



ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Identificación de áreas favorables para la riqueza de fauna vertebrada en la zona urbana y periurbana de la Región Metropolitana, Chile

Identification of favorable areas for the vertebrate fauna richness in urban and peri-urban areas of the Metropolitan Region, Chile

SOFÍA FLORES-MEZA^{1,*}, MARIANNE KATUNARIC-NUÑEZ², JAIME ROVIRA-SOTO³
& MATÍAS REBOLLEDO-GONZÁLEZ¹

¹Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Avenida Santa Rosa 11315, La Pintana, Chile

²Sección Biodiversidad y Recursos Naturales Renovables, Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente Región Metropolitana, Teatinos 254/258, primer piso, Santiago, Chile

³Departamento de Espacios Naturales y Biodiversidad, Ministerio del Medio Ambiente, Teatinos 254/258, sexto piso, Santiago, Chile

*Autor correspondiente: sofiafloresm@ug.uchile.cl

RESUMEN

Diversos estudios señalan que la riqueza de fauna disminuye con la urbanización, siendo capaces de habitar en zonas urbanas aves, micromamíferos, y herpetofauna. La presente investigación pretende ser la primera en estimar indirectamente la riqueza potencial de fauna urbana en Santiago. Para ello se realizó un análisis multicriterio, basado en cinco factores contribuyentes a la riqueza de fauna (perturbaciones antrópicas, energía presente en el sistema, heterogeneidad de los usos de suelo, complejidad de los usos de suelo, y áreas naturales) y sus correspondientes pesos relativos, y generando un índice de riqueza potencial de fauna (IRPF), cuya expresión cartográfica permitió la identificación de áreas favorables para la riqueza de fauna (AFRF). Además, se evaluó el efecto de un gradiente de urbanización sobre las ARPF; se generó una conectividad entre AFRF; y se analizó el IRPF de las áreas verdes de la zona urbana. Las comunas que resultaron presentar mayor IRPF en la zona urbana, son Lampa, Lo Barnechea, Vitacura, y Peñalolén, seguidas de San Bernardo, Puente Alto, Pudahuel, Las Condes y Quilicura. La conectividad entre AFRF se ubicó al nor-orienté de Santiago, y cercana a la Cordillera de Los Andes. Las áreas verdes públicas presentaron una superficie y un IRPF de bajo valor, caso contrario de las de propiedad privada, encontrándose al nor-orienté los mayores IRPF. No se apreció un efecto en el IRPF debido al gradiente de urbanización, lo que podría deberse a que en las cercanías del límite de la zona urbana existen zonas altamente densificadas. Actualmente, la zona urbana no favorecería el aumento de la riqueza de fauna, siendo las especies más afectadas aquellas que habitan en el suelo. A la hora de evaluar riqueza de fauna, no sólo debiese realizarse un estudio a nivel de paisaje, sino que también se debieran incorporar las características del hábitat local, entre las cuales destaca la superficie de las áreas verdes. Se hace necesario realizar una planificación del paisaje urbano, que propicie la conectividad entre parches naturales y áreas verdes favoreciendo el ingreso de fauna que circula alrededor de las zonas urbanas, contribuyendo así a la mejora de la biodiversidad.

Palabras clave: áreas verdes, biodiversidad urbana, conectividad, gradiente de urbanización.

ABSTRACT

Several studies reveal that the richness of fauna declines with urbanization- being able to live into urban areas, such as birds, mammals, and herpetofauna. This research aims to be the first one in estimating indirectly the potential urban fauna richness in Santiago. In order to achieve this, a multicriteria analysis was conducted based on five factors (human disturbance, energy present in the system, heterogeneity of land uses, complexity of land uses, and natural areas), which contribute to the fauna richness along with their respective relative weights. Thus, a potential fauna richness index (PFRI) was generated, whose mapping allowed the identification of favorable areas for the fauna richness (FAFR). In addition, the effect of a gradient of urbanization on FAFR was evaluated, the connectivity between FAFR was generated, and also the PFRI over the green areas, which belong to the urban area, was analyzed. As a result, in the urban area, the highest PFRI was displayed in the municipalities of Lampa, Lo Barnechea, Vitacura, and Peñalolén, followed by San Bernardo, Puente Alto, Pudahuel, Las Condes y Quilicura. Connectivity between FAFR was located north-east of Santiago city and near the Andes. Public green areas showed a surface and a PFRI with low value, in contrast to private green areas, located north-east with the higher values. Additionally, there is no perceivable effect on the PFRI due to the gradient of urbanization. Perhaps it is because, near to the limit of the urban area, there are highly densified natural patches. Consequently, the urban areas in Santiago would not help increasing the

fauna richness, being the most affected species those that inhabit in the ground. Finally, at the moment of evaluation of the fauna richness, not only a landscape study should be conducted, but also the local habitat characteristics should be incorporated, among which highlights the surface of the green areas. Also it is necessary to carry out an urban landscape planning, which leads to the connectivity between natural patches and green areas. This planning would allow the entry of fauna that circulates around urban areas, and thus would contribute to the improvement of biodiversity.

Key words: connectivity, gradient of urbanization, green areas, urban biodiversity.

INTRODUCCIÓN

La urbanización genera procesos de degradación y fragmentación de hábitats naturales, dando paso a una matriz heterogénea, que si bien puede alojar una alta riqueza de especies, no asegura su mantención a largo plazo (Garden et al. 2010). Diversos estudios señalan que la riqueza de fauna disminuye con la urbanización (Mckinney 2008), aunque sí podrían aumentar las especies alóctonas y autóctonas generalistas (Garden et al. 2010). Aves, micromamíferos, y herpetofauna son capaces de habitar en zonas urbanas, pero posiblemente han sufrido procesos adaptativos a las presiones antrópicas, que podrían distinguirlos de sus contrapartes residentes en hábitat naturales (Ditchkoff et al. 2006).

Considerando la actual expansión urbana se hace necesario propiciar el aumento de la biodiversidad urbana. Esta no sólo podría contribuir a la conservación de las especies nativas, sino que además podría ser parte de estrategias de adaptación al cambio climático, generar conectividad entre hábitat naturales y zonas urbanas, aumentar los servicios ecosistémicos al interior de las zonas urbanas, contribuir a la educación ambiental, y aportar a la mejora del bienestar de los habitantes urbanos (Dearborn & Kark 2010).

Entre las investigaciones sobre biodiversidad urbana realizadas anteriormente, en la Región Metropolitana de Santiago de Chile, se encuentran las de Urquiza & Mella 2002, Díaz & Armesto 2003, Varela 2003a¹, y Mella & Loutit 2007, quienes han contabilizado la riqueza de aves en Santiago y estudiado el efecto de la urbanización en ésta. Similares a los anteriores son los estudios realizados por Pavez et al. (2010) para la riqueza de micromamíferos

en el piedemonte de Santiago. Lobos et al. (2010) investigaron la herpetofauna, modelando mapas de distribución potencial para distintas especies en la Región Metropolitana, cuya información cruzada generó cartografía de niveles de riqueza.

La presente investigación pretendió ser la primera en estimar indirectamente la riqueza potencial de fauna urbana en Santiago. Para ello se procuró identificar los factores que contribuyen a la riqueza de aves, micromamíferos y herpetofauna, sometiéndolos a un análisis multicriterio, y con ello generando un índice de riqueza potencial de fauna vertebrada (IRPF), cuya expresión cartográfica se tradujo en áreas favorables para la riqueza de fauna vertebrada (AFRF) en las zonas urbana y periurbana de Santiago. La misma cartografía permitió generar una conectividad entre AFRF, y también evaluar el IRPF de las áreas verdes de Santiago.

MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio (Fig. 1) se ubicó al interior de la Región Metropolitana, Chile. Se encuentra delimitada por la cuadrícula límite, y su superficie consta de ~340000 ha. Se establecieron tres cuadrículas cuya superficie se encuentra a distinta proximidad de la zona urbana, con el fin de evaluar un gradiente espacial de influencia antrópica en el IRPF. Así, la zona urbana quedó acotada a la cuadrícula interior (~102000 ha); mientras que la zona periurbana se ubicó en las cuadrículas periféricas (~131000 ha) y cuadrícula límite (~107000 ha), quedando esta última enmarcada por límites naturales como lo son aquellos coincidentes con los sitios prioritarios para la conservación, dentro de los cuales destaca la Cordillera de los Andes ubicada al este de la región. Por otro lado, con el objeto de diferenciar la influencia antrópica en el IRPF en la zona urbana, la cuadrícula interior fue dividida en cuatro secciones con respecto a los puntos cardinales.

Cabe señalar que el presente estudio se referirá a zona urbana como aquella delimitada por la carta de uso

¹ VARELA S (2003a) Calidad de la vegetación urbana como hábitat para aves. El caso de Santiago de Chile. Memoria de ingeniero forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Chile.

² GOBIERNO REGIONAL METROPOLITANO DE SANTIAGO (2003) Bases para el ordenamiento territorial ambientalmente sustentable de la Región Metropolitana de Santiago, carta uso actual del territorio. Santiago, Chile.

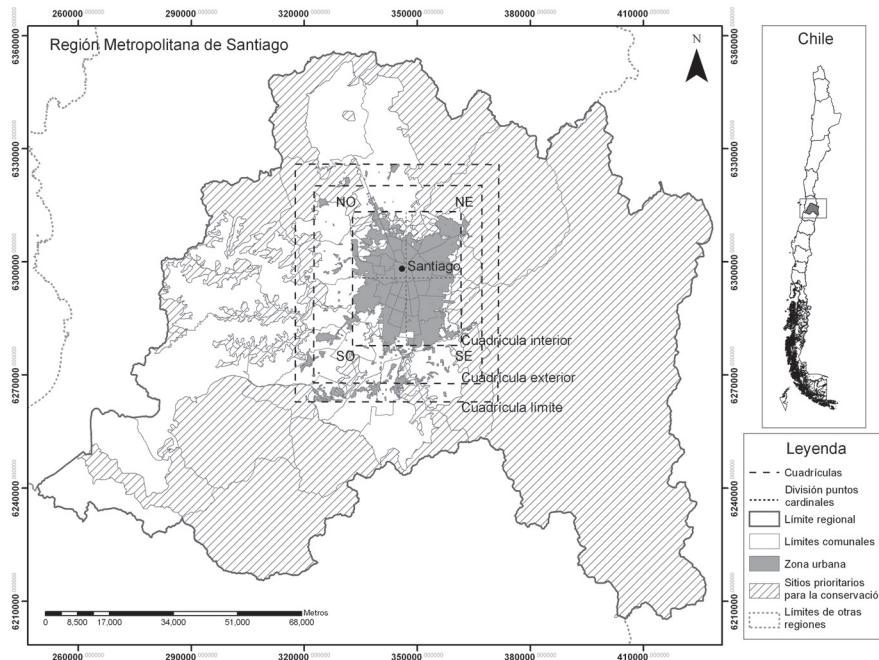


Fig. 1: Ubicación del área de estudio en la Región Metropolitana, Chile.

Study area location in the Metropolitan Region, Chile.

actual del territorio (Gobierno Regional Metropolitano de Santiago 2003²), mientras que la zona periurbana se considerará como las áreas que rodean a la zona urbana.

Análisis multicriterio

El análisis multicriterio es utilizado para la consecución de un único objetivo, utilizando distintos factores, que podrán influir en él de manera favorable o restrictiva (Giordano & Riedel 2008). Asimismo, y por medio del software IDRISI versión Andes, se realizó un análisis multicriterio para identificar AFRF. El análisis multicriterio (Ecuación 1) (Mena et al. 2006) utilizó como insumos los factores que contribuyen a la riqueza (x_i) y los pesos relativos correspondientes a cada uno (w_i), lo cual generó un IRPF cuyos valores pueden encontrarse en el intervalo de 0 a 255.

$$IRPF = \sum_{i=1}^n (w_i * x_i)$$

El IRPF se clasificó en bajo, medio y alto por medio del software ArcGis 9.3, dando paso a la identificación de AFRF en dos cartografías. En la primera cartografía se representó toda el área de estudio, los valores del IRPF se clasificaron en bajo = 0 - 84, medio = 84 - 137, y alto = 137 - 255, y se analizaron las diferencias en el IRPF para cada cuadrícula. En la segunda cartografía se representó sólo la zona urbana, los valores del IRPF se clasificaron en bajo = 0 - 50, medio = 50 - 90, y alto = 90 - 255, y además se evaluó el IRPF de las áreas verdes para las cuatro secciones delimitadas por los puntos cardinales.

Ahora bien, para ambas cartografías se generó una conectividad entre AFRF utilizando el software IDRISI

versión Andes. Para ello se realizaron rutas de mínimo costo, las que pretendieron encontrar la trayectoria de unión de dos puntos (punto de origen y de llegada) utilizando distancia y costo óptimos (Giordano & Riedel 2008). El costo queda definido por la distancia desde un punto de origen y la superficie de fricción que manifiesta la dificultad o costo de desplazamiento (Giordano & Riedel 2008). Con estas capas se genera una superficie de costo, la que es utilizada para generar la ruta de mínimo costo hacia un punto de llegada (Giordano & Riedel 2008). Para el caso del presente estudio, en las dos cartografías de AFRF se identificaron dos puntos con mayor IRPF, los que fueron utilizados como puntos de origen y de llegada. Las cartografías de AFRF fueron utilizadas como superficies de fricción, aumentando el costo de desplazamiento en la medida que disminuyese el IRPF.

Adicionalmente, se sobrepuso a la cartografía de AFRF los corredores verdes propuestos por Varela (2003b³). Estos corredores corresponden a ríos, canales, vías férreas y avenidas, y fueron diseñados para contribuir a la riqueza de aves en la zona urbana (Varela 2003b³). Varela (2003b³) manifiesta que la efectividad de los corredores verdes dependerá de la continuidad del dosel arbóreo, la complejidad estructural de la vegetación, y la capacidad de aislación del entorno urbanizado. Así, en primera instancia, dichos corredores podrían aumentar la abundancia de aves, mientras que con el paso del tiempo podrían contribuir al aumento gradual de su riqueza (Varela 2003b³).

3 VARELA S (2003b) Informe corredores verdes. Asesoría solicitada por la Comisión Nacional del Medio Ambiente Región Metropolitana, Chile, en el marco del Plan Verde. Laboratorio de Ecología y Vida Silvestre de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Chile, Chile.

TABLA 1
Factores que contribuyen a la riqueza potencial de fauna vertebrada, y sus correspondientes variables utilizadas en el análisis multicriterio.
Contributing factors to the potential richness of vertebrate fauna, and its corresponding variables used in the multicriteria analysis.

Factor	Argumento	Variable	Argumento	Influencia	Insumos
(1) Perturbaciones antrópicas	Las perturbaciones antrópicas producidas en las zonas urbanas alteran la abundancia de fauna (Atauri & de Lucio 2001, Faeth et al. 2011) y disminuyen su riqueza (Tratalos et al. 2007, McKinney 2008, Faeth et al. 2011)	(i) Distancia a rutas	Las rutas producen atropellamiento y se convierten en barreras que limitan la continuidad de los hábitats (Arroyave et al. 2006, Garden et al. 2010). Dependiendo del volumen del tráfico se afecta la presencia y hasta la reproducción de la fauna (Arroyave et al. 2006). En reptiles se ha comprobado la influencia de las rutas sobre la riqueza (Garden et al. 2010).	Tipos de rutas (Arroyave et al. 2006): Camino de ripio = influencia baja, hasta 10 m Ruta pavimentada = influencia media, hasta 400 m Carretera = influencia alta, hasta 1 km (Arroyave et al. 2006, Garden et al. 2010)	Rutas (Gisdata Chile 2007)
(2) Energía presente en el sistema	Factor desde la perspectiva global o biogeográfica, siendo ampliamente apoyado como indicador de riqueza (Atauri & de Lucio 2001). Se basa principalmente en la reducción de la producción primaria que produce la urbanización (Tratalos et al. 2007), la cual está ligada a la disponibilidad de alimento y refugio para la fauna (Varela 2003a).	(ii) Distancia a vías férreas (i) Índice normalizado de vegetación (NDVI) (ii) Superficie total de áreas verdes por comuna	E ruido generado por los trenes puede influir en la presencia de fauna El NDVI da cuenta de la actividad fotosintética de la vegetación y está relacionado positivamente con la riqueza de especies, en especial en la época de invierno (Varela 2003a).	Vías férreas = influencia menor, hasta 25 m (ruido base) (Comisión Nacional de Medio Ambiente 2008 ⁴). Valor NDVI (Julien et al. 2007): Menor a 0.2 = influencia baja; Entre 0.2 y 0.5 = influencia media; Mayor a 0.5 = influencia alta Ha por comuna: 2507 ha = influencia alta (máximo valor obtenido) 0 ha = influencia menor	Vías férreas (Gisdata Chile 2007) Imágenes Landsat (NASA 1999) Catastro de áreas verdes (Gobierno Regional Metropolitano de Santiago 2009b ⁵)
(3) Heterogeneidad de usos de suelo	Es reconocido como el criterio más transversal, y desde el punto de vista del paisaje representa la existencia de variados mosaicos de biotipos que acogen diferentes demandas ecológicas (Atauri & de Lucio 2001). Por tanto, mayor heterogeneidad genera mayor riqueza (Atauri & de Lucio 2001, Garden et al. 2010)	Heterogeneidad de usos de suelo	La heterogeneidad es la variable que mejor explica la riqueza de aves y herpetofauna en los estudios de Atauri & de Lucio (2001) y Cornelis & Hermy (2004)	Al interior de cuadrantes de 3000 m: 14 usos: influencia alta (máximo valor obtenido) 1 uso: influencia baja	Carta de uso actual del territorio (Gobierno Regional Metropolitano de Santiago 2003 ²) Catastro bosque nativo (Corporación Nacional Forestal 2000 ⁶)

TABLA 1. Continuación

Factor	Argumento	Variable	Argumento	Influencia	Insumos
(4) Complejidad de usos de suelo	La composición y la estructura interna del hábitat y/o la vegetación tienen influencia directa en la riqueza, pues debido a su complejidad o sencillez es que pueden proveer en mayor o menor medida de recursos necesarios para la fauna (Altauri & de Lucio 2001, Varela 2003a ¹). Tanto aves (Varela 2003a ¹), como micromamíferos y herpetofauna (Garden et al. 2010), ven relacionada su riqueza con la complejidad estructural de los usos de suelo.	Aptitud de biodiversidad según el uso de suelo	Cada uso de suelo puede realizar una contribución distinta a la biodiversidad dependiendo de su tipo (Comisión Nacional del Medio Ambiente 2002 ⁷).	Jerarquía de usos de suelo (Comisión Nacional del Medio Ambiente 2002 ⁷). Por ejemplo: Bosque = influencia alta Matorrales = influencia media Praderas = influencia baja	Carta de uso actual del territorio (Gobierno Regional Metropolitano de Santiago 2003 ²) Catastro bosque nativo (Corporación Nacional Forestal 2000 ⁶)
(5) Áreas naturales	Las áreas naturales presentan una diversidad distinta a la de plazas y parques, por tanto la proximidad a ellas puede facilitar el proceso de colonización de especies nativas, actuando como elementos de mejora ambiental (Meza 2009).	(i) Distancia a ríos (ii) Distancia a sitios prioritarios para la conservación	Los cauces de ríos se destacan por su transversalidad en la región. Su vegetación ripariana representa una transición entre el sistema acuático y terrestre, por lo cual es muy diversa (Gobierno Regional Metropolitano de Santiago 2009a ⁸) Existe una relación positiva entre la riqueza de aves y la cercanía a la Cordillera de los Andes, por lo que considera que las áreas naturales pueden actuar como fuente de especies (Varela 2003a ¹).	Considerando la zona de protección de cauces según Ley 20283/2008 del Ministerio de Agricultura (Biblioteca del Congreso Nacional 2008): Desde 0 m = influencia alta Hasta 25 m = influencia baja Capacidad de conectarse un parche con otro y mantener biodiversidad (Comisión Nacional del Medio Ambiente 2006 ⁹): Desde 0 m = influencia alta Hasta 500 m = influencia baja	Ríos (Gisdata Chile 2007) Sitios prioritarios para la conservación (Comisión Nacional del Medio Ambiente 2004 ¹⁰)

4 COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (2008) Levantamiento de información de entrada de modelo de predicción de ruido y aplicación en caso piloto. Informe de DBA Ingeniería, Santiago, Chile.
5 GOBIERNO REGIONAL METROPOLITANO DE SANTIAGO (2009b) Propuesta, política de áreas verdes de la Región Metropolitana de Santiago. Catastro de áreas verdes. Informe de Pulso S.A. Consultores. Santiago, Chile.
6 CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (2000) Actualización Catastro de Usos del Suelo y Vegetación, Región Metropolitana. Chile.
7 COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (2002) Estrategia regional de conservación y uso sustentable de la biodiversidad. Región de la Araucanía, Chile.
8 GOBIERNO REGIONAL METROPOLITANO DE SANTIAGO (2009a) Propuesta, política de áreas verdes de la Región Metropolitana de Santiago. Informe de Pulso S.A. Consultores. Santiago, Chile.
9 COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (2006) Consultoría para establecer una línea base y zonificación para la conservación de la biodiversidad en el sitio prioritario N° 2, "El Roble" de la Región Metropolitana de Santiago. Informe Final elaborado por Universidad de Chile y UNARTE.
10 COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (2004) Estrategia para la conservación de la biodiversidad en la Región Metropolitana. Sitios prioritarios para la conservación. Santiago, Chile.

Factores que contribuyen a la riqueza

Los factores que contribuyen a la riqueza utilizados en el análisis multicriterio, fueron identificados por medio de revisión bibliográfica. Esta revisión recopiló estudios sobre variación de riqueza de aves, micromamíferos y herpetofauna, en zonas urbanas de acuerdo a determinadas características. La incorporación de estos factores al análisis multicriterio requirió de la definición de variables a medir, las cuales también se fundaron en revisión bibliográfica.

Los pesos relativos de cada uno de los factores que contribuyen a la riqueza, se obtuvieron realizando el método de las jerarquías analíticas por medio del software IDRISI versión Andes. Este método consiste en la comparación por pares de cada criterio con respecto a los demás, asignándose según juicio experto valores que van desde 1/9 (nueve veces menos importante) a nueve (nueve veces más importante) según su relevancia para el objetivo (Giordano & Riedel 2008, Saaty 2008). De esta comparación se obtienen los pesos relativos de cada criterio, los cuales para ser considerados coherentes

deben presentar una consistencia de valor positivo menor a 0.1 (Giordano & Riedel 2008, Saaty 2008). Posteriormente, los factores fueron adecuados a la lógica difusa para ser ingresados al análisis multicriterio.

En el presente estudio los valores asignados en la comparación por pares fueron asignados a juicio de los autores, pero apoyándose en la revisión bibliográfica realizada anteriormente. Los factores que contribuyen a la riqueza y sus correspondientes variables se presentan en la Tabla 1. Los pesos relativos de las variables presentaron una consistencia de 0.05, y sus valores en orden de relevancia son los siguientes: heterogeneidad de usos de suelo (0.315); índice normalizado de vegetación (NDVI) (0.1926); superficie total de áreas verdes por comuna (0.1636); aptitud de biodiversidad según uso de suelo (0.0906); distancia a ríos (0.0771); distancia a sitios prioritarios para la conservación de biodiversidad (0.0588); distancia a carreteras (0.0346); distancia a caminos pavimentados (0.0297); distancia a vías férreas (0.0194); y distancia a caminos de ripio (0.0186).

Por último, cabe señalar que si bien el presente estudio abordó la biodiversidad exclusivamente en

TABLA 2

Detalle del análisis estadístico realizado a las cuadrículas interior, exterior y límite, correspondientes a la zona urbana. n: tamaño de la muestra; A²: estadístico Anderson-Darling; KS: estadístico Kolmogorov-Smirnov; P: probabilidad; gl: grados de libertad; F: estadístico de Fisher; t: estadístico t de Student; Fórmula t de Welch: aproximación de grados de libertad de Welch para prueba t de Student con varianzas diferentes (Daniel 2006).

Detail of statistical analysis performed to grids interior, exterior and limit, corresponding to the urban zone. n: sample size; A²: Anderson-Darling statistic; KS: Kolmogorov-Smirnov statistic; P: probability; gl: degrees of freedom; F: Fisher's F statistic; t: Student's t statistic; Fórmula t de Welch: Welch's approximation of degrees of freedom for Student's t test with unequal variances (Daniel 2006).

	Tamaño muestral	Grados de libertad		Estadígrafo	Probabilidad
Prueba A ²	n			A ²	P
Interior	1144928			21029	< 0.0001
Exterior	1459592			1223.2	< 0.0001
Límite	1175480			700.74	< 0.0001
Prueba KS	n			KS	P
Interior	1144928			0.1115	< 0.0001
Exterior	1459592			0.0318	< 0.0001
Límite	1175480			0.0344	< 0.0001
Prueba F	n	gl _{numerador}	gl _{denominador}	F	P
Int-Ext	1144928	1144927	1459591	1.7624	< 0.0001
Int-Lím	1459592	1144927	1175479	2.0662	< 0.0001
Ext-Lím	1175480	1459591	1175479	1.1724	< 0.0001
Prueba t	n	gl (Fórmula t de Welch)		t	P
Int-Ext	1144928	2069345.77		-877.9917	< 0.0001
Int-Lím	1459592	2037740.561		-910.6305	< 0.0001
Ext-Lím	1175480	2586284.665		-51.3522	< 0.0001

términos de número de especies (riqueza), es posible que de forma implícita los resultados además reflejen atributos como su estructura y funcionalidad.

Análisis estadístico del IRPF por cuadrícula

Se analizaron los valores del IRPF de las cuadrículas interior, exterior y límite, con tal de evaluar si sus valores son estadísticamente diferentes. El número muestral de las cuadrículas fue el siguiente: interior (1114928), exterior (1459592) y límite (1175480).

La normalidad de las muestras se evaluó usando gráficos cuantil cuantil y las pruebas de Kolmogorov-Smirnov (Daniel 2006) y Anderson-Darling (Stephens 1974). Pese a que los datos no fueron normales, se optó por emplear pruebas paramétricas para evaluar tanto la igualdad de varianzas como la de medias. Para

evaluar la igualdad de medias se utilizó una t de Student para igualdad de medias con diferentes varianzas. La homogeneidad de varianzas se evaluó mediante la prueba F de Fisher (Daniel 2006).

RESULTADOS

AFRF en toda el área de estudio

La Fig. 2 muestra que las comunas con mejores IRPF resultan ser Lampa, Colina, Lo Barnechea y Buin, además de un sector ubicado entre las comunas de Puente Alto, Pirque y San José de Maipo. La zona urbana por medio de la

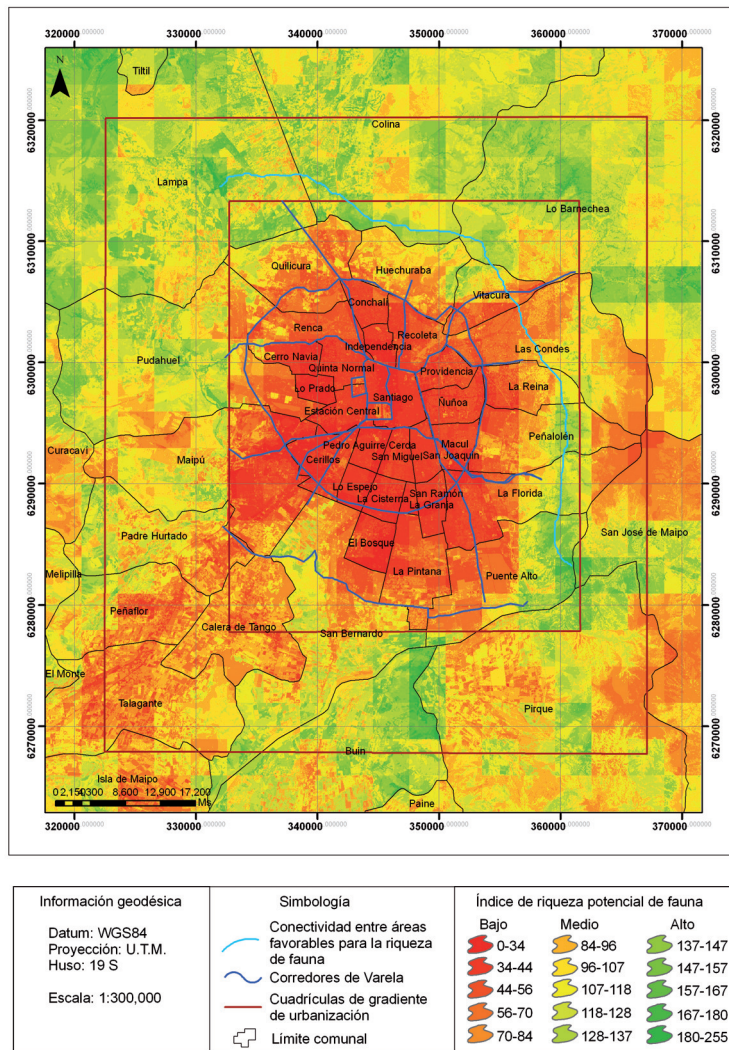


Fig. 2: Áreas favorables para la riqueza de fauna vertebrada (AFRF) ubicadas en el área de estudio. Se representan cuadrículas a fin de demarcar un gradiente de urbanización; conectividad entre AFRF; y corredores verdes para aves de autoría de Varela (2003b³).

Favorable areas for vertebrate fauna richness (FAFR) located in the study area. Grids are shown in order to demarcate a gradient of urbanization; connectivity between FAFR; and green corridors for birds developed by Varela (2003b³).

cuadrícula interior presentó un IRPF promedio de 76.14 clasificado como bajo, un rango de 16 a 222, y una desviación estándar de 35.26. En la zona periurbana, la cuadrícula exterior presentó un IRPF promedio de 110.92, un rango de 27 a 226, y una desviación estándar de 26.56, mientras que la cuadrícula límite presentó un IRPF promedio de 112.54, un rango de 28 a 218, y una desviación estándar de 24.53.

El valor de IRPF bajo de la cuadrícula interior versus el valor medio de las cuadrículas periféricas y límite podría atribuirse a la influencia antrópica, considerando que la zona urbana se encuentra ubicada en la cuadrícula interior.

Todas las cuadrículas presentaron diferencias significativas entre sus medias (interior-exterior: $t = -877.99, P < 0.0001$; interior-límite: $t = -910.63, P < 0.0001$; exterior-límite: $t = -51.35, P < 0.0001$) y varianzas (interior-exterior: $F = 1.762, P < 0.0001$; interior-límite: $F = 2.066, P < 0.0001$; exterior-límite: $F = 1.1724, P < 0.0001$).

La Fig. 2 muestra que la conectividad entre AFRF recorre el sector nor-oriental del área de estudio, uniendo zonas de alto IRPF, pero sin ingresar a la zona urbana en la cuadrícula interior. Los corredores propuestos por Varela sí se ubicaron dentro de la cuadrícula interior, pudiendo conectar valores medios de IRPF

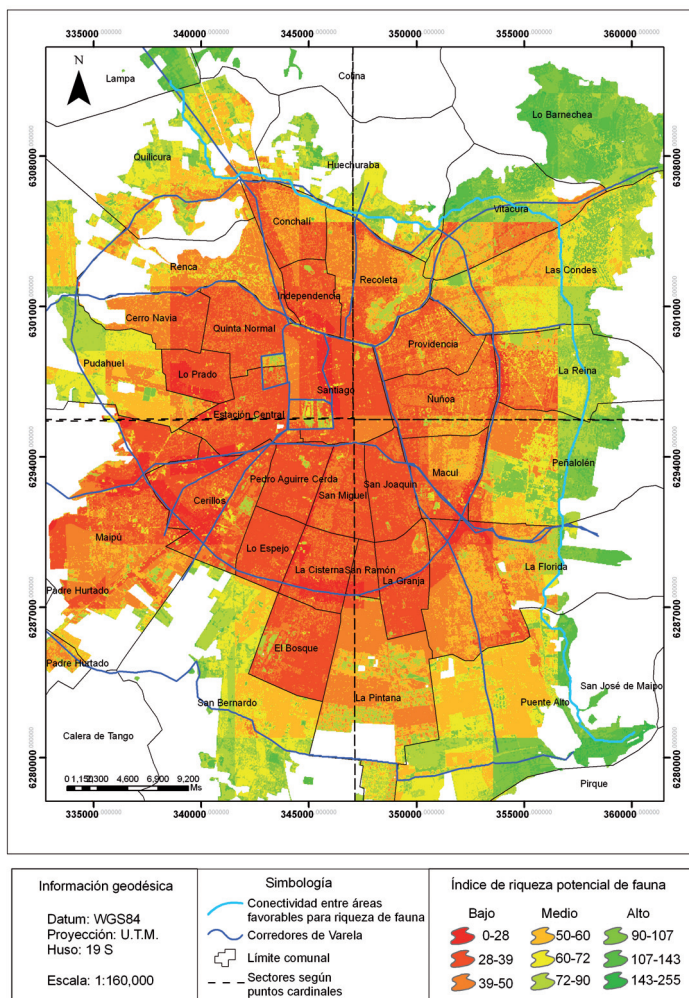


Fig. 3: Áreas favorables para la riqueza de fauna vertebrada (AFRF) ubicadas en la zona urbana. Se representan conectividad entre AFRF y corredores verdes para aves de autoría de Varela (2003b³).

Favorable areas for vertebrate fauna richness (FAFR) located in the urban area; it is represented connectivity between FAFR; and green corridors for birds developed by Varela (2003b³).

al borde de la cuadrícula interior, con valores bajos de IRPF al centro de la misma cuadrícula.

AFRF en la zona urbana

La Fig. 3 muestra que el IRPF presenta valores bajos en el centro y valores altos en mayor extensión en el sector este. Las comunas de mayor IRPF son aquellas cercanas a la Cordillera de los Andes, y más alejadas del centro de la zona urbana. Consecuentemente, tienen un mayor IRPF las comunas de Lampa, Lo Barnechea, Vitacura, y Peñalolén seguidas de San Bernardo, Puente Alto, Pudahuel, Las Condes y Quilicura.

La conectividad entre AFRF de la zona urbana no difiere en gran medida de la conectividad generada en la Fig. 2, pues también recorre el nor-orienté de Santiago, donde se presentan los más altos IRPF. También se aprecia más claramente cómo los corredores propuestos por Varela podrían aportar al ingreso de riqueza, puesto que unen áreas de valores medios y altos de IRPF ubicados en el borde de la zona urbana, con áreas ubicadas al centro y de bajos valores de IRPF.

IRPF de las áreas verdes

Las áreas verdes de propiedad pública presentan gran cantidad de polígonos de pequeña superficie y bajo IRPF, las de propiedad privada se concentran en menos polígonos de mayor tamaño y valores más altos de IRPF, y las de propiedad no registrada suman una superficie mayor que las públicas y privadas, pero se encuentran en valores intermedios con respecto al número de polígonos y a su superficie con valores altos de IRPF (Fig. 4).

Al analizar las cuatro secciones de la zona urbana (Fig. 4), puede observarse que la sección SE presenta mayor número de polígonos de áreas verdes y la sección NE mayor superficie total. Las áreas verdes presentan en general un incremento en su superficie en la sección NE, lo que es levemente superado en el caso de las áreas verdes privadas en la sección SE. El IRPF presentó de forma aún más marcada un aumento en la sección NE, cuya tendencia también fue

levemente superada en el caso de las áreas verdes privadas en la sección SE.

DISCUSIÓN

Influencia de la urbanización en el IRPF

En el área de estudio existe una notoria variación de AFRF de la zona urbana respecto de la periurbana (Fig. 2), lo que se apreció claramente al comparar el IRPF de la cuadrícula interior versus la cuadrícula periférica y límite. Los bajos valores del IRPF de la zona urbana se debieron a que las principales variables que contribuyen a la riqueza (NDVI, aptitud de biodiversidad según uso de suelo, superficie total de áreas verdes por comuna, y heterogeneidad de usos de suelo), presentaron valores mínimos en la zona urbana. Al comparar la cuadrícula periférica y límite, ambas presentaron valor medio en el IRPF promedio, lo que podría atribuirse a la influencia antrópica, puesto que la zona urbana se ubica en la cuadrícula interior, y ésta presentó valor bajo en el IRPF promedio.

En relación a la zona urbana (Fig. 3), no fue posible observar claramente un aumento del IRPF atribuible a un gradiente de urbanización. Esto podría deberse a que en las cercanías del límite urbano existen zonas altamente densificadas (Reyes & Meza 2011), por lo que en ese sentido no existiría un gradiente, y por ende tampoco se favorecería la biodiversidad urbana. Es así como se establece que el gradiente urbano-periurbano no es el único factor influyente, sino que también existen factores como la topografía, la historia de colonización, la cultura de las sociedades humanas, las líneas de desarrollo establecidas, y las políticas y planes de uso y manejo del territorio, afectando todas ellas al paisaje y la distribución de los usos de suelo (Torres et al. 2009).

Por medio del IRPF y su manifestación en las AFRF, se interpreta que en general la zona urbana no cuenta con los requerimientos y factores que podrían potenciar el aumento de la riqueza de fauna. Los animales que habiten en los ambientes urbanos, pese a la existencia de menos depredadores, sufrirán restricciones en su biología debido a las distintas tensiones que provocan los ambientes urbanos (Ditchkoff et al. 2006), por tanto deberán adaptarse y

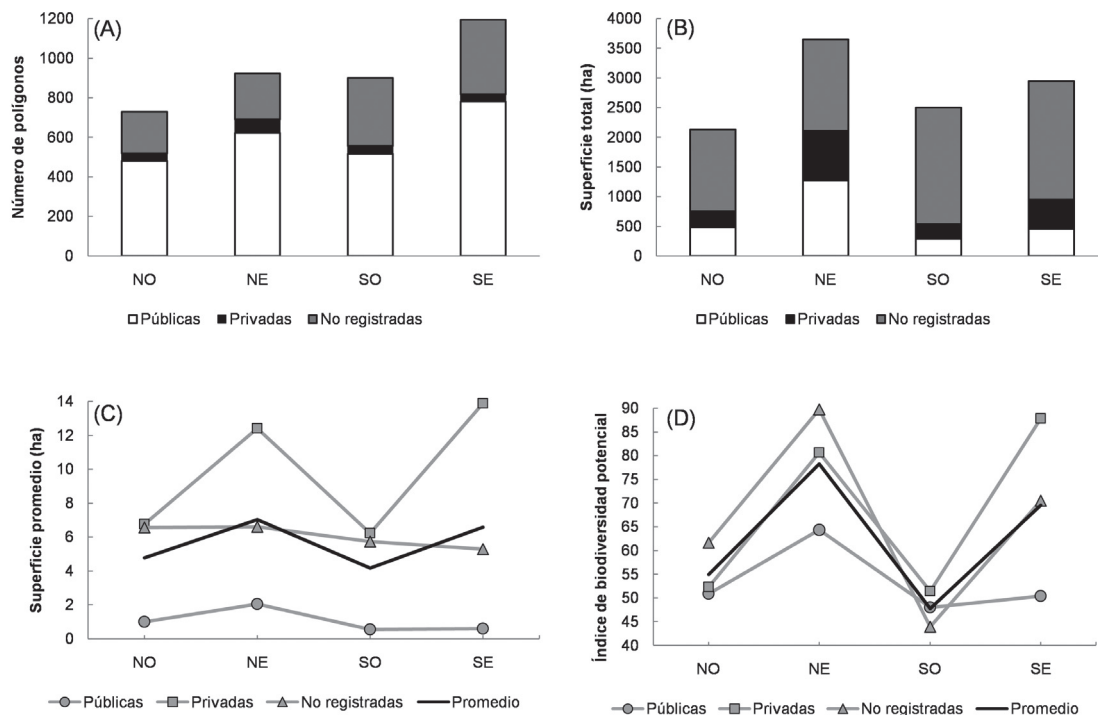


Fig.4. Caracterización de las áreas verdes de la zona urbana según propiedad y orientación a los cuatro puntos cardinales. A) Número de polígonos de áreas verdes, según propiedad y puntos cardinales (modificado de Gobierno Regional Metropolitano de Santiago 2009b⁵). B) Superficie total de áreas verdes, según propiedad y puntos cardinales (modificado de Gobierno Regional Metropolitano de Santiago 2009b⁵). C) Superficie promedio por polígono de áreas verdes, según propiedad y puntos cardinales (modificado de Gobierno Regional Metropolitano de Santiago 2009b⁵). D) Valor promedio del índice de riqueza potencial de fauna de áreas verdes, según propiedad y puntos cardinales (elaboración propia).

Green areas characterization of in the urban area according to ownership and orientation of the four cardinal points. A) Number of green area polygons, according to ownership and cardinal points (modified from the Metropolitan Regional Government of Santiago, 2009b⁵). B) Total surface of green areas, according to ownership and cardinal points (modified from the Metropolitan Regional Government of Santiago, 2009b⁵). C) Mean surface by green area polygons, according to ownership and cardinal points (modified from the Metropolitan Regional Government of Santiago, 2009b⁵). D) Mean value of the potential vertebrate fauna richness index, according to ownership and cardinal points (prepared for this publication).

aclimatarse a las diferentes perturbaciones antrópicas (Ditchkoff et al. 2006, Garden et al. 2010).

Hasta ahora, se ha comprobado que las especies forrajeras y que anidan en el suelo no se ven favorecidas por los procesos de urbanización (Ikin et al. 2012), lo que se constató en los estudios de Díaz & Armesto (2003) quienes detectaron que las aves que utilizan como hábitat las construcciones, follaje, y suelo-árboles eran capaces de colonizar las ciudades, a diferencia de la avifauna de

suelo. De lo anterior, podemos inferir que las condiciones para albergar micromamíferos y reptiles serían muy restringidas, pues la cobertura herbácea y/o suelo no logra ser colonizada por especies. Según Urquiza & Mella (2002) la cobertura arbustiva presenta valores bajo el 50 %, lo que reduce los microhábitats disponibles y disminuye la complejidad de las comunidades que la habitan.

Cabe señalar que los resultados obtenidos en el presente estudio se remiten a pequeña escala, evaluando factores contribuyentes a la

riqueza a nivel de paisaje, los que en general expresan los posibles efectos de la matriz sobre la riqueza de fauna. Considerando que se evaluó sólo esta escala, es muy factible que se haya representado tan sólo una parte de los efectos de la urbanización en la riqueza de fauna (Garden et al. 2010), por lo que se hace necesario evaluar también los efectos de los factores locales sobre la riqueza (Angold et al. 2006), tales como la cobertura vegetal de distintos estratos, el grado de mantención de parques y jardines, entre otras características. Asimismo, y recordando que la presente investigación pretendió generar una aproximación a la riqueza potencial de fauna de forma indirecta (utilizando las AFRF), es sumamente recomendable realizar la verificación en terreno de los resultados obtenidos. Por lo pronto, se puede mencionar que los estudios de Urquiza & Mella (2002) sobre riqueza de aves en parques urbanos, coinciden en general con las cartografías de AFRF.

Conectividad entre AFRF

Tanto en la Fig. 2 como en la Fig. 3, puede apreciarse que las conectividades entre AFRF son capaces de unir los sitios de mayor IRPF, pero no logran conectar esta riqueza con sectores de IRPF más bajo. Por esta razón, estas conectividades podrían mantener y contribuir al aumento de la riqueza en la zona nor-oriental, pero no aportarán a la mejora ambiental de la zona urbana. La deficiencia anterior es subsanada por los corredores verdes para aves propuestos por Varela (2003a¹), los cuales aumentarían la abundancia de las especies, pero sólo con el paso del tiempo podrían contribuir al aumento gradual de la riqueza de aves. Además, es necesario que existan las tres condiciones propicias para su efectividad, que son: continuidad del dosel arbóreo, complejidad estructural de la vegetación, y capacidad de aislación del entorno urbanizado (Varela 2003b³).

Si reflexionamos sobre la continuidad del dosel arbóreo, diremos que los corredores de Varela se sitúan en sectores donde existiría un alto índice de cohesión (Figuroa 2008), lo que nos indica que es posible que el dosel arbóreo ya posea cierta continuidad o ésta sea más fácil de conseguir. Desde otro punto de vista, si analizamos la espacialidad y

propiedad de las áreas verdes, puede decirse que las de propiedad pública poseen en general pequeña superficie pero se ubican ampliamente distribuidas en el área de estudio, por tanto podrían conectar las áreas verdes privadas que posean mayor superficie y sobre todo mayor IRPF. También, debiésemos considerar que el 10 % de las áreas verdes cuenta con una cobertura vegetal mayor o igual a un 45 %, valor considerado umbral para el tránsito de especies (Varela 2003b³), por tanto se vuelve relevante que las áreas verdes que conformen corredores mejoren su cobertura vegetal. De esa forma podría elaborarse una estrategia que permita la mejora del IRPF por medio de una mayor cobertura y continuidad del dosel.

Ahora bien, considerando la característica relativa a la complejidad estructural de la vegetación, sería necesario aumentar la diversidad de estratos vegetales al interior de las áreas verdes, fundamentalmente los estratos intermedios (arbustivos) (Mella & Loutit 2007), lo que favorecería la generación de nuevos nichos ecológicos y la complejidad de las comunidades de aves (Urquiza & Mella 2002, Díaz & Armesto 2003, Varela 2003b³). Por otro lado, aumentar la diversidad de las especies vegetales en las áreas verdes, y la inclusión de mayor número de especies nativas, también favorecería la complejidad estructural y la biodiversidad (Díaz & Armesto 2003, Mella & Loutit 2007).

Con respecto a la capacidad de aislación del entorno urbanizado, se considera la implementación de barreras verdes que permitan lo anterior. A su vez, el tamaño de los parches vegetales y áreas verdes está relacionado al grado de aislamiento de los mismos, por lo que sería dependiente de la superficie y la forma de estos parches verdes (Sepúlveda et al. 1997, Urquiza & Mella 2002).

Áreas verdes, IRPF, y planificación

Como se aprecia en la Fig. 4, hay una marcada predominancia de áreas verdes en el sector nor-oriental y sector sur-oriental. Esto se condice con estudios realizados por el Gobierno Regional Metropolitano de Santiago (2009a⁸), donde además se indica un aumento de la disponibilidad de áreas verdes por habitante y comuna en el sector nor - oriente. Si se considera que en ese sector se ubican comunas de altos ingresos

socioeconómicos, se entiende que autores como Kinzig et al. (2005) planteen que las condiciones socioeconómicas y culturales influyen directamente en la estructura y patrones de la biodiversidad urbana. Por otro lado, tampoco debe subestimarse la influencia de la Cordillera de Los Andes en el sector oriente, considerando que Varela (2003a¹) demostró el aumento de la riqueza de aves en Santiago hacia la cordillera.

Ahora bien, si se considerasen los factores locales para evaluar la riqueza de fauna urbana, cabe destacar que el tamaño de las áreas verdes es uno de los factores más influyentes en la riqueza (Cornelis & Hermy 2004, Colding 2007). Esto se explica debido a que las áreas verdes de mayor tamaño, podrían proveer de distintos recursos para la fauna, tales como alimento, sitios de anidación, diversidad de hábitats, entre otros (Colding 2007), por lo que podrían ser considerados verdaderos puntos calientes de biodiversidad en las ciudades (Cornelis & Hermy 2004). Si se evalúa esto en la zona urbana de Santiago, puede mencionarse que el 91 % de las áreas verdes urbanas posee una superficie menor a 5000 m² (Reyes & Figueroa 2010), lo cual está muy por debajo de los parques estudiados por Cornelis & Hermy (2004) (28 ha en promedio). Ahora bien, Cornelis & Hermy (2004) mencionan que las áreas verdes más pequeñas pueden ser utilizadas para enlazar parques naturales y/o áreas verdes. En base a ello, puede decirse que los corredores propuestos por Varela podrían aportar a la mejora de la biodiversidad de la zona urbana, puesto que logran conectar áreas verdes de pequeño tamaño y bajo IRPF, con zonas periurbanas y parches naturales de mayor IRPF.

Considerando lo anterior, es que se justifica la necesidad de realizar una gestión integral del ecosistema urbano que permita potenciar la biodiversidad por medio del manejo de la calidad de las áreas verdes, de las características del hábitat local y las acciones realizadas directamente en éste (Colding 2007). Además, la planificación del paisaje urbano podría potenciar la generación de conectividades entre parches naturales y áreas verdes, favoreciendo el ingreso de fauna que circula alrededor de las zonas urbanas, contribuyendo así a la mejora de la biodiversidad (Angold et al. 2006).

En este contexto, la presente investigación representa una herramienta de apoyo a la toma de decisiones en la gestión ambiental pública de Santiago de Chile. Iniciativas para las cuales esta información podrá ser útil, son las relativas a la instalación de parques, el enriquecimiento ecológico de los mismos o el diseño de guías para la ubicación e instalación de áreas verdes urbanas. Un ejemplo práctico sería la inclusión de las AFRF en la metodología de De la Maza & Cerda (2009). Ésta estima los beneficios sociales y ambientales de las áreas verdes en proyecto, lo cual permite su posterior selección. En esta metodología, la variable "facilitar el flujo genético a través de la ciudad" podría ser abordada por medio del IRPF y las conectividades generadas entre AFRF, lo que mejoraría la escala de análisis y además incluiría la relación del proyecto de área verde con respecto a la matriz que lo circunda.

AGRADECIMIENTOS: Se agradece: el apoyo técnico y financiamiento del Ministerio de Medio Ambiente; a los dos árbitros, quienes hicieron importantes aportes; a los egresados de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables de la Universidad de Chile, Sres. Claudio Durán, Sebastián González y Raphael Ortega, por sus contribuciones en el uso del complemento Visual Basic de Microsoft Office Excel, y del software Arc Gis 9.3; y en especial a la Sra. Sonia Reyes Packe, del Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales de la Pontificia Universidad Católica de Chile, por su gran apoyo y constantes aportes a esta investigación.

LITERATURA CITADA

- ANGOLD P, J SADLER, M HILL, A PULLIN, S RUSHTON, K AUSTIN, E SMALL, B WOOD, R WADSWORTH, R SANDERSON & K THOMPSON (2006) Biodiversity in urban habitat patches. *Science of the Total environment* 360: 196-204.
- ARROYAVE M, C GÓMEZ, M GUTIÉRREZ, D MÚNERA, P ZAPATA, I VERGARA, L ANDRADE & K RAMOS (2006) Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. *Revista Facultad de Ingeniería-Universidad de Antioquia (Colombia)* 5: 45-57.
- ATAURI J & J DE LUCIO (2001) The role of landscape structure in species richness distribution of birds, amphibians, reptiles and lepidopterans in Mediterranean landscapes. *Landscape Ecology* 16: 147-159.
- BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL (2008) Ley 20.283 sobre recuperación de bosque nativo y fomento forestal. Chile.
- CLEVELAND W (1994) *The elements of graphing data*. Hobart Press, New Jersey, USA.
- COLDING J (2007) Ecological land-use complementation for building resilience in urban ecosystems.

- Landscape and Urban Planning (Estados Unidos) 81: 46-55
- CORNELIS J & M HERMY (2004) Biodiversity relationships in urban and suburban parks in Flanders. *Landscape and Urban Planning* (Estados Unidos) 69: 385-401
- DANIEL W (2006) *Bioestadística: Base para el análisis de las ciencias de la salud*. Editorial Limusa S.A. México.
- DEARBORN D & S KARK (2010) Motivations for conserving urban biodiversity. *Conservation Biology* 24: 432-440
- DE LA MAZA C & C CERDA (2009) Valoración de impactos socio-ambientales del arbolado urbano: una aplicación a la ciudad de Santiago. 1-10. En: FAO (2007) XIII Congreso Forestal Mundial. Buenos Aires, Argentina. Octubre 18-23, 2009.
- DÍAZ I & J J ARMESTO (2003) La conservación de las aves silvestres en ambientes urbanos de Santiago. *Revista Ambiente y Desarrollo* (Chile) 19: 31-38.
- DITCHKOFF S, S SAALFELD & C GIBSON (2006) Animal behavior in urban ecosystems: Modifications due to human-induced stress. *Urban Ecosystems* 9: 5-12
- FAETH S, C BANG & S SAARI (2011) Urban biodiversity: patterns and mechanisms. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1223: 69-81
- FIGUEROA I (2008) Conectividad y accesibilidad de los espacios abiertos urbanos de Santiago de Chile (AMS). Tesis de Magister, Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales, Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile.
- GARDEN J, C MCALPINE & H POSSINGHAM (2010) Multi-scaled habitat considerations for conserving urban biodiversity: native reptiles and small mammals in Brisbane, Australia. *Landscape Ecology* 25:1013-1028
- GIORDANO L & P RIEDEL (2008) Multi-criteria spatial decision analysis for demarcation of greenway: A case study of the city of Rio Claro, Sao Paulo, Brazil. *Landscape and Urban Planning* (Estados Unidos) 84: 301-311
- GISDATA CHILE (2007) Información SIG de Chile continental, Subdivisión administrativa de 2007 (en línea) URL: http://www.rulamahue.cl/mapoteca/fichas/chile_utm19/ficha13utm19.html (accedido Febrero 16, 2011)
- IKIN K, E KNIGHT, D LINDENMAYER, J FISHER & A MANNING (2012) Linking Bird species traits to vegetation characteristics in a future urban development zone: implications for urban planning. *Urban Ecosystems* 15: 961-977.
- JULIEN Y, J SOBRINO & L MORALES (2007) Análisis multitemporal de imágenes PAL para el estudio de la vegetación en Suramérica. *Revista de Teledetección* (España) 27: 17-26.
- KINZIG A, P WARREN, C MARTIN, D HOPE & M KATTI (2005) The effects of human socioeconomic status and cultural characteristics on urban patterns of biodiversity. *Ecology and Society* (Canadá) 10: 23
- LEMESHKO B, E CHIMITOVA & S KOLESNIKOV (2007) Nonparametric goodness-of-fit tests or discrete, grouped or censored data. 112-112. En: Skiadas C (2007) World Scientific, International Conference on Applied Stochastic Models and Data Analysis (ASMDA). Crete, Greece. Mayo 29-Junio 1, 2007.
- LOBOS G, H HERNANDEZ, M MENDEZ, P CALTAN, J DINIZ & C GALLARDO (2010) Atlas de biodiversidad de anfibios y reptiles de la Región Metropolitana de Chile, una herramienta para la gestión de los recursos naturales (en línea) URL: <http://www.atlasherpetozoos.cl/> (accedido Marzo 22, 2011)
- MCKINNEY M (2008) Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals. *Urban Ecosystems* 11: 161-176.
- MELLA J & A LOUITIT (2007) Ecología comunitaria y reproductiva de aves en cerros islas y parques de Santiago. *Boletín Chileno de Ornitología* (Chile) 13: 13-27.
- MENA C, J GAJARDO & Y ORMAZÁBAL (2006) Modelación espacial mediante geomática y evaluación multicriterio para la ordenación territorial. *Revista de la Facultad de Ingeniería-Universidad de Tarapacá* (Chile) 14: 81-89.
- MEYER J & M SEAMAN (2006) Expanded tables of critical values for the Kruskal-Wallis H statistic. USA.
- MEZA L (2009) Contribución de los jardines domésticos urbanos a la cobertura vegetal de Santiago de Chile. Tesis de Magister, Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales, Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile.
- NASA (1999) Imágenes Landsat 7 ETM+, bandas 1, 2, 3 y 4 para la Región Metropolitana de Santiago (en línea) URL: <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/> (accedido Febrero 20, 2011)
- PAVEZ E, G LOBOS & F JAKSIC (2010) Cambios de largo plazo en el paisaje y los ensambles de micromamíferos y rapaces en Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural* 83: 99-111.
- REYES S & I FIGUEROA (2010) Distribución, superficie y accesibilidad de las áreas verdes en Santiago de Chile. *EURE* (Chile) 36: 89-110
- REYES S & L MEZA (2011) Jardines residenciales en Santiago de Chile: Extensión, distribución y cobertura vegetal. *Revista Chilena de Historia Natural* 84: 581-592
- SAATY T (2008) Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences* 1: 83-98.
- SEPÚLVEDA C, A MOREIRA & P VILLARROEL (1997) Conservación biológica fuera de las áreas silvestres protegidas. *Revista Ambiente y Desarrollo* (Chile) XIII: 48-58.
- STEPHENS M (1974) EDF statistics for goodness of fit and some comparisons. *Journal of the American Statistical Association* 69: 730-737.
- TORRES M, L DELGADO, V MARÍN & R BUSTAMANTE (2009) Estructura del paisaje a lo largo de gradientes urbano-rurales en la cuenca del río Aisén (Región de Aisén, Chile). *Revista Chilena de Historia Natural* 82: 73-82.
- TRATALOS J, R FULLER, P WARREN, R DAVIES, & K GASTON (2007) Urban form, biodiversity potential and ecosystem services. *Landscape and Urban Planning* (Estados Unidos) 83: 308-317
- URQUIZA A & J MELLA (2002) Riqueza y diversidad de aves en parques de Santiago durante el periodo estival. *Boletín Chileno de Ornitología* (Chile) 9: 12-21.

