de la Riva, J., Ibarra, P., Montorio, R., Rodrigues, M. (Eds.) 2015
Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación: 1599-1608
Universidad de Zaragoza-AGE. ISBN: 978-84-92522-95-8

La vida en los extremos: el uso de SIG para estudiar la distribución de la mosca antártica alada, *Parochlus steinenii* (Diptera: Chironomidae), en las Islas Shetland del Sur (Antártica marítima)

M. Gañán Mora[1], T.A. Contador[1,2,3], J.H. Kennedy[1,2,3,4]

[1] *Laboratorio Wankara, Universidad de Magallanes, Chile. Teniente Muñoz 396, Puerto Williams, Chile.*
[2] *Programa de Conservación Biocultural Subantártica, Parque Etnobotánico Omora. Teniente Muñoz 396, Puerto Williams, Chile.*
[3] *Instituto de Ecología y Biodiversidad. Las Palmeras 3425, Ñuñoa, Santiago, Chile.*
[4] *Department of Biological Sciences, University of North Texas. Denton, Texas, USA.*

melysa_gm@yahoo.es, contador.tamara@umag.cl, kennedy@unt.edu

RESUMEN: Este estudio se enfoca en la distribución de una de las dos especies de dípteros presentes en los ambientes dulceacuícolas de la Antártida, *Parochlus steinenii*. La Antártida es un foco de estudios sobre respuestas ambientales al cambio global y los ecosistemas dulceacuícolas son hábitats escasos, dinámicos, donde las respuestas al cambio climático pueden ser más inmediatas y evidentes que en sus contrapartes terrestres. Como los insectos están fuertemente afectados por la variación térmica, es posible realizar investigaciones para generar predicciones sobre su distribución y cambios en sus ciclos de vida. El objetivo general de este estudio es contribuir al conocimiento actual sobre la distribución de *P. steinenii* en las islas Shetland del Sur, para que en segunda fase se puedan generar predicciones sobre posibles cambios en su distribución en el contexto del cambio climático global, utilizando información sobre sus límites térmicos en los actuales ecosistemas antárticos. Para llevar a cabo este estudio se utilizan diferentes tecnologías SIG *open source* (PostgreSQL, Quantartica y QGIS) y software de análisis espacial (PostGIS y Rstudio). Se recopilan datos ambientales proporcionados por la AEMET (Agencia Española de Meteorología) y el British Antarctic Survey (BAS). Finalmente, se utiliza la tecnología SIG en la web proporcionada por la plataforma CartoDB, en especial su aplicacion *Torque*, para generar mapas dinámicos sobre distribuciones y factores físico-químicos.

Palabras-clave: Antártida, *Parochlus steinenii*, cambio climático, análisis espacial.

1. INTRODUCCIÓN

El continente Antártico ha sido categorizado como un laboratorio natural para los estudios del cambio climático a nivel global (Convey 2006) ya que ofrece un conjunto de ecosistemas clave que permiten mejorar la compresión de las consecuencias del cambio climático en la biota terrestre y acuática (Huiskes et al. 2006). El 95% del continente presenta climas extremos que lo mantienen cubierto por hielo y con temperaturas bajo cero durante todo el año. Sin embargo, la Antártida marítima (localizada en la costa occidental de la Península Antártica), se caracteriza por presentar climas menos extremos, con temperaturas y precipitaciones más elevadas que en el continente (Toro et al. 2007). Estas condiciones, resultan en la presencia de un gran número de ecosistemas dulceacuícolas, los cuales permanecen libres de hielo durante el verano y que presentan comunidades con estructuras tróficas relativamente simples, pero que pueden ser muy diversas (Peck, 2005; Convey et al. 2008). Por ejemplo, pocas especies de vertebrados terrestres son residentes de la Antártida y aparte de las aves, la fauna terrestre se compone principalmente de invertebrados, con solo dos especies de insectos holometábolos (Convey y Block 1996): *Parochlus steinenii* y *Belgica antarctica* (Diptera: Chironomidae). La mosca antártica sin alas B. antarctica es endémica y ha sido ampliamente estudiada debido a que presenta adaptaciones que le permiten vivir en condiciones con temperaturas bajo cero durante gran parte del año. Sin embargo, poco se sabe de la mosca alada *P. steinenii*, siendo uno de los animales terrestres más abundantes en la Antártida (Convey y Block 1996). *P. steinenii* presenta un rango de distribución amplio, que se extiende desde el sur de Bariloche, en el continente sudamericano, a las Islas Shetland del Sur en la Antártida marítima. En general, los dípteros quironómidos son considerados especies clave en los ecosistemas dulceacuícolas a nivel mundial, por lo que han sido ampliamente utilizados como indicadores del cambio

global. En este contexto, este estudio busca investigar la distribución actual de *P.steinenii* en las Islas Shetland del Sur, proporcionando una línea base para realizar estudios que permitan proyectar cambios en su fenología y distribución como consecuencia del cambio climático global.

Actualmente, los Sistemas de Información Geográfica (SIG en adelante) son un instrumento cada vez más relevante para los estudios sobre el medio natural (ecología, diversidad, distribución de especies, conservación, etc.) ya que todos ellos tienen una componente espacial de localización, todo ocurre en algún lugar. Esta componente permite realizar diversos tipos de análisis espaciales que ayudan a sintetizar varios aspectos de la realidad de una zona, a reconocer la existencia de patrones sobre algún fenómeno de interés, a predecir modelos de comportamiento o distribución de una especie, etc. Asimismo, los SIG proporcionan un resultado cartográfico, los mapas, resultado comprensible visualmente y atractivo en todo ámbito de acción. Los estudios a largo plazo, donde se maneja información de distinta índole y de gran tamaño, requieren de sistemas donde almacenar los datos y manipularlos de manera distinta y eficiente, como son las bases de datos. Cuando a estos datos se les añade la componente espacial hablamos de base de datos espacial o geográfica. Actualmente, el tipo de base de datos geográficos más utilizado es la base de datos relacional, aquella que está organizada en tablas y relaciones entre tablas (Botella et al., 2010). Éstas cuentan con un lenguaje estándar para realizar las consultas y manejar los datos, el SQL (structured query language), sobre un sistema gestor de bases de datos relacional. La mayoría de SIGs de escritorio tienen la capacidad de conectarse a estos sistemas gestores permitiendo la visualización de los datos y de las consultas espaciales realizadas. Así el uso de ambas herramientas simultáneamente proporciona un sistema de análisis geoespacial y visualización de mapas muy potente. En este estudio se trabaja con la base de datos PostgreSQL y su extensión espacial PostGIS, ambos software libre, con licencia GNU General Public License (GPL) y compatibles con los estándares del Open Geospatial Consortium (OGC). El SIG de escritorio utilizado para visualizar y analizar los datos es QGIS (open source), dentro del contexto del proyecto Quantarctica. El proyecto Quantartica es un paquete libre de SIG sobre la Antártica desarrollado por el Instituto Polar Noruego (www.quantartica.org), que recopila información geográfica sobre glaciología, geofísica, mapas base, mapas topográficos y modelos digitales de elevación (RAMP2, ETOPO1, BEDMAP2, IBCSO) e imágenes satelitales (LANDSAT, RADAR), proporcionando una base sobre la que trabajar los propios datos y visualizarlos en QGIS. Asimismo, en este estudio se ha querido trabajar con el concepto Data Visualization, es decir, la visualización de datos de una manera comprensible y sencilla. Dentro de este contexto, y teniendo en cuenta la importancia que está adquiriendo el uso del cloud computing o computación en la nube, se ha escogido la plataforma en la nuble cartoDB, cuyo objetivo es facilitar la creación de mapas a partir de la gestión y procesamiento de datos, poniendo énfasis en la gestión de los estilos de representación. Al igual que nuestra base de datos, CartoDB almacena las tablas en una base de datos PostgreSQL con el componente espacial PostGIS. Pero el aspecto más importante de esta herramienta es que logra incorporar la variable tiempo en la visualización de la información geográfica, una de las barreras de las tradicionales aplicaciones SIG de escritorio.

En definitiva, en esta primera instancia, se integran herramientas de SIG con los resultados obtenidos en la primera etapa del proyecto para generar modelos de distribución actuales. En una segunda instancia, se desarrollarán estudios sobre la fenología y ecofisiología térmica de *P. steinenii* para generar modelos de proyecciones en el largo plazo. En esta contribución, se presentan los resultados obtenidos la primera etapa del proyecto.

2. METODOLOGÍA

2.1. Área de estudio

El estudio se llevó a cabo principalmente en las islas Shetland del Sur (61-63°S, 53-62°O). El archipiélago de las Shetland del Sur son un conjunto de casi 20 islas que se extienden aproximadamente 480 kilómetros en la Antártida marítima. Se ubican en el extremo oriental del Mar de Bellingshausen y en el extremo occidental del Mar de Weddell (Convey 2006). Específicamente, las expediciones se llevaron a cabo en las islas Decepción, Livingston, Roberts, Nelson y Rey Jorge. La Isla Decepción es un volcán activo y se encuentra a 97 km de la Península Antártica, siendo el punto más cercano a ésta. Las islas Livingston y Rey Jorge presentan las mayores áreas libres de hielo durante el verano polar. El clima es característico de la Antártida marítima, con temperaturas que superan los 0°C desde diciembre a marzo, humedad ambiental alta (95%) y precipitaciones anuales de 450 mm aproximadamente (Hann y Reinhardt 2006). La geomorfología de las áreas libres de hielo se caracteriza por presentar regiones periglaciales con numerosos lagos permanentes y lagunas temporales que se encuentran cubiertas de hielo entre 9-10 meses al año (Barsh et al. 1985).

2.2. Metodología de muestreo, preferencias de hábitat y características físico-químicas

Las expediciones fueron organizadas por el Instituto Antártico Chileno (INACH) y se realizaron a bordo del Buque AP Aquiles de la Armada de Chile durante enero y febrero de 2014 y 2015. Los censos para determinar la distribución de *P. steinenii* se llevaron a cabo en las áreas libres de hielo de las islas Shetland del Sur (Decepción, Livingston, Greenwich, Roberts, Nelson y Rey Jorge) y en dos zonas de la Península Antártica (alrededores de la base antártica chilena O'Higgins y la isla Litchfield). Se buscó exhaustivamente en todos los ríos, arroyos, lagunas y lagos accesibles durante un periodo de 3-6 horas, dependiendo de las condiciones climáticas. La presencia/ausencia se determinó revisando la orilla de cada hábitat, confirmando la presencia de larvas, pupas o adultos bajo piedras, rocas, sedimento y vegetación sumergida. Para determinar la preferencia de hábitat de la especie, se identificaron hábitats permanentes (lagos y ríos profundos) y no permanentes (lagunas o pozas poco profundas) según Hahn y Reinhardt (2006). Además, se caracterizaron tres tipos de microhábitats en cada lugar de muestreo: rocas y sedimento (arena y piedras de 3–20 cm), musgos y líquenes acuáticos y pingüineras (pozas o arroyos cercanos a sitios de anidamiento de pingüinos). Cada sitio visitado fue georeferenciado con un GPS modelo Garmin 78s. Las características físico-químicas del agua (oxígeno disuelto (mg/L), temperatura del agua (ºC), pH y conductividad (µS) fueron registradas para cada hábitat utilizando un medidor multiparamétrico (YSI pro plus). Se instalaron data loggers de temperatura HOBO® (modelo U22 Water Temp Pro v2) en dos sitios permanentes (lagos Kitiesh y Langer) en la Isla Rey Jorge para registrar la temperatura mínima, máxima y promedio del agua. Ambos lagos se escogieron como sitios permanentes de monitoreo para el estudio de la fenología de *P. steinenii* (acusando a otros objetivos del estudio, no presentados en este artículo) debido a razones logísticas favorables ya que se encuentran cercanos a la Base Chilena Profesor Escudero.

2.3. Obtención de Datos

Los datos de este estudio provienen de los terrenos realizados entre el verano del 2014 y el 2015 en las islas Shetland del Sur y la Península Antártica, descargados de algunos geoportales, cedidos por diferentes instituciones y bibliográficos (Tabla 1).

Tabla 1. Procedencia de datos descargados, cedidos y bibliográficos

Institución/autor	Tipos de datos	Procedencia
Agencia Española de Meteorología (AEMET)	Climáticos de Livingston y Decepción	Cedidos
British Antartic Survey (BAS)	Climáticos de diversas bases antárticas	ftp://ftp.bas.ac.uk/src/SCAR_EGOMA/
Portal de Datos Públicos de Chile	Datos temperatura y precipitación base antártica Eduardo Frei	http://datos.gob.cl
Ministerio de Obras Públicas Dirección General de Aguas	Datos Climáticos base antártica Eduardo Frei	Cedidos
Hahn and Reinhardt, 2006	Presencia *P. steinenii* en Isla Ardley, Península Barton y Puerto Tomas	Bibliografía
Rico and Quesada, 2013	Presencia *P. steinenii* en lagos Limnopolar y Midge, en ríos Petreles, Rotch y Gaviotas	Bibliografía
Toro el al., 2006	Presencia *P. steinenii* en lagos Cerro Negro y Somero	Bibliografía
Wirth and Gressit, 1967	Presencia *P. steinenii* en Robert Island	Bibliografía

2.3.1. Base de datos espacial antártica

Una vez recopilados, ordenados y clasificados todos los datos se generó la base de datos espacial "*antartica*" con el sistema gestor de base de datos PostgreSQL-PostGIS . Con el fin de asegurar un manejo y exportación más eficiente y segura se organizaron todos los datos en 4 esquemas.

- Esquema CLIMATE. Se han incorporado los datos climáticos obtenidos de los diferentes geoportales, los facilitados por la AEMET y BAS, referidos a las diferentes bases antárticas de las Shetland del Sur.

- Esquema PAROCHLUS. Se han incorporado los datos de ocurrencias y los datos de presencias de *P. steinenii.*
- Esquema PHYSICOCHEMICAL. Se han añadido los datos fisicoquímicos obtenidos en terreno y de caracterización de hábitat.
- Esquema WATER. Se han añadido los datos de temperatura anual del agua de los lagos Kitiesh y Langer (Rey Jorge), y los datos correspondientes a la superficie de los lagos determinada mediante la digitalización de éstos en el programa Google Earth Pro.

Esta base de datos es dinámica y actualizable, permitiendo que se añadan nuevos datos, se actualicen o se modifiquen a medida que se avanza en las diferentes fases del estudio general.

2.4. Análisis espacial y visualización de datos

Se realizó análisis espacial con PostGIS y la plataforma cartoDB. Los análisis realizados en PostGIS han sido del tipo análisis de proximidad. En primer lugar, se elaboraron tablas de proximidad y búsqueda del vecino más próximo, ambos análisis mediante la función espacial ST_DISTANCE (geometry a, geometry b) (POSTGIS), con el fin de obtener una tabla con las distancias entre cada punto de presencia de *P. steinenii* y encontrar cuáles son los más próximos entre ellos. Posteriormente se desarrolló el análisis espacial de área de influencia (buffer) mediante la función espacial ST_MULTI (ST_BUFFER (geometry a, distancia buffer, nº segmentos lineales), para visualizar lo obtenido en las tablas de vecino más próximo. El número de segmentos lineales utilizados es 16 ya que se considera que el error cartográfico con esa cantidad es menor (Martínez, 2013). Se utiliza la función ST_MULTI para homogeneizar las geometrías a tipo multipolígono y evitar diferentes geometrías en la misma tabla. Los análisis espaciales realizados en cartoDB fueron mediante el operador espacial ST_INTERSECTS (POSTGIS) con el fin de cruzar los datos fisicoquímicos con los puntos de ocurrencias. Los datos y análisis realizados fueron visualizados en Quantartica (que trabaja con QGIS) y la plataforma en la nube cartoDB, generándose como resultado una serie de mapas que permitieron, con ayuda del pertinente análisis estadístico, generar respuestas a las inquietudes planteadas inicialmente. Los mapas generados con cartoDB, a diferencia de los mapas tradicionales, priorizan la visualización de la información de una manera simple pero entendible. En este estudio se aboga a este tipo de visualización por cuanto se trabaja con esta plataforma, incorporando, además, la variable temporal con la herramienta Torque (CARTODB). Gracias a la opción simple para publicar mapas en internet mediante la herramienta share que incorpora cartoDB, mediante una URL se pueden visualizar los mapas generados desde cualquier navegador.

2.5. Análisis estadísticos

2.5.1 Preferencia de hábitats

Todos los análisis estadísticos fueron realizados con un α de 0.05. Antes de realizar análisis paramétricos, se probó la normalidad de los datos con el test de Shapiro-Wilks y la homogeneidad de varianzas con el test de Fmax de Hartley. Para determinar si las presencias o ausencias de *P. steinenii* eran significativamente diferentes entre hábitats y microhábitats, se construyeron tablas de contingencia (presencia/ausencia y tipos de hábitats y microhábitats como variables categóricas) y las diferencias fueron detectadas con el test de Chi-cuadrado. Se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) para determinar si existían diferencias significativas en las características físico-químicas entre hábitats permanentes y no permanentes. Todas las pruebas recién descritas fueron realizadas con el software JMP® 9.0.1.

2.5.2 Análisis distribución de Parochlus steinenii en las Islas Shetland del Sur

Se utilizaron análisis de procesos espaciales puntuales univariables (RStudio, Versión 0.98.1102, paquetes Spatstat y Maptools) para analizar la distribución de *P. steinenii* en las Islas Shetland del Sur. Se usó el sistema de referencia de coordenadas (SRC) EPSG 3031 Antarctic Polar Stereographic para cada sitio en dónde fue confirmada la presencia de la especie. Para evaluar el tipo de distribución observada (Ho: P. *steinenii* presenta una distribución espacial completamente aleatoria), se utilizó el modelo de intensidad constante de Poisson o de Complete Spatial Randomness (CSR). En este modelo, los puntos espaciales son estocásticos e independientes y la intensidad se interpreta como la densidad media de puntos por unidad de área (Baddeley 2000, 2005). Específicamente, se utilizó el análisis univariado del *K* de Ripley, utilizando el área total las islas inspeccionadas. Los resultados fueron analizados utilizando la función L(r) – r, la cual es una transformación de la función K de Poisson con un valor constante = 0. Esta transformación se realizó ya que facilita el análisis para observar la desviación de la función observada con la teórica. Se realizaron pruebas de Monte Carlo para comparar las funciones empíricas con las observadas, bajo la hipótesis nula antes mencionada. La prueba

rechaza la H_0 si el gráfico de la función observada se encuentra fuera del envolvente crítico en cualquier valor de la distancia "r" (Baddeley 2000).

3. RESULTADOS

3.1. Análisis espacial y visualización de datos

2.5.3 Visualizaciones en Quantartica (QGIS)

De los 37 puntos de ocurrencias obtenidos, 26 son puntos de presencia de *P. steinenii* y 11 puntos de ausencia, situándose las presencias en las Shetland del Sur, principalmente en la isla Rey Jorge, Livingston y Decepción (Figura 1).

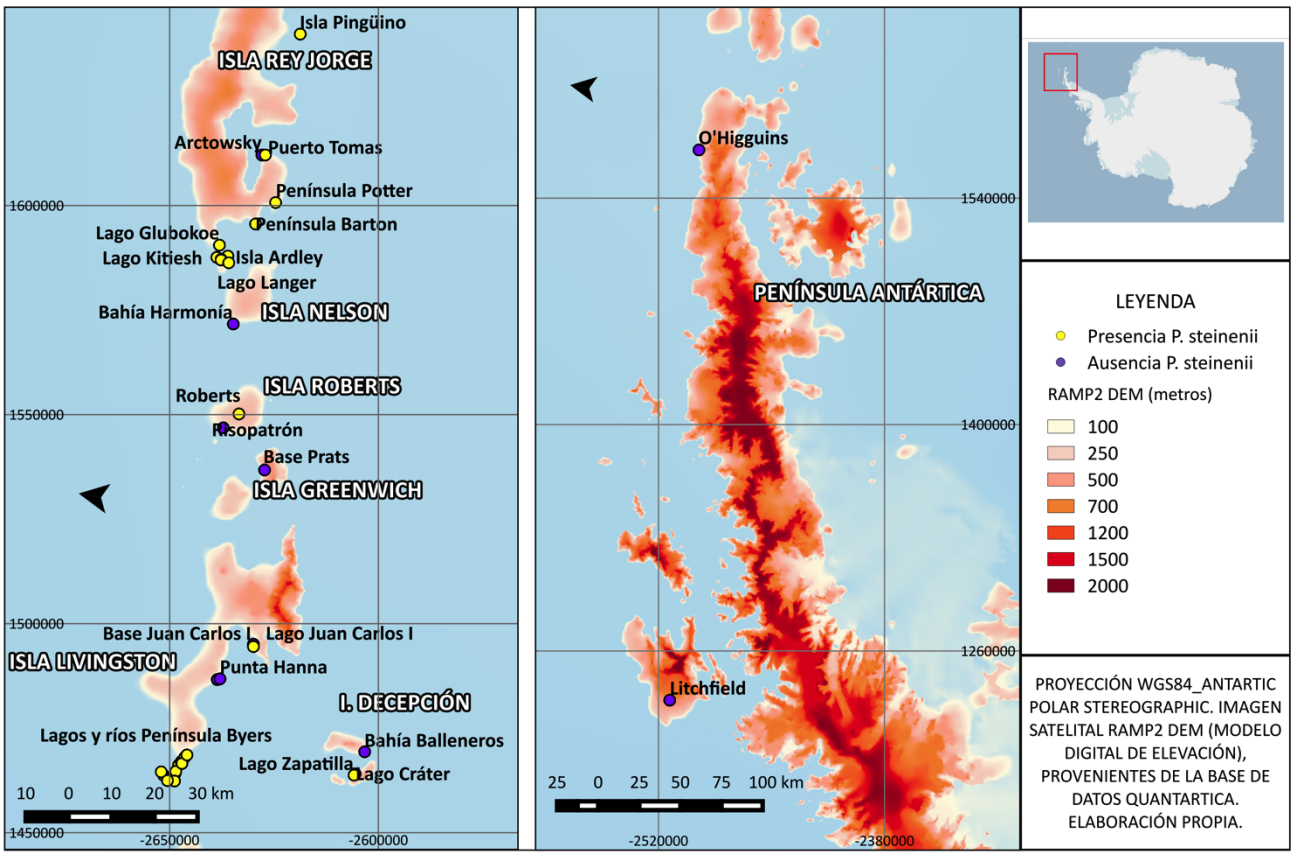

Figura 1. Distribución de *P.steinenii* en las islas Shetland del Sur y la Península Antártica.

Las tablas de proximidad calculadas muestran que el 77% de los puntos de presencia de *P. steinenii* se encuentran a menos de 3.5 km de distancia, siendo los lagos más cercanos entre ellos Limnopolar con Somero a 0.6 km de distancia (isla Livingston), Cráter con Zapatilla a 0.8 km de distancia (isla Decepción) y Langer con Tern a 1.8 km (isla Rey Jorge). En el análisis de área de influencia (buffer) se puede observar que los 20 puntos de presencia (77%) que quedan dentro de los buffers de 3.5 kilómetros pueden agruparse en tres zonas: un grupo compuesto por lagos y ríos de la Península Byers, isla Livingston (13 puntos); un segundo grupo compuesto por lagos que se encuentran en Fildes, isla Rey Jorge (5 puntos); y un tercer grupo los lagos de isla Decepción (2 puntos) (Figura 2). Asimismo, el análisis de distancia al vecino más cercano realizado en el programa Spatstat de R, confirma el patrón (Figura 7).

3.1.2. *Visualizaciones en CartoDB*

Se realizaron distintos mapas que muestran el comportamiento y rango de valores de las variables fisicoquímicas y de hábitat en los puntos de presencia y ausencia de *P. steinenii* (se descartan los dos puntos de ausencia de la Península Antártica por no contar con datos fisicoquímicos ni de hábitat). A continuación se muestran algunos de estos mapas (Figura 3 y 4), todos elaborados con cartoDB y por tanto se basan en los principios de visualización de esta plataforma SIG en la nube, por este motivo éstos no incorporan todos los elementos tradicionales que normalmente se requieren. Con la opción share de cartoDB todos los mapas realizados se comparten en internet y próximamente podrán ser consultados en la web www.wankaralab.com (en construcción). Asimismo, se desarrollaron dos mapas dinámicos con la herramienta Torque. El primer mapa muestra la temperatura diaria del agua durante un año en dos lagunas de estudio en la isla Rey Jorge (Figura 5), variable que utilizaremos en un futuro próximo, conjuntamente con otros estudios sobre la fenología de *P.steinenii*, para calcular los grados día acumulados necesarios para completar un ciclo biológico en la Antártida. El segundo mapa engloba la temperatura anual durante varios años en las bases antárticas de las Shetland del Sur, lugares cercanos a los puntos de presencia de *P. steinenii*.

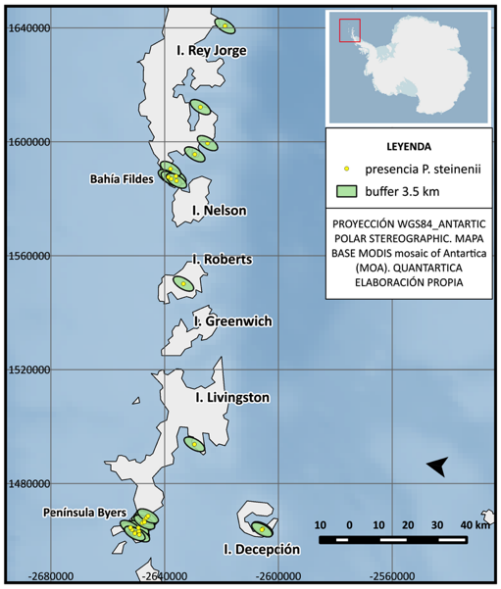

Figura 2. Área de influencia (buffer) de 3.5 km en las zonas de presencia de *P. steinenii* en las islas Shetlands del Sur.

3.2.1. *Preferencia de hábitats y características físico-químicas*

El análisis de la distribución de *Parachlus steinenii* en cuanto a su preferencia de hábitat, indica que en general prefiere hábitats permanentes a no permanentes, (Test de Chi-cuadrado, $p < 0.0001$, Tabla 2), siendo encontrado principalmente en las orillas de lagos profundos, bajo rocas y sedimento fino o entre musgos y líquenes sumergidos (Test de Chi-cuadrado, $p = 0.0007$, Tabla 3). En general, no existen diferencias significativas en las características físico-químicas entre hábitats permanentes y no permanentes durante los eventos de muestreo (Tabla 4).

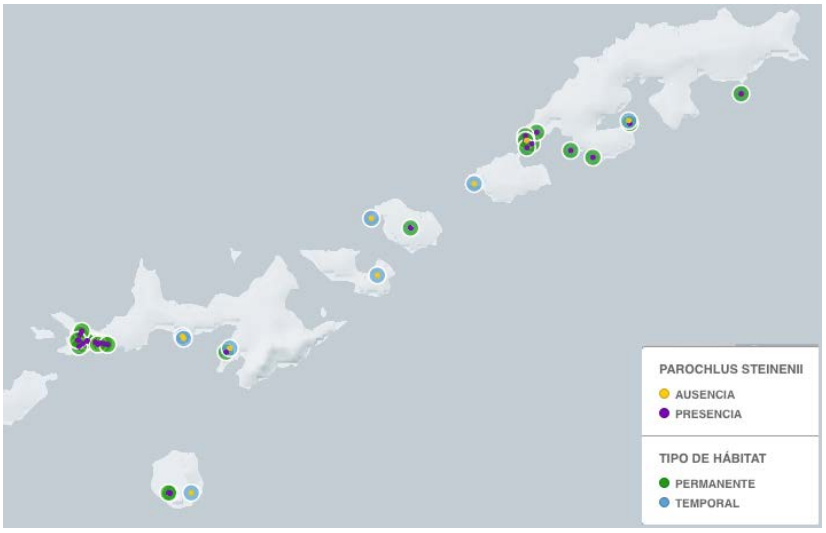

Figura 3. Tipo de hábitat en los lugares con presencia y ausencia de *P. steinenii* URL: https://mganan.cartodb.com/viz/59dba65e-f96d-11e4-b762-0e4fddd5de28/embed_map.

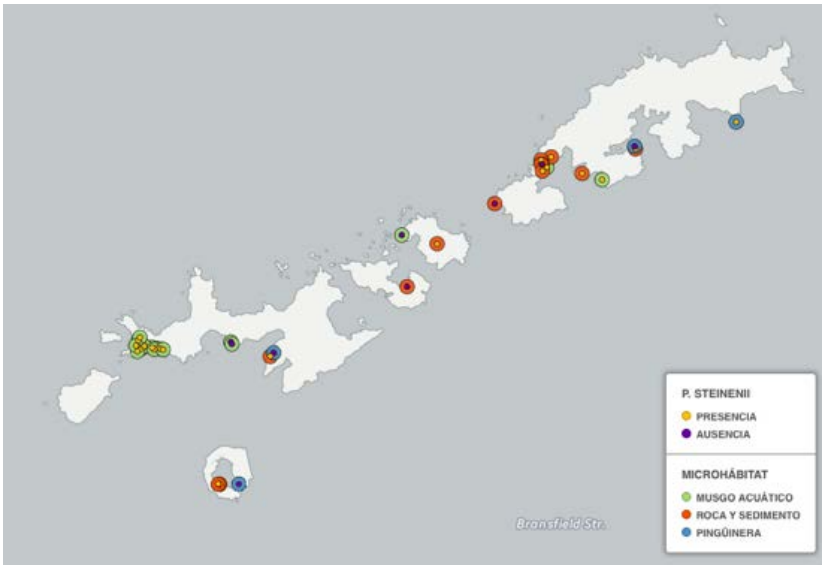

Figura 4. Tipo de microhábitat.en los lugares con presencia y ausencia de *P. steinenii*. URL: https://mganan.cartodb.com/viz/e4237dac-f975-11e4-8d8d-0e4fddd5de28/embed_map.

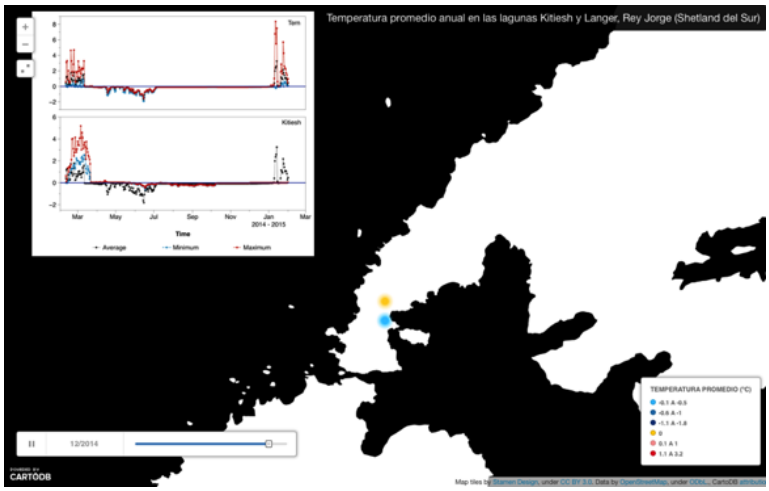

Figura 5. Temperatura diaria 2014-2015 en dos lagos de estudio en la isla Rey Jorge. URL: https://mganan.cartodb.com/viz/42b92360-f9dc-11e4-bc79-0e018d66dc29/embed_map. Análisis estadísticos

Tabla 2. Tabla de contingencia y resultados del test de Chi-cuadrado para la preferencia de hábitats por parte de *Parochlus steinenii*.

Tipo de hábitat	*Ausencia*	*Presencia*
Permanente	0.00 (0)	100.00 (26)
Temporal	100.00 (11)	0.00 (0)
Chi-cuadrado	** $p < 0.0001$	45.03**

Tabla 3. Tabla de contingencia y resultados del test de Chi-cuadrado para la preferencia de micro-hábitats por parte de *Parochlus steinenii*.

Tipo de micro-hábitat	*Ausencia*	*Presencia*
Musgos y líquenes acuáticos	22.22 (4)	77.78 (14)
Pingüineras	100.00 (5)	0.00 (0)
Rocas y sedimento	14.29 (2)	85.71 (12)
Chi-cuadrado	** p = 0.0007	14.48**

Tabla 4. Resultados de ANOVA (α 0.05) para los parámetros físico-químicos de los hábitats permanentes y no permanentes registrados durante los censos para determinar la distribución de *P. steinenii* en las islas estudiadas.

Parámetro	*Promedio*	*DF*	*SS*	*F*	*p*
pH	7.85	1	1.18	0.55	0.65
Temperatura H_20 (ºC)	2.06	1	0.76	0.38	0.56
Oxigeno disuelto (mg/L)	14.41	1	1.22	0.26	0.61
Conductividad (uS)	71.88	1	70.93	0.08	0.78
Humedad ambiental (%)	95	1	57.64	1.45	0.29

3.2.2. Análisis distribución de Parochlus steinenii en las Islas Shetland del Sur

El análisis de procesos espaciales puntuales señala que *P. steinenii* presenta una distribución agregada a lo largo de las islas estudiadas. Se observa que generalmente, hay una mayor densidad de presencias en la Islas Livingston, Rey Jorge y Decepción (Figura 6), lo que se puede confirmar por la función de Ripley L(r)-r obtenida para la distribución de *P. steinenii* (Figura 7).

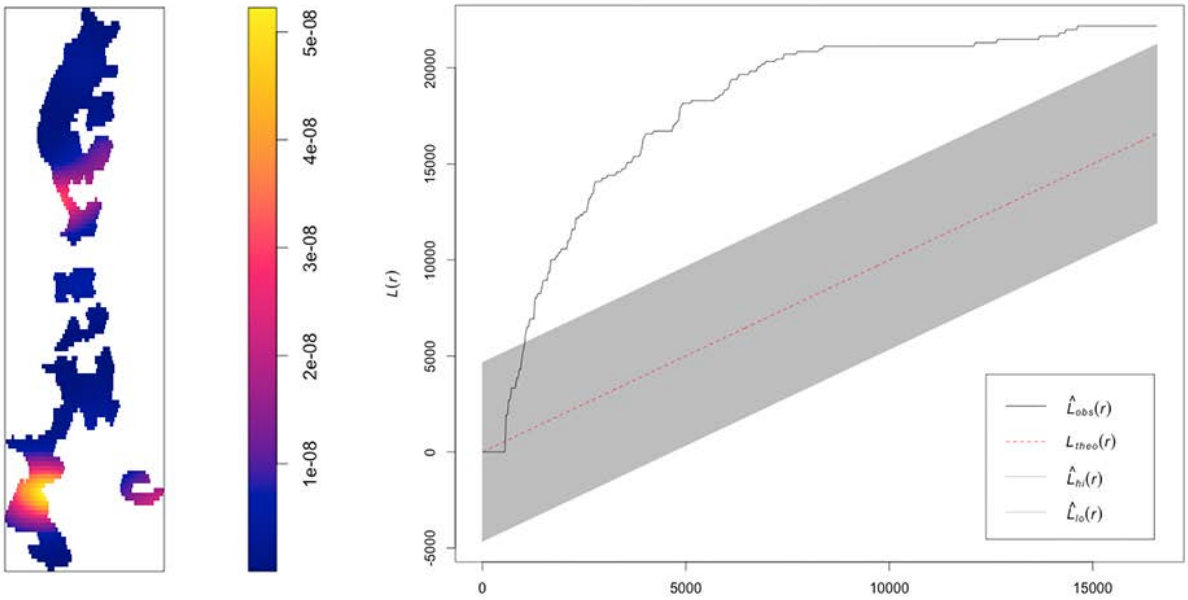

Figura 6. Gráfico de variación local en intensidad de presencias de *Parochlus steinenii* en las Islas Shetland del Sur y Función de Ripley "L(r) – r" univariado para las islas muestreadas. La franja gris representa el envolvente crítico bajo la hipótesis nula de CSR. La línea de puntos en "L(r) – r" representa la función de Poisson K bajo la Ho de CSR. La línea solida representa la distribución observada de la especie estudiada (Test de Montecarlo, p= 0.039).

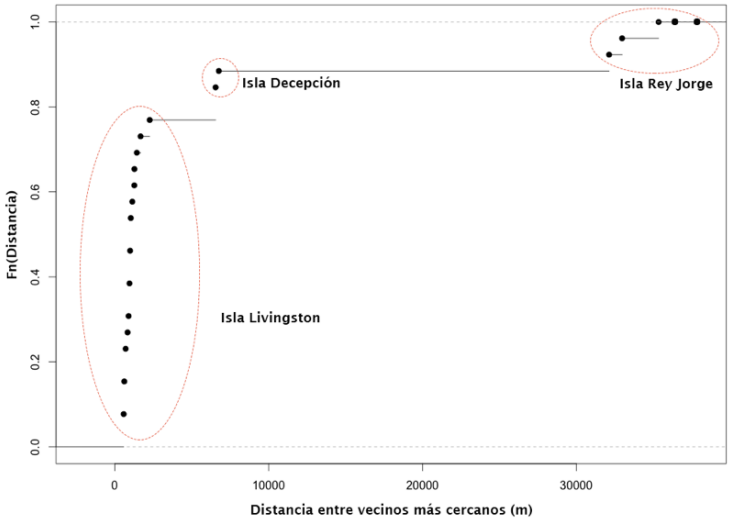

Figura 7. Gráfico de distribución de las distancias a los vecinos más cercanos para cada ocurrencia registrada de *Parochlus steinenii* en las islas Livingston, Decepción y Rey Jorge. Los círculos punteados indican la agregación de ocurrencias en cada isla y las distancias entre cada punto. Al mismo tiempo, se observa la distancia entre cada isla.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Con respecto a la distribución de *Parochlus steinenii* en las Islas Shetland del Sur, se puede concluir que presenta una distribución agrupada, siendo las islas Livingston y Rey Jorge las que presentan el mayor número de presencias registradas por este estudio (Figuras 1, 2, 6). Es importante señalar que estas islas presentan las áreas libres de hielo de mayor tamaño entre las Shetland del Sur y que poseen un gran número de lagos permanentes y otros cuerpos de agua dulce temporales, generados por el deshielo durante la época de verano. Los sitios permanentes proveen el hábitat ideal para *P. steinenii*: lagos profundos con un nivel de agua estable, ríos y arroyos con orillas rocosas y/o musgos y líquenes acuáticos. Con estos antecedentes, se podría concluir que probablemente *P. steinenii* no sea una especie generalista en su elección de hábitats, ya que en cuanto a la Antártida marítima se refiere, se vería restringida a lagos y otros cuerpos de agua dulce permanentes. Esta especificidad en hábitat permitiría que *P. steinenii* pueda ser utilizado como una especie indicadora de los procesos asociados al cambio climático global, por al menos dos razones: a) cualquier cambio en las condiciones actuales (ej. aumento en áreas libres de hielo) podría inducir una expansión en su distribución a sitios en los que actualmente no se registra su presencia (otras islas en las Shetland del Sur o la Península Antártica) y b) un aumento en las temperaturas actuales podría generar cambios en los patrones fenológicos, alargando o acortando su periodicidad.

Con respecto al uso de los Sistemas de Información Geográfica en los estudios de medio natural podemos decir que son un apoyo indudable a la hora de analizar, realizar proyecciones y presentar los resultados. En este contexto, a futuro, mediante algoritmos de modelos de distribución de especies se pretende determinar con más exactitud los rangos de distrubución *de P. steinenii* en un contexo de cambio en las condiciones actuales.

Respecto a la visualización con cartoDB, ésta es una plataforma que acoge otra manera de presentar los datos, haciéndolos legibles para un público no especialista en cartografía. En el contexto de los estudios ecológicos, se cree importante adquirir estas nuevas técnicas de visualización por cuanto nos muestran los resultados tal que permiten generar conclusiones de manera más directa y práctica, en conjunto con métodos estadisticos clasicos. A futuro se pretende profundizar en las opciones de trabajo de esta plataforma puesto que cuenta con un API para programadores que amplía sus posiblilidades de uso e integración con otras herramientas SIG.

Asimismo, cabe destacar el gran potencial que tiene el software R para realizar análisis espacial y presentar los resultados de manera gráfica, siendo sin duda una herramienta a combinar con la metodología SIG.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el soporte entregado por el proyecto FONDECYT 11130451 e INACH (Fl_03-13) otorgados a Tamara Contador. Agradecemos especialmente a los colegas que han sido parte de este proyecto, especialmente a aquellos presentes en las Expediciones Antárticas 50 y 51 del Instituto Chileno Antártico (INACH) y al Programa de Conservación Biocultural Subantártica de la Universidad de Magallanes por su constante apoyo. Asimismo agradecemos el apoyo prestado a la Agencia Española de Meteorología (AEMET) y al British Antartic Survey (BAS).

5. BIBLIOGRAFÍA

Baddeley, A., Turner, R. (2000): "Practical maximum pseudolikelihood for spatial point patterns". Australia and New Zealand Journal of Statistics, 42, 283–322.

Baddeley, A., Turner, R. (2005): "Spatstat: an R package for analyzing spatial point patterns". Journal of Statistical Software, 12, 1–42.

Botella, A. et al. (2010): "Bases de datos geográficas". Material Docente de la Universitat Oberta de Catalunya (UOC). Barcelona. 92 pp.

CARTODB. Tutoriales. Empieza a usar torque para crear mapas animados en segundos. Entrada de 2015. URL: http://docs.cartodb.com/tutorials.html#begin-using-torque-to-create-animated-maps-in-seconds.

Convey, P., Block, W. (1996): "Antarctic Diptera: Ecology, physiology and distribution" European Journal of Entomology 93, 1-13.

Convey, P. (2006): "Antarctic climate change and its influences on terrestrial ecosystems", En D.M. Bergstrom, P. Convey, and A.H.L. Huiskes, (eds.), Trends in Antarctic Terrestrial and Limnetic Ecosystems: Antarctica as a Global Indicator, Springer, Dordrecht.

Hahn, S., Reinhardt, K. (2006): "Habitat preference and reproductive traits in the Antarctic midge *Parochlus steinenii* (Diptera: Chironomidae)". Antarctic Science, 18(02), 175.

Huiskes, A.H.L, Convey, P., Bergstrom, D.M (2006): "1. Trends in Antarctic terrestrial and limnetic ecosystems: Antarctica as a global indicator" En D.M. Bergstrom, P. Convey, and A.H.L. Huiskes, (eds.), Trends in Antarctic Terrestrial and Limnetic Ecosystems: Antarctica as a Global Indicator, Springer, Dordrecht.

Livingstone DM (1997): Break-up dates of alpine lakes as proxy data for local and regional mean surface air temperatures. ClimChange 37:407–439.

Martinez, J.C. (2013): Módulo 11. Análisis de proximidad. Vecino más próximo. Disoluciones. Material docente de la Universidad Politécnica de Valencia. 23 pp.

Moreira, A. (1996): "Los Sistemas de Información Geográfica y sus aplicaciones en la conservación de la diversidad biológica".

Norwegian Polar Institute. Quantartica. A free GIS package of Antartica. URL: www.quantartica.com.

OSGeo Project. POSTGIS. Función ST_Distance. Entrada de 10 de septiembre de 2014. Consultada en marzo de 2015. URL: http://postgis.refractions.net/docs/ST_Distance.html.

OSGeo Project. POSTGIS. Función ST_Buffer. Entrada de 10 de septiembre de 2014. Consultada en marzo de 2015. URL: http://postgis.refractions.net/docs/ST_Buffer.html.

OSGeo Project. POSTGIS. Función ST_Intersects. Entrada de 10 de septiembre de 2014. Consultada en marzo de 2015. Consultada en abril de 2015. URL: http://postgis.net/docs/ST_Intersects.html.

Palecki MA, Barry RG (1986): Freeze-up and break-up of lakes as an index of temperature changes during the transition seasons: a case study for Finland. J Climate Appl Meteorol 25:893–902.

R.app GUI 1.65 (6833 Snow Leopard build), S. Urbanek & H.-J. Bibiko, © R Foundation for Statistical Computing, 2014.