

UCH-FC  
B. Ambiental  
0668  
C. 1

UNIVERSIDAD DE CHILE FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE PREGRADO



## **DESARROLLO DE UN MODELO NUMERICO DE LA POBLACIÓN DE *Castor canadensis* EN TIERRA DEL FUEGO: PROPUESTAS PARA SU MANEJO**

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Biólogo Ambiental.

**LESLY SUSAN ORELLANA MARCHANT**

Dra. Luisa E. Delgado  
Directora de Seminario de Título

MCs. Pamela Bachmann Vargas  
Co- Directora de Seminario de Título

Mayo de 2014

Santiago – Chile

ESCUELA DE PREGRADO – FACULTAD DE CIENCIAS – UNIVERSIDAD DE  
CHILE



## INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por la candidata

### LESLY SUSAN ORELLANA MARCHANT

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Biólogo Ambiental

*Dra. Luisa E. Delgado*  
**Directora Seminario de Título**

*MCs. Pamela Bachmann*  
**Co-Director**

### **Comisión de Evaluación**

*Dr. Javier Simonetti*  
**Presidente (a) Comisión**

*Dr. Ramiro Bustamante*  
**Evaluador**

Santiago de Chile, Mayo 2014

## Biografía



Lesly nació el 12 de diciembre de 1984, en Talca.

Desde niña le gustaba estar en contacto con la naturaleza. Eso, le llevo unirse y pertenecer a un grupo de scouts, actividad que le permitió salir constantemente a acampar y disfrutar con amigos. Desde su niñez se mostró curiosa por aprender

sobre la naturaleza y con interés para participar en distintas actividades al aire libre (baile, ciclismo, astronomía, trekking)

Su educación media fue cursada en el Liceo Carmela Carvajal de Prat y luego ingresó a la carrera de Licenciatura en Ciencias Mención Física, donde curso 2 años. Sin embargo, sintió que debería hacer de su trabajo una actividad que le permitiera viajar y encontrarse con la naturaleza, por ese motivo el año 2006 ingreso a la carrera de Biología Ambiental. Luego de su licenciatura el 2010, se dedicó a trabajar en consultoría de flora y vegetación. Ha participado en varios proyectos de ecología y medio ambiente, mientras desarrollaba su seminario de título en el Laboratorio de Modelación Ecológica de la Facultad de Ciencias y también formó parte del proyecto de humedales altoandinos (SITHA) en Ciren.

## Dedicatoria

"La gente ya no pone los pies descalzos en la tierra pelada, sus manos se han alejado de las hierbas y flores, no dirigen su mirada al cielo, sus oídos están sordos al canto de los pájaros, su nariz se ha hecho insensible a causa de los tubos de escape y su lengua y su paladar han olvidado los sabores sencillos de la naturaleza. Los cinco sentidos han crecido aislados del mundo natural. La gente se ha alejado dos o tres escalones del hombre verdadero... los verdaderos gozos y deleites del hombre eran un éxtasis natural. Esto sólo existe en la naturaleza y se desvanece lejos de la tierra"

## Agradecimientos

Agradezco a la profesora Luisa Delgado y al profesor Víctor Marín por los aportes realizados en este trabajo, además del apoyo, paciencia, preocupación y cariño que me han entregado. A Pamela Bachmann, por sus sugerencias y colaboración.

A Wildlife Conservation Society por su apoyo y por sobre todo al equipo con el que trabaje en terreno en Tierra del Fuego, destacando a: Fiorella Repetto, Miguel Millán, Claudio Moraga y Custodio Millán.

A los diferentes servicios públicos de la región de Magallanes y la Antártica Chilena que cooperaron mediante entrevistas y entrega de material: CONAF, MMA, SAG destacando la gran colaboración de Don Nicolás Soto. Agradezco también la colaboración entregada por los miembros de CONICET, Argentina.

A Derek Corcoran y Giorgia Graells por facilitarme los datos de la población del castor en Tierra del Fuego, proyecto Financiado por FONDAP 1501-0001. Centro de estudios avanzados de ecología y biodiversidad.

A Marion Espinosa, jefa de proyecto Sitha Ciren, por darme las facilidades para realizar este seminario mientras trabajaba.

A mis amigos del LME Belén, Pamela, Marce, Tami.

A mis grandes amigos y apoyo en mi vida, por sus palabras de aliento, sus risas y sabios consejos: Soledad, Mariola, Dani, Maru, Fe, Rodolfo, Álvaro, Omar, JC, Tomas, Faba Rodrigo.

A mi mamá y mis hermanos Tabita y Rodrigo por su gran amor, y apoyo y a mis primos y tíos.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
1.INTRODUCCION.....	3
1.1. Especies Invasoras.....	3
1.2.Características ecológicas de <i>Castor canadensis</i> .....	6
1.3.Modelos numéricos y su uso en el estudio de la dinámica de poblaciones .....	8
1.4Planteamiento del Problema.....	10
HIPOTESIS DE TRABAJO.....	12
OBJETIVOS.....	12
Objetivo General.....	12
Objetivos Específicos.....	12
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
2.1 Área de Estudio.....	13
2.2 Desarrollo de los modelos.....	14
2.2.1.Etapa 1.....	15
Modelo numérico de la población de <i>Castor canadensis</i> .....	17
Análisis de sensibilidad .....	25
2.2.2.Etapa 2.....	26
Modelo numérico de la Población de <i>Castor canadensis</i> incluyendo el factor caza .	26
2.2.3.Etapa 3. Escenarios de Simulación.....	30
3. RESULTADOS.....	33
3.1.Etapa 1 .....	33
Análisis de sensibilidad .....	34
3.2.Etapa 2 .....	36
3.3.Etapa 3 .....	37
4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN.....	41
4.1 Alternativas para el manejo de la especie invasora <i>Castor canadensis</i> en Tierra del Fuego.....	43
4.2 Alcances y limitaciones del estudio .....	45
5.REFERENCIAS.....	50
6. ANEXOS.....	58

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Condiciones Iniciales para el modelo de la dinámica de población.....	21
Tabla 2 .Tabla de vida estática elaborada a partir de los datos brutos muestreados en Tierra del Fuego para <i>Castor canadensis</i> .....	22
Tabla 3: Condiciones Iniciales para el modelo de la dinámica de población incluyendo el factor caza.....	29
Tabla 4: Condiciones Iniciales para los cuatro escenarios planteados.....	31
Tabla 5. Abundancia de castores de la salida estándar del modelo para el año 60 .....	33
Tabla 6. Resultados del análisis de sensibilidad aplicado al modelo numérico de la población.....	35
Tabla 7. Valores para cada estadio, obtenidos de la salida estándar del modelo de dinámica de la población con el efecto de la caza para el año 60. Se observa que los juveniles son los que más contribuyen al valor de la población total.....	36
Tabla 8. Valores de salida estándar del modelo numérico con el factor caza para cada escenario planteado.....	37
Tabla 9. Regresión exponencial para cada curva presentada en este estudio, donde b representa la tasa de crecimiento poblacional.....	38
Tabla 10. Prueba de Tukey para los resultados de los modelos con caza, modelo sin caza y los escenarios de simulación 1, 2, 3 y 4 .....	39
Tabla 11. Valores de referencia de la abundancia de castores en Tierra del Fuego y resultados obtenidos por el modelo numérico.....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del archipiélago de América del Sur, con las fechas aproximadas de expansión de <i>Castor canadensis</i> en toda la zona.....	5
Figura 2. Ubicación y delimitación del área de Estudio, el archipiélago de Tierra del Fuego, Región de Magallanes.....	13
Figura 3. Aproximación metodológica basada en modelos conceptuales y numéricos.....	14
Figura 4. Modelo conceptual de la población de <i>Castor Canadensis</i> .....	15
Figura 5. Modelo numérico de la población de <i>Castor canadensis</i> .....	18
Figura 6. Curva de supervivencia, Indica la sobrevida acumulativa por edad.....	24
Figura 7. Modelo numérico de la población de <i>Castor canadensis</i> y efecto de la Caza en la población.....	27
Figura 8. Escalas temporales de los modelos utilizados en este estudio.....	30
Figura 9. Dinámica de la Población de <i>Castor canadensis</i> .....	34
Figura 10. Dinámica de la Población de <i>Castor canadensis</i> con efecto de la caza.....	36
Figura 11. Comparación entre los modelos de Dinámica de Población de <i>Castor canadensis</i> con y sin efecto de la caza.....	37
Figura 12. Comparación entre el modelos de Dinámica de Población de <i>Castor canadensis</i> con caza y los escenarios simulados.....	39



## RESUMEN

*Castor canadensis* (Kuhl, 1820) es un roedor originario de Canadá que fue introducido en Chile en el año 1946 a Tierra del Fuego, Región de Magallanes y de la Antártica Chilena. Actualmente está presente en gran parte del archipiélago de Tierra del Fuego y en el extremo más austral del continente Americano. Esta especie ha generado efectos significativos en diferentes niveles de la jerarquía ecológica, incluyendo ecosistemas y paisajes, produciendo por ejemplo, alteraciones en la dinámica de los nutrientes de los bosques de *Nothofagus pumilio* y *Nothofagus antarctica* y sobre diversos componentes de la biodiversidad.

El objetivo de este trabajo fue modelar escenarios de manejo poblacional para este roedor en Tierra del Fuego. Con el fin de lograr este objetivo, se elaboraron dos modelos numéricos, uno referido a la dinámica poblacional de la especie sin considerar su caza y otro incluyéndola. Para ello se simularon cuatro escenarios en los que se evaluó qué estadios del ciclo de vida de la especie son más sensibles. Ambos modelos fueron desarrollados por medio del programa Stella Research 9.1.

El primero de los modelos arrojó un valor estimado del tamaño de la población de 62.709 castores para el año 60 de simulación, el que está dentro del rango esperado según datos de terreno para el área de estudio. Los escenarios de simulación que incluyen la caza muestran que el esfuerzo de captura debe dirigirse a las crías y no a los adultos.

Los resultados de este trabajo pueden servir de herramienta para implementar medidas de manejo de la población de *Castor canadensis*.

## ABSTRACT

*Castor canadensis* (Kuhl, 1820) is an original rodent from Canada, introduced in Chile to Tierra del Fuego in 1946. Nowadays is present in a big part of the archipelago of Tierra del Fuego and the extreme south of the American continent. This specie has produced significant effects at different ecological hierarchy levels, including ecosystems and landscape, causing for instance nutrient dynamic alterations to *Nothofagus pumilio* and *Nothofagus antartica* forests, and over several biodiversity components.

The aim of this study was to model population management scenarios for this rodent in Tierra del Fuego. In order to achieve this objective, two dynamic models were developed, one for the population dynamics of the species without hunting and the other including hunting, where four scenarios were simulated to evaluate what specie stage is more sensitive to this factor. Both models were developed through the dynamic modelling software Stella Research 9.1.

The first model generated an estimated population size value of 62.709 castors for the year 60 of simulation, value within the expected range. The model that includes huntings showed that that capture efforts must be directed to the offspring instead adults. The results of this study may serve as a tool to propose *Castor canadensis* management population measures.

## 1. INTRODUCCION

### 1.1. Especies Invasoras

Las invasiones biológicas figuran en la actualidad como uno de los principales factores que amenazan la biodiversidad a nivel mundial (Mack y col., 2000). Se considera que después de la destrucción de hábitat y la fragmentación del paisaje, son el segundo problema más importante en afectar a los ecosistemas (Williamson, 1996; Mack y col., 2000; Stohlgren y col., 2001; Sykes, 2001). Existen numerosos estudios que muestran que la introducción de especies exógenas o invasoras contribuyen a la extinción de organismos a través de competencia, depredación o alteración de hábitat (Aguirre y col., 2009). Por otro lado, los daños provocados por éstas, tienen grandes repercusiones económicas, ecológicas y sociales (CONABIO, 2003).

Las especies invasoras son animales, plantas u otros organismos transportados e introducidos por el ser humano en lugares fuera de su área de distribución natural, que han conseguido establecerse y dispersarse en la nueva región donde resultan dañinos, provocando cambios importantes en la composición, la estructura o los procesos de los ecosistemas naturales, poniendo en peligro la diversidad biológica nativa (Lowe y col., 2004).

En la actualidad existen evidencias de numerosos casos, tanto en Chile como en otros países, que ilustran los efectos de la introducción de especies invasoras. Por ejemplo, en Europa la rata almizclera, (*Ondatra zibethicus*) originaria de América del Norte, se introdujo provocando importantes trastornos en la vegetación de aguas

continentales (SAG, 2006). En Nueva Zelanda, la introducción sistemática de diferentes especies de fauna y flora ha provocado la pérdida de 30 millones de hectáreas de suelo y bosque nativo (Cattan & Yañez, 2000 citado en Soto, 2006). En el caso de Chile no existe un conocimiento acabado de la biodiversidad (Simonetti y col., 1995), por lo que el impacto generado por las invasiones biológicas no es bien conocido. No obstante, Chile registra una serie de especies invasoras que han sido reconocidas por sus efectos adversos para la biodiversidad: la liebre europea (*Lepus europaeus*), el jabalí (*Sus scrofa*), el ciervo rojo (*Cervus elaphus*) y la cotorra argentina (*Myiopsitta monachus*) entre otros (Jaksic, 1998).

Un caso de introducción de especies en nuestro país corresponde a *Castor canadensis* (Kuhl, 1820), originario de Canadá, en Tierra del Fuego. Esta tiene su origen en 1946 cuando el Ministerio de Marina de Argentina lo introdujo con la finalidad de promover la industria peletera en Tierra del Fuego (Argentina). Al no obtener resultados productivos óptimos, dicho ministerio autorizó la liberación de 25 parejas de castores en la cuenca inferior del Río Claro, situada en la zona boscosa de la Isla Grande (Lizarralde, 2008).

Entre los años 1962 y 1964 se encontraron los primeros sitios colonizados en la costa norte de isla Navarino y la ribera norte del lago Fagnano, zona chilena de Tierra del Fuego (Silva & Saavedra, 2008). Actualmente está presente en gran parte del archipiélago, incluyendo todas las islas de gran tamaño como Navarino, Hoste y Dawson (Sielfeld & Venegas, 1980; Lizarralde, 1993; Skewes y col., 1999; Skewes y col., 2006) y también en el extremo más austral del continente Americano, la Península Bruswick (Figura 1).

Esta especie está reconocida como uno de los ocho vertebrados terrestres declarados oficialmente perjudiciales o dañinos en la Región de Magallanes (Reglamento de la Ley de Caza, Decreto Supremo N° 05 del 9 de Enero de 1998).

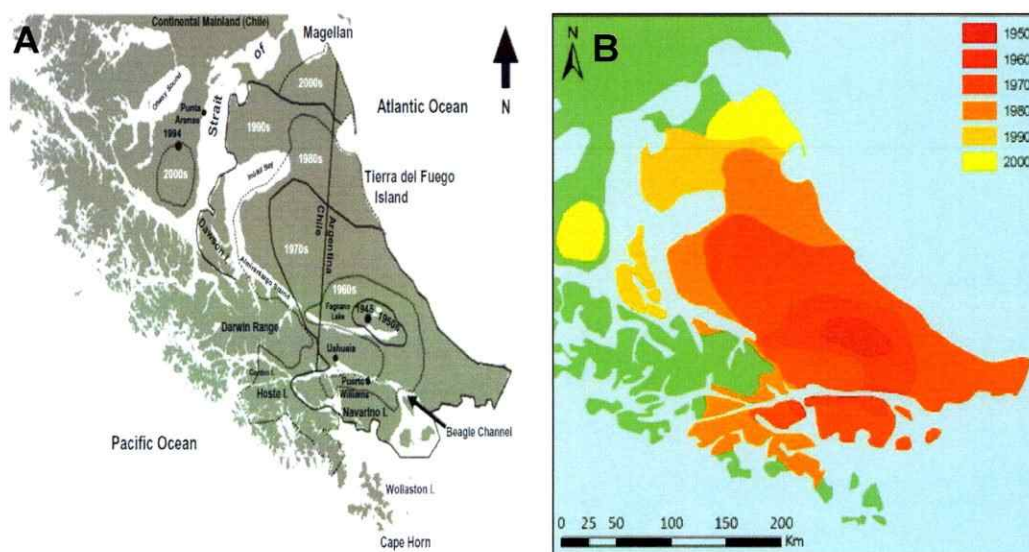


Figura 1. Mapa del archipiélago de Tierra del Fuego en América del Sur, con las fechas aproximadas de expansión de *Castor canadensis* en toda la zona. La introducción inicial de 25 parejas de castores en el año 1946 tuvo lugar cerca del lago Fagnano en Tierra del Fuego, lugar compartido entre Chile y Argentina. En el año 1960 los castores invasores habían llegado a las islas del sur de Chile del Canal de Beagle. La población hoy en día se encuentra también presente en Chile continental. La velocidad estimada de invasión fue de 2,85 Km. /año. A) Sitios y años de colonización. B) Figura en colores de la expansión poblacional del castor. Extraído de Anderson y col., 2008.

Según Lizarralde (2008) los individuos introducidos incrementaron su población transformándose en especie invasora del ecosistema austral por las condiciones de hábitat y de alimento, sumado a la falta de predadores y competidores naturales.

En este Seminario de Título se modeló la población de *Castores canadensis* introducidos en Tierra del Fuego (Argentina) en 1946, lo que se desarrolló a partir de

modelos ecológicos construidos a través de métodos numéricos (ecuaciones de diferencia), utilizando para ello el programa computacional STELLA Research 9.1. Prefiriendo este programa a otras metodologías de trabajo (e.g. implementación de matrices), debido a que permite validar el modelo con datos de terreno y visualizar diversos escenarios de manejo. STELLA se ha usado para modelar poblaciones (Wang y col., 2013; Marín, 1997), comunidades (Gertseva y col., 2004), ecosistemas (Angelini & Petrere, 2000) y sistemas socio-ecológicos (Marín y col., 2012). Es un programa basado en la generación iconográfica de modelos, el cual permite simular dinámicas temporales definidas por ecuaciones de diferencia mediante iteraciones consecutivas tomando pequeños intervalos de tiempo ( $dt \rightarrow \Delta t$ ).

El desarrollo de modelos con este programa presenta, a los tomadores de decisiones, la información simplificada de la dinámica y estructura poblacional, pudiendo brindar apoyo como en el manejo poblacional de especies invasoras. Este programa permite construir interfaces amigables que pueden ser utilizadas por variados tipos de gestores, especialistas e inclusive por diversos tipos de actores sociales.

## **1.2. Características ecológicas de *Castor canadensis***

*Castor canadensis* (Rodentia, Castoridae) es originario de Canadá. Posee una longitud promedio que fluctúa entre 60 y 102 cm (Novak, 1987; Cattán & Yáñez, 2000; Long, 2000) con un máximo de 120 cm (Jenkins & Busher, 1979). Su peso fluctúa entre 12 y 30 kg según lo señalado por distintos autores (Patric & Webb, 1960; Aleksiuik,

1968; Svendsen, 1980; Allen, 1983; Long, 2000 y Cattán & Yáñez, 2000). Los órganos sexuales del castor son internos (Lizarralde, 2008) y no presentan diferenciación externa del sexo. La especie es monógama, activa durante todo el año y con marcada actividad nocturna. Los juveniles son quienes abandonan la familia en búsqueda de nuevos sitios de colonización (Allen, 1983).

La colonia está constituida por un grupo o familia de castores que ocupa un estanque o sucesión de estanques en un curso de agua. Poseen una construcción insular utilizada de refugio para la reproducción y almacenamiento de alimentos en invierno (Lizarralde, 2008). El promedio de crías por camada es de cuatro, tienen una estrategia iterópara con un evento reproductivo por año. Las edades de cada estadio son aproximadamente: *Crías* 0 a < 1 año, *Juveniles o pre reproductivos* >1 año hasta 3 años y *Adultos* > 3 años, con una expectativa de vida de 15 años (MMA, 2012),

Es una especie netamente herbívora. En el territorio austral su dieta se compone fundamentalmente de tres especies de *Nothofagus*, *N. betuloides* (coihué), *N. pumilio* (lenga) y *N. antarctica* (ñire), de las que ingiere su corteza y hojas (Ramadori y col., 2009). La guarida o castorera es la mayor fuente de protección, escape, descanso y calor siendo además, el ambiente más apropiado para la reproducción (Slough & Sadleir, 1977; Jenkins & Busher, 1979; Allen, 1983; Hodgdon & Lancia, 1983; Fryxell, 2001).

*Castor canadensis* es considerado un ingeniero ecosistémico arquetípico, ya que controla directa o indirectamente la disponibilidad de recursos para sí, como para otras especies. Modifica el estado físico de los factores bióticos o abióticos en el ecosistema que habita siendo a la vez una especie clave (Baker & Hill, 2003; Wallem y

col., 2007) que influye considerablemente en la composición de especies y en la apariencia física de los ecosistemas (Paine, 1969). Ello se debe principalmente a la construcción de diques asociados a cursos de agua (Power y col., 1996).

### **1.3. Modelos numéricos y su uso en el estudio de la dinámica de poblaciones**

Un modelo es un esquema teórico que representa un fenómeno real y mediante él, pueden hacerse predicciones cuantitativas por medio de métodos estadísticos o matemáticos. Oreskes y col., (1994) señalan que estos pueden ser usados para poner a prueba hipótesis y generar probables escenarios de cambios, basados en la pregunta ¿Qué pasaría sí? De este modo, los modelos pueden ser utilizados como herramientas predictivas o explicativas de un fenómeno en particular (Bachmann, 2009). Sin embargo, los modelos se generan a partir de una pregunta específica, por lo que son particulares y no pueden ser generalizados (Rykiel, 1996).

La construcción de un modelo se basa en supuestos y decisiones operativas que permiten analizar si los cambios observados en los sistemas son consistentes con un número pequeño de mecanismos representados por unas pocas ecuaciones y con un pequeño número de parámetros (Pace, 2003). Es el investigador quien define cuáles son los elementos más importantes y representativos del estudio (Delgado & Marín, 2005) siendo la calidad del modelo dependiente del conocimiento y los datos disponibles (Jorgensen, 1992).



Existen distintos tipos de modelos, como los modelos conceptuales que representan la estructura y dinámica del sistema en términos de reservorios o componentes y flujos o interacciones (Odum, 1985; Delgado & Serey, 2002) y los modelos numéricos que son modelos cuantitativos construidos a partir de los primeros. Estos últimos incorporan un conjunto de expresiones matemáticas para cada uno de sus elementos (reservorios y procesos); expresiones que representan el valor de la variable estado bajo circunstancias particulares (Jackson y col., 2000).

El proceso de la generación de modelos numéricos considera varias etapas claves para la obtención de un buen resultado: a) desarrollo del modelo conceptual, b) colección de datos, c) implementación del modelo numérico, d) verificación e) calibración f) validación, g) experimentación, h) interpretación. La verificación, demuestra que el modelo es formalmente correcto, considerándose como válido cuando su contenido científico o conceptual es aceptable para su propósito (Rykiel, 1996). Una vez realizado esto se debe calibrar; es decir, producir el mejor ajuste entre las salidas del modelo y los datos de terreno.

A través de los modelos numéricos se pueden estudiar los cambios que sufren las poblaciones, así como los factores y mecanismos que las regulan (Jorgensen & Bendoricchio, 2001). Es decir, su dinámica poblacional, lo que proporciona valiosa información para desarrollar por ejemplo, el manejo biológico en especies invasoras.

Existen numerosos programas para generar modelos numéricos como por ejemplo: Vensim (Ventana Systems, 1999), PowerSim (PowerSim, 1999), iThink (High

Performance Systems, 2000a), STELLA (High Performance Systems, 2000b), Extend (Imagine That, 2000) y MatLab (MATrix LABoratory, 1984).

#### **1.4 Planteamiento del Problema**

Las actuales alternativas propuestas de manejo de la población del *Castor canadensis* en Tierra del Fuego son: retiro del territorio continental, erradicación, control sostenido, extracción comercial y no tomar ninguna acción (InnovaT, 2008). Pese a que el castor fue introducido en 1946, fue considerado solo recientemente a contar del 4 de Junio de 1992, (Decreto Supremo N° 133 del Ministerio de Agricultura), como "animal perjudicial o dañino para actividades económicas, la flora o la fauna silvestre". A contar de esta fecha se implementó la caza de esta especie, en cualquier época del año sin limitaciones en número de ejemplares extraídos. En Chile el manejo y control de la fauna silvestre es competencia del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) del Ministerio de Agricultura. Este tiene implementada una serie de proyectos relacionados con el manejo y control del castor. Entre ellos Soto, N. (2006) menciona: "Control y Aprovechamiento del Castor en las Islas Tierra del Fuego y Navarino" (1997-1999), "Investigación de la caza y uso integral del castor en isla Tierra del Fuego" (2000) y "Control de fauna invasora en la XII Región" (2004-2006).

El año 2006 el SAG estimó que la tasa de extracción anual, para mantener una población sostenible, era de 15.000 castores (SAG, 2006). Sin embargo, durante el periodo de trampeo (dos años efectivos, 2005 y 2006) se capturó un total de solo 11.700 castores (SAG, 2007). A partir del año 2003 se han realizado reuniones de

coordinación y visitas entre personal técnico del SAG (Chile) y la Subsecretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano de Argentina y sus agencias relacionadas. Los acuerdos reflejados en actas formales se encaminan a mantener activa la presión de caza sobre áreas de interés y a impedir el avance de la población (Soto, 2006).

Recientemente, Chile y Argentina han aumentado el número de castores atrapados a través de los programas de control con orientación comercial, con una captura anual de entre 11.000-14.000 individuos considerando ambos países (N. Soto Volkart, SAG, y A. Guillén, Subsección. Rec. Natur. TDF, Com. Pers.).

Para llevar a cabo cualquiera de las estrategias de manejo mencionada se debe contar con información para que la toma de decisiones sea asertiva y eficaz, siendo la variación del tamaño poblacional de *Castor canadensis* en el tiempo y los efectos de la caza datos relevantes. Sin embargo, hasta la fecha no se ha estudiado la efectividad de los actuales esfuerzos de caza en el crecimiento poblacional.

Este seminario de título tuvo como base la pregunta: ¿Cómo afecta la caza al tamaño poblacional de *Castor canadensis* en Tierra del Fuego? Para ello se desarrollaron dos modelos numéricos utilizando el programa STELLA Research 9.1. El primero de la dinámica de población de *Castor canadensis* en ausencia de caza y el segundo incluyendo el factor caza, generándose 4 escenarios de manejo. Con ellos se evaluó la efectividad de las actuales medidas de manejo y se proponen nuevas acciones en base a las características de su ciclo de vida (tasa de natalidad, mortalidad, etc.).

## **HIPOTESIS DE TRABAJO**

Los actuales niveles de caza de *Castor canadensis* en Tierra del Fuego son insuficientes para detener el crecimiento de la población.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Modelar escenarios de manejo para la población de *Castor canadensis* en Tierra del Fuego.

### **Objetivos Específicos**

- a. Generar un modelo conceptual y numérico de la población de *Castor canadensis*.
- b. Desarrollar escenarios de manejo de la población de *Castor canadensis* en base a los resultados obtenidos del modelo numérico.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS



### 2.1 Área de Estudio

Se consideró como área de estudio al archipiélago de Tierra del Fuego (Figura 2) ubicado en la XII Región de Magallanes y la Antártica chilena. La Isla Grande de Tierra del Fuego es la única compartida por Argentina y Chile.



Figura 2. Ubicación y delimitación del área de Estudio, el archipiélago de Tierra del Fuego, Región de Magallanes. (Elaboración propia).

El clima en la isla de Tierra del Fuego según la clasificación climática de Köppen, corresponde al tipo templado frío lluvioso sin estación seca, en el sector occidental de la Isla, y semiárido frío con lluvias invernales, hacia al noreste de TDF (Fasanella, 2012).

Se presentan diversos ecosistemas: a) Bosques de lenga (*Nothofagus pumilio*), coigüe de Magallanes (*Nothofagus betuloides*) y ñirre (*Nothofagus antártica*); b) Turberas, c) Zona Andina, d) Estepa patagónica, e) Matorral (Repetto, 2009).

## 2.2 Desarrollo de los modelos

La metodología para el desarrollo de los modelos fue dividida en tres etapas que se describen a continuación (Figura 3).

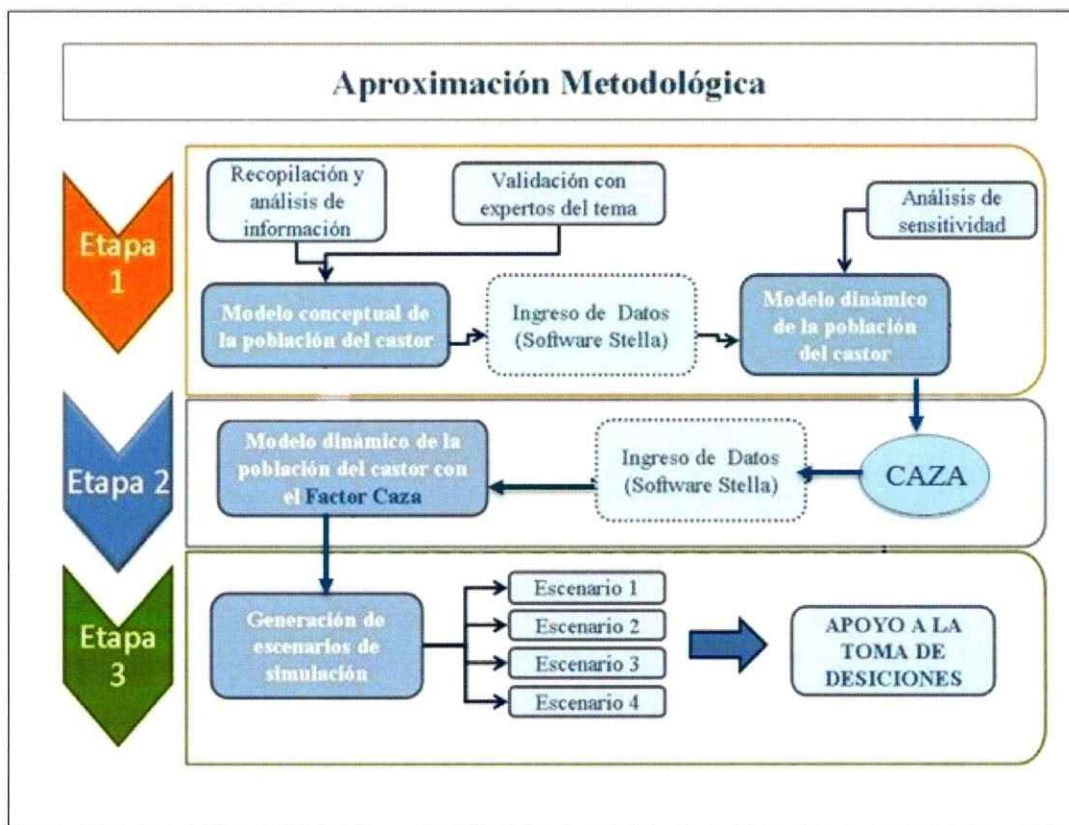


Figura 3. Aproximación metodológica basada en modelos conceptuales y numéricos.

### 2.2.1. Etapa 1

Correspondió a la recopilación bibliográfica y análisis de la información referida al castor, con el propósito de generar un modelo preliminar de su población en Tierra del Fuego. Con el fin de verificar el modelo desarrollado, se entrevistó a diversos expertos y/o conocedores del tema, logrando así corroborar y corregir el modelo inicialmente planteado. Los datos de los entrevistados se muestran en el Anexo 1. Con esto se validó el modelo conceptual de la población del castor (Figura 4).

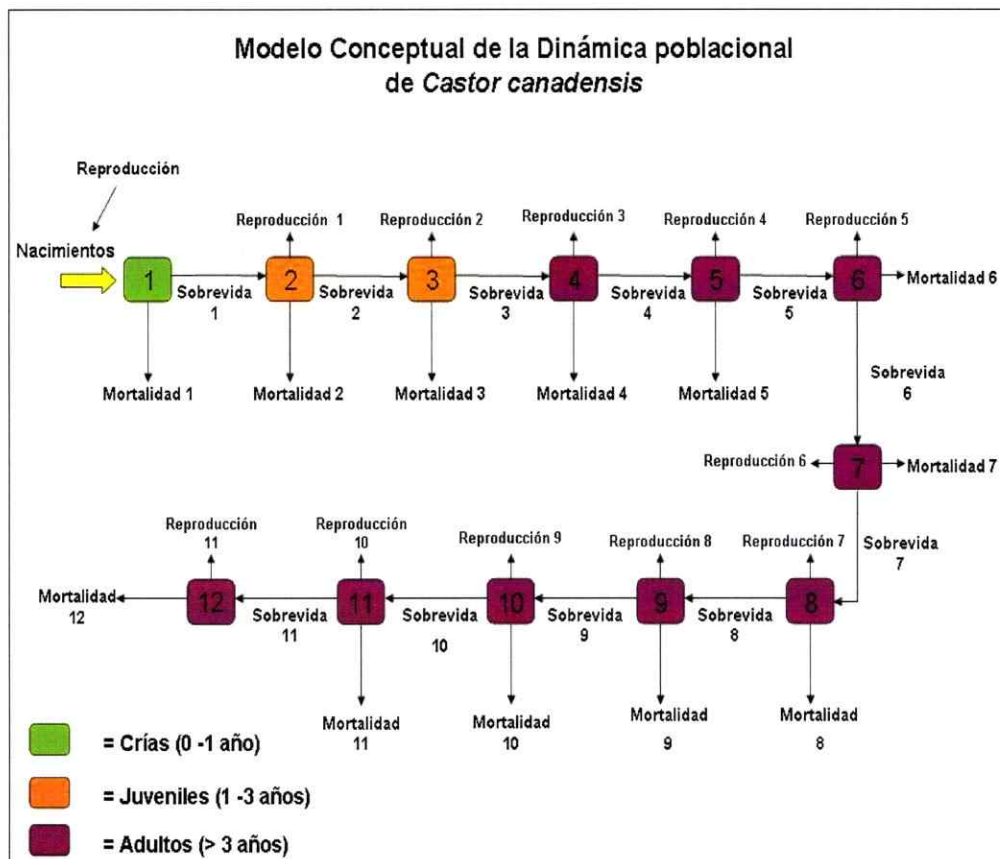


Figura 4. Modelo conceptual de la población de *Castor Canadensis*. Aquí se muestran los principales componentes e interacciones relacionados con el ciclo de vida de esta especie. En este modelo las entradas corresponden a los nacimientos de castores durante un año y las salidas son las respectivas mortalidades asociadas a cada reservorio o clase de edad.

El modelo conceptual presenta un esquema de la dinámica de la población de la especie estudiada. Este fue construido en base a la aproximación Poblacional - Comunitaria (O'Neill y col., 1986), para la cual se consideró a los castores como variable de estado. Cada reservorio representa un año de vida del castor, es decir, una clase de edad con sus respectivas tasas demográficas.

Los componentes e interacciones del modelo conceptual fueron determinados en base al conocimiento de los expertos en el tema y a la literatura consultada para la especie en Tierra del Fuego y su lugar de origen (Hodgdon, 1949; Leege & Williams, 1967; Novak, 1977; Jenkins & Busher, 1979; Payne, 1982; Payne, 1984; Busher, 1987; Payne, 1989; Welch y col., 1993; Skewes, y col., 1999; Parker y col., 2002; Baker & Hill, 2003; Lizarralde y col., 2004; Skewes y col., 2006; Lizarralde, 2007; Lizarralde, 2008).

Diversas fuentes (Skewes y col., 1999; Lizarralde, 2008; MMA, 2012) han determinado que la edad máxima del castor varía entre los 11 y 15 años. Sin embargo, la edad adulta máxima observada en condiciones naturales en el sector chileno de Tierra del Fuego fue de 12 años, (Corcoran y col., datos sin publicar). Por ello, el modelo consta de 12 clases de edad, representando cada una un año de vida del castor. Los principales flujos o interacciones de este modelo corresponden a: i) sobrevivida, ii) mortalidad y iii) nacimientos. Para mayor simplicidad se considera la población cerrada; es decir, el tamaño poblacional sólo depende de la natalidad y la mortalidad (inmigración=emigración=0). Se usó este supuesto, ya que sólo existió un caso de introducción de individuos en la zona descrita y además el modelo planteado no consideró la variable espacial dentro de su estructura.



### Modelo numérico de la población de *Castor canadensis*

El modelo numérico se construyó teniendo como base el modelo conceptual (Figura 4). Consta de 12 reservorios, 50 parámetros y 24 flujos. Cada uno de los reservorios corresponde a la cantidad de individuos que tienen  $i$  años de edad ( $i = 1$  a 12) en un momento determinado (Figura 5). El modelo tiene una escala temporal de 60 años y un salto de tiempo ( $dt$ ) de un año. La codificación del modelo se presenta en el Anexo 2.

### Estructura numérica del modelo

Los convertidores relevantes en la estructura del modelo corresponden a probabilidad de morir (Prob Mort), probabilidad de supervivencia (Prob Supv) y fecundidad (Fec), otras variables como número de crías (nc), número de crías total (nc total), total crías, total juveniles, total adultos y población total se incluyen para entender los efectos a nivel de crías, juveniles y adultos.

#### *Flujos de entrada*

Nacimientos: La simulación de los nacimientos de castores se calculó considerando el número de crías producidas por hembras por año, reflejado en el convertidor número de crías total. Este flujo se representó de la siguiente manera:

Nacimientos = nc\_total

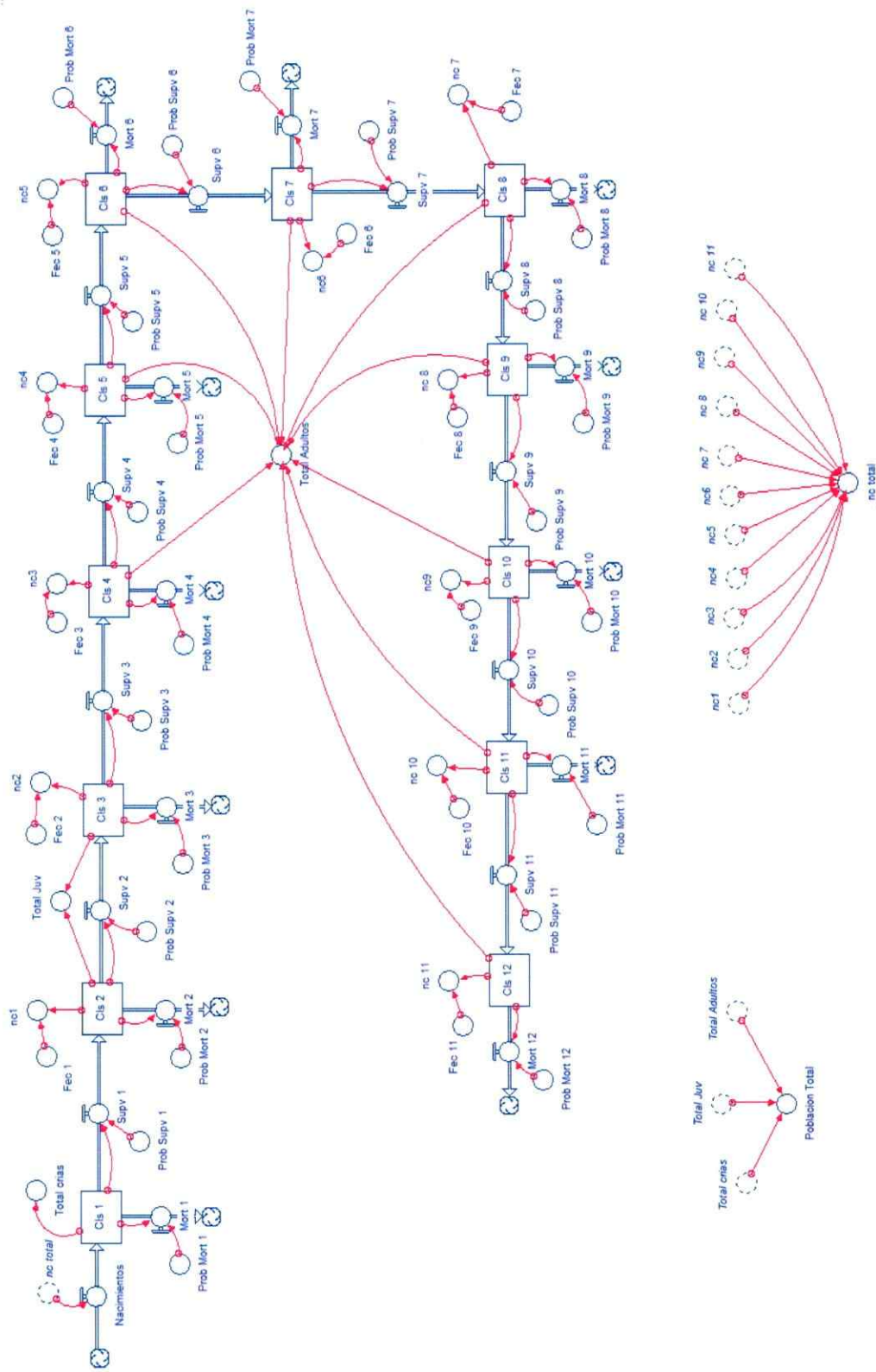


Figura 5. Modelo numérico de la población de *Castor canadensis*.

### *Flujos de salida*

Mortalidad: Proceso mediante el cual salen individuos del sistema. El modelo contiene 12 mortalidades ( $i= 1 - 12$ ) cada una asociada a cada reservorio o clase de edad. El valor de este flujo está dado por el total de individuos de la clase multiplicado por la probabilidad de muerte respectiva.

$$\text{Mort}_i = \text{Cls}_i * \text{Prob\_Mort}_i$$

### *Flujos de recirculación*

Supervivencia: Este flujo se encuentra determinado por los individuos que sobreviven de la clase  $i$  y pasan a la clase  $i + 1$ . El valor de este flujo está dado por los individuos de la clase  $i$  multiplicado por la probabilidad de sobrevivir  $i$ , siendo este subíndice el número de la clase, obteniendo así 12 flujos de supervivencia.

$$\text{Supv}_i = \text{Cls}_i * \text{Prob\_Supv}_i$$

### *Convertidores*

Probabilidad de morir (Prob Mor): Esta probabilidad se calculó a partir de datos para castores en Tierra del Fuego (Corcoran y col., datos sin publicar). Se consideró el número de castores muertos en la clase  $i$  divididos en el número de castores observados en la clase  $i$ .

Probabilidad de Sobrevivir (Prob Supv): se calculó a partir de la probabilidad de morir, es decir, corresponde a  $\text{Prob Supv} = 1 - \text{Prob Mor}$ . Al igual que en los casos anteriores esta probabilidad fue calculada para cada clase.

Fecundidad (Fec) *i*: Estos valores se obtuvieron a partir de datos para los castores en Tierra del Fuego. (Ver Tabla 3, columna  $m_x$ ).

Número de Crías (nc): La razón machos: hembras para el castor es 1:1; por lo tanto se calculó el número de crías por clase de edad (a partir de la segunda clase) dividiendo el número de individuos de la clase en dos, obteniendo así el total de hembras y luego se multiplico por la fecundidad de cada clase.

Número de Crías Total (nc\_total): representa la suma de todas las crías generadas por cada clase.

Total crías (Total \_ crías), Total de Juveniles (Total\_juv) y Total de Adultos (Total\_ Adultos): se utilizaron para contabilizar el total de individuos según su estadio. El total de crías se refleja en los individuos que salen de la clase 1. El total de juveniles refleja la suma de los individuos que se generan en la clase 2 y 3. El total de adultos es la suma del resto de las clases, es decir, de la clase 4 a la clase 12.

Población Total (Poblacion\_Total): Representa el total de individuos por año y está dado por la suma del total de crías, total de juveniles y total de adultos.

Las condiciones iniciales del modelo se muestran en la Tabla 1. Cabe señalar que al tratarse de una especie introducida, los reservorios o clases inicialmente se consideran sin individuos, salvo la clase 4, con un valor inicial de 50 individuos, ya que según la literatura se introdujeron 25 parejas de castores adultos en el año 1946 (Sielfeld & Venegas, 1980; Massoia & Chébez, 1993; Jaksic, 1998; Lizarralde & Venegas, 2001).

Tabla 1. Condiciones Iniciales para el modelo de la dinámica de población. Aquí se presentan las clases de edad o reservorios y convertidores con sus valores iniciales y sus referencias.

<b>Condiciones iniciales del Modelo de Dinámica de Población del Castor</b>		
<b>Reservorio</b>	<b>Valor</b>	<b>Referencia</b>
1-3, 5-12	0	Sielfeld & Venegas 1980; Massoia & Chébez 1993; Jaksic 1998; Lizarralde & Venegas 2001
4	50 castores	Sielfeld & Venegas 1980; Massoia & Chébez 1993; Jaksic 1998; Lizarralde & Venegas 2001
<b>Convertidores</b>	<b>Valor</b>	<b>Referencia</b>
Prob. Supv 1	0,969	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Prob. Supv 2	0,698	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Prob. Supv 3	0,705	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Prob. Supv 4	0,484	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Prob. Supv 5	0,733	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Prob. Supv 6	0,909	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Prob. Supv 7	0,7	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Prob. Supv 8	0,857	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Prob. Supv 9	0,5	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Prob. Supv 10	0,667	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Prob. Supv 11	0,5	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Prob Mort 1	0,031	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Prob Mort 2	0,302	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Prob Mort 3	0,295	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Prob Mort 4	0,516	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Prob Mort 5	0,267	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Prob Mort 6	0,091	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Prob Mort 7	0,3	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Prob Mort 8	0,143	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Prob Mort 9	0,5	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Prob Mort 10	0,333	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Prob Mort 11	0,5	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Prob Mort 12	1	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Fec 1	1,25	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Fec 2	0,61	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Fec 3	0,82	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Fec 4	0,66	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Fec 5	2,63	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Fec 6	1,75	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Fec 7	0	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Fec 8	0,87	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)

Continuación Tabla 1.

Fec 9	2,63	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Fec 10	2,63	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)
Fec 11	2,63	Obtenido de Muestreo en TDF (Corcoran y col., datos sin publicar)

Los datos de probabilidad de morir, probabilidad de sobrevivida y fecundidad por clase que se incorporaron al modelo, fueron obtenidos desde una tabla de vida estática (Tabla 2) generada a partir de un muestreo de castores realizado para distintas localidades de Tierra del Fuego en el periodo comprendido entre el 27 de Febrero de 2010 al 02 de Marzo de 2011. El total de individuos estudiados fue de 65 ejemplares, donde 27 fueron hembras y 38 machos. De los ejemplares se identificó la edad que fue determinada evaluando el desarrollo dentario y se contabilizaron cicatrices uterinas y los fetos encontrados para estimar la fecundidad (Corcoran y col., datos sin publicar).

Tabla 2 .Tabla de vida estática elaborada a partir de los datos brutos muestreados en Tierra del Fuego para *Castor canadensis*. Se observa la edad, el número de castores encontrados en cada clase de edad, el número de castores muertos por clase de edad, ( $l_x$ ) probabilidad que un recién nacido sobreviva hasta la edad  $x$ , ( $dx$ ) número de individuos que mueren entre las edades  $x-1$  y  $x$ , ( $q_x$ ) probabilidad de morir entre las edades  $x-1$  y  $x$ , ( $m_x$ ) fecundidad por clase. Se observa que individuos de 4, 9 y 11 años de edad, poseen las mortalidades más altas. La mayor supervivencia la tienen individuos de 1, 6 y 8 años de edad.

Tabla de Vida estática							
Edad	Nº castores vivos	Nº castores muertos	$L_x$	$dx$	$q_x$	$1- q_x$	$M_x$
1	65	2	1	0,031	0,031	0,97	0
2	63	19	0,97	0,292	0,302	0,7	1,25
3	44	13	0,68	0,2	0,295	0,7	0,61
4	31	16	0,48	0,246	0,516	0,48	0,82
5	15	4	0,23	0,062	0,267	0,73	0,66
6	11	1	0,17	0,015	0,091	0,91	2,63
7	10	3	0,15	0,046	0,3	0,7	1,75
8	7	1	0,11	0,015	0,143	0,86	0
9	6	3	0,09	0,046	0,5	0,5	0,87

Continuación Tabla 2

Tabla de Vida estática							
Edad	N° castores vivos	N° castores muertos	Lx	dx	qx	1- qx	Mx
10	3	1	0,05	0,015	0,333	0,67	2,63
11	2	1	0,03	0,015	0,5	0,5	2,63
12	1	1	0,02	0,015	1	0	2,63

Las tablas de vida estáticas se calculan basándose en el análisis de la estructura de edades de la población en un momento determinado. Por ello se capturan individuos cuya edad es establecida a partir de determinados caracteres (Begon y col., 2009). Este tipo de tabla se aplica a organismos móviles cuyos ciclos de vida son largos, como *Castor canadensis*. La probabilidad de morir, expresada en la Tabla 2 como la mortalidad ( $q_x$ ) representa la mortalidad específica de cada edad, es decir, mide la probabilidad que tiene cada individuo de morir en cada fase (Odum, 1985). Dicho proceso se obtuvo dividiendo la proporción de la muestra original que muere en el paso de una fase a la siguiente ( $d_x$ ) en la proporción de la muestra original que sobrevive al inicio de cada fase ( $l_x$ ), es decir,  $q_x = d_x / l_x$ . La probabilidad de sobrevivida de cada clase se calculó a partir de la mortalidad específica, es decir equivale a  $1 - q_x$ .

La fecundidad de cada clase de edad ( $m_x$ ) fue calculada a partir de las cicatrices uterinas y fetos (Henry & Bookhout, 1969, Hodgdon, 1949), encontrados en las hembras del mismo muestreo realizado en Tierra del Fuego por Corcoran y col. (Datos sin publicar). Se calculó la Fecundidad Anual= (Fetos + Cicatrices Uterinas)/ Hembras = 2,63 crías/hembras. Luego se calculó la razón de hembras en el total de castores para cada edad y se multiplicó por la Fecundidad Anual, basándose en el supuesto de que los datos corresponden a la

fecundidad de un año y que en el primer estadio no hay hembras en periodo de reproducción. Los valores se muestran en el Anexo 3.

La probabilidad de que un individuo recién nacido sobreviva hasta la edad  $x$ , es decir,  $l_x$  en la Tabla 2, representa la supervivencia acumulativa de la especie. Este valor es útil para la representación gráfica de las curvas de supervivencia. La Figura 6 presenta este tipo de curva para la especie, siendo de tipo cóncavo, donde la mortalidad es más alta durante las primeras fases del ciclo (Odum, 1985).

Para incorporar los datos de la tabla de vida al modelo numérico de la población de castor, se supuso que no se produce ninguna variación anual durante el periodo muestreado en cuando al número total de nacimientos, ni tampoco en las tasas de supervivencia específicas de la edad.

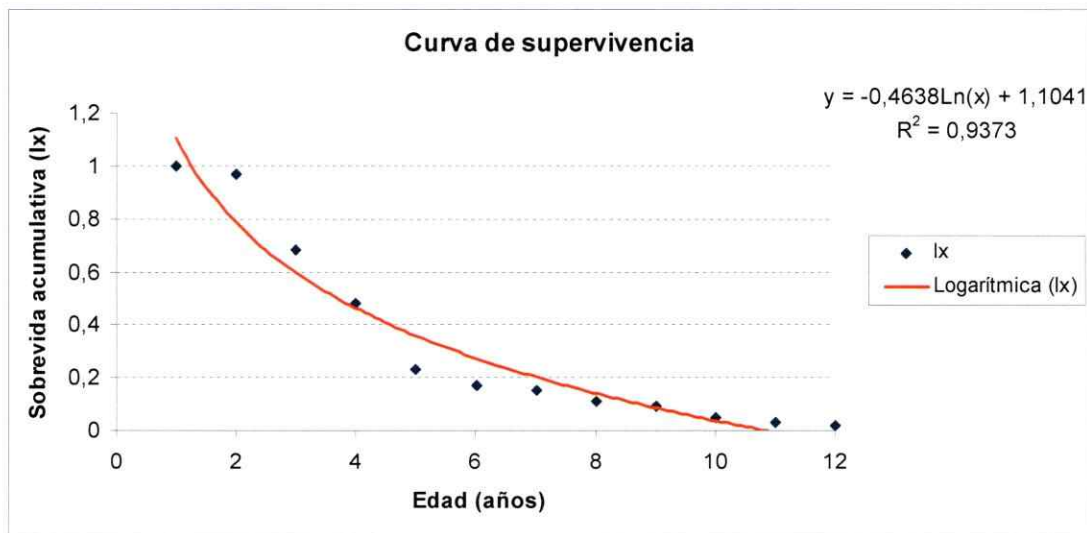


Figura 6. Curva de supervivencia, Indica la sobrevivencia acumulativa por edad. La curva se asemeja a una curva de supervivencia del tipo III, de tipo cóncavo, donde la mortalidad de la población se concentra en las edades jóvenes.



Diversos autores (Hodgdon, 1949; Brenner, 1964; Larson, 1967; Leege & Williams, 1967; Henry & Bookhout, 1969; Bently Wigley y col., 1983; Dieter, 1992; Mc Taggart & Nelson, 2003; Destefano y col., 2006; Bloomquist & Nielsen, 2010) han estudiado la dinámica de la población de *Castor canadensis* en Norteamérica por lo que se contó con datos de natalidad, mortalidad y sobrevivencia de dichas poblaciones.

Sin embargo, se dio preferencia a los datos tomados en Tierra del Fuego por Corcoran y col. (Datos sin publicar), ya que reflejan el estado de esa población, considerando que éstos muestran las condiciones en las cuáles se desarrolló la especie, como la falta de depredadores y el ambiente que les provee de alimentación y refugio principalmente. Esta población además cuenta con un factor antrópico externo a lo que sería su dinámica natural, la captura de individuos como alternativa de manejo influye en la mortalidad y supervivencia de la especie.

#### Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad ("sensitivity" en inglés) mide cuanto pueden llegar a afectar en los resultados de un modelo las variaciones de sus elementos (Rykiel, 1996). Este análisis es útil para definir la importancia de cada uno de ellos, lo que sirve para determinar el grado de esfuerzo que debe prestarse a su medición o muestreo y a la vez, puede detectar si el modelo posee un exceso de componentes. Huntley y col.,(1987) definen la sensibilidad de una variable K a cambios en un parámetro P, para un escenario X de la siguiente forma:

$$S_x = \frac{[K_{t,x} - K_s] / K_s}{[P_{t,x} - P_{s,x}] / P_{s,x}}$$

Donde

$K_{t,x}$  = Variable K en el escenario del análisis de sensibilidad x.

$K_s$  = Variable K en la simulación con los valores iniciales).

$P_{t,x}$  = Parámetro demográfico P para el escenario del análisis de sensibilidad x.

$P_{s,x}$  = Parámetro demográfico P estándar (Parámetro en la simulación con los valores iniciales)

Este análisis fue aplicado al modelo de dinámica de la población del castor generando distintos escenarios al variar en diferentes porcentajes los parámetros poblacionales estandarizados. Los porcentajes que se consideraron corresponden a: +25%, -25%, +50% y -50% los cuales fueron aplicados a los parámetros P, que corresponden a las probabilidades de morir y fecundidad. Las variables K corresponden a los valores poblacionales. No se consideró en este análisis la probabilidad de morir 12, porque su valor igual a 1, refleja que los individuos mueren al llegar a esa edad. Tampoco se incluyó la fecundidad 7, por no contar con datos medidos en terreno.

### **2.2.2. Etapa 2**

A partir del modelo numérico de la población del castor (Figura 5) se elaboró otro modelo que incluye el factor caza, originando a posteriori, distintos escenarios de manejo, respondiendo así los objetivos planteados en este estudio.

#### Modelo numérico de la Población de *Castor canadensis* incluyendo el factor caza

El modelo numérico (Figura 7) construido consta de 12 reservorios, 62 parámetros, y 24 flujos. Este modelo tiene como base el modelo anterior, por lo cual cada reservorio, convertidor y flujos son los mismos, salvo por el flujo de salida, mortalidad y los

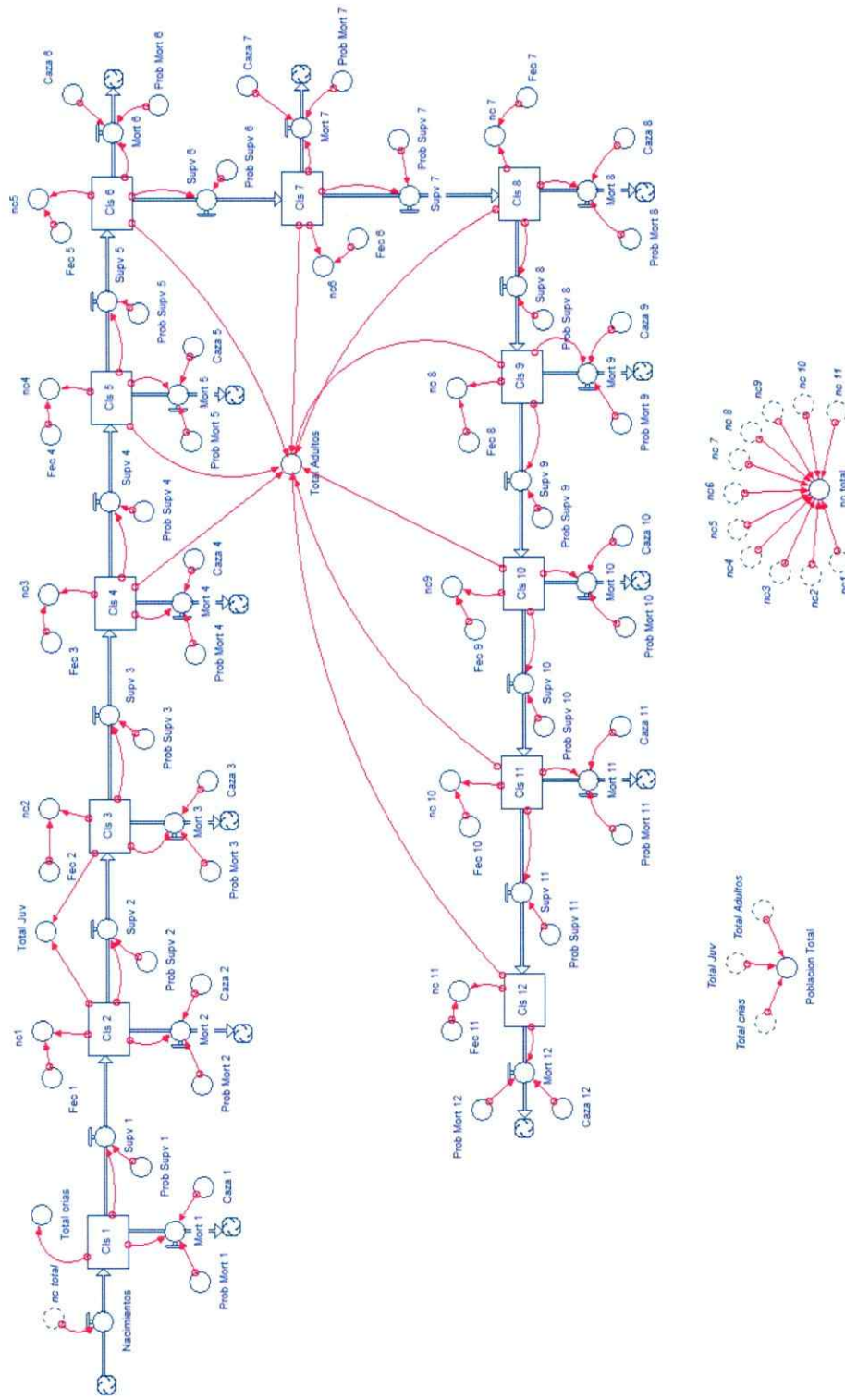


Figura 7. Modelo numérico de la población de *Castor canadensis* y efecto de la Caza en la población.

convertidores de supervivencia y de caza, siendo solamente estos los descritos a continuación.

### *Flujos de Salida*

Mortalidad *i*: El valor de este flujo está dado por el total de individuos de la clase multiplicado por la probabilidad de morir respectiva más la Caza de la clase.

$$\text{Mort}_i = \text{Cls}_i * (\text{Prob}_\text{Mort}_i + \text{Caza}_i).$$

### *Convertidores*

Probabilidad de Sobrevivir (Prob Supv) *i*: se calculó a partir de la mortalidad total por estadio, utilizando la probabilidad de morir y caza, es decir, corresponde a  $\text{Prob Supv} = 1 - (\text{Prob Mor} + \text{Caza})$ . Al igual que en los casos anteriores esta probabilidad fue calculada para cada clase.

Caza (Caza *i*): Porcentaje de caza definido por la fracción de castores muertos por año en la población total estimada durante el mismo periodo. Este porcentaje se dividió en el número de clases de edad con caza. Por ejemplo, si el porcentaje de caza es del 19% y la caza se distribuye a todos los estadios del modelo, el valor se divide en 12, siendo cada valor la caza *i*. Este valor se obtuvo a partir de los datos y planillas de caza entregados por SAG (ver Anexo 4). Este valor se aplicó a cada año de simulación.

El informe final del Programa Control de Fauna Dañina en la XIIª Región (SAG, 2007) señala que durante los años 2005 y 2006 fueron extraídos 11.700 castores, por lo que este valor fue utilizado, suponiendo que el esfuerzo de captura se realizó en solo un año. Las planillas de caza fueron facilitadas por el SAG, entregando información de los ejemplares extraídos además del nombre del cazador, fecha, lugar, tipo de testimonio entregado (piel o cola), peso, sexo y edad (ver ejemplo en Anexo 4). Cabe señalar que además se tuvo acceso a los datos obtenidos del trampeo ejercido por personal del WCS; sin embargo, los datos de este

periodo están incluidos en las planillas del SAG. El esfuerzo de caza ejercido por Argentina, también están incluidos en las planillas señaladas, según lo revisado en la literatura (Soto, 2006).

Los valores iniciales de cada clase de este modelo están dados por los valores entregados por el modelo numérico de la población del castor para el año 60 de simulación. Por ejemplo, el valor inicial de la clase 1, Cls 1, en el modelo con caza, está dado por el número de individuos, de la misma clase, simulado por el modelo sin caza en el año 60, lo mismo sucede con los valores iniciales del resto de las clases.

Los valores de mortalidad y fecundidad continúan siendo los mismos que el modelo numérico, es decir son los valores obtenidos desde la tabla estática (Tabla 2),  $q_x$  y  $m_x$ . Los valores de caza y supervivencia para este modelo y los escenarios planteados están señalados en la Tabla 3.

Tabla 3: Condiciones Iniciales para el modelo de la dinámica de población incluyendo el factor caza. Aquí se presenta el factor caza y la probabilidad de sobrevivida para cada clase de edad.

<b>Modelo Dinámica Poblacional con Caza</b>		
<b>Convertidores</b>	<b>Valor</b>	<b>Referencia</b>
Prob. Supv 1	0,953	Calculado a partir de datos de mortalidad y caza
Prob. Supv 2	0,682	Calculado a partir de datos de mortalidad y caza
Prob. Supv 3	0,689	Calculado a partir de datos de mortalidad y caza
Prob. Supv 4	0,468	Calculado a partir de datos de mortalidad y caza
Prob. Supv 5	0,717	Calculado a partir de datos de mortalidad y caza
Prob. Supv 6	0,893	Calculado a partir de datos de mortalidad y caza
Prob. Supv 7	0,684	Calculado a partir de datos de mortalidad y caza
Prob. Supv 8	0,841	Calculado a partir de datos de mortalidad y caza
Prob. Supv 9	0,484	Calculado a partir de datos de mortalidad y caza
Prob. Supv 10	0,651	Calculado a partir de datos de mortalidad y caza
Prob. Supv 11	0,484	Calculado a partir de datos de mortalidad y caza
Caza 1	0,0156	Obtenido de Informes y Planillas del SAG
Caza 2	0,0156	Obtenido de Informes y Planillas del SAG
Caza 3	0,0156	Obtenido de Informes y Planillas del SAG
Caza 4	0,0156	Obtenido de Informes y Planillas del SAG

Continuación Tabla 4

Caza 5	0,0156	Obtenido de Informes y Planillas del SAG
Caza 6	0,0156	Obtenido de Informes y Planillas del SAG
Caza 7	0,0156	Obtenido de Informes y Planillas del SAG
Caza 8	0,0156	Obtenido de Informes y Planillas del SAG
Caza 9	0,0156	Obtenido de Informes y Planillas del SAG
Caza 10	0,0156	Obtenido de Informes y Planillas del SAG
Caza 11	0,0156	Obtenido de Informes y Planillas del SAG
Caza 12	0,0156	Obtenido de Informes y Planillas del SAG

La escala temporal de trabajo de este modelo es de 60 años, es decir, cada año la población se ve sometida al efecto de la caza. A modo explicativo la Figura 8 muestra las escalas temporales utilizadas en los dos modelos numéricos y desde que año se consideró el efecto de la caza. Por tanto, el modelo con caza toma los valores del año 60 del modelo sin caza y los proyecta otros 60 años.



Figura 8. Escalas temporales de los modelos utilizados en este estudio.

### 2.2.3. Etapa 3. Escenarios de Simulación

Una vez listo el modelo numérico del castor con el factor de caza, se procedió a generar cuatro escenarios distintos, aplicando el valor de caza obtenido con anterioridad a distintos estadios de la población, generando así los primeros tres escenarios con la finalidad de evaluar

qué fase del ciclo de vida del castor tiene mayor efecto sobre la dinámica poblacional. Además se simuló el efecto de la caza en la población si el esfuerzo de captura fuera 80% de la población estimada.

El detalle de los cuatro escenarios es el siguiente:

- 1) El porcentaje de caza se aplicó a las crías, es decir, a la clase 1.
- 2) El porcentaje de caza se aplicó solamente a los juveniles, es decir, a las clase 2 y 3.
- 3) El porcentaje de caza se aplicó a los adultos, es decir, de la clase 4 a la 12.
- 4) Se calculó otro porcentaje de caza, suponiendo que se captura el 80% de la población. Este escenario se implementó con la finalidad de estudiar el comportamiento de la población con un mayor esfuerzo de captura.

Los valores de caza y probabilidad de sobrevida se muestran en la Tabla 4 para cada escenario realizado.

**Tabla 4:** Condiciones Iniciales para los cuatro escenarios planteados. Aquí se presenta el factor caza y la probabilidad de sobrevida para cada uno de ellos.

Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3		Escenario 4	
Convertidores	Valor	Convertidores	Valor	Convertidores	Valor	Convertidores	Valor
Prob. Supv 1	0,782	Prob. Supv 1	0,969	Prob. Supv 1	0,969	Prob. Supv 1	0,903
Prob. Supv 2	0,698	Prob. Supv 2	0,605	Prob. Supv 2	0,698	Prob. Supv 2	0,632
Prob. Supv 3	0,705	Prob. Supv 3	0,612	Prob. Supv 3	0,705	Prob. Supv 3	0,639
Prob. Supv 4	0,484	Prob. Supv 4	0,484	Prob. Supv 4	0,463	Prob. Supv 4	0,418
Prob. Supv 5	0,733	Prob. Supv 5	0,733	Prob. Supv 5	0,712	Prob. Supv 5	0,667
Prob. Supv 6	0,909	Prob. Supv 6	0,909	Prob. Supv 6	0,888	Prob. Supv 6	0,843
Prob. Supv 7	0,7	Prob. Supv 7	0,7	Prob. Supv 7	0,679	Prob. Supv 7	0,634
Prob. Supv 8	0,857	Prob. Supv 8	0,857	Prob. Supv 8	0,836	Prob. Supv 8	0,791
Prob. Supv 9	0,5	Prob. Supv 9	0,5	Prob. Supv 9	0,479	Prob. Supv 9	0,434

Continuación Tabla 4

Prob. Supv 10	0,667	Prob. Supv 10	0,667	Prob. Supv 10	0,646	Prob. Supv 10	0,601
Prob. Supv 11	0,5	Prob. Supv 11	0,5	Prob. Supv 11	0,479	Prob. Supv 11	0,434
Caza 1	0,187	Caza 1	0	Caza 1	0	Caza 1	0,066
Caza 2	0	Caza 2	0,0935	Caza 2	0	Caza 2	0,066
Caza 3	0	Caza 3	0,0935	Caza 3	0	Caza 3	0,066
Caza 4	0	Caza 4	0	Caza 4	0,0207	Caza 4	0,066
Caza 5	0	Caza 5	0	Caza 5	0,0207	Caza 5	0,066
Caza 6	0	Caza 6	0	Caza 6	0,0207	Caza 6	0,066
Caza 7	0	Caza 7	0	Caza 7	0,0207	Caza 7	0,066
Caza 8	0	Caza 8	0	Caza 8	0,0207	Caza 8	0,066
Caza 9	0	Caza 9	0	Caza 9	0,0207	Caza 9	0,066
Caza 10	0	Caza 10	0	Caza 10	0,0207	Caza 10	0,066
Caza 11	0	Caza 11	0	Caza 11	0,0207	Caza 11	0,066
Caza 12	0	Caza 12	0	Caza 12	0,0207	Caza 12	0,066





### 3. RESULTADOS

Se presentan los resultados por etapas para su mejor comprensión. A continuación se detalla cada una de estas.

#### 3.1. Etapa 1

Los valores de población total, crías, juveniles y adultos para el año 60 de simulación, se presentan en la Tabla 5. Según esto, la estructura de la población del castor está representada en un 75% por crías y juveniles y el 24% restante por adultos, encontrándose dentro de los rangos señalados por Lizarralde, (2008) donde señala que la población del castor se representan en un 65% por crías y juveniles y el 35% por adultos. Sin embargo, Skewes y col. (1999), muestran un porcentaje del 44,1% para crías y juveniles y un 55% para los adultos. El valor arrojado por el modelo numérico calibrado para el año 60 de simulación fue de 62.709 castores (Figura 9).

Tabla 5. Abundancia de castores de la salida estándar del modelo para el año 60. Se observa que los juveniles son los que más contribuyen al valor de la población total.

Año de Simulación	Estadio	Abundancia de castores
60	Población Total	62.708
	Crías	19.907
	Juveniles	27.733
	Adultos	15.067

Si se simula la población sin ningún tipo de manejo, llegaría a un valor de 79.870.553 castores después de 120 años de su introducción, es decir para el año 2066.

## Población de Castor en el tiempo

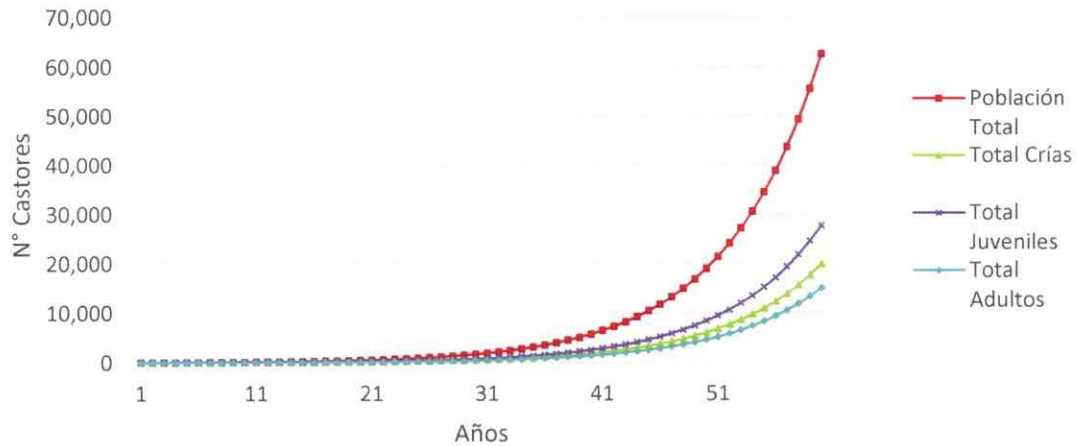


Figura 9. Dinámica de la Población de *Castor canadensis*. La curva muestra un crecimiento exponencial a lo largo de los 60 años. En rojo podemos observar la Población Total, en celeste el Total de Adultos, en verde el total de crías y en morado el total de Juveniles.

El resultado entregado por el modelo numérico de la población en el año 60 de simulación, para todas las clases de edad, se utilizó como valor inicial de las clases del modelo numérico con caza.

### Análisis de sensibilidad

Los resultados del análisis de sensibilidad muestran que el convertidor más sensible del modelo numérico es la Fecundidad 1 (Tabla 6). Esto significa que pequeñas variaciones en él, tienen un mayor efecto en el valor total de la población en comparación a las variaciones de los otros convertidores.

Cabe señalar que el convertidor Fecundidad 1, considera la fecundidad de la clase 2, es decir, de los juveniles de 1 a 2 años de edad. Algunos autores mencionan que los juveniles (1 a 3 años) son considerados como pre-reproductivos, es decir, no se reproducen (Brenner, 1964; Dieter, 1992). Sin embargo, otros estudios, mencionan que las hembras son reproductivamente activas a una edad mayor al año (Leege & Williams, 1967; Larson, 1967; Bently Wigley y col., 1983).

Tabla 6. Resultados del análisis de sensibilidad aplicado al modelo numérico de la población. Cabe señalar que no se incluyeron la probabilidad de morir 12 ni Fecundidad 7, el primero porque corresponde al estadio final donde todos los individuos mueren, y la fecundidad en el estadio 7 no presento datos de terreno. El signo negativo de la sensibilidad en la probabilidad de morir indican que, en las variaciones del 25% o 50% la población total es menor que la población estándar (62.709 castores) o bien que en las variaciones de -25% o -50%, los valores de los parámetros modificados son menores que el valor estándar. Los parámetros que son relevantes para este análisis son las probabilidades de morir 2, 3 y 4 y la Fecundidad 1, 2 y 3.

PARAMETROS	-25%	25%	-50%	50%
Prob. Mort 1	-0,575	-0,557	-0,614	-0,448
Prob. Mort 2	-5,6	-2,432	-8,714	-1,718
Prob. Mort 3	-3,224	-1,901	-4,326	0
Prob. Mort 4	-8,447	-2,957	-14,688	-1,901
Prob. Mort 5	-1,616	-1,186	-1,879	-1,035
Prob. Mort 6	-0,192	-0,185	-0,196	-0,177
Prob. Mort 7	-0,365	-0,342	-0,378	-0,33
Prob. Mort 8	-0,138	-0,134	-0,14	-0,131
Prob. Mort 9	-0,598	-0,539	-0,63	-0,511
Prob. Mort 10	-0,13	-0,129	-0,132	-0,126
Prob. Mort 11	-0,079	-0,078	-0,08	0
Fec. 1	3,392	23,907	1,95	97,577
Fec. 2	1,74	3,06	1,368	4,164
Fec. 3	1,713	2,885	1,357	3,834
Fec. 4	0,689	0,819	0,634	0,894
Fec. 5	1,555	2,379	1,275	2,963
Fec. 6	0,909	1,13	0,818	1,26
Fec. 8	0,225	0,236	0,22	0,241
Fec. 9	0,295	0,313	0,287	0,322
Fec. 10	0,174	0,18	0,171	0,183
Fec. 11	0,077	0,078	0,076	0,078

El otro convertidor que resultó ser sensible es la probabilidad de morir 4, el cual al aumentar en un +25% o +50% disminuye considerablemente la población y al variar en -25% o -50% la población aumenta más que los resultados netos del valor poblacional de las variaciones de las otras probabilidades de morir.

El modelo también resultó ser sensible, en menor medida, a los parámetros: Probabilidad de Morir 2, Probabilidad de Morir 3, Fecundidad 2 y Fecundidad 3 y no fue altamente sensible a los cambios en el resto de los parámetros.

### 3.2. Etapa 2

Los resultados de la etapa 2 arrojan un valor de 41.052.253 castores para el año 60 de simulación, incluyendo el factor caza (Tabla 7), siendo los juveniles los que más contribuyen al total poblacional con un 44,5% (Figura 10). La Figura 11 presenta gráficamente la comparación entre los resultados obtenidos de las Etapas 1 y 2.

Tabla 7. Valores para cada estadio, obtenidos de la salida estándar del modelo de dinámica de la población con el efecto de la caza para el año 60. Se observa que los juveniles son los que más contribuyen al valor de la población total.

Año de Simulación	Estadio	Abundancia de castores
60	Población Total	41.052.253
	Crías	13.241.745
	Juveniles	18.270.808
	Adultos	9.539.699

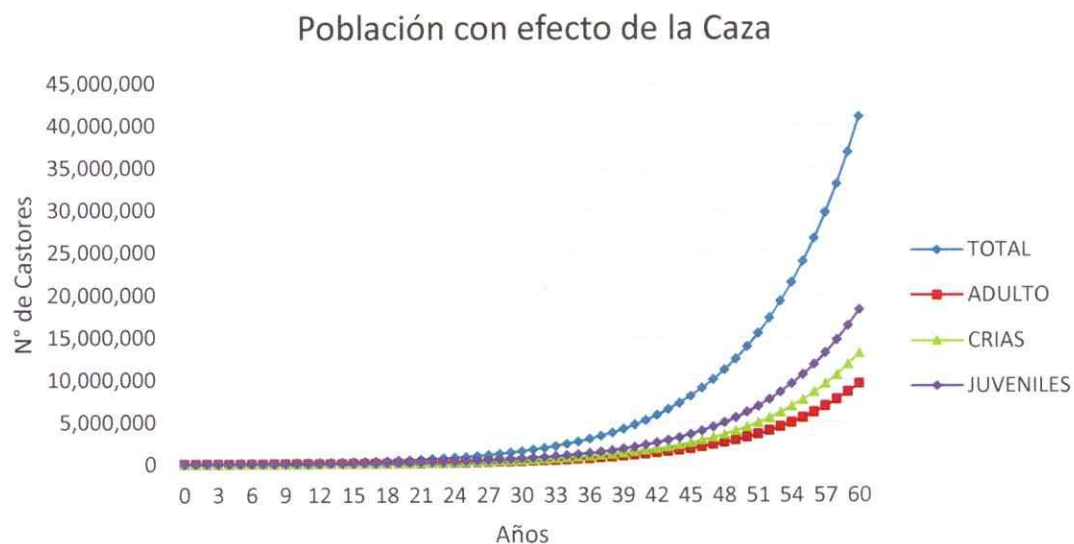


Figura 10. Dinámica de la Población de *Castor canadensis* con efecto de la caza. La curva muestra un crecimiento exponencial a lo largo de los 60 años. En azul podemos observar la Población Total, en rojo el Total de Adultos, en verde el total de crías y en morado el total de Juveniles.

### Comparación entre Modelos con y sin caza.

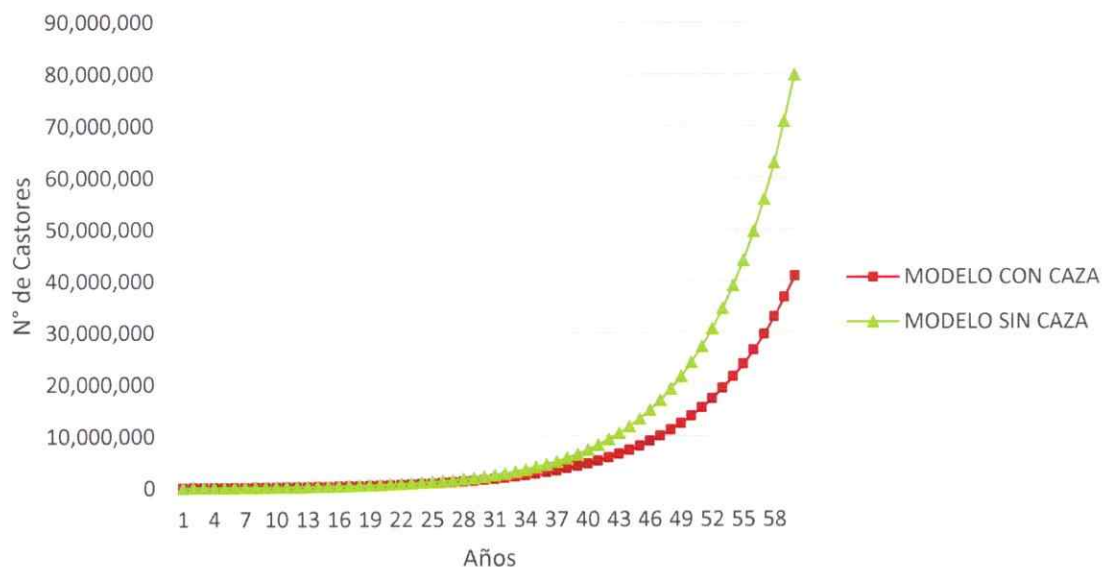


Figura 11. Comparación entre los modelos de Dinámica de Población de Castor canadiense con y sin efecto de la caza. La curva muestra un crecimiento exponencial a lo largo de los 60 años. En verde podemos observar la Población Total en el tiempo arrojada por el modelo sin caza y en rojo la población total en el tiempo con el efecto de la caza.

### 3.3. Etapa 3

Los resultados de la etapa 3 corresponden a los 4 escenarios simulados usando el modelo que incluye el factor caza (Tabla 8). Las simulaciones de los cuatro modelos fueron realizadas en una escala temporal de 60 años. Las gráficas respectivas de cada escenario se muestran en el Anexo 6.

Tabla 8. Valores de salida estándar del modelo numérico con el factor caza para cada escenario planteado.

Escenario	Población total de castores	Adultos	Juveniles	Crías
1	3.241.853	844.773	1.312.774	1.084.304
2	12.692.319	2.738.220	5.767.295	4.186.803
3	68.728.738	16.029.360	30.723.397	21.975.980
4	2.044.974	440.135	924.973	679.864

En la Figura 12 se muestra la comparación de los resultados del Modelo con caza y los escenarios de simulación planteados en el estudio. Cada curva de las Figuras 11 y 12 fue ajustada mediante una regresión exponencial del tipo  $y = a \cdot \exp^{bx}$ , aquí es posible observar que  $b$  representa la tasa de crecimiento poblacional. Los escenarios que presentan una menor tasa de crecimiento corresponden a los escenarios 4, 1 y 2 (Tabla 9).

Tabla 9. Regresión exponencial para cada curva presentada en este estudio, donde  $b$  representa la tasa de crecimiento poblacional.

Regresión Exponencial del tipo $y = a \cdot \exp^{bx}$			
Nivel de Caza	a	B	R <sup>2</sup>
Modelo sin Caza	62708,67	0,1192	1
Modelo con Caza	62929,58	0,1080	1
Escenario 1	62492,83	0,0658	1
Escenario 2	63282,20	0,0884	1
Escenario 3	62955,05	0,1166	1
Escenario 4	63441,59	0,0579	1

Los resultados obtenidos en las tres etapas, es decir, modelo sin caza, modelo con caza y los cuatro escenarios de simulación se analizaron estadísticamente para ver si eran significativamente diferentes. Para ello se realizó un Análisis de Covarianza (ANCOVA), sobre datos transformados mediante logaritmo y usando al tiempo como covariable. Los datos que se consideraron en el análisis corresponden a las poblaciones arrojadas por cada modelo a partir del año 40 de simulación, debido a que en los primeros años las curvas son similares. Este análisis se aplicó al modelo sin caza, con caza y los cuatro escenarios, arrojando un valor de  $p < 0,05$ . Finalmente se compararon los escenarios por medio de una prueba a-posteriori de Tukey. Los resultados se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Prueba de Tukey para los resultados de los modelos con caza, modelo sin caza y los escenarios de simulación 1, 2, 3 y 4. Todas las comparaciones son significativamente diferentes salvo por el caso del Modelo sin caza y Escenario 3 destacado en rojo. En celeste se destaca la diferencia entre modelo con y sin caza, y en verde se diferencian los casos de escenarios de simulación en relación al modelo sin caza.

Prueba de Tukey					
FACTOR\$(i)	FACTOR\$(j)	Diferencia	Valor de p	Intervalo de Confianza 95,0%	
				Inferior	Superior
Escenario 4	Modelo sin caza	-1,326	0,000	-1,384	-1,267
Escenario 1	Modelo sin caza	-1,160	0,000	-1,218	-1,102
Escenario 3	Modelo sin caza	-0,054	0,083	-0,112	0,004
Modelo con caza	Modelo sin caza	-0,241	0,000	-0,299	-0,183
Escenario 2	Modelo sin caza	-0,665	0,000	-0,723	-0,607
Modelo con caza	Escenario 4	1,085	0,000	1,027	1,143
Escenario 3	Escenario 4	1,271	0,000	1,213	1,330
Escenario 1	Escenario 4	0,166	0,000	0,108	0,224
Escenario 2	Escenario 4	0,661	0,000	0,602	0,719
Escenario 1	Escenario 3	-1,106	0,000	-1,164	-1,048
Modelo con caza	Escenario 3	-0,187	0,000	-0,245	-0,128
Escenario 2	Escenario 3	-0,611	0,000	-0,669	-0,553
Modelo con caza	Escenario 2	0,424	0,000	0,366	0,483
Escenario 1	Escenario 2	-0,495	0,000	-0,553	-0,437
Modelo con caza	Escenario 1	0,919	0,000	0,861	0,977

Comparación entre los resultados del Modelo con Caza y los escenarios de simulación

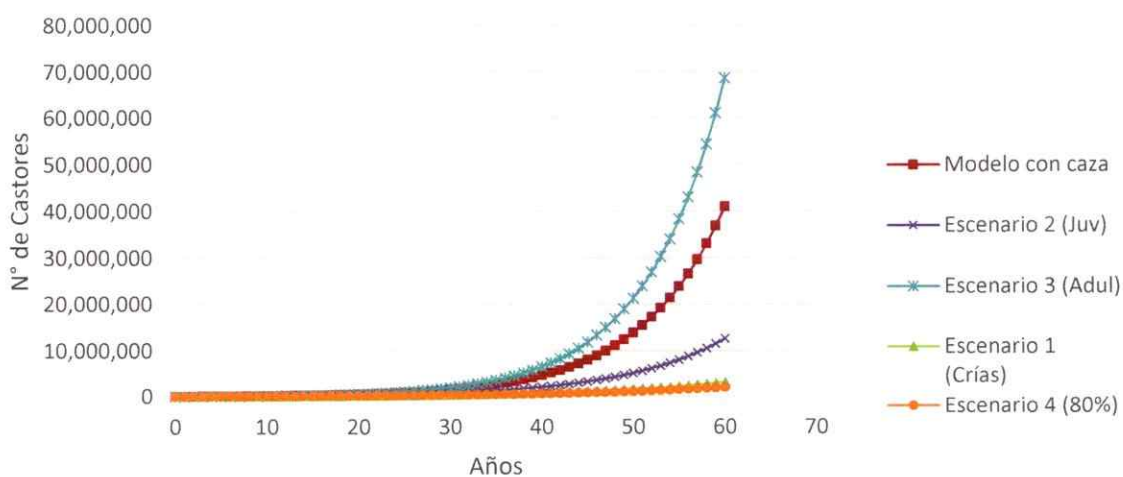


Figura 12. Comparación entre el modelos de Dinámica de Población de Castor canadensis con caza y los escenarios simulados. Las curvas muestran un crecimiento exponencial a lo largo de los 60 años. En celeste podemos observar la población total en el tiempo arrojada por el escenario 3, donde la caza es dirigida a los adultos. En naranja y verde se observan los escenarios 4 y 1.

Se observa que los valores de  $p$  son  $< 0,05$  por lo que todas las comparaciones son significativamente diferentes, salvo por el caso del modelo sin caza y el escenario 3 donde el valor de  $p$  es de 0,083. Este escenario sería el menos beneficioso, donde el factor de caza se aplica solamente a los adultos, es decir, de la clase 4 a la 12, siendo éste el que mostró el mayor valor de población, presentando una mayor diferencia (-0,054) con el modelo sin caza en la prueba aplicada.

Si comparamos el modelo sin caza con los modelos en donde el porcentaje de caza se asignó a cada uno de los estadios, es decir, el modelo con caza (porcentaje de caza del 19%) y el 4<sup>to</sup> escenario (porcentaje de caza del 80%), el escenario 4 presenta una menor diferencia, con un valor de -1,326. El modelo con caza arrojó un valor de diferencia -0,241. Además el escenario 4 presenta la menor tasa de crecimiento poblacional de 0,0579 en relación al resto de los escenarios.

Al comparar el modelo sin caza con los otros tres escenarios (1, 2 y 3), donde el porcentaje de caza aplicado fue del 19% (crías), se observa que el mejor de estos tres escenarios corresponde al 1 (prueba de Tukey igual a -1,160). En este se observó una notable disminución de la población en relación al resto de escenarios comparados (Tabla 10).



#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

El análisis de los resultados muestra que la población de castores en Tierra del Fuego presenta un crecimiento continuo en el tiempo de tipo exponencial. El valor entregado por el modelo calibrado para 60 años fue de 62.709 castores (Tabla 11), el cual está dentro del rango de datos señalados en la literatura para el área de estudio. Diversos autores (e.g. Skewes y col, 2006; Arismendi y col, 2008, Baldini y col, 2008; Lizarralde, 2008) mencionan que la población en Tierra del Fuego e isla Navarino se encuentra entre 50.000 – 61.300 castores para los años 2006-2008.

Existen diferencias en la estructura de la población del castor en relación a los estudios realizados por Lizarralde (2008) y Skewes y col (1999), los cuales se sustentan en el tipo de toma y análisis de datos (la metodología utilizada se discute en detalle más abajo). Y pueden afectar los resultados del modelo desarrollado en este seminario. Por ello, es necesario realizar nuevas estimaciones de la población de los castores en Tierra del Fuego, obteniendo así información más fidedigna para la implementación de modelos numéricos, que puedan simular escenarios de manejo. Por ejemplo, el análisis de sensibilidad, muestra que se debe prestar atención a la medición o muestreo de algunos procesos como por ejemplo la fecundidad y la mortandad (Tabla 6), pues puede existir una diferencia en el porcentaje de hembras reproductoras entre dos periodos de estudio (Leege & Williams, 1967), así como en las mortalidades presentes en la población.

**Tabla 11.** Valores de referencia de la abundancia de castores en Tierra del Fuego y resultados obtenidos por el modelo numérico.

Castores /año	Año	Referencia
62.709	2006	Modelo Numérico Poblacional Stella 9.3.1
50.000-61.300	2006-2008	Skewes y col, 2006; Arismendi y col, 2008, Baldini y col, 2008; Lizarralde, 2008
> 100.000	2001	Venegas y Lizarralde (2001)

Según Wallem y colaboradores (2007) la población actual de castores ha modificado aproximadamente 5.400 ha de bosque nativo en el sector chileno y al menos 5.200 ha en el sector argentino. Afectando y alterando algunos procesos ecosistémicos (Lizarralde, 2008) y destruyendo los hábitat de la fauna nativa (Moorman, 2007) entre otros. Es evidente que esta especie invasora ha alterado los ecosistemas de Tierra del Fuego y lo seguirá haciendo si no existen o se incorporan otras alternativas de manejo a las existentes en la actualidad. Para ver a cuánto ascendería el tamaño poblacional del castor en 120 años mas (2066), bajo las condiciones actuales, se simuló un escenario teniendo como base el modelo poblacional inicial y se obtuvo una población de 79.870.553 castores (Fig. 12). En otras palabras, si se mantienen las condiciones actuales (e.g. caza) la población del castor seguirá creciendo, así como sus efectos negativos en la fauna y el ecosistema. En este escenario, es indispensable aumentar el esfuerzo para complementar y actualizar los datos poblacionales vigentes de la especie invasora (e.g. capacidad de carga), así como el análisis y estudio de los servicios ecosistémicos hasta hoy afectados.

El modelo numérico de la población de castores sometidas a caza, ya calibrado y validado, entrega un valor de 41.052.253 castores para el año 60 de simulación (Fig. 11).

Sin embargo, este modelo comienza a diferenciarse del sin caza a partir del año 40, lo que se traduce en que si se quieren ver diferencias en el tamaño poblacional del castor habría que considerar el factor del tiempo y efectuar, año a año, un esfuerzo de captura con un porcentaje mayor o igual al 19%.

Por tanto, según los resultados de este estudio y basado en las diferencias significativas entre el modelo con y sin caza a partir del año 40, la hipótesis planteada se acepta. Esto es, el esfuerzo de captura actual es insuficiente para detener el crecimiento de la población de castores en Tierra del Fuego.

#### **4.1 Alternativas para el manejo de la especie invasora *Castor canadensis* en Tierra del Fuego.**

Las alternativas actuales propuestas para manejar la población de *Castor canadensis* en Tierra del Fuego son: 1) retiro del territorio continental, 2) erradicación, 3) control sostenido, 4) extracción comercial y 5) no tomar ninguna acción (InnovaT, 2008). El "Estudio de Factibilidad de Erradicar el Castor Americano (*Castor canadensis*) en la Patagonia (InnovaT, 2008) y el "Proyecto binacional para la erradicación del castor del sur del continente americano" mencionan la erradicación o el control sostenido como opciones preferibles para el manejo de la población debido a los impactos asociados de la especie invasora y los costos que conlleva llevar a cabo alguna de estas alternativas de manejo.

El objetivo del control sostenido de la población propuesta ha sido reducir las densidades de la población hasta alcanzar un valor que permita disminuir los impactos negativos, manteniendo la densidad actual o uno menor, mediante intervenciones

repetitivas de control a perpetuidad (InnovaT, 2008). Sin embargo, los análisis de información realizados en este seminario de título, más los resultados de los modelos, permiten proponer que este objetivo no se ha podido cumplir debido principalmente a las incertezas sobre la dinámica poblacional del *Castor Canadensis* en Tierra del Fuego.

Como contribución al debate actual, sobre la base de los resultados de este seminario de título, se proponen tres estrategias para el manejo de la densidad poblacional:

1. Utilizar un porcentaje de caza del 80% capturando individuos de cualquier estadio. Sin embargo, se debe realizar un estudio de qué tan factible es alcanzar esta cuota de captura, considerando el costo económico y humano que esto implica.

2. Utilizar un porcentaje de caza del 19% dirigido al estadio de las crías. Este escenario fue el segundo más factible. Sin embargo, no se conocen métodos de caza especializados en capturar este estadio de la población, por lo que se debería investigar algún tipo de metodología.

3. Utilizar un porcentaje de caza del 19% aplicado a los juveniles. Lizarralde y col., 2008, mencionan que un mecanismo de regulación en la población es moderar las altas densidades mediante un aumento de la tasa de dispersión ya que la población podría verse afectada si la supervivencia o la tendencia a emigrar de los individuos de 2 a 3 años se modificasen, dada la alta mortalidad a la que se halla expuesta esta clase de edad. Esto podría servir para analizar otra estrategia de control, ya que, al dirigir la caza a los juveniles, que son los que más dispersan dentro de la población, su captura es más factible con los métodos utilizados comúnmente (Trampas Conibear y uso de alambres).

Por lo tanto, en base a las tres alternativas mencionadas con anterioridad y según lo observado en las planillas de caza entregadas por el SAG, donde los estadios más capturados son juveniles y adultos, la estrategia 3 ofrecería una propuesta concreta y realista en el manejo del roedor invasor *Castor canadensis*, considerando los métodos de captura empleados. La captura de individuos realizada hasta la fecha con trampas Conibear, podría ser complementada con alguna técnica de captura de crías. Las trampas Conibear poseen un sesgo de tamaño, atrapando mayoritariamente a adultos y juveniles, los cuales no alterarían significativamente el total de individuos de la población.

Para llevar a cabo un manejo de la población, se requiere de un trabajo conjunto con los diversos actores involucrados en la toma de decisiones, siendo un factor clave la cooperación entre Chile y Argentina. Por otro lado, se requiere de un presupuesto adecuado y sostenido en el tiempo. Sin embargo, la evaluación del crecimiento de la población año a año y la asignación de un valor de caza viable, son muy importantes en la ejecución de un manejo controlado de la especie.

#### **4.2 Alcances y limitaciones del estudio**

Se pueden evaluar los alcances de este trabajo como un avance al conocimiento de la dinámica de la población respecto a una especie invasora (*Castor canadensis*), además de considerar los efectos de la caza en la dinámica de esta en Tierra del Fuego, utilizando los modelos numéricos como herramienta de gestión.

Con respecto a los métodos empleados en este estudio, es importante discutir el uso de modelos numéricos como una nueva herramienta para la estimación del valor neto

de la población de *Castor canadensis* en Tierra del Fuego. La metodología utilizada por diversos autores para realizar las estimaciones de la población total (e.g. Venegas y Lizarralde, 2001, Skewes y col., 2006; Arismendi y col., 2008, Baldini y col., 2008; Lizarralde, 2008) se basó principalmente en el recuento absoluto de madrigueras en uso (existencia de huellas, mantención de diques y canales de transporte de troncos, talas recientes, etc.).

Skewes y col. (1999), señalan que el número total o abundancia de castores en un área dependerá del número de colonias registradas y del número promedio de individuos por colonia. Por tanto, los valores totales estimados van a depender de, lo asignado por el investigador determinando así un cierto número de ejemplares por colonia y del esfuerzo de muestreo de las madrigueras, considerando que la geografía del área de estudio posee lugares de difícil acceso.

Cabe destacar que el método de estimación de la abundancia de castores a través del número de castores por colonia y el número de colonias por superficie es ampliamente utilizado en el hemisferio norte (Swenson, 1983, Novak, 1987; Bolen & Robinson, 1995) y también ha sido usado en Argentina (Lizarralde, 1993) y en Chile (Sielfeld & Venegas, 1980). Respecto a lo anterior, según la literatura revisada ningún estudio utilizó otra metodología, por lo que el uso de modelos de dinámica de población como herramienta para obtener el total de individuos de una población resulta ser innovador. El método utilizado en este trabajo permite estimar la abundancia de la población considerando parámetros biológicos de la especie como la mortalidad, natalidad y supervivencia.

Los resultados del modelo fueron validados con los datos obtenidos por las metodologías empleadas por Venegas y Lizarralde, 2001, Skewes y col., 2006; Arismendi y col., 2008, Baldini y col., 2008; Lizarralde, 2008, descritas con anterioridad.

Con respecto a la representatividad etaria a partir de animales cazados y de acuerdo a lo señalado por Novak (1987), la captura de individuos no presenta sesgo, ya que adultos y juveniles tienen igual posibilidad de ser trampeados o cazados. En cambio la representatividad de crías capturadas es baja, puesto que al tener un comportamiento sedentario tienen menos posibilidades de ser atrapados y por lo tanto los resultados no reflejarían la realidad de individuos en esa categoría (Skewes y col., 1999).

Cabe destacar que el no contar con más estudios de poblaciones con muestras representativas de igual o mayor número de castores (N=65), representa una limitación al estudio ya que podrían existir variaciones durante algunas temporadas (Leege & Williams, 1967; Bloomquist & Nielsen, 2010). Al analizar los datos de la tabla de vida, se observó que la mayor mortalidad está en las clases 2 y 4, representadas por los juveniles y adultos respectivamente. Lizarralde y col. (1996) indican que la mortalidad natural del castor (N=39), se concentra en individuos de dos años, coincidiendo con lo informado por Payne (1984) en el hemisferio norte, explicado fundamentalmente por la mayor vulnerabilidad de los individuos pre-reproductores que incrementan su actividad, abandonan la colonia paterna y quedan más expuestos a la caza, captura o muerte por eventos naturales (Soto, 2006).

Un monitoreo que arroje datos durante un periodo más extenso otorgaría un menor porcentaje de error en los parámetros poblaciones de la especie; por esto, se sugiere un

mayor esfuerzo de muestreo, ya que la calidad de un modelo depende en parte de los datos que fueron ingresados. Por esto es de gran utilidad generar una base de datos de poblaciones, en común para Chile y Argentina con tal de tener mayor acceso a la información, ayudando de esta forma al conocimiento de la especie en Tierra del Fuego para su posterior manejo.

Es importante mencionar, que las especies exóticas modifican la composición y estructura de los ecosistemas y de las especies que lo componen, pues no existe una historia evolutiva en común, y afectan en consecuencia a la provisión de los servicios ambientales asociados a ellos, por eso es necesario elegir e implementar una alternativa de manejo viable en el tiempo para la especie de *Castor canadensis*.

Los resultados de los modelos desarrollados en este estudio, de tipo exponencial, presentan una serie de limitaciones, todos ellos debido a la falta de información. Uno de ellos es considerar a la población cerrada, es decir, no existen migraciones. También supone que la tasa de crecimiento es independiente de la densidad, es decir, es denso independiente. Otro supuesto es que no existe ningún factor limitante, por lo que la población crece sin considerar la capacidad de carga del sistema, lo que podría reflejarse en la sobreestimación del tamaño poblacional en el largo plazo. Las limitantes en el desarrollo de modelos numéricos para el manejo siempre ha sido la falta de información (Cardona y Hurtado, 2000). Sin embargo, los modelos conceptuales y numéricos nos ayudan a analizar las posibles incertezas.

Desarrollar modelos poblacionales iniciales bajo supuestos manejables en base a la información existente (sin datos de capacidad de carga por ejemplo), son una base para



construir y desarrollar escenarios de manejos, así como para poner de manifiesto la información necesaria a recopilar en estudios de terreno. Los modelos ecológicos en este tipo de problemática son de gran utilidad, ya que permiten una representación iconográfica de la realidad que facilita el estudio sistémico de lo que ocurre en la naturaleza. Por otro lado, sirve como herramienta de comunicación entre diversos actores al ser una descripción gráfica del sistema bajo estudio, lo cual puede ser de utilidad a la hora de entender la dinámica del sistema. Por medio de las simulaciones es posible generar escenarios futuros, lo que resulta importante al considerar qué esfuerzo de captura es necesario para controlar la especie y por ende cuántos recursos financieros se requerirían.

Finalmente, este estudio complementa los resultados anteriores existentes de *Castor canadensis* en Tierra del Fuego y contribuye con una perspectiva sistémica y dinámica al manejo de la población de esta especie, que eventualmente podría ser considerado en la toma de decisiones a nivel local.



## 5. REFERENCIAS

- Aguirre, A., Mendoza, R. 2009. Especies exóticas invasoras: impactos sobre las poblaciones de flora y fauna, los procesos ecológicos y la economía, en Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, México, pp. 277-318.
- Angelini, R. & Petreire Jr. M. 2000. A model of the plankton system of the Bro reservoir, São Carlos, Brazil. *Ecological Modelling* 126: 131-137.
- Aleksiuk, M. 1968. The Metabolic Adaptation of the Beaver (*Castor canadensis*, Kuhl) to the Arctic energy regime. A Thesis for the degree of Doctor, Department of Zoology. University of British Columbia.
- Allen, A. W. 1983. Habitat suitability index models: Beaver. (FWS/OBS-82/10.30, rev.). U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service.
- Anderson, C.B., Griffith, C., Rosemond, A., Rozzi, R. & Dollenz, O. 2006. The effects of invasive North American beavers on riparian plant communities in Cape Horn, Chile. *Biological Conservation* 128: 467-474.
- Anderson, C.B., & Rosemond, A., 2007. Ecosystem engineering by invasive exotic beavers reduces in-stream diversity and enhances ecosystem function in Cape Horn, Chile. *Oecologia* 154:141-153.
- Anderson, C.B., Martínez, G., Lencinas, M.V., Wallem, P.K., Moorman, M.C., Rosemond, A.M. 2008. Do introduced North American beavers *Castor Canadensis* engineer differently in southern South America? An overview with implications for restoration. *Mammal Rev* Doi: 10.1111/j.1365-2907.2008.00136.x
- Arismendi, I., Szejner, P., Lara, A. & González, M.E. 2008. Impacto del castor en la estructura de Bosques ribereños de *Nothofagus pumilio* en Tierra del Fuego, Chile. *Bosque* 29(2): 146-154.
- Bachmann, P.L. 2009. Comparación de la exportación de Nitrógeno desde un ecosistema Forestal versus un Ecosistema Pastoril, a través de la aplicación de Modelos de Simulación. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias Biológicas con mención en Ecología y Biología Evolutiva. Facultad de Ciencias. Universidad de Chile.
- Baker, B.W. & Hill, E.P. 2003. Beaver (*Castor canadensis*). Pages 288-310 in G. A. Feldhamer, B. C. Thompson, and J. A. Chapman, editors. *Wild Mammals of North America: Biology, Management, and Conservation*. Second Edition. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, USA.
- Baldini, A., Oltrmari, J., Ramirez, M. 2008. Impacto del castor (*Castor canadensis*, Rodentia) en bosques de lenga (*Nothofagus pumilio*) de Tierra del Fuego, Chile. *Bosque* 29 (2):162-169.

Begon, M., Mortimer, M., & Thompson, D.J. 2009. Population Ecology: A Unified Study of Animals and Plants. Blackwell Publishing. 3ª edición. 256 p

Bently Wigley, T., Roberts, T.H., Arner, D.H. 1983. Reproductive Characteristics of Beaver in Mississippi. The Journal of Wildlife Management. 47(4): 1172-1177.

Bloomquist, C.K. & Nielsen, C.K. 2010. Demography of Unexploited Beavers in Southern Illinois. Journal of Wildlife Management. 74(2): 228-235.

Bolen, E. & Robinson, W. 1995. Wildlife Ecology and Management. 3ª ed. Prentice Hall, Inc. New Jersey. 620 pp.

Brenner, F.J. 1964. Reproduction of the Beaver in Crawford County, Pennsylvania. The Journal of Wildlife Management. 28(4): 743-747.

Busher, P.E. 1987. Population Parameters and Family Composition of Beaver in California. Journal of Mammalogy. 68(4): 860-864.

Cattan, P.A. & J. Yañez. 2000. Mamíferos exóticos en Chile. En: Muñoz, P.A. y Yañez V, J. Mamíferos de Chile. Valdivia, Chile. CEA Ediciones.

Cardona, O.D & Hurtado J.E. 2000. Holistic seismic risk estimation of a metropolitan center: Application for Bogotá, Colombia. Proceedings 12WCEE, Auckland, New Zealand.

Comisión Nacional del Medio Ambiente. Conama 2002. Diagnóstico y Propuesta para la conservación de la biodiversidad en la Región de Magallanes y Antártica Chilena. Punta Arenas, Chile.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. CONABIO. 2010. Estrategia nacional sobre especies invasoras en México, prevención, control y erradicación. Comisión Nacional de Áreas Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

Cooke, H.A. & Zack, S. 2008. Influence of Beaver Dam Density on Riparian Areas and Riparian Birds in Shrubsteppe of Wyoming. Western North American Naturalist 68 (3) 365-373.

Corcoran, D., Graells, G., Wallem, P., Jaksic, F. (Datos no publicados). The performance of beavers in three different environments in Tierra del Fuego, Chile, and its consequences in determining the invasion mechanism for beavers.

Dames & Moore Group Company, 1997. Estudio de Impacto Ambiental "Proyecto Río Cóndor"- Forestall Trillium Ltda. Informe Técnico, Conama, Chile.

Delgado, L.E. y V.H. Marín. 2005. FES-sistemas: un concepto para la incorporación de las sociedades humanas en el análisis medioambiental en Chile. Revista Ambiente y Desarrollo 21(3) 18-22.

Delgado, L. & Serey, I. 2002. Distribución del cobre en ecosistemas forestales de tipo mediterráneo. *Revista Chilena de Historia Natural* 75 (3): 557-565.

Destefano, S., Koenen K.K.G., Henner, C.M. & Strules, J. 2006. Transition to independence by subadult beavers (*Castor Canadensis*) in an unexploited, exponentially growing population. *Journal of Zoology*. DOI:10.1111/j.1469-7998.2006.00160.x

Dieter, D. 1992. Population Characteristics of Beavers in Eastern South Dakota. *American Midland Naturalist*. 128: 191-196.

Etchegaray, P., 2009. EXPLORA la naturaleza de Magallanes. Guía de trabajo para estudiantes y docentes de enseñanza básica, realizado por Wildlife Conservation Society-Chile, EXPLORA CONICYT. Santiago de Chile, 134 p.

Fasanella, M. 2012. Variabilidad genética espacial y ecología molecular en dos especies de roedores del Archipiélago de Tierra del Fuego: *Ctenomys magellanicus*, especie nativa y *Castor canadensis*, especie invasora. Tesis para optar al título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires en el área Ciencias Biológicas. Argentina.

Fryxell, J.M. 2001. Habitat suitability and source-sink dynamics of beavers. *Journal of Animal Ecology*. 70: 310-316.

Fundación InnovaT. 2008. Estudio de Factibilidad de erradicar el castor americano (*Castor canadensis*) en la Patagonia. Informe Final. Buenos Aires. Argentina.

Gertseva, V. V., Schindler, J. E., Gertsev, V. I., Ponomarev, N. Y. & English, W. R. 2000. A simulation model of the dynamics of aquatic macroinvertebrate communities. *Ecological Modelling* 176:173-186.

Henry, D.B. & Bookhout, T.A. 1969. Productivity of Beavers in Northeastern Ohio. *The Journal of Wildlife Management*. 33(4): 927-932.

Hodgdon, K.W. 1949. Productivity Data from Placental Scars in Beavers. *The Journal of Wildlife Management*. 13(4): 412-414.

Hodgdon, H. E., & R. A. Lancia. 1983. Behavior of the North American beaver, *Castor canadensis*. *Acta Zoologica Fennica* 174:99-103.

Huffaker, R.G.1992. Optimal Trapping Strategies for Diffusing Nuisance-Beaver Populations. *Natural Resource Modeling* 6:71-97.

Huntley, M.E., Marin, V., Escritor, F., 1987. Zooplankton grazers as transformers of ocean optics: A dynamic model. *Journal of Marine Research*. 45:911-945.

Iturraspe, R., & Urciuolo, A. 2000. Clasificación y Caracterización de las Cuencas Hídricas de Tierra del Fuego. *Anales del XVIII Congreso Nacional del Agua, Santiago del Estero, Argentina*.

Jackson, L.J., Trebitz, A. S., Cottingham, K.L. 2000. An introduction to the practice of ecological modeling. *Bioscience* 50 (8): 694-706.

Jaksic, F. 1998. Vertebrate invaders and their ecological impacts in Chile. *Biodiversity and Conservation* 7:1427-1445.

Jenkins, S.H. & Busher, P.E. 1979. *Castor canadensis*. *Mammalian species* 120:1-8

Jorgensen, S. E. y Bendoricchio, G. 2001. *Fundamentals of Ecological Modelling*. Elsevier, 3rd Edition. 530 pp.

Jorgensen, S. 1992 *Integration of ecosystem theories*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. The Netherlands. 383 pp.

Larson, J.S. 1967. Age Structure and Sexual Maturity within a Western Maryland Beaver (*Castor Canadensis*) Population. *Journal of Mammalogy*. 48 (3): 408-413.

Leege, T.A. & Williams, R.M. 1967. Beaver Productivity in Idaho. *The Journal of Wildlife Management*. 31(2): 326-332.

Lizarralde, M.S. & Venegas, C. 2001. El castor: un ingeniero exótico en las tierras más australes del planeta. En: Primack, R., Rozzi, R., Feinsinger, P., Dirzo, R. & Massardo, F. *Fundamentos de Conservación Biológica: Perspectivas Latinoamericanas*. pp. 231-232. Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México.

Lizarralde, M.C. 1993. Current status of the introduced Beaver (*Castor canadensis*) population in Tierra del Fuego, Argentina. *Ambio* 22:351-358.

Lizarralde, M.C., Escobar, J., Deferrari, G. 2004. Invader species in Argentina: A Review about the Beaver (*Castor Canadensis*) Population Situation on Tierra del Fuego Ecosystem. *Interciencia* 29: 352-356.

Lizarralde, M.C. 2007. Assessing genetic variation and population structure of invasive North American beaver (*Castor Canadensis* Kuhl, 1820) in Tierra del Fuego (Argentina). *Biological Invasions*. DOI 10.1007/s10530-007-9161-6.

Lizarralde, M.C. 2008. El castor austral. *Investigación y Ciencia* 379:58-64.

Long, K. 2000. *Beavers: a wildlife handbook*. Johnson Publishing Company, Boulder, Colorado. 181 pp.

Lowe, S., Browne, M., Boudjelas, S., De Poorter, M. 2004. 100 de las Especies Exóticas Invasoras más dañinas del mundo. Publicado por el Grupo Especialista de Especies Invasoras (GEEI), un grupo especialista de la Comisión de Supervivencia de Especies (CSE) de la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN), 12pp. Primera edición, en inglés, sacada junto con el número 12 de la revista *Aliens*, Diciembre 2000. Versión traducida y actualizada: Noviembre 2004.

Mack, R.N., Simberloff, D., Lonsdale, W.M., Evans, H., Clout, M., & Bazzaz, F.A. 2000. Bioitic invasions: causes, epidemiology, global consequences and control. *Ecological Applications* 10: 689-710.

Mann, A. 2008. Vertebrados dañinos en Chile: desafíos y perspectivas. Actas del seminario taller. 8 de enero de 2008. Santiago, Chile. Universidad Santo Tomás. 109 pp.

Marín, V.H. 1997. General system theory and the ecosystem concept. *Bulletin of the Ecological Society of America* 78: 102-104.

Marín, V. H. 1997. A simple-biology, stage-structured population model of the spring dynamics of *Calanus chilensis* at Mejillones del Sur Bay, Chile. *Ecological Modelling* 105:65-82

Marín, V.H. & Delgado, L.E. 2008. Modelos Conceptuales en Ecología de ecosistemas: descubriendo al elefante. *Revista Chilena de Historia Natural* 81: 437-439.

Marín, V-H., Rodríguez, L. C. & Niemeyer, H. M. 2012. A socio-ecological model of the *Opuntia* scrublands in the Peruvian Andes. *Ecological Modelling* 227:136-146.

Martínez-Pastur, G., Lencinas, V., Escobar, J., Quiroga, P., Malmierca, L., & Lizarralde, M. 2006. Understory succession in *Nothofagus* forests in Tierra del Fuego (Argentina) affected by *Castor canadensis*. *Applied Vegetation Science* 9: 143- 154.

Massoia, E., & Chebez, J.C. 1993. Mamíferos silvestres del archipiélago fueguino. Editorial LOLA, Buenos Aires.

McTaggart, S.T. & Nelson, T.A. 2003. Compositions and Demographics of Beaver (*Castor canadensis*) Colonies in Central Illinois. *American Midland Naturalist*. 150 (1): 139-150.

Ministerio del Medio Ambiente. 2012. Ficha de la especie *Castor canadensis*. Documento descargado desde:  
<http://especies.conama.cl/CNMWeb/Web/WebCiudadana/ficha.aspx?EspecieId=139&Version=1>

Moorman, 2007. The Conservation Implications of Introduced Trout and Beaver on Native Fish in the Cape Horn Biosphere Reserve, Chile. Tesis (Mg. Sc.) North Carolina State University.

Nolet, B.A. & Rosell, F. 1998. Comeback of the beaver *Castor fiber*: an overview of old and new conservation problems. *Biological Conservation*. 83: 165-173.

Novak, M. 1977. Determining the Average Size and Composition of Beaver Families. *The Journal of Wildlife Management*. 41(4): 751-754.

Novak, M., Baker, J. A., Obbard, M. E. & Malloch, B. 1987. Wild furbearer management and conservation in North America. Ontario Trappers Association and Ontario Ministry of Natural Resources. *Beaver*. Pages 283–312.

O'Neill, R.V., De Angelis, D.L., Waide, J.B., Allen, T.F.H. 1986. A hierarchical concept of ecosystems. Princeton University Press. 253 pp.

Odum, E.P. 1985. Fundamentos de ecología. Ed. Interamericana, México. 422 pp.

Oreskes, N., Shrader-Frechette, K., Belitz, K. 1994. Verification, validation, and confirmation of numerical models in the earth sciences. *Science* 263: 641-646.

Pace, M.L. 2003. The utility of simple models in ecosystem science. In: *Models in ecosystem science*. Canham, C.; Cole, J.; Lauenroth, W. Editors. Princeton University Press.

Parysow, P. y Gertner, G. 1997. Virtual experimentation: conceptual models and hypothesis testing of ecological scenarios. *Ecological Modelling* 98: 59-71.

Paine, R. T. 1969. A note on trophic complexity and community stability. *American Naturalist* 103:91-93.

Parker, J.P., Paulson, J., Donlan, C.J., Campbell, K. 2008. Control of North American Beavers in Tierra del Fuego: Feasibility of Eradication and Alternative Management Options. Landcare Research Contract Report: LC0708/084.

Patric, E.F. & Webb, W.L. 1960. An Evaluation of Three Age Determination Criteria in Live Beavers. *The Journal of Wildlife Management*. 24(1): 37-44.

Payne, N.F. 1982. Colony Size, Age, and Sex Structure of Newfoundland Beaver. *The Journal of Wildlife Management*. 46 (3): 655-661.

Payne, N.F. 1984. Mortality Rates of Beaver in Newfoundland. *The Journal of Wildlife Management*. 48(1): 117-126.

Payne, N.F. 1989. Population Dynamics and Harvest Response of Beaver. Fourth Eastern Wildlife Damage Control Conference, 1989. Paper 33: 127-134.

Power, M. E., Tilman, D., Estes, J. A., Menge, B. A., Bond, W. J., Mills, L. S., Gretchen, D., Castilla, J. C., Lubchenco, J., & Paine, R. T. 1996. Challenges in the quest for keystones. *BioScience*. 46: 609-620.

Rabassa, J., Coronato, A., Bujalesky, G., Roig, C., Salemme, M., Meglioli, A., Heusser, C., Gordillo, S., Borromei, A. Yquattrocchio, M. 2000. Quaternary of Tierra del Fuego, Southern most South America: an up dated review. *Quaternary International* 68-71: 217-240.

Ramadori y col., 2009. Castor Americano (*Castor canadensis*) una gran amenaza para los ecosistemas patagónicos. *Biológica* 10:33-37.

Repetto, F. 2009. Abriendo caminos para la Conservación en la Patagonia: Restauración ecológica y Desarrollo Social en caminos públicos dentro de áreas protegidas: El Modelo de Karukinka (Tierra del Fuego). Tesis para optar al Título de Máster en Restauración de

Ecosistemas, Universidad de Alcalá, Universidad Complutense de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid & Universidad Rey Juan Carlos- España.

Rosell, F., Bozsér, O., Collen, P., Parker, H. 2005. Ecological impact of beavers *Castor fiber* and *Castor Canadensis* and their ability to modify ecosystems. *Mammal Rev* 35: 1-29.

Rozzi, R., F. Massardo & C. Anderson. 2002. La Reserva de Biosfera Cabo de Hornos. Una propuesta de Conservación y Turismo para el Desarrollo Sustentable en el Extremo Austral de América. Edición bilingüe español-inglés. Ediciones Universidad de Magallanes. Punta Arenas. Chile, pp. 205-229.

Rykiel, E.J. 1996. Testing ecological models: the meaning of validation. *Ecological Modelling* 90:229-244.

Saavedra, B. 2006. Karukinka, nuevo modelo para la conservación de biodiversidad. *Revista Ambiente y Desarrollo* 22(1):22-27.

Servicio Agrícola y Ganadero, SAG. Ley 19.473/1996, de Caza, y DS 05/98, Reglamento de la Ley de Caza, Cartilla para Cazadores, Impresos SAG, 84pp.

Servicio Agrícola y Ganadero. SAG. 2006. Programa Control de Fauna Dañina en la XII Región. Informe Final SAG-FONDEMA.

Servicio Agrícola y Ganadero, Magallanes y Antártica Chilena, SAG. 2006. Informe de Gestión 2005. Programa "Control de fauna dañina en la XII Región-2004-2006", Punta Arenas, Chile. 45 pp.

Sielfeld, W. & Venegas, C. 1980. Poblamiento e impacto ambiental del *Castor canadensis* Kuhl en la isla Navarino, Chile. *Anales del Instituto de la Patagonia* 11: 247-257.

Silva, C.A. & Saavedra, B. 2008a. Knowing for controlling: ecological effects of invasive vertebrates in Tierra del Fuego. *Revista Chilena de Historia Natural* 81: 123-136.

Silva, C.A & Saavedra, B. (2008b) Actas del Taller Internacional para el Control de Castores en la Patagonia. Edición digital. Wildlife Conservation Society - Chile. Copias disponibles en: <http://www.karukinkanatural.cl>

Simonetti, J.A., Arroyo, M.T.K., Spotorno, A.E. & Lozada, E. (eds).1995.Diversidad biológica de Chile. Santiago. Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica.

Skewes, O., González, F., Rubilar, L., Quezada, M., Olave, R., Vargas, V., & Ávila, A. 1999. Investigación, aprovechamiento y Control del Castor (*Castor canadensis*) en las islas Tierra del Fuego y Navarino. Informe Final. Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) XII Regional, Magallanes y Antártica Chilena. 200 pp.

Slough, B. G., & Sadleir, R. M. F. S. 1977. A land capability classification system for beaver (*Castor canadensis* Kuhl). *Canadian Journal of Zoology* 55:1324-35.



Soto, N. 2006. Construcción de un Índice de Calidad de Hábitat para *Castor canadensis* (Kuhl 1820, Rodentia) en la Región de Magallanes, Chile. Tesis presentada para optar al título de Master en Biología de la Conservación. Universidad Internacional de Andalucía. Punta Arenas, Chile.

Stohlgren, T.J., Otsuki, Y., Villa, C.A., Lee, M., & Belnap, J. 2001. Patterns of plant invasions: A case example in native species hotspots and rare habitats. *Biological Invasions* 3(1):37-50.

Svendsen, G.E. 1980. Population parameters and colony composition of Beaver (*Castor canadensis*) in southeast Ohio. *Am. Midl. Nat.* 104 (1): 47-56.

Sykes, MT. 2001. Modelling the potential distribution and community dynamics of lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl. ex. Loud.) in Scandinavia. *Forest Ecology and Management* 141:69-84.

Swenson, J. E., Knapp, S. J., Martin, P. R., & Hinz, T. C. 1983. Reliability of Aerial Cache Surveys to Monitor Beaver Population Trends on Prairie Rivers in Montana. *The Journal of Wildlife Management.* 47 (3): 697-703.

Tuhkanen, S. 1992. The climate of Tierra del Fuego from a vegetation geographical point of view and its ecoclimatic counterparts elsewhere. *Acta Botánica Fennica.* 145: 1-64.

Wallem, P.K., Jones, C.G., Marquet, P.A., & Jaksic, F.M., 2007. Identificación de los mecanismos subyacentes a la invasión de *Castor canadensis* (Rodentia) en el archipiélago de Tierra del Fuego, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 80: 309-325.

Wang, Q., Jørgensen, S. E., Jianjian, L., Nielsen, S. N. & Zhang, J. 2013. A model of vegetation dynamics of *Spartina alterniflora* and *Phragmites australis* in an expanding estuarine wetland: Biological interactions and sedimentary effects. *Ecological Modelling* 250:185-204.

Welch, D.K., Robel, R.J., Fox, L. B. 1993. Age Structure and Reproductive Activity in a Kansas Beaver Population. *Transactions of the Kansas Academy of Science.* 96 (3): 186-195.

Williamson, M. 1996. *Biological invasions.* Chapman and Hall. London. UK. 244 p.

## 6. ANEXOS

**Anexo 1: Listado de expertos y/o conocedores del tema de castor entrevistados para la validación del modelo conceptual de la dinámica de población de la especie.** Se presenta el nombre del entrevistado, organismo al que pertenece y el cargo que cumple. Además se muestran los elementos que agregaron o quitaron al modelo conceptual planteado y se mencionan los comentarios respectivos de cada uno de ellos.

	Nombre	Organismo	Cargo	Componentes Adicionados	Componentes Sustraídos	Comentarios
1	Nicolás Soto	SAG Magallanes	Encargado RRNN	Alimento y hábitat	K1, K2 y K3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Población cerca de su capacidad de carga (k)</li> <li>• Agua y alimento son recursos vitales</li> <li>• Mortalidad en crías baja</li> </ul>
2	José Luis Cabello	SAG Magallanes	Coordinador de Fauna	Recurso Agua y herbáceo	K1, K2 y K3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mortalidad en crías baja</li> <li>• Los juveniles a los 2 años migran</li> </ul> <p>Juveniles pueden tener madurez sexual</p>
3	Daniel Antúnez	SAG Magallanes	Coordinador regional de SIG	Turberas	Sin comentarios	Los sitios en donde se ha encontrado la especie son bosque, turberas y pampas.
4	Alejandra Silva	CONAF Magallanes	Encargada Regional del Programa de Biodiversidad (Dpto. de Áreas Silvestres Protegidas)	Pampa	Sin comentarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caza está más dirigida a los adultos</li> <li>• Su hábitat abarca bosques y pampas</li> <li>• Tasa de reproducción depende de las condiciones ambientales</li> </ul> <p>Recurso Hídrico importante como refugio</p>

	Nombre	Organismo	Cargo	Componentes Adicionados	Componentes Sustraídos	Comentarios
5	Giorgia Graells	PUC	Investigador	Sobrevida de los adultos al otro año	Hembras adultas	<ul style="list-style-type: none"> <li>En el Parque Karukinka hay una densidad menor de castores por la caza</li> <li>Las hembras maduran antes por la presión de la caza</li> </ul>
6	Claudio Moraga	WCS	Médico veterinario/Investigador	Alimento y hábitat conectados a K	k1, k2 y k3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Juveniles migran y son los más cazados</li> <li>Hembras tienen de 2 a 3 crías</li> </ul> <p>Dato de número de individuos por colonias no está para el parque Karukinka</p>
7	Nelly Núñez	Ministerio del Medio Ambiente	Directora SEA (2010)	Sin comentarios	Sin comentarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recurso hídrico es importante</li> <li>Importancia de realizar un control</li> </ul> <p>No es tema dentro del manejo de especies invasoras para el MMA.</p>
8	Miguel Millán	WCS	Guarda parques WCS	Sin comentarios	Sin comentarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los juveniles son los que migran y por lo mismo son los más expuestos a la caza</li> <li>Reocupación de castoreras</li> </ul> <p>Distintos productos del castor</p>

	Nombre	Organismo	Cargo	Componentes Adicionados	Componentes Sustraídos	Comentarios
9	Custodio Millán	WCS	Guarda parques WCS	Sin comentarios	Sin comentarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Productos elaborados a partir del cuero de castor</li> <li>• La estrategia de romper la castoreña no funciona porque la rearmen en una noche.</li> <li>• Se ha observado reocupación de castoreras</li> <li>• Se han observado castores muertos en invierno por las condiciones climáticas</li> <li>• Han ampliado su hábitat.</li> </ul> <p>Una familia puede tener más de un dique y cada una de ellas con su casa</p>

	Nombre	Organismo	Cargo	Componentes Adicionados	Componentes Sustraídos	Comentarios
10	Mauricio Chacón	WCS	Jefe de Guardaparques WCS	Sin comentarios	Sin comentarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hembras pueden tener de 2 a 4 crías</li> <li>Mortalidad alta en juveniles por migración de la colonia</li> <li>Invierno no hay caza por las condiciones climáticas</li> <li>Uso de piel y carne como productos.</li> <li>Incentivo financiero para los cazadores de la zona</li> </ul> Reproducción desde el año hasta su muerte.
11	Derek Corcoran y col.,	PUC	Investigador	Sobrevida de los adultos al otro año	Sin comentarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fertilidad se mide por conteo de crías, cicatrices uterinas y conteos de cuerpos blancos.</li> </ul> Con colección de cráneos se puede medir sobrevivencia
12	Martín C. Funes	WCS	Coordinador general en WCS / Investigador	Sin comentarios	Sin comentarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>Caza de Crías muy baja</li> <li>Madurez sexual variable en adultos</li> <li>Agua y bosque ribereño importantes como recursos</li> </ul>

	Nombre	Organismo	Cargo	Componentes Adicionados	Componentes Sustraídos	Comentarios
13	Marta Lizarralde	CONICET, Argentina	Investigadora	Sin comentarios	Sin comentarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>El uso de trampas es selectivo</li> </ul> Mortalidad natural asociada al proceso de migración de los juveniles
14	Petra Wallem	CASEB/PUC	Investigadora	Sin comentarios	Sin comentarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>Considerar Inmigraciones</li> </ul> Reservorio único de Adultos
15	Oscar Skewes	U. de Concepción	Profesor Asociado, Fac. de Medicina Veterinaria	Sin comentarios	Sin comentarios	Datos de Peso y Morfometría de castores para obtener estimación de tasa de caza.
16	Fernanda Menvielle	Parques Nacionales, Argentina	Administración de Parques	Sin comentarios	Sin comentarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>Justificar la población cerrada</li> </ul> ¿El modelo apunta a una caza más dirigida según estadios?
17	Adrián Schiavini	CONICET/CADIC/ WCS-Argentina	Director CADIC, investigador	Sin comentarios	Sin comentarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reservorio único de Adultos</li> </ul> Tasas de caza diferenciales por clase de edad
18	Christopher Anderson	OMORA/UMAG Punta Arenas	Profesor adjunto parque Etnobotánico OMORA	Sin comentarios	Sin comentarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>Buscar patrones poblacionales generales para Tierra del Fuego.</li> </ul> Revisión Literatura Norteamericana, varía la respuesta del ecosistema

	Nombre	Organismo	Cargo	Componentes Adicionados	Componentes Sustraídos	Comentarios
19	Julio Escobar	CONICET, Argentina	Profesional principal CONICET/CADIC	Sin comentarios	Sin comentarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El bosque alberga una alta densidad de individuos a diferencia de otros ambientes.</li> <li>• Recuperación de las áreas impactadas a lo largo del tiempo.</li> </ul> <p>Tiempo de trabajo aprox. 15 años</p>
20	Sergio Opazo	Universidad de Magallanes	Docente de la Facultad de Ciencias	Convertidor: Alimento y Hábitat	k1, k2 y k3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ver influencia de parámetros ambientales</li> </ul> <p>A quien está dirigido el control (crías, juveniles o adultos).</p>

**Anexo 2: Codificación Stella Modelo Numérico de la Población de Castor canadensis en Tierra del Fuego.**

INFLOWS:

Nacimientos = nc\_total

OUTFLOWS:

Supv\_1 = Cls\_1\*Prob\_Supv\_1

Mort\_1 = Cls\_1\*Prob\_Mort\_1

Cls\_10(t) = Cls\_10(t - dt) + (Supv\_9 - Supv\_10 - Mort\_10) \* dt

INIT Cls\_10 = 0

INFLOWS:

Supv\_9 = Cls\_9\*Prob\_Supv\_9

OUTFLOWS:

Supv\_10 = Cls\_10\*Prob\_Supv\_10

Mort\_10 = Cls\_10\*Prob\_Mort\_10

Cls\_11(t) = Cls\_11(t - dt) + (Supv\_10 - Supv\_11 - Mort\_11) \* dt

INIT Cls\_11 = 0

INFLOWS:

Supv\_10 = Cls\_10\*Prob\_Supv\_10

OUTFLOWS:

Supv\_11 = Cls\_11\*Prob\_Supv\_11

Mort\_11 = Cls\_11\*Prob\_Mort\_11

Cls\_12(t) = Cls\_12(t - dt) + (Supv\_11 - Mort\_12) \* dt

INIT Cls\_12 = 0

INFLOWS:

Supv\_11 = Cls\_11\*Prob\_Supv\_11

OUTFLOWS:

Mort\_12 = Cls\_12\*Prob\_Mort\_12

Cls\_2(t) = Cls\_2(t - dt) + (Supv\_1 - Supv\_2 - Mort\_2) \* dt

INIT Cls\_2 = 0

INFLOWS:

Supv\_1 = Cls\_1\*Prob\_Supv\_1

OUTFLOWS:

Supv\_2 = Cls\_2\*Prob\_Supv\_2

Mort\_2 = Cls\_2\*Prob\_Mort\_2

Cls\_3(t) = Cls\_3(t - dt) + (Supv\_2 - Supv\_3 - Mort\_3) \* dt

INIT Cls\_3 = 0

INFLOWS:

Supv\_2 = Cls\_2\*Prob\_Supv\_2

OUTFLOWS:

Supv\_3 = Cls\_3\*Prob\_Supv\_3

Mort\_3 = Cls\_3\*Prob\_Mort\_3

Cls\_4(t) = Cls\_4(t - dt) + (Supv\_3 - Supv\_4 - Mort\_4) \* dt

INIT Cls\_4 = 50

INFLOWS:

Supv\_3 = Cls\_3\*Prob\_Supv\_3

OUTFLOWS:

Supv\_4 = Cls\_4\*Prob\_Supv\_4

Mort\_4 = Cls\_4\*Prob\_Mort\_4



$Cl_s_5(t) = Cl_s_5(t - dt) + (Supv_4 - Supv_5 - Mort_5) * dt$   
 INIT  $Cl_s_5 = 0$   
 INFLOWS:  
 $Supv_4 = Cl_s_4 * Prob\_Supv_4$   
 OUTFLOWS:  
 $Supv_5 = Cl_s_5 * Prob\_Supv_5$   
 $Mort_5 = Cl_s_5 * Prob\_Mort_5$   
 $Cl_s_6(t) = Cl_s_6(t - dt) + (Supv_5 - Supv_6 - Mort_6) * dt$   
 INIT  $Cl_s_6 = 0$   
 INFLOWS:  
 $Supv_5 = Cl_s_5 * Prob\_Supv_5$   
 OUTFLOWS:  
 $Supv_6 = Cl_s_6 * Prob\_Supv_6$   
 $Mort_6 = Cl_s_6 * Prob\_Mort_6$   
 $Cl_s_7(t) = Cl_s_7(t - dt) + (Supv_6 - Supv_7 - Mort_7) * dt$   
 INIT  $Cl_s_7 = 0$   
 INFLOWS:  
 $Supv_6 = Cl_s_6 * Prob\_Supv_6$   
 OUTFLOWS:  
 $Supv_7 = Cl_s_7 * Prob\_Supv_7$   
 $Mort_7 = Cl_s_7 * Prob\_Mort_7$   
 $Cl_s_8(t) = Cl_s_8(t - dt) + (Supv_7 - Supv_8 - Mort_8) * dt$   
 INIT  $Cl_s_8 = 0$   
 INFLOWS:  
 $Supv_7 = Cl_s_7 * Prob\_Supv_7$   
 OUTFLOWS:  
 $Supv_8 = Cl_s_8 * Prob\_Supv_8$   
 $Mort_8 = Cl_s_8 * Prob\_Mort_8$   
 $Cl_s_9(t) = Cl_s_9(t - dt) + (Supv_8 - Supv_9 - Mort_9) * dt$   
 INIT  $Cl_s_9 = 0$   
 INFLOWS:  
 $Supv_8 = Cl_s_8 * Prob\_Supv_8$   
 OUTFLOWS:  
 $Supv_9 = Cl_s_9 * Prob\_Supv_9$   
 $Mort_9 = Cl_s_9 * Prob\_Mort_9$   
 $Prob\_Mort_1 = 0.031$   
 $Prob\_Mort_{10} = 0.333$   
 $Prob\_Mort_{11} = 0.500$   
 $Prob\_Mort_{12} = 1$   
 $Prob\_Mort_2 = 0.302$   
 $Prob\_Mort_3 = 0.295$   
 $Prob\_Mort_4 = 0.516$   
 $Prob\_Mort_5 = 0.267$   
 $Prob\_Mort_6 = 0.091$   
 $Prob\_Mort_7 = 0.300$   
 $Prob\_Mort_8 = 0.143$   
 $Prob\_Mort_9 = 0.500$   
 $Prob\_Supv_1 = 0.969$   
 $Prob\_Supv_{10} = 0.667$

Prob\_Supv\_11 = 0.50  
 Prob\_Supv\_2 = 0.698  
 Prob\_Supv\_3 = 0.705  
 Prob\_Supv\_4 = 0.484  
 Prob\_Supv\_5 = 0.733  
 Prob\_Supv\_6 = 0.909  
 Prob\_Supv\_7 = 0.700  
 Prob\_Supv\_8 = 0.857  
 Prob\_Supv\_9 = 0.5  
 Fec\_1 = 1.25  
 Fec\_10 = 2.63  
 Fec\_11 = 2.63  
 Fec\_2 = 0.61  
 Fec\_3 = 0.82  
 Fec\_4 = 0.66  
 Fec\_5 = 2.63  
 Fec\_6 = 1.75  
 Fec\_7 = 0  
 Fec\_8 = 0.87  
 Fec\_9 = 2.63  
 nc1 = (Cls\_2/2)\*Fec\_1  
 nc2 = (Cls\_3/2)\*Fec\_2  
 nc3 = (Cls\_4/2)\*Fec\_3  
 nc4 = (Cls\_5/2)\*Fec\_4  
 nc5 = (Cls\_6/2)\*Fec\_5  
 nc6 = (Cls\_7/2)\*Fec\_6  
 nc9 = (Cls\_10/2)\*Fec\_9  
 nc\_10 = (Cls\_11/2)\*Fec\_10  
 nc\_11 = (Cls\_12/2)\*Fec\_11  
 nc\_7 = (Cls\_8/2)\*Fec\_7  
 nc\_8 = (Cls\_9/2)\*Fec\_8  
 nc\_total = nc1+nc2+nc3+nc4+nc5+nc6+nc9+nc\_10+nc\_11+nc\_7+nc\_8  
 Poblacion\_Total = Total\_Adultos+Total\_crias+Total\_Juv  
 Total\_Adultos = (Cls\_10+Cls\_11+Cls\_12+Cls\_4+Cls\_5+Cls\_6+Cls\_7+Cls\_8+Cls\_9)  
 Total\_crias = Cls\_1  
 Total\_Juv = Cls\_3+Cls\_2

**Anexo 3: Tabla con datos brutos de fetos y cicatrices uterinas por hembras de cada edad.** Se observa que durante el periodo de muestreo se encontraron 7 fetos, 64 cicatrices uterinas y 27 hembras. A partir de estos datos se obtuvo la Fecundidad Anual, la cual arrojó un valor de 2.63 crías/hembra. Este valor fue asignado a cada edad multiplicándolo por la razón de hembras en el total de castores de esa edad. Cabe destacar que para la edad de un año, ya que las hembras no son reproductoras, se asignó el valor de 0 al momento de ingresar el valor al modelo.

Edad	Total castores	Hembras	Fetos	CIC_UT	Hembra/Total cast.	Fec. por estadio
1	2	2	0	0	1,00	2,63
2	19	9	0	13	0,47	1,25
3	13	3	3	10	0,23	0,61
4	16	5	0	14	0,31	0,82
5	4	1	0	3	0,25	0,66
6	1	1	0	5	1,00	2,63
7	3	2	4	7	0,67	1,75
8	1	0	0	0	0,00	0,00
9	3	1	0	3	0,33	0,88
10	1	1	0	4	1,00	2,63
11	1	1	0	2	1,00	2,63
12	1	1	0	3	1,00	2,63
Totales	65	27	7	64		
Fec. Anual= (7+64)/27=2,63						

### Anexo 4. Ejemplo de Planillas de caza facilitadas por SAG.

Nombre Trampero	N° PRD C	N°	Días que estuvo la trampa instalada	Fecha			Testimonio				Lugar			Peso Kg	Sexo		Edad			
				Día	Mes	Año	Piel	Sello	Cola	Sello	Sector	Río	Laguna		Campo	M	H	Cria	Juv	Ad
Trampero	PRD C	Cantidad		Testimonio																
Nombre Trampero	Numero	N°	Días que estuvo instalada la trampa	Fecha			Testimonio				Lugar			Peso Kg	Sexo		Edad			N° Sello
				Día	Mes	Año	Piel	Cola	Ea	Campo	Río	Laguna	M		H	Cria	Juv	Ad		
Pedro Paredes	16	1		1	8	2005	1	1	Vicuña				25						1	
Pedro Paredes	16	2		1	8	2005	1	1	Vicuña				25						1	
Pedro Paredes	16	3		1	8	2005	1	1	Vicuña				25						1	
Pedro Paredes	16	4		1	8	2005	1	1	Vicuña				25						1	
Pedro Paredes	16	5		1	8	2005	1	1	Vicuña				25						1	
Pedro Paredes	16	6		1	8	2005	1	1	Vicuña				25						1	
Pedro Paredes	16	7		1	8	2005	1	1	Vicuña				25						1	
Pedro Paredes	16	8		5	8	2005	1	1	Vicuña				25						1	
Pedro Paredes	16	9		5	8	2005	1	1	Vicuña				25						1	
Pedro Paredes	16	10		5	8	2005	1	1	Vicuña				20						1	
Pedro Paredes	16	11		5	8	2005	1	1	Vicuña				20						1	
Pedro Paredes	16	12		5	8	2005	1	1	Vicuña				20						1	
Pedro Paredes	16	13		7	8	2005	1	1	Vicuña				17					1		
Pedro Paredes	16	14		7	8	2005	1	1	Vicuña				17					1		
Pedro Paredes	16	15		7	8	2005	1	1	Vicuña				17					1		
Pedro Paredes	16	16		7	8	2005	1	1	Vicuña				17					1		
Pedro Paredes	16	17		7	8	2005	1	1	Vicuña				17					1		
Pedro Paredes	16	18		7	8	2005	1	1	Vicuña				17					1		
Pedro Paredes	16	19		12	8	2005	1	1	Vicuña				17					1		
Pedro Paredes	16	20		12	8	2005	1	1	Vicuña				23					1		
Pedro Paredes	16	21		12	8	2005	1	1	Vicuña				23					1		
Pedro Paredes	16	22		12	8	2005	1	1	Vicuña				23					1		
Pedro Paredes	16	23		12	8	2005	1	1	Vicuña				23					1		
Pedro Paredes	16	24		16	8	2005	1	1	Vicuña				23					1		
Pedro Paredes	16	25		16	8	2005	1	1	Vicuña				23					1		
Pedro Paredes	16	26		16	8	2005	1	1	Vicuña				23					1		
Pedro Paredes	16	27		16	8	2005	1	1	Vicuña				23					1		

Pedro Paredes	16	28		16	8	200	5	1	1	Vicuñ a				23					1	
Pedro Paredes	16	29		16	8	200	5	1	1	Vicuñ a				23					1	
Pedro Paredes	16	30		19	8	200	5	1	1	Vicuñ a				23					1	
Pedro Paredes	16	31		19	8	200	5	1	1	Vicuñ a				23					1	
Pedro Paredes	16	32		19	8	200	5	1	1	Vicuñ a				23					1	
Pedro Paredes	16	33		19	8	200	5	1	1	Vicuñ a				23					1	
Pedro Paredes	16	34		19	8	200	5	1	1	Vicuñ a				23					1	
Pedro Paredes	16	35		19	8	200	5	1	1	Vicuñ a				23					1	
Pedro Paredes	16	36		19	8	200	5	1	1	Vicuñ a				15					1	
Pedro Paredes	16	37		20	8	200	5	1	1	Vicuñ a				15					1	
Pedro Paredes	16	38		20	8	200	5	1	1	Vicuñ a				15					1	
Pedro Paredes	16	39		20	8	200	5	1	1	Vicuñ a				15					1	
Pedro Paredes	16	40		20	8	200	5	1	1	Vicuñ a				15					1	
Pedro Paredes	16	41		20	8	200	5	1	1	Vicuñ a				15					1	
Pedro Paredes	16	42		20	8	200	5	1	1	Vicuñ a				15					1	
Pedro Paredes	16	43		20	8	200	5	1	1	Vicuñ a				15					1	
Pedro Paredes	16	44		21	8	200	5	1	1	Vicuñ a				15					1	
Pedro Paredes	16	45		21	8	200	5	1	1	Vicuñ a				15					1	
Pedro Paredes	16	46		21	8	200	5	1	1	Vicuñ a				15					1	
Pedro Paredes	16	47		21	8	200	5	1	1	Vicuñ a				15					1	
Pedro Paredes	16	48		21	8	200	5	1	1	Vicuñ a				15					1	
Pedro Paredes	16	49		21	8	200	5	1	1	Vicuñ a				15					1	
Pedro Paredes	16	50		21	8	200	5	1	1	Vicuñ a				17					1	
Pedro Paredes	16	51		21	8	200	5	1	1	Vicuñ a				17					1	
Pedro Paredes	16	52		22	8	200	5	1	1	Vicuñ a				17					1	
Pedro Paredes	16	53		22	8	200	5	1	1	Vicuñ a				17					1	
Pedro Paredes	16	54		22	8	200	5	1	1	Vicuñ a				17					1	
Pedro Paredes	16	55		22	8	200	5		1	Vicuñ a				17					1	
Pedro Paredes	16	56		22	8	200	5		1	Vicuñ a				17					1	
Pedro Paredes	16	57		22	8	200	5		1	Vicuñ a				17					1	
Pedro Paredes	188	1	2	29	3	200	6	1	1	Vicuñ a				10					1	406
Pedro Paredes	188	2	2	1	4	200	6	1	1	Vicuñ a				15					1	406
Pedro Paredes	188	3	2	1	4	200	6	1	1	Vicuñ a				15					1	406
Pedro Paredes	188	4	2	1	4	200	6	1	1	Vicuñ a				20					1	406
Pedro Paredes	188	5	2	3	4	200	6	1	1	Vicuñ a				20					1	406

**Anexo 5: Codificación Stella Modelo de Dinámica Poblacional de *Castor canadensis* en Tierra del Fuego, incluyendo el factor caza.**

$$\text{Cls}_1(t) = \text{Cls}_1(t - dt) + (\text{Nacimientos} - \text{Supv}_1 - \text{Mort}_1) * dt$$

$$\text{INIT Cls}_1 = 19907.99$$

INFLOWS:

$$\text{Nacimientos} = \text{nc\_total}$$

OUTFLOWS:

$$\text{Supv}_1 = \text{Cls}_1 * \text{Prob\_Supv}_1$$

$$\text{Mort}_1 = \text{Cls}_1 * (\text{Prob\_Mort}_1 + \text{Caza}_1)$$

$$\text{Cls}_{10}(t) = \text{Cls}_{10}(t - dt) + (\text{Supv}_9 - \text{Supv}_{10} - \text{Mort}_{10}) * dt$$

$$\text{INIT Cls}_{10} = 314.19$$

INFLOWS:

$$\text{Supv}_9 = \text{Cls}_9 * \text{Prob\_Supv}_9$$

OUTFLOWS:

$$\text{Supv}_{10} = \text{Cls}_{10} * \text{Prob\_Supv}_{10}$$

$$\text{Mort}_{10} = \text{Cls}_{10} * (\text{Prob\_Mort}_{10} + \text{Caza}_{10})$$

$$\text{Cls}_{11}(t) = \text{Cls}_{11}(t - dt) + (\text{Supv}_{10} - \text{Supv}_{11} - \text{Mort}_{11}) * dt$$

$$\text{INIT Cls}_{11} = 186.03$$

INFLOWS:

$$\text{Supv}_{10} = \text{Cls}_{10} * \text{Prob\_Supv}_{10}$$

OUTFLOWS:

$$\text{Supv}_{11} = \text{Cls}_{11} * \text{Prob\_Supv}_{11}$$

$$\text{Mort}_{11} = \text{Cls}_{11} * (\text{Prob\_Mort}_{11} + \text{Caza}_{11})$$

$$\text{Cls}_{12}(t) = \text{Cls}_{12}(t - dt) + (\text{Supv}_{11} - \text{Mort}_{12}) * dt$$

$$\text{INIT Cls}_{12} = 82.56$$

INFLOWS:

$$\text{Supv}_{11} = \text{Cls}_{11} * \text{Prob\_Supv}_{11}$$

OUTFLOWS:

$$\text{Mort}_{12} = \text{Cls}_{12} * (\text{Prob\_Mort}_{12} + \text{Caza}_{12})$$

$$\text{Cls}_2(t) = \text{Cls}_2(t - dt) + (\text{Supv}_1 - \text{Supv}_2 - \text{Mort}_2) * dt$$

$$\text{INIT Cls}_2 = 17123.8$$

INFLOWS:

$$\text{Supv}_1 = \text{Cls}_1 * \text{Prob\_Supv}_1$$

OUTFLOWS:

$$\text{Supv}_2 = \text{Cls}_2 * \text{Prob\_Supv}_2$$

$$\text{Mort}_2 = \text{Cls}_2 * (\text{Prob\_Mort}_2 + \text{Caza}_2)$$

$$\text{Cls}_3(t) = \text{Cls}_3(t - dt) + (\text{Supv}_2 - \text{Supv}_3 - \text{Mort}_3) * dt$$

$$\text{INIT Cls}_3 = 10609.74$$

INFLOWS:

$$\text{Supv}_2 = \text{Cls}_2 * \text{Prob\_Supv}_2$$

OUTFLOWS:

$$\text{Supv}_3 = \text{Cls}_3 * \text{Prob\_Supv}_3$$

$$\text{Mort}_3 = \text{Cls}_3 * (\text{Prob\_Mort}_3 + \text{Caza}_3)$$

$$\text{Cls}_4(t) = \text{Cls}_4(t - dt) + (\text{Supv}_3 - \text{Supv}_4 - \text{Mort}_4) * dt$$

$$\text{INIT Cls}_4 = 6639.61$$

INFLOWS:

Supv\_3 = Cls\_3\*Prob\_Supv\_3  
 OUTFLOWS:  
 Supv\_4 = Cls\_4\*Prob\_Supv\_4  
 Mort\_4 = Cls\_4\*(Prob\_Mort\_4+Caza\_4)  
 Cls\_5(t) = Cls\_5(t - dt) + (Supv\_4 - Supv\_5 - Mort\_5) \* dt  
 INIT Cls\_5 = 2852.58  
 INFLOWS:  
 Supv\_4 = Cls\_4\*Prob\_Supv\_4  
 OUTFLOWS:  
 Supv\_5 = Cls\_5\*Prob\_Supv\_5  
 Mort\_5 = Cls\_5\*(Prob\_Mort\_5+Caza\_5)  
 Cls\_6(t) = Cls\_6(t - dt) + (Supv\_5 - Supv\_6 - Mort\_6) \* dt  
 INIT Cls\_6 = 1856.05  
 INFLOWS:  
 Supv\_5 = Cls\_5\*Prob\_Supv\_5  
 OUTFLOWS:  
 Supv\_6 = Cls\_6\*Prob\_Supv\_6  
 Mort\_6 = Cls\_6\*(Prob\_Mort\_6+Caza\_6)  
 Cls\_7(t) = Cls\_7(t - dt) + (Supv\_6 - Supv\_7 - Mort\_7) \* dt  
 INIT Cls\_7 = 1497.62  
 INFLOWS:  
 Supv\_6 = Cls\_6\*Prob\_Supv\_6  
 OUTFLOWS:  
 Supv\_7 = Cls\_7\*Prob\_Supv\_7  
 Mort\_7 = Cls\_7\*(Prob\_Mort\_7+Caza\_7)  
 Cls\_8(t) = Cls\_8(t - dt) + (Supv\_7 - Supv\_8 - Mort\_8) \* dt  
 INIT Cls\_8 = 930.57  
 INFLOWS:  
 Supv\_7 = Cls\_7\*Prob\_Supv\_7  
 OUTFLOWS:  
 Supv\_8 = Cls\_8\*Prob\_Supv\_8  
 Mort\_8 = Cls\_8\*(Prob\_Mort\_8+Caza\_8)  
 Cls\_9(t) = Cls\_9(t - dt) + (Supv\_8 - Supv\_9 - Mort\_9) \* dt  
 INIT Cls\_9 = 707.91  
 INFLOWS:  
 Supv\_8 = Cls\_8\*Prob\_Supv\_8  
 OUTFLOWS:  
 Supv\_9 = Cls\_9\*Prob\_Supv\_9  
 Mort\_9 = Cls\_9\*(Prob\_Mort\_9+Caza\_9)  
 Caza\_1 = 0.0156  
 Caza\_10 = 0.0156  
 Caza\_11 = 0.0156  
 Caza\_12 = 0.0156  
 Caza\_2 = 0.0156  
 Caza\_3 = 0.0156  
 Caza\_4 = 0.0156  
 Caza\_5 = 0.0156  
 Caza\_6 = 0.0156  
 Caza\_7 = 0.0156

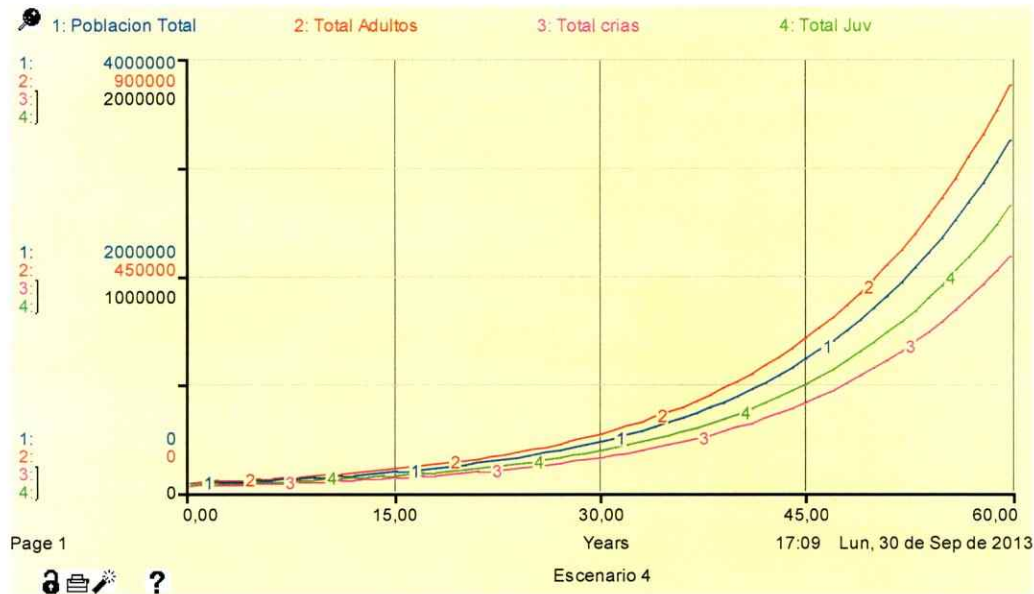
Caza\_8 = 0.0156  
Caza\_9 = 0.0156  
Prob\_Mort\_1 = 0.0310  
Prob\_Mort\_10 = 0.3330  
Prob\_Mort\_11 = 0.5  
Prob\_Mort\_12 = 0.984  
Prob\_Mort\_2 = 0.3020  
Prob\_Mort\_3 = 0.2950  
Prob\_Mort\_4 = 0.5160  
Prob\_Mort\_5 = 0.2670  
Prob\_Mort\_6 = 0.0910  
Prob\_Mort\_7 = 0.3  
Prob\_Mort\_8 = 0.1430  
Prob\_Mort\_9 = 0.5  
Prob\_Supv\_1 = 0.953  
Prob\_Supv\_10 = 0.651  
Prob\_Supv\_11 = 0.484  
Prob\_Supv\_2 = 0.682  
Prob\_Supv\_3 = 0.689  
Prob\_Supv\_4 = 0.468  
Prob\_Supv\_5 = 0.717  
Prob\_Supv\_6 = 0.893  
Prob\_Supv\_7 = 0.684  
Prob\_Supv\_8 = 0.841  
Prob\_Supv\_9 = 0.484  
Fec\_1 = 1.25  
Fec\_10 = 2.63  
Fec\_11 = 2.63  
Fec\_2 = 0.67  
Fec\_3 = 0.82  
Fec\_4 = 0.66  
Fec\_5 = 2.63  
Fec\_6 = 1.75  
Fec\_7 = 0  
Fec\_8 = 0.87  
Fec\_9 = 2.63  
nc1 = (Cls\_2/2)\*Fec\_1  
nc2 = (Cls\_3/2)\*Fec\_2  
nc3 = (Cls\_4/2)\*Fec\_3  
nc4 = (Cls\_5/2)\*Fec\_4  
nc5 = (Cls\_6/2)\*Fec\_5  
nc6 = (Cls\_7/2)\*Fec\_6  
nc9 = (Cls\_10/2)\*Fec\_9  
nc\_10 = (Cls\_11/2)\*Fec\_10  
nc\_11 = (Cls\_12/2)\*Fec\_11  
nc\_7 = (Cls\_8/2)\*Fec\_7  
nc\_8 = (Cls\_9/2)\*Fec\_8  
nc\_total = nc1+nc2+nc3+nc4+nc5+nc6+nc9+nc\_10+nc\_11+nc\_7+nc\_8  
Poblacion\_Total = Total\_Adultos+Total\_crias+Total\_Juv



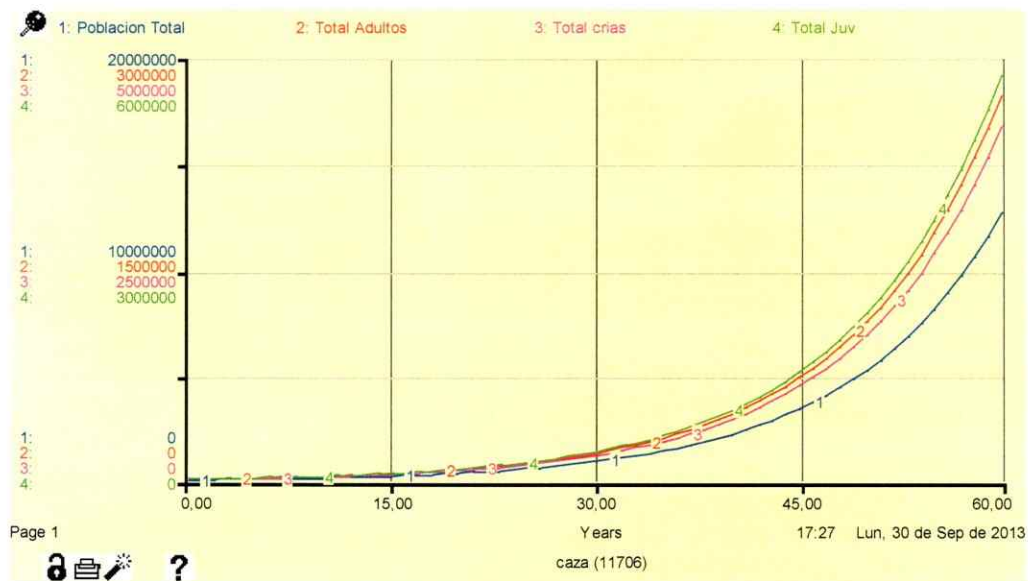
Total\_Adultos = (Cls\_10+Cls\_11+Cls\_12+Cls\_4+Cls\_5+Cls\_6+Cls\_7+Cls\_8+Cls\_9)  
Total\_crias = Cls\_1  
Total\_Juv = Cls\_3+Cls\_2

**Anexo 6: Gráficas de los escenarios de simulación para la Dinámica de la Población de Castor canadensis con el factor caza.**

**Escenario 1.**



**Escenario 2.**



### Escenario 3.



### Escenario 4.

