeropuerto y los propios. Sobre los datos del aeropuerto, se solicitaron los datos capturados por las empresas licitantes para este fin hasta la fecha más reciente posible. Se obtuvieron los reportes diarios y mensuales, impresos y en su caso digitales desde mediados de 2014 hasta abril de 2018. Al contrastar los reportes de monitoreo de fauna mensuales y los diarios en papel se encontraron diferencias, por lo que se consultaron directamente los reportes diarios.

Sobre los monitoreos de fauna propios, se realizaron desde un solo punto, la torre de control, en todas las horas de luz, desde las 6:00 hasta las 18:00 horas dos veces por mes, para completar 24 horas de muestreo mensual basándose en lo establecido en el trabajo original de Soldatini y colaboradores en 2011. Se inspeccionaron todos los cuadros de muestreo en el aeropuerto establecidos en la Figura 1 con revisiones exhaustivas con el telescopio de observación iniciando cada hora desde los cuadrantes ubicados en la letra T hasta llegar a la A. En caso de un vuelo en aproximación o en despegue, se siguió en su trayectoria hasta perderse de vista para ver la presencia de fauna cercana.

Para hacer los cálculos necesarios para el BRI2, el personal de operaciones del Aeropuerto facilitó los datos sobre la cantidad de vuelos mensuales desde 2014 hasta Junio de 2018 y junto con estos y los datos de campo, la base de datos final se integró con hora de avistamiento, especie y nombre estandarizado, suma, número de muestreo, media de individuos, código de grupo conforme a la Tabla 1, cuadrante dentro del aeropuerto, características del de avistamiento (hierba, edificios, pista, plataforma o rodaje) y actividad (corriendo, caminando, alimentándose, perchado o en vuelo).

La herramienta principal de observación fueron telescopios Vortex 20x60 y Swarovsky Habicht ST 80 HD de 20x60 aumentos. La identificación de especies en campo se llevó a cabo con la Guía de campo de aves de Norteamérica de National Geographic (Lloyd y Alderfer, 1987) y en caso de presentar dudas en su identificación se auxilió con la aplicación Merlin Bird ID de Cornell Lab (Cornell University, 2018) o con clasificación posterior valiéndose de la fotografía de cada especie.

2.2.2 Cálculo del BRI2

Siguiendo el procedimiento establecido, se determinó el índice de riesgo usando los datos de abundancia, después de asignar a cada especie a un grupo respectivo según sus características físicas, de comportamiento y ecológicas. Primero se realizó el cálculo del número promedio de aves observadas por grupo en todos los monitoreos (A_g), después el número promedio diario de aves por cada grupo (DB_i) para posteriormente calcularse el promedio del número de vuelos anuales (TFN).

De los eventos de impacto registrados se tomó la información del daño ocasionado a las aeronaves, con un percentil de 95 en una escala del 1 a 5 para no sobreestimar el riesgo de ningún grupo en caso de haber ocasionado algún impacto. En esta escala 1 representa ningún daño y 5 un evento catastrófico (EOF⁹⁵).

Con la información obtenida anteriormente se obtuvo el factor grupal (GF) conforme a la Ecuación 1,

$$(GF_i = W_i \cdot Ag_i \cdot \frac{Bs_i}{TFN} \cdot EOF_i^{95}) \quad (1)$$

Dónde:

i = grupo de especies

GF_i = Factor grupal (Group factor por su nombre en inglés)

W_i = peso promedio del grupo

Ag_i = media de agregación

Bs_i = número histórico de impactos

TFN = Media de vuelos anuales

EOF_i^{95} = percentil 95^{vo} del efecto del impacto en una escala del 1 al 5

Posteriormente se registró el riesgo específico de cada grupo (GSR) conforme a la Ecuación 2,

$$(GSR_i = \frac{GF_i}{\sum_{i=1,N} GF_i} \cdot DB_i) \quad (2)$$

Dónde:

GF_i = factor grupal (Group factor por su nombre en inglés)

DB_i = media de agregación grupal diaria

Con la media de vuelos diarios calculada según el número de vuelos mensuales y con la media de vuelos anuales se calculó el BRI2 con la Ecuación 3.

$$(BRI2 = \left(\frac{\sum_{i=1,N} GSR_i \cdot DF}{TFN} \right)) \quad (3)$$

Dónde:

GSR_i = riesgo específico de cada grupo (Group Specific Risk por su nombre en inglés)

DF = media de vuelos diaria

TFN = media de vuelos anuales

Para ajustar los valores del daño causado por impacto o effect on flight (EOF por sus siglas en inglés), se tomaron los accidentes registrados de 2000 a 2015 en el Aeropuerto Internacional de Los Cabos consultados de la página web de la Federal Aviation Administration de Estados Unidos consultada el 3 de Mayo de 2018 (FAA por sus siglas en Inglés). Los datos del Aeropuerto Internacional de Los Cabos se tomaron ya que los accidentes reportados en el Aeropuerto de La Paz son escasos y asumimos como comparable la información el EOF por la cercanía del aeropuerto y la variabilidad mínima en las especies que se distribuyen en ambos sitios, teniendo así valores más informativos sobre las posibles consecuencias en caso se de algún impacto. Este aeropuerto se localiza en las coordenadas 23°9'19.08"N – 109°42'56.30"O a 120 kilómetros del Aeropuerto Internacional de La Paz y a 12 km de la costa del Pacífico, con una pista orientada en dirección 160 – 340° con respecto al norte magnético, con vientos dominantes en primavera provenientes del oeste y sur, en verano del sur y suroeste, en otoño del noroeste y en invierno del norte y noroeste (DIGAOHM, 2018) y la vegetación predominante en el sitio es matorral xerófilo (Rzedowski, 2005).

2.2.3 Correlación de datos del BRI2

Se realizó una correlación a lo largo del tiempo para los datos de monitoreo del GCF y los capturados en el aeropuerto y a los valores de cada mes del año se les aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. La correlación se calculó con el coeficiente de Pearson en la Ecuación 4 con un valor de $p = 0.05$, método utilizado para datos con distribución normal, todo con el Software R versión 1.0.143 (R Core Team, 2018).

$$r_{xy} = \frac{\sum Z_x Z_y}{N} \quad (4)$$

Donde:

$x, y =$ variables a correlacionar

$Z =$ valores estandarizados de grupo de datos

$N =$ número total de muestreos

2.2.4 Grupos de riesgo en el Aeropuerto Internacional de La Paz

Se graficaron los grupos de mayor GSR observado durante los meses con los valores del BRI2 más altos en histogramas de frecuencia con los datos del aeropuerto y propios, según el número promedio de individuos en las distintas horas de luz para así conocer su distribución temporal en el aeropuerto.

Los datos en los histogramas se agruparon según los periodos de migración de las aves en el Neártico, de esta forma se presenta gráficamente su presencia horaria diaria durante el otoño, periodo de migración de avifauna hacia el sur a latitudes más cálidas, en invierno, durante el cual las aves migratorias se distribuyen en el hemisferio sur y finalmente durante el periodo de anidación, en los meses de marzo a junio en los que las aves regresan al norte para reproducirse (Loyd y Alderfer, 2002; Bildstein, 2014).

De acuerdo a las características migratorias mencionadas con anterioridad, las categorías asignadas para la agrupación de datos en forma de histogramas por grupo de riesgo para su fácil manejo fueron, anidación (de marzo a agosto), invierno (de diciembre a febrero) y migración de otoño (de septiembre a noviembre).

Los datos anteriores fueron complementados con mapas de color falso realizados con el software QGIS para conocer la distribución espacial de cada grupo dentro del aeropuerto; cada mapa representa las densidades de los individuos registrados de cada grupo establecido.

2.2.5 Cálculo del índice de Carter

El índice de Carter (2001) se calculó con la Ecuación 5, asignando valores en forma de porcentaje donde 100% es la amenaza más significativa para el factor que cuantifique.

$$R = \log x \quad (5)$$

*Dónde x = tamaño total de la población * masa del individuo * tamaño del grupo
 * tiempo en el aeropuerto * hora del día * localización
 * grado de movimiento * historia de impactos
 * capacidad de escape individual * habilidad de control individual.*

El valor de riesgo máximo para cada especie o grupo de especies de cada elemento de la multiplicación es 100.

El índice permite la agrupación de especies de características similares, así que se usaron los grupos de especies del BRI2 para su cálculo. La asignación de valores para cada una de las diez partes del índice fue de acuerdo a lo siguiente;

1. Número total de individuos: El grupo con más abundancia de individuos en los datos se tomó como 100 en el factor de tamaño de población.
2. Tamaño (masa por área de superficie): se tomó el valor de 100 para el grupo 2, de los gansos y cigüeñas, el que menos probabilidad tiene de esquivar una aeronave por su carga alar y radio mínimo de curvatura y de este valor se ponderó a los grupos de menor peso promedio.
3. Tamaño promedio del grupo: se calculó según el número promedio de individuos por grupo en todos los conteos, poniendo un valor de 100 al grupo con mayor número de individuos en promedio.
4. Tiempo dentro del aeropuerto: según los registros de abundancia por hora, se realizó un conteo de individuos posteriormente fueron asignados a un grupo. A los grupos o al grupo presentes la mayor cantidad de horas en el aeropuerto en todos los monitoreos se le asignó el valor de 100, haciendo la escala a partir de este valor los demás grupos.
5. Hora del día de mayor actividad: se tomó en cuenta como el valor de 100 a los grupos que concentran el registro de individuos más alto durante las mañanas, en el periodo que comprende de las 6 a las 14 horas y de ahí se tomó la escala correspondiente.

6. Localización respecto a las operaciones aeroportuarias: Para la localización de las especies de riesgo se tomaron los 28 cuadros que incluyen pistas y rodajes como lo sugiere Carter, (Figura 1).
7. Movimiento: De acuerdo a los datos capturados sobre la actividad de cada grupo, se calculó la cantidad de individuos según su movimiento, si la actividad predominante era volando, la que el autor indica como la que representa más probabilidad para de pasar en zonas de movimiento de aeronaves, se le asignó un valor de 100.
8. Número de impactos reportados: el grupo con más impactos reportados se le asignó el 100 y se hizo la escala con los grupos restantes a partir de este valor.
9. Habilidad de esquivar activamente a las aeronaves: este valor se tomó de forma inversamente proporcional y se estableció un valor de 100 a las especies que puedan esquivar activamente a las aeronaves según lo visto en campo.
10. Habilidad de las especies de reaccionar a los métodos de dispersión: las especies que se dispersen y no reincidan en el sitio al aplicarles un método de dispersión se evaluarán con un valor de 100 y con valores inferiores a las especies según su respuesta.

Para computar el índice de Carter (Carter, 2001) se revisó el registro histórico de monitoreos de fauna del Aeropuerto Internacional de La Paz, poder asignar en la categoría de riesgo máxima igual al valor de 100, a las especies que al criterio sean las que más representen una amenaza de impacto.

Los valores para las demás especies se asignaron como porcentajes expresados a partir del valor de la especie asignada con el valor de 100. Solamente se usaron valores inversamente proporcionales para los últimos dos elementos, por su relación inversa con los demás factores de riesgo.

2.2.6 Cálculo de diversidad específica con el índice de Shannon entre el aeropuerto y un sitio cercano

Se eligió la planta de tratamiento de aguas negras de La Paz (Figura 2) con coordenadas 24° 6'34.09"N 110°20'48.42"O pues se consultó en eBird (eBird, consultado el 23 de junio de 2018) el punto con registros de avifauna lo más continuos posibles para comparar la influencia de la fauna de un sitio externo dentro de la zona de amortiguamiento del aeropuerto. Las listas utilizadas fueron realizadas con un protocolo de registro con desplazamiento dentro del sitio.



Figura 2. Zona de amortiguamiento de 13 km a la redonda del Aeropuerto Internacional de La Paz, establecida por la OACI (2015) en su Manual de Servicios de Aeropuertos.

Las listas que se tomaron en cuenta fueron las de las personas con registros constantes en el sitio y se eliminaron los datos ambiguos, esto es, los que no llegaban a nivel de especies o no registraban el número de individuos. Así mismo se compiló la información de especies presentes en mis conteos dentro del aeropuerto.

Utilizando como sitios de comparación cada mes según el orden temporal de captura de mis datos y con el número de promedio de individuos por especie, se exportó el conjunto de datos a R, donde se realizó el cálculo de diversidad con el índice de Shannon con ayuda de fórmulas predeterminadas.

Finalmente, se utilizaron los resultados del índice de Shannon ordenados por mes para correlacionarlos, bajo el supuesto de que sí habría influencia de la fauna externa sobre las especies observadas en el aeropuerto.

2.2.7 Mapas temáticos

Para tener representada la distribución espacial de todas las especies registradas con los distintos tipos de muestreo, se realizaron mapas para conocer su ubicación. Se utilizó nuevamente la representación en forma de mapa de calor, para agrupar los cuadros con mayor densidad de puntos registrados por cada grupo, según las coordenadas de cada cuadro de muestreo.

Con ayuda del software QGIS y con imágenes satelitales y coordenadas UTM de Google Earth del sitio, fueron cargados los datos de monitoreo de las especies del aeropuerto y los datos propios con las coordenadas de cada especie registrada.

Capítulo 3. Resultados

3.1 Compilación de datos a nivel regional

En el Aeropuerto Internacional de la Paz, el número máximo de especies de aves en los registros propios fue de 36 especies para 2018 y el número máximo de especies de mamíferos no sobrepasó las tres especies para el mismo año **Figura 3**;

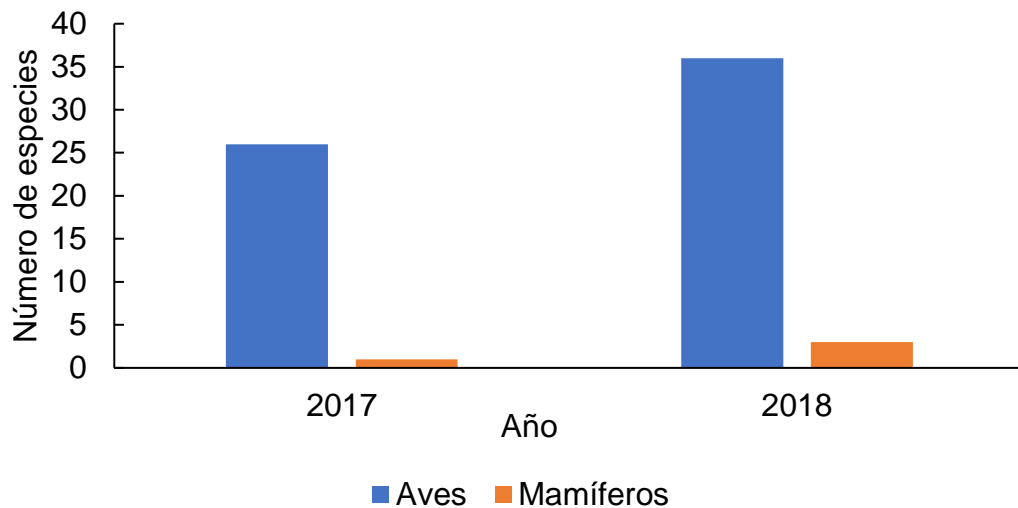


Figura 3. Total de especies de aves y mamíferos en los monitoreos propios desde octubre de 2017 a julio de 2018.

En los monitoreos de GCF se obtuvo un número máximo de 35 especies de aves en 2016 y ocho de mamíferos durante 2016 y 2017 y los conteos mínimos para número de especies aves y mamíferos ocurrieron en 2014, con un total de 3 y 2 respectivamente (**Figura 4**)

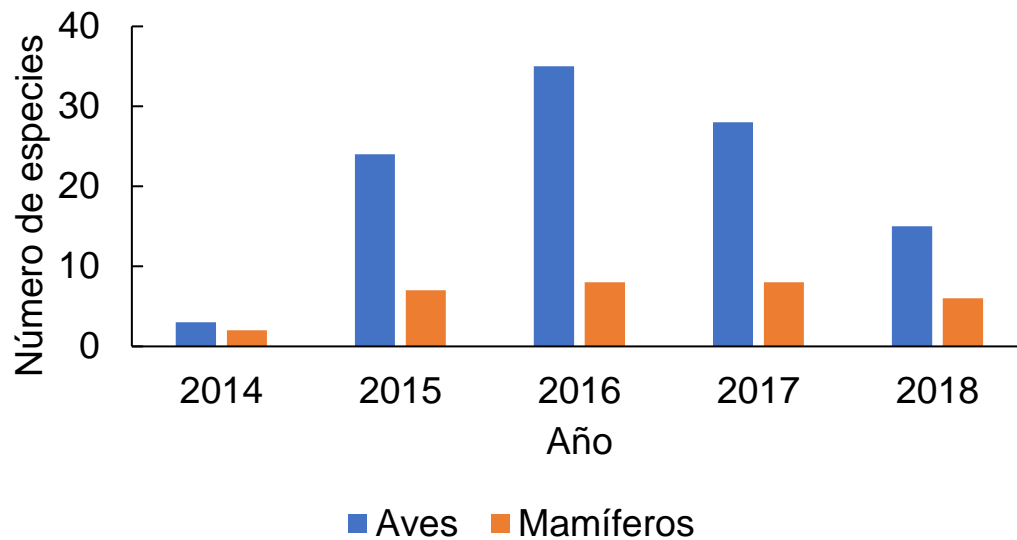


Figura 4 . Número de especies de aves y mamíferos registradas en los monitoreos del equipo de GCF durante el periodo de 2014 a abril de 2018, con algunas discontinuidades de datos entre enero y abril de 2016 y julio de 2017.

En el año 2015 hubo 2 registros de impacto, el primero el 25 de julio con un *Caracara cheriway* reportado sobre pista y el segundo se trató de un impacto de dos aves playeras identificadas como *Calidris mauri* y *Charadrius semipalmatus* el 1 de septiembre.

3.2 Cálculo del BRI2

3.2.1 Cálculo del BRI2 con datos del GCF del Aeropuerto Internacional de La Paz

El cálculo del BRI2 se realizó basándose en los datos proporcionados por el aeropuerto desde 2014 hasta la primera parte de 2018 (Figura 5). El valor máximo del BRI2 se obtuvo en noviembre de 2015 (0.036) y el mínimo de 0.005 en octubre de 2017.

Durante algunos periodos no hubo presencia de GCF, durante la primera parte de 2014, los primeros cuatro meses de 2016 y en el mes de julio de 2017, y como consecuencia no existe información en esos lapsos de tiempo. Entre agosto de 2017 y julio de 2018 cambió el equipo de GCF en el aeropuerto y, aunque la información se compiló en la misma base de datos, fue necesaria una entrevista directa con el personal por la ausencia del apartado de actividad en el nuevo formato de monitoreo en uso.

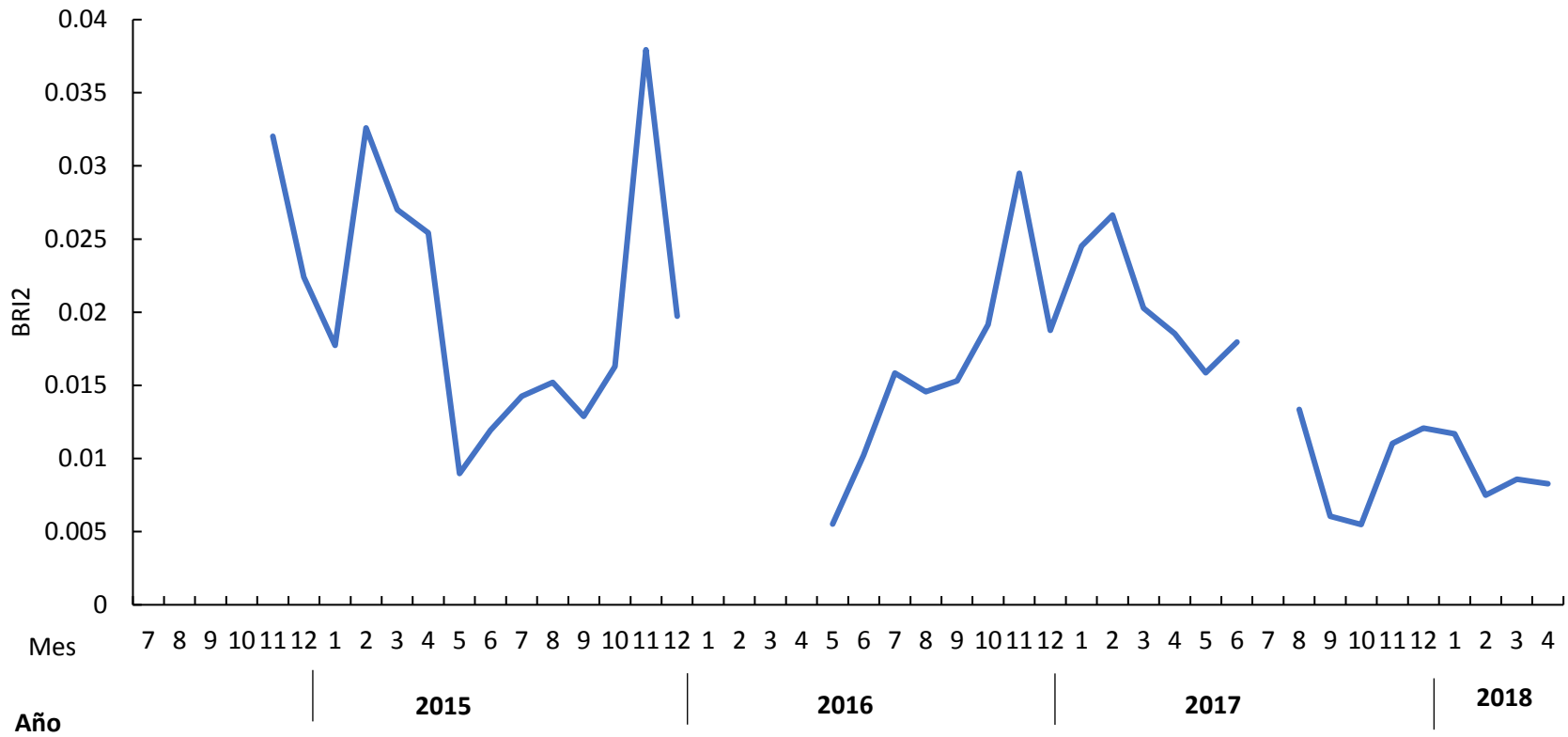


Figura 5. Datos mensuales del cálculo BRI2 para el periodo de 2014 a 2018 en el Aeropuerto Internacional de La Paz con los datos acumulados del GCF. Se presentan los datos continuos a partir de octubre de 2014 hasta diciembre de 2015. Los valores se vuelven a mostrar continuos desde mayo de 2015 hasta junio de 2017, donde vuelve a haber un lapso vacío que se reanuda hasta agosto del mismo año y continua hasta abril de 2018.

3.2.2. Cálculo del BRI2 con datos propios

Los valores obtenidos del BRI2 se encuentran resumidos en la **Figura 6**;

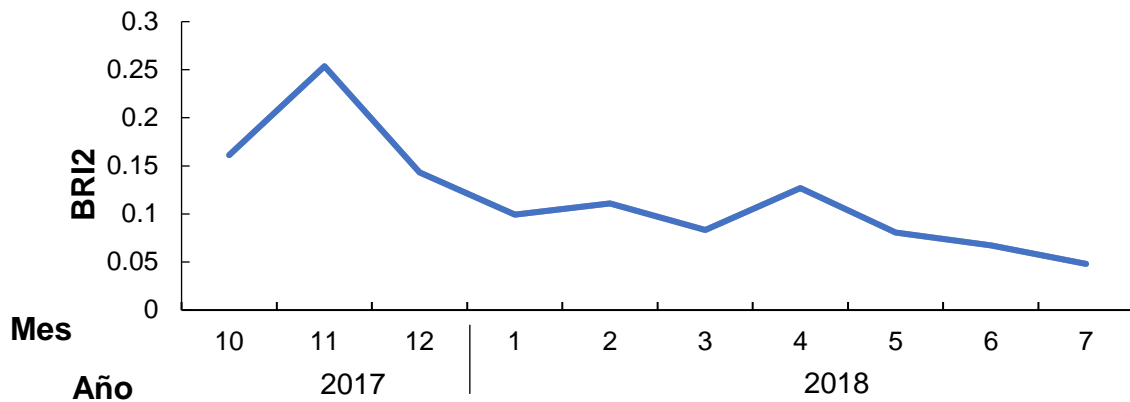


Figura 6. Datos mensuales del cálculo BRI2 desde octubre de 2017 hasta julio de 2018 en el Aeropuerto Internacional de La Paz con datos propios.

Se obtuvo el valor máximo del BRI2 = 0.26 durante noviembre de 2017, mientras que el valor más bajo se presentó en el mes de julio de 2018 y fue igual a 0.05. Hasta que no se conozcan el número total de vuelos en el año, la información del número promedio de vuelos permanecerá cambiando, según se actualiza con los datos de cada mes.

Cabe mencionar que el valor estandarizado en el que un aeropuerto italiano se puede considerar riesgoso en la publicación original (Soldatini *et al.*, 2011) es de 0.5, por arriba de este cálculo el aeropuerto está obligado a tomar medidas del GCF todo el año.

3.2.3 Correlación de Pearson con datos del BRI2.

De la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk aplicado a los valores obtenidos del cálculo del BRI2 a los datos del aeropuerto y los propios en los meses desde octubre 2017 a abril de 2018 los resultados fueron de $W = 0.93$ y $p = 0.52$ para los datos del aeropuerto y $W = 0.87$ y $P = 0.19$ para los datos propios con una

significancia de $\alpha = 0.05$, indicando para ambos casos que no se puede rechazar la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución normal.

Los resultados de la correlación de Pearson para correlacionar los datos del personal del aeropuerto y los registrados en este trabajo mostraron una correlación ligeramente positiva, pero no significativa ($r = 0.14$; $p = 0.77$).

3.2.4 Presencia de grupos de riesgo en el aeropuerto y su efecto en el cálculo del BRI2.

En ambos conjuntos de datos, el valor máximo calculado del BRI2 se presentó en el mes de noviembre, aunque en escalas diferentes. El pico está asociado a la presencia de un grupo o grupos con mayor GSR en ese mes, en este caso el de las rapaces grandes de gran tamaño dentro del Grupo 5.

Considerando la distribución temporal y espacial del grupo 5 en el área del aeropuerto a partir de los datos propios se obtuvo información con mayor detalle. Durante la época de migración de otoño hay mayor presencia de rapaces grandes, con un promedio de 7 individuos entre las 10 a las 11 horas con un segundo pico de actividad entre las 13 y 14 horas (Figura 7). En invierno se observó un promedio de 5 individuos entre las 12 y las 13 horas, mientras que en el periodo de anidación el máximo se presentó a medio día con un promedio de 4 individuos. La distribución del grupo en los mismos periodos de tiempo se muestra en la Figura 7.1.

El segundo grupo de mayor riesgo calculado a partir de mis datos fue el 15, de los paseriformes gregarios, representado en la Figura 8, que presenta un patrón de distribución con un pico marcado para las primeras horas del día en la época de anidación. El número promedio de individuos son 3 a las 9 horas dentro de estos meses. Los mapas de color falso indican la presencia del grupo en la Figura 8.1 de acuerdo a la clasificación temporal establecida para la Figura 8.

Paralelamente, utilizando los datos del GCF se encontró que los grupos con mayor GSR fueron el 5, de las rapaces grandes, representado en la Figura 9 y el grupo 15, de los paseriformes gregarios, representado en la Figura 10. El primer grupo, de las rapaces grandes en la Figura 9, presenta un pico máximo en el promedio de individuos a las 12 horas con un promedio de 40 registros en esa hora en invierno, mientras que este patrón de presencia alta a medio día se mantiene para la época de migración de otoño con 30 individuos en promedio. Por otra parte, el número promedio de individuos del grupo 15,

los paseriformes gregarios (Figura 10) presenta valores más altos en las primeras horas de la mañana en el intervalo de las 6 a las 10 horas, y el promedio máximo de 71 individuos se concentra en la época de migración de otoño a las 7 horas. La distribución de ambos grupos se muestra en la Figura 9.1 y Figura 10.1 respectivamente.

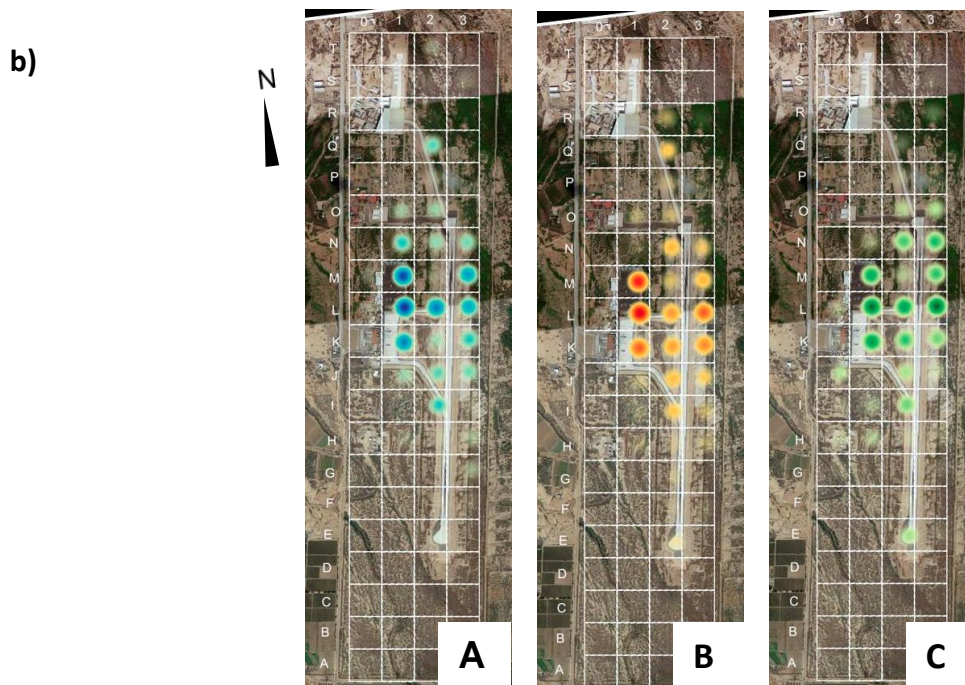
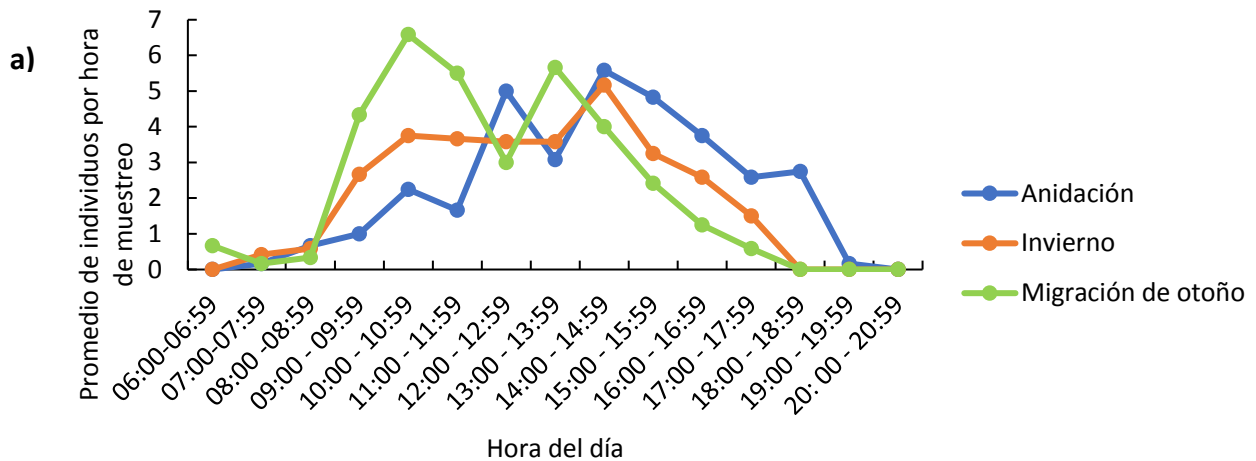


Figura 7. Información temporal y espacial de presencia de rapaces grandes (grupo 5) en el Aeropuerto Internacional de La Paz con mis datos. El inciso a) muestra el histograma del número promedio de aves en cada hora de muestreo, la línea color azul representa el periodo de anidación de marzo a julio, la color naranja la migración de invierno que va de diciembre a febrero y la línea color verde representa el periodo de migración de otoño desde octubre a noviembre. En el inciso b) se presentan los mapas de distribución por época del año en el orden siguiente, A – color azul, periodo de anidación de marzo a julio, B – color rojo, invierno meses de diciembre a febrero y C - color verde, periodo de migración de otoño en los meses de octubre a noviembre.

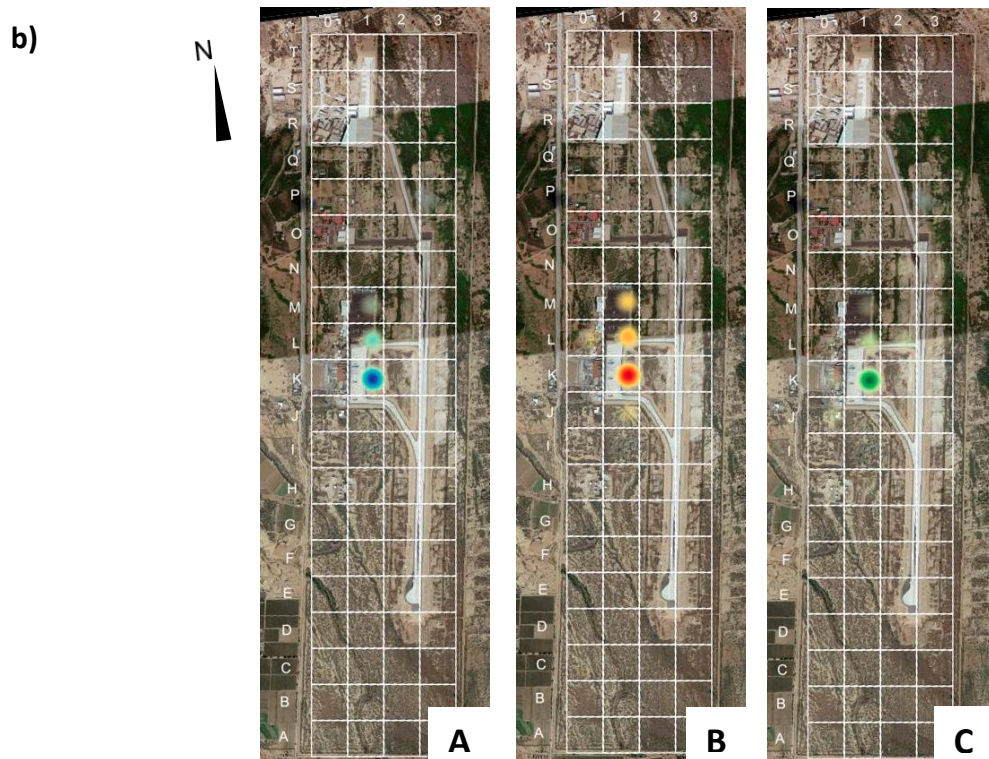
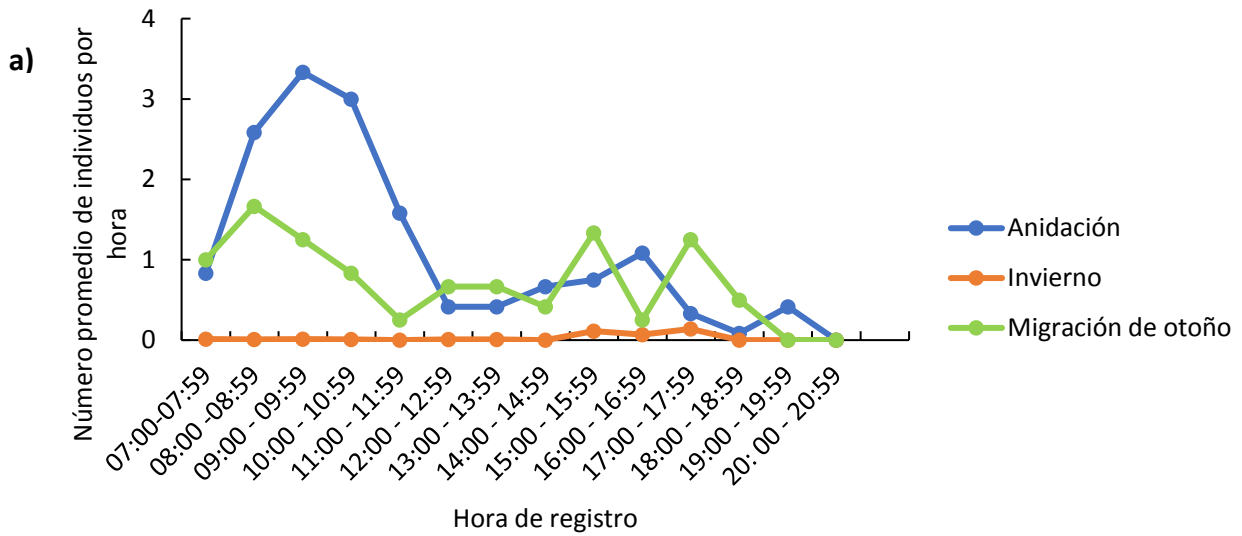


Figura 8. Información temporal y espacial de presencia de passeriformes gregarios (grupo 15) en el Aeropuerto Internacional de La Paz con mis datos. El inciso a) muestra el histograma del número promedio de aves en cada hora de muestreo, la línea color azul representa el periodo de anidación de marzo a julio, la color naranja la migración de invierno desde diciembre a febrero y la línea color verde representa el periodo de migración de otoño que va de octubre a noviembre. En el inciso b) se presentan los mapas de distribución por época del año en el orden siguiente, A – color azul, periodo de anidación de marzo a julio, B – color rojo, invierno meses de diciembre a febrero y C - color verde, periodo de migración de otoño en los meses de octubre a noviembre.

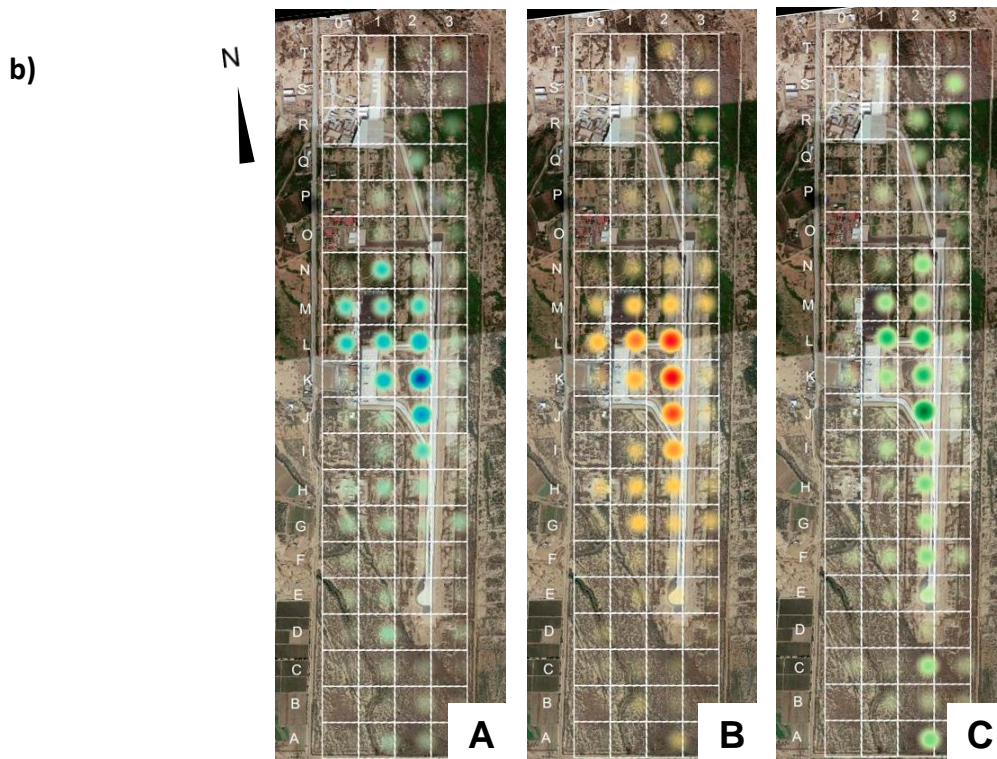
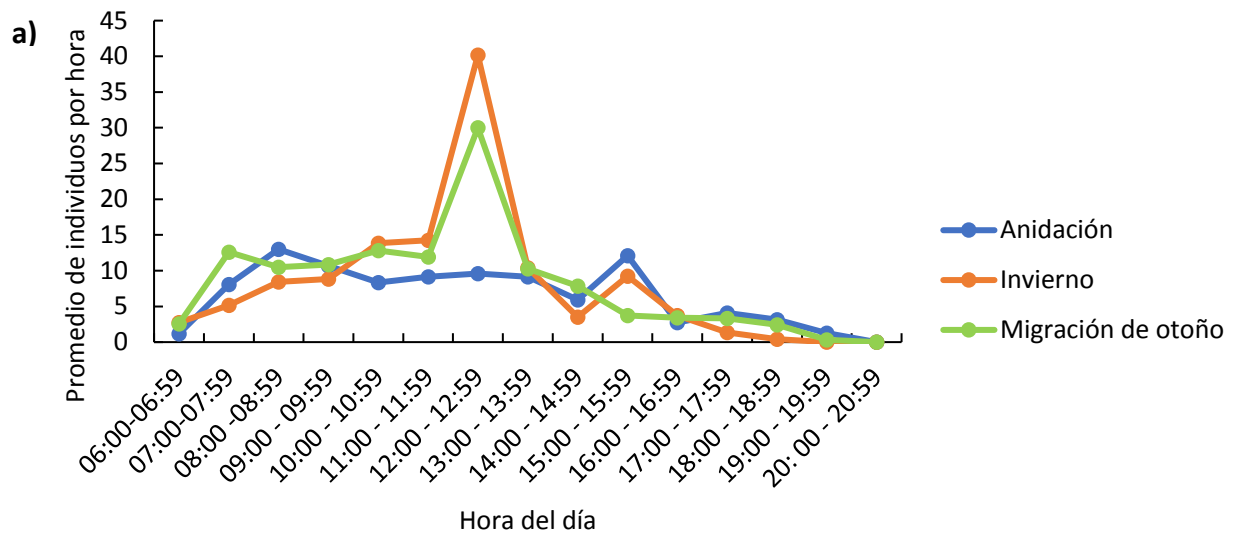


Figura 9. Información temporal y espacial de presencia de rapaces grandes (grupo 5) en el Aeropuerto Internacional de La Paz con datos del GCF. El inciso a) muestra el histograma del número promedio de aves en cada hora de muestreo, la línea color azul representa el periodo de anidación en los meses de marzo a agosto, la color naranja la migración de invierno de diciembre a febrero y la línea color verde representa el periodo de migración de otoño que va de septiembre a noviembre. En el inciso b) se presentan los mapas de distribución por época del año en el orden siguiente, A – color azul, periodo de anidación de marzo a agosto, B – color rojo, invierno meses de diciembre a febrero y C - color verde, periodo de migración de otoño en los meses de septiembre a noviembre.

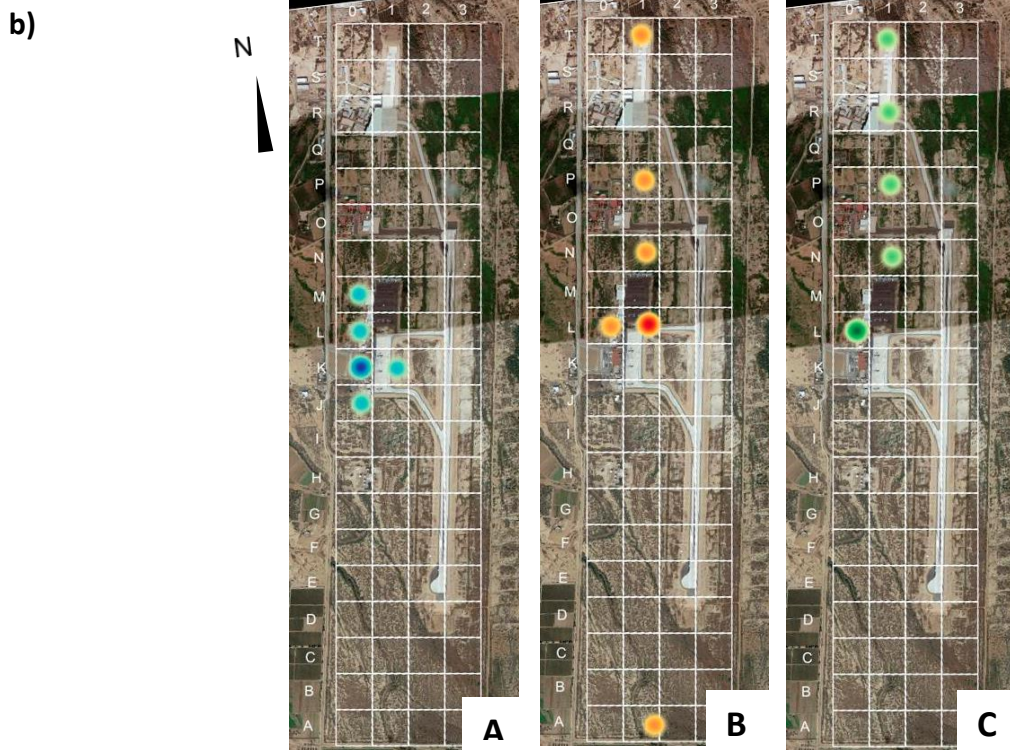
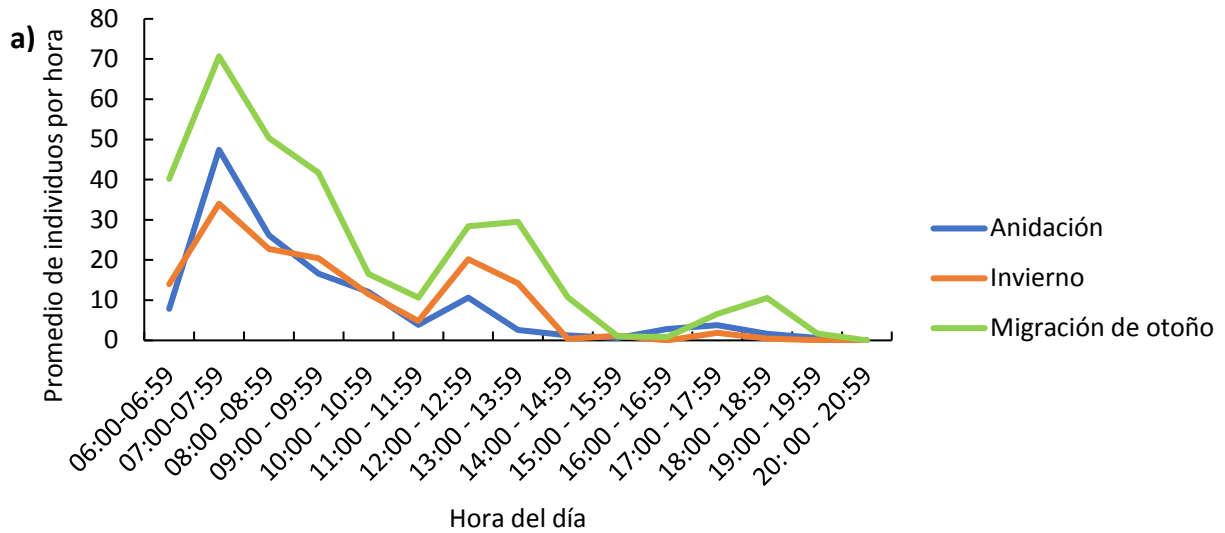


Figura 10. Información temporal y espacial de presencia de passeriformes gregarios (grupo 15) en el Aeropuerto Internacional de La Paz con datos del GCF. El inciso a) muestra el histograma del número promedio de aves en cada hora de muestreo, la línea color azul representa el periodo de anidación desde marzo hasta agosto, la color naranja la migración de invierno que va de diciembre a febrero y la línea color verde representa el periodo de migración de otoño de septiembre a noviembre. En el inciso b) se presentan los mapas de distribución por época del año en el orden siguiente, A – color azul, periodo de anidación de marzo a agosto, B – color rojo, invierno meses de diciembre a febrero y C - color verde, periodo de migración de otoño en los meses de septiembre a noviembre.

3.3 Cálculo índice de Carter

El resultado del cálculo del índice de Carter fue $R = 18.24$ para el grupo de las rapaces grandes y para todos los demás grupos, incluyendo mamíferos fue de $R = 0$.

3.4 Cálculo de índice de Shannon con un sitio dentro de la zona de amortiguamiento

Con los datos propios se registraron 36 especies en el aeropuerto de La Paz y en la planta de tratamiento de aguas negras de La Paz se contabilizaron 142 especies a partir de las listas de observación de 2009 a 2018 encontradas en plataforma eBird (eBird, consultado el 23 de junio de 2018).

Los resultados del cálculo de la diversidad de cada mes en ambos sitios se presentan en la Tabla 2. Se presentaron valores máximos y mínimos de diversidad en la planta de tratamiento de aguas negras en los meses de abril y febrero, mientras que para los datos del aeropuerto fue para los meses de noviembre y abril respectivamente.

Tabla 2. Valores de H' calculado para la planta de tratamiento de aguas negras de La Paz y para el Aeropuerto Internacional de La Paz con mis datos.

Mes	H' Planta de tratamiento	H' Aeropuerto
10	0	2.26
11	2.28	2.75
12	3.08	2.70
1	3.03	2.65
2	1.09	2.40
3	2.56	2.56
4	3.13	2.11
5	0	2.52
6	2.92	2.53
7	2.39	2.35

Con la prueba de normalidad para la planta de tratamiento de aguas negras se obtuvieron valores de $W = 0.80$ y $P = 0.01$ y para el Aeropuerto Internacional de La Paz iguales a $W = 0.96$ y $p = 0.82$, por lo que se utilizó la prueba de Spearman para correlacionarlas. La correlación fue de $r = 0.17$ y un valor $p = 0.64$, mostrando una correlación ligeramente positiva pero no estadísticamente significativa.

3.5 Mapas temáticos generales

La distribución de los grupos de riesgo varía espacialmente según los datos del GCF y los propios. Con las series temporales completas de todos los muestreos, tanto míos como del GCF, se obtuvo la ubicación espacial del total de especies registradas. La ubicación espacial de todas las especies de muestra en la **Figura 11**, para ambos grupos de datos.

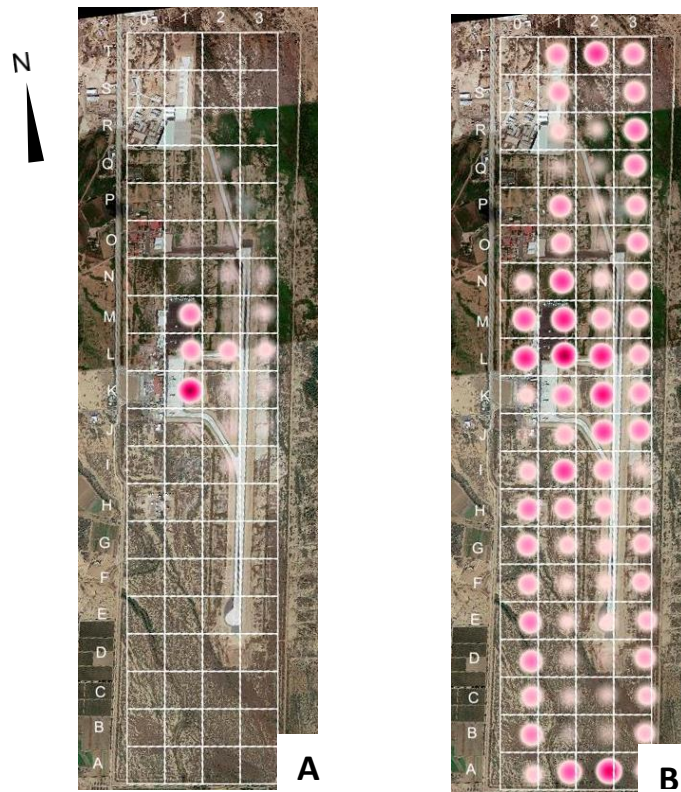


Figura 11. Mapas de distribución de especies representados con color falso del Aeropuerto Internacional de La Paz. Cada uno representa la abundancia del total de especies en los distintos cuadros, la letra A representa la distribución del total de especies con los datos propios, la figura B muestra los datos del GCF.

Capítulo 4. Discusión

Con los datos obtenidos a lo largo de casi un año de monitoreo en el Aeropuerto Internacional de La Paz, pude utilizar el BRI2, lo que proporciona una idea más clara del riesgo de impacto con fauna en dicho aeropuerto. Todas las especies de aves y mamíferos con distribución en el sitio de estudio pudieron clasificarse en alguno de los grupos de del BRI2. Entre grupos clasificados sobresalió el grupo 5, las rapaces grandes, que resultó el de mayor riesgo en todos los monitoreos por su elevado Riesgo Grupal Específico (GSR), calculado a partir del Factor Grupal (GF) multiplicado por la media de abundancia diaria de cada grupo. De este grupo sabemos que históricamente ha sido el causante del 15% de los accidentes a nivel mundial con aeronaves de transporte y jets privados (Thorpe, 2009).

De acuerdo a su presencia horaria, el grupo 5 se encuentra sobre todo a medio día, con ligeras variaciones en el año y se distribuye en áreas de movimiento de aeronaves, lo que sugiere poner especial atención a este grupo durante esas horas. Las especies de rapaces residentes aumentan en cantidad en el periodo de otoño si se le suman registros de las especies migratorias, lo cual coincide con el periodo de aumento en el BRI2 calculado y, es confirmado por el registro de especies reportado por autores en estudios de sitios cercanos al aeropuerto (Zamora *et al.*, 2007) además de que corresponde a los meses con cifras de impacto de aves más altos reportadas por la FAA entre 1990 a 2003 (FAA, 2005).

La presencia de las rapaces migratorias se puede explicar debido a que usan los lugares cercanos y algunos dentro del mismo aeropuerto como sitios de descanso para seguir su desplazamiento por el Corredor Migratorio del Pacífico (Castillo – Guerrero y Carmona, 2001), que incluye toda la Península de Baja California y todo el país, de modo que puedan seguir ya sea hacia el Sur durante el otoño o trasladarse hacia el Norte para anidar en primavera. A lo anterior hay que añadir la presencia de rapaces no migratorias, como *Cathartes aura*, la especie con mayor presencia en mis monitoreos que se encuentra clasificada como residente anual (CONABIO, 2017) al igual que la segunda con mayor presencia, *Caracara cheriway* por lo que es recomendable tomar medidas para la dispersión de rapaces durante todo el año, poniendo especial atención en la temporada de migración donde el número de individuos puede incrementar (Soldatini, 2010) y los valores calculados del BRI2 en este trabajo son más altos.

En cuanto al segundo grupo con mayor GSR, los passeriformes gregarios, presenta una distribución temporal y espacial muy distinta a la de las aves rapaces. Su mayor presencia se concentra en las primeras horas de la mañana y por la tarde sobre todo en el área de plataforma, lo sugiere que las medidas de manejo que se tomen para este grupo sean diferenciadas temporalmente de las del grupo de las rapaces,

en caso de que los métodos aplicados para ambos grupos sean los mismos, sobre todo, para evitar la habituación los individuos. Para ampliar el contexto del riesgo que representan, históricamente se ha detectado que las aves de percha, grupo en el que se incluye todos los paseriformes, han sido causantes del 15% de los accidentes catastróficos con aviones de aerolíneas comerciales y jets ejecutivos, que es el mismo porcentaje de accidentes ocasionados por las rapaces y las columbiformes (Thorpe, 2015). Asimismo, Thorpe indica que las especies de paseriformes que han causado accidentes alrededor del mundo son de características gregarias como *Sturnus vulgaris*, un indicador más, para poner atención en este grupo. Su distribución, sin embargo, está localizada mayormente en el área de terminal y plataforma. Su presencia en ese sitio puede estar sobrerrepresentada por el tipo de muestreo tomado desde un solo punto, pues solo los paseriformes cercanos son plenamente visibles. Otra forma de explicar su concentración en esa zona es debido a que la infraestructura de los edificios favorece su presencia al ofrecer sitios de percha y refugio. Si bien las aeronaves no alcanzan grandes velocidades en esta zona, es importante monitorear los movimientos de aves en caso de que atraviesen rumbo a la pista o rodajes, pues incluso cuando las aeronaves están detenidas puede haber impactos (ICAO, 2017).

Sobre la información espacial de estos grupos, la distribución del grupo de las rapaces observada con mis datos coincidió en gran medida con los puntos de mayor abundancia graficada con la información del GCF, esto da la pauta de resultados más veraces para tomar medidas de manejo en esos sitios en las distintas épocas del año. En cuanto a la información sobre los puntos de mayor abundancia del grupo de los paseriformes gregarios, los resultados del GCF muestran, a parte de los que se distribuyen en el área de plataforma, mayor cantidad a la distancia, sobre todo en las cabeceras, lo que sugiere la viabilidad de que se sigan haciendo este tipo de recorridos para registro de fauna, pues brindan información valiosa que de otra forma se perdería.

Un paso a futuro a realizar a partir de lo que sabemos de la estimación del BRI2 en aeropuertos italianos, es lograr hacer una estandarización de las escalas para así poder definir un límite que, al ser rebasado, se tendrían que tomar medidas más eficaces por el incremento de riesgo de impacto durante todo el año. Dicha información útil para permitir a las aerolíneas decidir si mantener o no la ruta, por el riesgo que significa para las operaciones. El valor se estableció como 0.5 de forma anual (Soldatini *et al.*, 2011) para todos los aeropuertos en Italia.

En relación a los valores de riesgo para cada grupo de especies calculados con el índice de Carter, existen algunos componentes de la ecuación que resultan subjetivos, como el de la capacidad de una especie de evadir una aeronave en términos numéricos. La asignación de un valor máximo, es decir 100,

se facilita si el grupo de aves tienen habilidad de maniobrar en el aire, pero en grupos subsecuentes es complicado poder asignar valores menores solo con la experiencia visual y sin ningún dato numérico que lo respalde, esto sucede también con las cifras de la respuesta de la fauna a los métodos de dispersión, sumado a que no se toman en cuenta el número de operaciones en el aeródromo donde se aplica. La carencia de información sobre el número de vuelos en cada aeropuerto para el cálculo de este índice puede ser perjudicial, ya que a mayor número de operaciones mayor la probabilidad de impacto, además de que hay que adaptar las medidas de manejo según su frecuencia en conjunto con la presencia de especies. Algunos factores que podrían hacer al índice de Carter más fiable serían tomar en cuenta el tipo de vegetación o sitios donde se encuentra la fauna, ya que algunos pueden resultar más atractivos que otros, además de que sería conveniente proponer cómo cuantificar la sensibilidad a distintos métodos de dispersión, la cual varía de especie a especie, de una forma más objetiva (Blackwell y Fernández-Juricic, 2013; Clark y Avery, 2013; Seamans *et al.*, 2013) y así aplicar esfuerzos de ahuyentamiento diferenciados en tiempo y espacio a lo largo del año.

Otros puntos a discutir son los resultados del total de horas de monitoreo y el tipo de monitoreo para la obtención de datos. Sobre el primer punto, aunque la suma de horas de observación en campo del GCF es bastante mayor con relación a las de observación propia, las tendencias al graficar los valores del BRI2 de ambos muestran por igual el valor más alto durante el mes de noviembre, con mis datos presentando una escala más parecida a los valores reportados por Soldatini y colaboradores en 2011 para los aeropuertos italianos, esto probablemente por las diferencias en los tipos de monitoreo. Cabe señalar que la tendencia de los valores calculados del BRI2 en los monitoreos del GCF cambió drásticamente a partir de la segunda mitad de 2017 donde, a diferencia de todos los años, el valor más alto del BRI2 no se presenta en noviembre, lo que posiblemente sucedió por el cambio de personal y el incremento paulatino de su conocimiento acerca de las especies en el sitio, lo que se refleja en el gráfico con forma de curva de aprendizaje que incrementa con el tiempo de experiencia en el lugar (Magne y Scott, 2008).

Con relación al segundo punto, sobre las diferencias en el tipo de monitoreo, se esperaba ver distintas abundancias en la distribución de todos los grupos de especies dentro del aeropuerto con los muestreos del grupo del GCF y los míos, por lo contrario, el mapa de color falso indica una superposición de los puntos con mayor abundancia de individuos en el área de plataforma general del aeropuerto. Esto significa que no se debe descartar ningún tipo de monitoreo, ni el que es desde un solo punto, ni el que es alrededor del perímetro y en todo el aeropuerto con ayuda de un vehículo, pues ambos dan información importante sobre la presencia de especies.

La riqueza de especies en la planta de tratamiento de aguas negras de La Paz, donde las fuentes consultadas registran un total de 60 a 75 especies de aves acuáticas y 9 de rapaces (Castilo-Guerrero y Carmona, 2001) (Zamora-Orozco *et al.*, 2007), es muy superior al número de especies que se tienen registradas en los monitoreos del aeropuerto y los propios, pues las especies de aves acuáticas y rapaces suman un total de 12. Sobre la diversidad, teniendo en cuenta que el valor del índice de Shannon calculado en comunidades ecológicas naturales puede ir de 0.5 a 5, donde 5 indica una diversidad alta (Bibi y Ali, 2013) solo el valor del mes de febrero en la planta de tratamiento de aguas negras de La Paz es < 1.5 , lo que indica una baja diversidad en este periodo, con valores de diversidad intermedia para el resto del año en ambos sitios. Sin embargo, no hubo una correlación significativa entre los valores, lo que es una buena noticia para la seguridad del aeropuerto, ya que no resulta tan atractivo como la planta de tratamiento de aguas negras.

La ausencia de correlación entre la diversidad entre un sitio y otro puede deberse a varios factores que se observaron dentro del Aeropuerto. El primero es que en el sitio hay deshierbe constante de las áreas aledañas a las pistas y rodajes, lo que puede disminuir la presencia de fauna que se refugia o alimenta, aunque pueden seguirse alimentando de otros recursos que no son evidentes a simple vista (Devault y Washburn, 2013). Sin embargo, hay algunas especies que son persistentes de tamaño mediano, como *Caracara cheriway* y ocasionalmente *Geococcyx californicus*, y otras especies de palomas como *Zenaida macroura*, que cruzan la pista activamente durante los horarios de operaciones aeroportuarias, aunque aparentemente no haya cobertura vegetal significativa.

Al comparar el número del total de especies de aves y mamíferos dentro del Aeropuerto Internacional de La Paz con la de sitios aledaños, este último tiene un número de especies significativamente inferior, sin embargo, no por esto deja de ser importante. Como ejemplo, existe la presencia de depredadores silvestres como *Lynx rufus* o *Urocyon cinereogenteus* en diversos monitoreos, lo que puede ser indicador de que en el aeropuerto hay sitios que les proporcionan alimento o refugio, necesidades que estas especies intentan satisfacer y nos hace suponer que hay una comunidad bien estructurada (De Vault, Washburn, 2013).

Cabe mencionar que en aeropuertos italianos se logró hacer una estandarización de las escalas para así poder definir un límite del BRI2 que, al rebasarlo las medidas del GCF debían ser más eficaces por el incremento de riesgo de impacto y durante todo el año, y ante la posibilidad de que algunas aerolíneas cancelen la ruta por el riesgo que significa para las operaciones, el cual se definió como 0.5 valor medio

anual (Soldatini *et al.*, 2011) para todos los aeropuertos italianos. Sin embargo, con el tiempo, se podrá trabajar para definir un límite para los aeropuertos mexicanos.

Capítulo 5. Conclusiones

El uso del índice BRI2, a diferencia de otros, brindó la posibilidad de conocer la distribución espacial y temporal con las especies del estado. Este índice no solo se enfoca a la especie de mayor abundancia, que son las que se reportan como especies de mayor riesgo en varios aeropuertos del país, sino que ofrece una amplia gama de información para poder actuar de manera dinámica en el manejo de las especies.

La presencia de individuos de los grupos de riesgo está relacionada aparentemente con los periodos de migración, sin embargo, no se debe descartar tomar medidas de prevención durante el resto del año, vigilando la presencia de todos los grupos, teniendo en cuenta los factores que los pueden atraer. También es importante seguir monitoreando la actividad de la fauna de manera continua y reportar todos los impactos con la mayor información posible que se pueda rescatar. De continuarse con el trabajo, puede lograrse una estandarización de los valores los aeropuertos del país.

Aunque la fauna externa no presentó correlación significativa con la del aeropuerto, se sugiere hacer un registro más amplio sobre las especies presentes en la zona del aeropuerto y su zona de amortiguamiento para saber qué especies hay, su comportamiento y cómo pueden afectar a las operaciones aeronáuticas. Para esto se propone la ampliación del monitoreo en algunos de los sitios que pueden ser de utilidad, donde se cuente registro de gran presencia de especies como son Chametla, la playa de el Zacatal, donde existen registros de avistamientos de más de 100 especies en la base de datos pública de eBird y otros lugares donde se tenga registro de aves referidos en la literatura, como la Ensenada de La Paz por su importancia en presencia de aves acuáticas principalmente, la Planta de tratamiento de Aguas Negras de la Paz, el Manglar del Conchalito, y la misma ciudad de La Paz.

Finalmente este trabajo sienta un antecedente importante para la aplicación del BRI2 en otros aeropuertos mexicanos, después de verificar su viabilidad en la detección de grupos de riesgo en tiempo y espacio dentro del Aeropuerto Internacional de La Paz. Con futuros trabajos se puede lograr una estandarización de valores para distintos aeródromos y a partir de un valor de riesgo poder tomar medidas de manejo en todo el año.

Literatura citada

- Allan, J. (2000). The cost of bird strikes and bird strike prevention. *Human Conflicts with Wildlife: Economic Considerations*. 147 – 153.
- Allan, J. (2006). A Heuristic Risk Assessment Technique for Birdstrike Management at Airports. *Risk Analysis*, 26(3), 723-729.
- Avibase. 2003. <https://avibase.bsc-eoc.org/avibase.jsp>. Consultada el 1 de Abril de 2018.
- Becerril, F., & Carmona, R. (1997). Anidación de aves acuáticas en la ensenada de La Paz, Baja California, Sur México (1992-1994). *Ciencias Marinas*, 23(2), 617-626.
- Berlanga, H., Gómez de Silva, H., Vargas – Canales, V., Rodríguez – Contreras, V., Sánchez – González, L., Ortega – Álvarez, R., Calderón – Parra, R. (2017). Aves de México: Lista actualizada de especies y nombres comunes. CONABIO.
- Bibi, F., Ali, Z. (2013). Measurement of Diversity Indices of Avian Communities at Baunsa Barrage Wildlife Sanctuary, Pakistan. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 23(2), 469-474.
- Bildstein, K. (2014). Raptor migration in the Neotropics: patterns, processes, and consequences. *Ornitología Neotropical*, 15, 83-99.
- Blackwell, B., Fernández-Juricic, E. (2013). Behavior and Physiology in the Development and Application of Visual Deterrents at Airports. In: DeVault, T., Blackwell, B., Belant, J. (Eds.). *Wildlife in Airports Environments* (pp. 13-22). The Johns Hopkins University Press.
- Carmona, R., Marrón, G., Arce, N., Ayala-Perez, V., Albores-Barajas, Y. (2017). Biodiversidad aviar. Incompleta
- Carter, N. (Ed.). All birds are not created equal: Risk assessment and prioritization of wildlife hazard at airfields. Bird Strike Committee-USA/Canada, Third Joint Annual Meeting, Calgary, agosto 2001. University of Nebraska, Lincoln.
- Castillo-Guerrero, J., Carmona, R. (2001). Distribución de aves acuáticas y rapaces grandes en un embalse dulceacuícola artificial de Baja California Sur, México. *Revista de Biología Tropical*, 49(3-4), 1131-1142.
- Ceballos, G. (2014). *Mammals of Mexico*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- CONABIO (2018). Naturalista. Recuperado el 5 de Diciembre de 2017 de: <https://www.naturalista.mx/>
- Clark, I., Avery, M. (2013). Effectiveness of Chemical Repellents in Managing Birds at Airports. In: DeVault, T., Blackwell, B., Belant, J. (Eds.). *Wildlife in Airports Environments* (pp. 25-35). The Johns Hopkins University Press.
- Dekker, A., Buurma, L. (2005). Mandatory reporting of bird strikes in Europe: Who will report what to who. *International Bird strike Committee*, 58, 23-27.

- Del Hoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., Christie, D.A. & de Juana, E. (eds.) (2018). *Handbook of the Birds of the World Alive*. Lynx Ediciones, Barcelona. Consultado el 5 de enero de 2018, de <http://www.hbw.com/>.
- Devault, T., Blackwell, B., Seamans, T., Begier, M., Kougher, J., Washburn, J., Miller, P., Dolbeer, R. (2018). *Estimating interspecific economic risk of bird strikes with aircraft*. *Wildlife Society Bulletin*, 42(1), 94-101.
- Devault, T., Washburn, B. (2013). Identification and Management of Wildlife Food Resources at Airports. In: T. Devault, B. Blackwell y J. Belant (Eds.) *Wildlife in Airport Environments*. (pp. 79-90). The Johns Hopkins University Press.
- DIGAOHM (2018). Datos generales del Puerto de San José del Cabo, Baja California Sur. Recuperado el 12 de Abril de 2018, de <https://digaohm.semar.gob.mx/derrotero/cuestionarios/cnarioSanjose.pdf>
- Dolbeer, R., Wright, S., Eschenelder, P. (2005). Animal ambush the Airport: the need to broaden ICAO standars for birdstrikes to include terrestrial wildlife. *International eBird strike Committee*, 58, 1-11.
- eBird (2018) eBird: Una base de datos en línea para la abundancia y distribución de las aves. eBird, Ithaca, New York. Consultado el 3 febrero de 2018, de <https://ebird.org/region/MX-BCS?yr=all&m=&rank=mrec&sortBy=cl>
- eBird (2018) Planta de Tratamiento de Aguas Negras de La Paz. Consultado el 23 de junio de 2018 de: <https://ebird.org/hotspot/L510813>
- FAA (2018). Wildlife Strike Database. Recuperado el 3 de mayo de 2018 de: <https://wildlife.faa.gov/database.aspx>
- FAA (2005). Manejo del Riesgo por Fauna Silvestre en Aeropuertos. Recuperado el 20 de junio de 2018 de: <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1004&context=birdstrikeoether>
- Gobierno del Estado de Baja California Sur (2018). Geografía. Recuperado el 14 de febrero de 2018 de: <http://www.bcs.gob.mx/conoce-bcs/geografia/>
- Google Earth, 2018.
- ICAO (2017) 2008-2015 Wildlife strike analysis (IBIS). Consultado el 18 de marzo de 2018 de: <https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/4069.pdf>
- Lloyd, J., Alderfer, K. (1987). *National Geographic Field Guide to the Birds of North America*. Cuarta Edición (pp. 1- 482). Washington, D.C.: Library of Congress.
- Magne, C., Scott, J. (2008). A Dynamic Framework for Human Skill Learning. In: Guadagnoli, M., Bejamin, A., Steven de Belle, J., Etnyre, B., Polk, T. (Eds.). *Human Learning: Biology, , Brain and Neuroscience*, (pp. 189-195). Elsevier.

- Marra, P., Dove, C., Dolbeer, R., Dahlan, N., Haecker, M., Whatton, J., Diggs, N., Frace, C., Henkes, G. (2009). Migratory Canada geese cause crash f US Airways Flight 1549. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(6), 297-301. doi: 10.1890/090066
- Morillón, D., Mejía, D. (2004). Modelo para diseño y evaluación del control solar en edificios. Recuperado el 5 de mayo de 2018 de: https://books.google.com.mx/books?id=VDWAoVBcwLAC&dq=clima+k%C3%B6ppen+la+paz+baja+california+sur&hl=es&source=gb_s_navlinks_s
- NOAA (2018). Pacific flyway. Recuperado el 4 de Marzo de 2018 de: <https://oceanoday.noaa.gov/pacificflyway/>
- Organización de Aviación Civil Internacional (2015). Manual de Servicios Aeroportuarios.
- QGIS Development Team, <2018>. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <https://qgis.org>
- R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Consultado el 9 de abril de 2018, de: <http://www.R-project.org/>.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. (247-273 pp.) 1ª Edición digital, México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- SCT (2018). Estadística operacional de aeropuertos. Recuperado el 30 de abril de 2018 de: <http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/aeronautica-civil/5-estadisticas/>
- Seamans, T., Martin, J., Belant, J. (2013). Tactile and Auditory Repellents to Reduce Wildlife Hazards to Aircraft. In: DeVault, T., Blackwell, B., Belant, J. (Eds.). *Wildlife in Airports Environments* (pp. 13-22). The Johns Hopkins University Press.
- Skybrary (2018). Bird strike. Recuperado el 20 de Febrero de 2018 de: https://www.skybrary.aero/index.php/Bird_Strike
- SMN (2010). Normales climatológicas Estado de Baja California Sur, estación 00003074 La Paz (DGE). Recuperado el 16 de Junio de 2018 de: <https://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=bcs>
- Soldatini, C., Gerogalas, V., Torricelli, P., Albores-Barajas, Y. (2010). An ecological approach to birdstrike risk analysis. *European Journal of Wildlife Resarch*, 56, 623-632. DOI: 10.1371/journal.pone.0028920
- Soldatini, C., Albores-Barajas, Y., Lovato, T. (2011). Wildlife strike risk assessment in several Italian airports: Lessons from BRI and a new methodology implementation. *PLoS ONE*, 6(12). doi: 10.1371/journal.pone.0028920
- Thorpe, J. (2009). Update on fatalities and destroyed civil aircraft due to bird strikes with appendix for 2008 & 2009. *International Bird Strike Committee*, 1-7. doi: IBSC 29/WP

- Thorpe, J. (2016). Conflict f Wings: Birds Versus Aircraft. In: Angelici, F. (Ed.). *Problematic Wildlife: A Cross Disciplinary Approach*. (pp. 443-463). Springer. DOI: 10.1007/978-3-319-22246-2
- Wilson, R. (2011). *Seeking refuge: Birds and Landscapes of the Pacific Flyway*. University of Washington Press, Washington, DC.
- Zamora-Orozco, E., Carmona, R., Brabata, G. (2007). Distribución de aves acuáticas en las lagunas de oxidación de la ciudad de La Paz, Baja California Sur, México. *Revista de Biología Tropical*, 55(2), 617-626.

Anexo

Especies encontradas durante los monitoreos propios en el Aeropuerto Internacional de La Paz y su clasificación en grupos del BRI2:

Grupo asignado	Nombre del grupo	Especie
2	Cormoranes, cisnes, pelícanos y gansos	<i>Geococcyx californianus</i>
3	Garzas, cigüeñas y flamencos	<i>Ardea alba</i>
3	Garzas, cigüeñas y flamencos	<i>Bubulcus ibis</i>
5	Rapaces grandes	<i>Accipiter cooperii</i>
5	Rapaces grandes	<i>Buteo jamaicensis</i>
5	Rapaces grandes	<i>Caracara cheriway</i>
5	Rapaces grandes	<i>Cathartes aura</i>
5	Rapaces grandes	<i>Circus cyaneus</i>
5	Rapaces grandes	<i>Falco sparverius</i>
5	Rapaces grandes	<i>Pandion haliaetus</i>
5	Rapaces grandes	<i>Parabuteo unicinctus</i>
6	Halcones pequeños	<i>Falco mexicanus</i>
6	Halcones pequeños	<i>Falco sparverius</i>
6	Halcones pequeños	<i>Falco peregrinus</i>
7	Aves marinas grandes	<i>Fregata magnificens</i>
10	Palomas	<i>Caracara cheriway</i>
10	Palomas	<i>Columba livia</i>
10	Palomas	<i>Columbina passerina</i>
10	Palomas	<i>Zenaida asiatica</i>
10	Palomas	<i>Zenaida macroura</i>
10	Palomas	<i>Streptopelia decaocto</i>
12	Golondrinas y vencejos	<i>Chordeiles acutipennis</i>
12	Golondrinas y vencejos	<i>Hirundo rustica</i>
12	Golondrinas y vencejos	<i>Tachycineta bicolor</i>
12	Golondrinas y vencejos	<i>Tachycineta thalassina</i>
12	Golondrinas y vencejos	<i>Progne subis</i>
12	Golondrinas y vencejos	<i>Stelgidopteryx serripennis</i>
12	Golondrinas y vencejos	<i>Petrochelidon pyrrhonota</i>
13	Cuervos	<i>Corvus corax</i>
14	Paseriformes solitarios y murciélagos	<i>Campylorhynchus brunneicapillus</i>
14	Paseriformes solitarios y murciélagos	<i>Columbina passerina</i>
14	Paseriformes solitarios y murciélagos	<i>Falco sparverius</i>
14	Paseriformes solitarios y murciélagos	<i>Icterus cucullatus</i>
14	Paseriformes solitarios y murciélagos	<i>Lanius ludovicianus</i>
14	Paseriformes solitarios y murciélagos	<i>Melanerpes uropygialis</i>

14	Paseriformes solitarios y murciélagos	<i>Mimus polyglottos</i>
14	Paseriformes solitarios y murciélagos	<i>Passerina versicolor</i>
14	Paseriformes solitarios y murciélagos	<i>Turdus migratorius</i>
14	Paseriformes solitarios y murciélagos	<i>Zenaida macroura</i>
14	Paseriformes solitarios y murciélagos	<i>Phainopepla nitens</i>
15	Paseriformes gregarios	<i>Agelaius phoeniceus</i>
15	Paseriformes gregarios	<i>Cathartes aura</i>
15	Paseriformes gregarios	<i>Chondestes grammacus</i>
15	Paseriformes gregarios	<i>Haemorhous mexicanus</i>
15	Paseriformes gregarios	<i>Passer domesticus</i>
15	Paseriformes gregarios	<i>Perico monje argentino</i>
15	Paseriformes gregarios	<i>Sturnus vulgaris</i>
15	Paseriformes gregarios	<i>Tyrannus vociferans</i>
16	Mamíferos pequeños	<i>Lepus californicus</i>
17	Mamíferos medianos	<i>Canis lupus familiaris</i>
17	Mamíferos medianos	<i>Urocyon cinereoargenteus</i>

Especies encontradas en los monitoreos del GCF y su clasificación en grupos del BRI2:

Grupo asignado	Nombre del grupo	Especie
2	Cormoranes, cisnes, pelícanos y gansos	<i>Geococcyx californianus</i>
2	Cormoranes, cisnes, pelícanos y gansos	<i>Pelecanus occidentalis</i>
2	Cormoranes, cisnes, pelícanos y gansos	<i>Phalacrocorax auritus</i>
3	Garzas, cigüeñas y flamencos	<i>Ardea alba</i>
3	Garzas, cigüeñas y flamencos	<i>Ardea herodias</i>
3	Garzas, cigüeñas y flamencos	<i>Bubulcus ibis</i>
4	Patos y galliformes	<i>Callipepla californica</i>
4	Patos y galliformes	<i>Gallus gallus</i>
4	Patos y galliformes	<i>Geococcyx californianus</i>
5	Rapaces grandes	<i>Accipiter cooperii</i>
5	Rapaces grandes	<i>Accipiter striatus</i>
5	Rapaces grandes	<i>Bubo virginianus</i>
5	Rapaces grandes	<i>Bubulcus ibis</i>
5	Rapaces grandes	<i>Buteo jamaicensis</i>
5	Rapaces grandes	<i>Buteogallus anthracinus</i>
5	Rapaces grandes	<i>Caracara cheriway</i>
5	Rapaces grandes	<i>Cathartes aura</i>
5	Rapaces grandes	<i>Circus cyaneus</i>
5	Rapaces grandes	<i>Corvus corax</i>
5	Rapaces grandes	<i>Falco sparverius</i>
5	Rapaces grandes	<i>Geococcyx californianus</i>
5	Rapaces grandes	<i>Lepus californicus</i>
5	Rapaces grandes	<i>Parabuteo unicinctus</i>
5	Rapaces grandes	<i>Zenaida asiatica</i>
5	Rapaces grandes	<i>Zenaida macroura</i>
6	Halcones pequeños	<i>Accipiter cooperii</i>
6	Halcones pequeños	<i>Caracara cheriway</i>
6	Halcones pequeños	<i>Falco columbarius</i>
6	Halcones pequeños	<i>Falco peregrinus</i>
6	Halcones pequeños	<i>Falco sparverius</i>
6	Halcones pequeños	<i>Geococcyx californianus</i>
7	Aves marinas grandes	<i>Fregata magnificens</i>
7	Aves marinas grandes	<i>Larus argentatus</i>
7	Aves marinas grandes	<i>Larus livens</i>
7	Aves marinas grandes	<i>Larus sp.</i>
7	Aves marinas grandes	<i>Sula leucogaster</i>
9	Aves playeras	<i>Calidris mauri</i>
9	Aves playeras	<i>Calidris sp.</i>

9	Aves playeras	<i>Tringa flavipes</i>
9	Aves playeras	<i>Tringa semipalmata</i>
10	Palomas	<i>Caracara cheriway</i>
10	Palomas	<i>Cathartes aura</i>
10	Palomas	<i>Columba livia</i>
10	Palomas	<i>Columbia livia</i>
10	Palomas	<i>Columbina passerina</i>
10	Palomas	<i>Lepus californicus</i>
10	Palomas	<i>Passer domesticus</i>
10	Palomas	<i>Zenaida asiatica</i>
10	Palomas	<i>Zenaida macroura</i>
11	Rapaces grandes nocturnos	<i>Bubo virginianus</i>
11	Rapaces grandes nocturnos	<i>Tyto alba</i>
12	Golondrinas y vencejos	<i>Chordeiles accutipenis</i>
12	Golondrinas y vencejos	<i>Golondrina sp.</i>
13	Cuervos	<i>Corvus corax</i>
14	Paseriformes solitarios y murciélagos	<i>Cardinalis cardinalis</i>
14	Paseriformes solitarios y murciélagos	<i>Cardinalis sinuatus</i>
14	Paseriformes solitarios y murciélagos	<i>Icterus cucullatus</i>
14	Paseriformes solitarios y murciélagos	<i>Melanerpes uropygialis</i>
14	Paseriformes solitarios y murciélagos	<i>Mimus polyglottos</i>
14	Paseriformes solitarios y murciélagos	<i>Picoides scalaris</i>
14	Paseriformes solitarios y murciélagos	<i>Tyrannus vociferans</i>
15	Paseriformes gregarios	<i>Icterus cucullatus</i>
15	Paseriformes gregarios	<i>Lepus californicus</i>
15	Paseriformes gregarios	<i>Myiopsitta monachus</i>
15	Paseriformes gregarios	<i>Passer domesticus</i>
16	Mamíferos pequeños	<i>Ammospermophilus leucurus</i>
16	Mamíferos pequeños	<i>Canis lupus familiaris</i>
16	Mamíferos pequeños	<i>Felis catus</i>
16	Mamíferos pequeños	<i>Felis silvestris catus</i>
16	Mamíferos pequeños	<i>Lepus californicus</i>
16	Mamíferos pequeños	<i>Spilogale gracilis</i>
16	Mamíferos pequeños	<i>Sylvilagus audubonii</i>
16	Mamíferos pequeños	<i>Thomomys bottae</i>
16	Mamíferos pequeños	<i>Urocyon cinereoargenteus</i>
17	Mamíferos medianos	<i>Canis latrans</i>
17	Mamíferos medianos	<i>Canis lupus familiaris</i>
17	Mamíferos medianos	<i>Felis silvestris catus</i>
17	Mamíferos medianos	<i>Lepus californicus</i>
17	Mamíferos medianos	<i>Lynx rufus</i>

17	Mamíferos medianos	<i>Sylvilagus audubonii</i>
17	Mamíferos medianos	<i>Urocyon cinereoargenteus</i>
18	Mamíferos grandes	<i>Bos primigenius taurus</i>
18	Mamíferos grandes	<i>Lepus californicus</i>