

Economic valuation of three ecosystem services before the establishment of a greenbelt of Quebec City forest, Canada

Valoración económica de tres servicios ecosistémicos antes del establecimiento de un cinturón verde alrededor de la ciudad de Quebec, Canadá

Daniela Ruiz-Sandoval¹; J. Jaime Arana-Coronado^{1*}; Stéphane Godbout²; Fabiola Sandoval-Salas³; José J. Brambila-Paz¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5. C. P. 56230. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

²Institut de Recherche et de Développement en Agroenvironnement (IRDA). 2700 rue Einstein, Quebec, Quebec, Canada G1P 3W8.

³Instituto Tecnológico Superior de Perote (ITSPe). Carretera Federal Perote-México km 2.5. C. P. 91270. Perote, Veracruz, México.

*Corresponding author: jarana@colpos.mx, tel.: +52 (595) 952 0200 ext. 1823.

Abstract

Introduction: Forest ecosystem services provide benefits to human beings. However, it is after an economic assessment, when such services become more relevant.

Objective: To estimate the values of three ecosystem services in the forestland around Quebec City and compare these values with those obtained in other studies.

Materials and methods: The total cost of three ecosystem services (water supply and quality, air quality and forest habitat) was estimated to represent the value of a green belt around Quebec City. For this, four valuation methods were used: replacement cost for water supply, cost-effectiveness for water quality, avoided cost for air quality and market price for forest habitat.

Results and discussion: The economic value corresponding to the three ecosystem services (water supply and quality, air quality and habitat) was USD 4539.48-ha⁻¹. Therefore, the total economic value for 15 998.96 ha of the forest area around Quebec City was USD 72 627 025.00 year⁻¹. The variation between the estimates and the values reported in other studies were the result of different valuation methods, systems created by man as a replacement for the function of the forest ecosystem, the level of efficiency among the forest systems and the price sources of market used for the valuation of the ecosystem.

Conclusion: The type of forest mass, the valuation method and the study context were relevant criteria determining the ecosystem's economic value.

Resumen

Introducción: Los servicios ecosistémicos proporcionan beneficios a los seres humanos; sin embargo, es después de una valoración económica cuando dichos servicios adquieren mayor relevancia.

Objetivo: Estimar los valores de tres servicios ecosistémicos del área forestal alrededor de la ciudad de Quebec y compararlos con los obtenidos en otros estudios.

Materiales y métodos: Se calculó el costo total de tres servicios ecosistémicos (suministro y calidad del agua, calidad del aire y hábitat forestal) para representar el valor de un cinturón verde alrededor de la ciudad de Quebec. Para ello se utilizaron cuatro métodos de valoración: costo de reposición para el suministro de agua, costo-efectividad para la calidad del agua, costo evitado para la calidad del aire y precio de mercado para el hábitat forestal.

Resultados y discusión: El valor económico correspondiente a los tres servicios ecosistémicos (suministro y calidad del agua, calidad del aire y hábitat) fue de 4539.48 USD-ha⁻¹. Por lo tanto, el valor económico total para 15 998.96 ha del área forestal alrededor de la ciudad de Quebec fue 72 627 025.00 USD-año⁻¹. La variación entre las estimaciones y los valores reportados en otros estudios fueron el resultado de diferentes métodos de valoración, los sistemas creados por el hombre como reemplazo de la función del ecosistema forestal, el nivel de eficiencia entre los sistemas forestales y las fuentes de precios de mercado utilizadas para la valoración del ecosistema.

Conclusión: El tipo de masa forestal, el método de valoración y el contexto del estudio fueron criterios relevantes que determinaron el valor económico del ecosistema.

Keywords: Air quality; habitat; water quality; water supply; valuation methods.

Palabras clave: Calidad del aire; hábitat; calidad del agua; suministro de agua; métodos de valoración.

Introduction

Since 2008, more than half of the world's population has lived in urban area. The urban population is expected to increase up to 5 billion inhabitants by 2030 (Economic and Social Affairs [ESA], 2006). The growth of the population has resulted in a reduction of natural areas (Barsky, 2005; Shi, 2003) and loss of ecosystem services (Franquis & Infante, 2003). The creation of a greenbelt could be the answer to the need for environmental protection, the threat of urban sprawl, and to the loss of open spaces (Chervin, Gibson, & Green, 2009).

A greenbelt is a “green” structure that helps to stop urban sprawl, preserve biodiversity and safeguard the land for recreation, agriculture, and forestry (Amati, 2008). During the twentieth century, a few greenbelts have been established around cities such as London (1938), Copenhagen (1947), and Frankfurt (1991). It is well documented that these green infrastructures have preserved natural zones and have given the surrounding populations access to a better quality of life (Brander & Koetse, 2011). More recently, the Canadian government decided to create an initiative for the Greater Golden Horseshoe (Ministry of Finance, 2012) area covering 728 000 ha. The goal of this initiative was to safeguard environmentally sensitive land, watersheds, and farmlands (Wilson, 2008). These greenbelts were established following an economic valuation confirming their importance in terms of supplying ecosystem services (Herath, Choumert, & Maier, 2015; Wilson, 2008).

Forests, from the perspective of a greenbelt, provide, among other benefits, watershed protection, carbon sequestration, and biodiversity conservation (Wilson, 2008). In terms of watershed protection, forests play an important role in regulating hydrological flows and reducing pollutants and sedimentation (Pagiola, Landell-Mills, & Bishop, 2002). In addition, the wooded area represents the head of the basin of the city's water sources, both underground and surface (Legay, Cloutier, Chakhar, Joerin, & Rodriguez, 2005). This ecosystem brings at least two benefits: first, the ecosystem absorbs carbon dioxide from the atmosphere and stores it in the form of organic carbon in the plant and root biomass of various species over a period of time (Kulshreshtha, Lac, Johnston, & Kinar, 2000). Second, the biodiversity conservation in the wooded areas represents a significant proportion of the world's diversity. Every reduction of the whole area implies the loss of habitats and consequently the lost of species (Pagiola et al., 2002).

De Groot, Alkemade, Hein, and Willemen (2010) and Hackbart, de Lima, and dos Santos (2017) emphasized

Introducción

Desde 2008, más de la mitad de la población mundial ha vivido en zonas urbanas. Se espera que la población urbana aumente hasta 5 000 millones de habitantes para el año 2030 (Economic and Social Affairs [ESA], 2006). El crecimiento de la población se ha traducido en una reducción de áreas naturales (Barsky, 2005; Delgado, 2008) y pérdida de servicios ecosistémicos (Franquis & Infante, 2003). La creación de un cinturón verde podría ser la respuesta a la necesidad de protección ambiental, amenaza de la expansión urbana y pérdida de espacios abiertos (Chervin, Gibson, & Green, 2009).

Un cinturón verde es una estructura “verde” que ayuda a detener la expansión urbana, preservar la biodiversidad y salvaguardar las tierras para recreación, agricultura y silvicultura (Amati, 2008). Durante el siglo XX, algunos cinturones verdes se establecieron alrededor de ciudades como Londres (1938), Copenhague (1947) y Fráncfort (1991). Está demostrado que las infraestructuras verdes han preservado las zonas naturales y han dado acceso a una mejor calidad de vida a las poblaciones circundantes (Brander & Koetse, 2011). Recientemente, el gobierno canadiense decidió crear una iniciativa para el área *Greater Golden Horseshoe* (Ministerio de Finanzas, 2012) que abarca 728 000 ha. El objetivo de esta iniciativa fue salvaguardar las tierras, cuencas hidrográficas y tierras agrícolas sensibles al medio ambiente (Wilson, 2008). Estos cinturones verdes se establecieron luego de una valoración económica que confirmó su importancia en términos de suministro de servicios ecosistémicos (Herath, Choumert, & Maier, 2015; Wilson, 2008).

Los bosques, desde la perspectiva de un cinturón verde, proporcionan, entre otros beneficios, la protección de cuencas hidrográficas, la captura de carbono y la conservación de la biodiversidad (Wilson, 2008). En términos de protección de cuencas, los bosques desempeñan un papel importante en la regulación de flujos hidrológicos y en la reducción de contaminantes y sedimentación (Pagiola, Landell-Mills, & Bishop, 2002); además, el área boscosa representa la cabecera de la cuenca de las fuentes de agua, tanto subterránea como superficial (Legay, Cloutier, Chakhar, Joerin, & Rodriguez, 2005). Este ecosistema aporta al menos dos beneficios. El primero consiste en la absorción del dióxido de carbono de la atmósfera y su almacenamiento en forma de carbono orgánico en la planta y biomasa de la raíz de varias especies durante un periodo (Kulshreshtha, Lac, Johnston, & Kinar, 2000). En segundo lugar, la conservación de la biodiversidad en áreas boscosas representa una proporción significativa de la diversidad mundial; toda reducción en el área implica la pérdida de hábitats y, en consecuencia, la pérdida de especies (Pagiola et al., 2002).

the relevance of estimating the economic value of different ecosystem services because of the need for sustainable natural resource use. It is feasible to evaluate the ecosystem services in terms of market prices (King & Mazzotta, 2000; Mundell, Taff, Kilgore, & Snyder, 2010). As an alternative, some studies apply indirect market valuations associated with methods such as replacement cost (Alam et al., 2014) and avoided cost (Samuelson & William, 2002) due to their efficiency (Aznar-Bellver & Estruch-Guitart, 2015). Schild, Vermaat, and van Bodegom (2017) concluded that monetary valuation is at least a function of the two elements: valuation method and type of ecosystem. In addition, Alam et al. (2014), Pandeya et al. (2016), Schild et al. (2017), and Spangenberg and Settele (2010) have emphasized the importance of having sustainable data available.

Based on the ecosystem, valuation method and context of study (use of real data), the general objective of the present study was to estimate the values of three ecosystem services of the forestland around Quebec City and compare them with previous studies. Based on the literature, this study focus on the most important services provided by the forest, namely water supply and quality, air quality, and habitat (Wilson, 2008).

Materials and methods

Study area

Quebec province is located east of Ontario province and Hudson Bay, south of Nunavut and the Davis Strait, west of the Maritime Provinces and Labrador and north of several states in the United States of America (New York, Vermont, New Hampshire and Maine). More than 90 % of Quebec's area is part of the Canadian Shield. Quebec City is located in the Saint-Lawrence valley, on the north bank of the Saint Lawrence River near the St. Charles River. The river valley has rich arable land and the region is the most fertile in the province. In addition, the river, Lake St. Charles and the Montmorency River are sources of drinking water for Quebec City and are in the heart of the forest. Quebec City's forest area, which is contemplated to be part of the greenbelt, covers mainly the northern ring of the city and affects Laurentian, La Haute-Saint-Charles, Charlesbourg, Beauport and a small part of the Rivières. Quebec City covers 45 400 ha and the forest occupies 35 % of the city, representing approximately 15 998.96 ha.

Assessment of ecosystem services

A total cost of three ecosystem services (water supply and quality, air quality and forest habitat) was estimated to represent the value of a green belt around Quebec City. For this, four valuation methods were used: replacement cost for water supply, cost-effectiveness

De Groot, Alkemade, Heind, y Willemen (2010) y Hackbart, de Lima, y dos Santos (2017) enfatizaron la importancia de estimar el valor económico de los servicios ecosistémicos, debido a la necesidad de un uso sostenible de los recursos naturales. Es factible evaluar los servicios ecosistémicos en términos de precios de mercado (King & Mazzotta, 2000; Mundell, Taff, Kilgore, & Snyder, 2010). Como alternativa, algunos estudios aplican valoraciones de mercado indirectas asociadas con métodos como el costo de reemplazo (Alam et al., 2014) y el costo evitado (Samuelson & William, 2002) debido a su eficiencia (Aznar-Bellver & Estruch-Guitart, 2015). Schild, Vermaat, y van Bodegom (2017) concluyeron que la valoración monetaria es al menos una función de los dos elementos: el método de valoración y el tipo de ecosistema. Además, Alam et al. (2014), Pandeya et al. (2016), Schild et al. (2017) y Spangenberg y Settele (2010) han enfatizado la importancia de tener datos sostenibles disponibles.

Con base en el ecosistema, el método de valoración y el contexto de estudio (uso de datos reales), el objetivo general de este trabajo fue estimar los valores de tres servicios ecosistémicos de los bosques alrededor de la ciudad de Quebec y compararlos con estudios previos. Con base en la literatura, este estudio se centra en los servicios más importantes proporcionados por el bosque, concretamente, el suministro y la calidad del agua, la calidad del aire y el hábitat (Wilson, 2008).

Materiales y métodos

Área de estudio

La provincia de Quebec está ubicada al este de la provincia de Ontario y la bahía de Hudson, al sur de Nunavut y el estrecho de Davis, al oeste de las provincias marítimas y Labrador, y al norte de varios estados de los Estados Unidos de América (Nueva York, Vermont, Nueva Hampshire y Maine). Más de 90 % del área de Quebec es parte del Escudo Canadiense. La ciudad de Quebec se encuentra en el valle de Saint-Lawrence, en la orilla norte del río Saint Lawrence, cerca del río St. Charles. El valle del río tiene un suelo fértil y arable, y la región es la más fértil de la provincia. El río St. Charles y el río Montmorency son fuentes de agua potable para la ciudad y se encuentran en el corazón del bosque. El área forestal de la ciudad de Quebec, que se considera parte del cinturón verde, cubre principalmente el anillo norte de la ciudad y afecta a Laurentian, La Haute-Saint-Charles, Charlesbourg, Beauport y una pequeña parte de las Rivières. La ciudad de Quebec abarca 45 400 ha y el área forestal ocupa 35 % de la ciudad, lo que representa aproximadamente 15 998.96 ha.

Valoración de servicios ecosistémicos

Se calculó un costo total de tres servicios ecosistémicos (suministro y calidad del agua, calidad del aire y hábitat

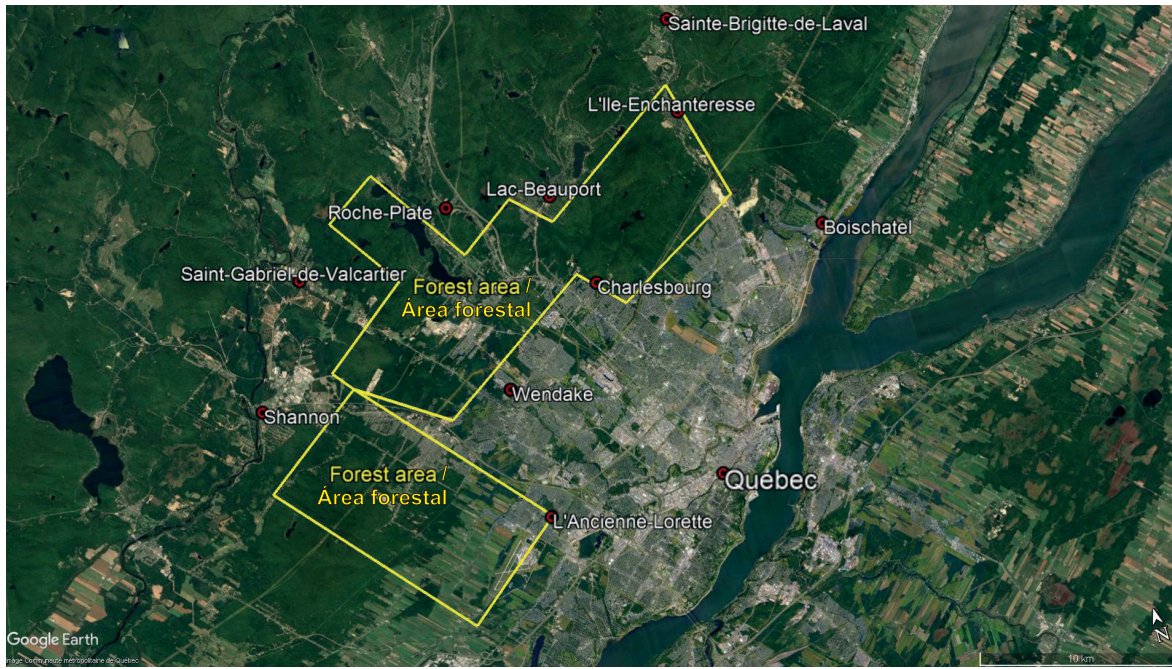


Figure 1. The current forest area around Quebec City.
Figura 1. Área forestal actual alrededor de la ciudad de Quebec.

for water quality, avoided cost for air quality and market price for forest habitat.

Total water service value

This value is obtained by adding together the water supply value and water quality value. Different methods were used for estimating each service value.

Based on the replacement cost method (De Groot, Matthew, & Roelof, 2002), the water supply value was obtained using data for potable water services, wastewater treatment costs, amortization, and rented services from the year 2015; data correspond to the Quebec City municipality (Gouvernement du Québec, 2016). The replacement cost method was used because it is the way that the water source is supplied to Quebec City. The municipality of Quebec, through the water provisioning and treatment plant system, has partially replaced the ecosystem service to provide water to the Quebec City population. The annual water supply value was divided into the total hectares of the forestland around Quebec City (Infrastructure de Géomatique Ouverte [IGO], 2017). The total water supply value was reported on a per-hectare basis.

Based on the cost-effectiveness method (Balana, Vinten, & Slee, 2011), the water quality value was obtained using the costs of decontamination and sediment degradation reported by Alam et al. (2014). The data correspond to prices paid to a treatment plant for the nitrogen, phosphorus, and sediments located in

forestal) para representar el valor de un cinturón verde alrededor de la ciudad de Quebec. Para ello se utilizaron cuatro métodos de valoración: costo de reposición para el suministro de agua, costo-efectividad para la calidad del agua, costo evitado para la calidad del aire y precio de mercado para el hábitat forestal.

Valor total del servicio de agua

Este valor se obtiene al sumar el valor del suministro de agua y el valor de su calidad. Se utilizaron diferentes métodos para estimar el valor de cada servicio.

El valor del suministro de agua se obtuvo con base en el método del costo de reposición (De Groot, Matthew, & Roelof, 2002). Dicho valor se calculó utilizando los datos de los servicios de agua potable, los costos de tratamiento de aguas residuales, la amortización y los servicios alquilados a partir del 2015; los datos corresponden al municipio de Quebec (Gouvernement du Québec, 2016). El método del costo de reposición se utilizó porque es la forma en que la fuente de agua se suministra a la ciudad. El municipio de Quebec, a través del sistema de planta de tratamiento y aprovisionamiento de agua, ha reemplazado parcialmente el servicio ecosistémico, para proporcionar agua a la población. El valor anual del suministro de agua se dividió en el total de hectáreas de área forestal alrededor de la ciudad de Quebec (Infrastructure de Géomatique Ouverte [IGO], 2017). El valor total del suministro de agua se reportó por hectárea.

Ontario, Canada for the period 2005-2008. The water quality value was obtained using the following formula:

$$V_{\text{water}} = L_N * C_{\text{dN}} + L_P * C_{\text{dP}} + S * C_{\text{deg}}$$

where,

V_{water} = water quality value per hectare

L_N = reduced nitrogen (N) leaching rate

C_{dN} = N decontamination cost

L_P = phosphorus (P) leaching rate

C_{dP} = P decontamination cost

S = sedimentation rate

C_{deg} = degradation cost.

The nitrogen leaching losses are about 11 kg N·ha⁻¹ (Alam et al., 2014). MacDonald and Bennett (2009) estimated the phosphorus leaching loss in the south of Quebec between 15 and 22 kg·ha⁻¹. If the same percentage of reduction in the nitrogen is considered in the phosphorus, the quantity would be 7.5 kg·ha⁻¹ (Alam et al., 2014).

The cost for removing the excess of nutrients in water treatment plants was reported in USD 6.53·kg⁻¹ N (Olewiler, 2004) and USD 47.05·kg⁻¹ P (Jiang, Beck, Cummings, Rowles, & Russell, 2005). The estimated cost for sediment retention was USD 5.25·ha⁻¹ (Wilson, 2008). Therefore, the water quality cost was obtained by adding the cost for removing the excess of nutrients and the cost of sediment retention. Afterwards, the water quality cost was updated to 2017 using the Industrial Products Price Index (Statistics Canada, 2018) and divided into the total hectares of the forestland around Quebec City.

Air quality (carbon sequestration)

Carbon sequestration valuation was obtained based on the avoided cost method. For this case, the methodology proposed by Wilson (2008) was used in order to estimate the carbon captured by the forest, per hectare, and then multiply it by the market price. According to the same author, the average net carbon sequestration in a forestland area is 2.26 t C·ha⁻¹ representing the immobilization of 8.3 t CO₂·ha⁻¹ (1 t of carbon = 3.67 t of carbon dioxide). The 2014 carbon market price data was obtained from the publication Report of the Auditor General of Quebec to the National Assembly for 2016-2017 (Report of the Sustainable Development Commissioner [RSDC], 2016) and were updated to 2017 through the Industrial Gas Price Index (Statistics Canada, 2018).

Habitat

A value of the habitat was estimated based on the market price method (King & Mazzotta, 2000; Pagiola

El valor de la calidad del agua se obtuvo con el método costo-efectividad (Balana, Vinten, & Slee, 2011), utilizando los costos de descontaminación y degradación de sedimentos reportados por Alam et al. (2014). Los datos corresponden a los precios pagados a una planta de tratamiento para nitrógeno, fósforo y sedimentos ubicados en Ontario, Canadá, para el periodo 2005-2008. El valor de la calidad del agua se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$V_{\text{agua}} = L_N * C_{\text{dN}} + L_P * C_{\text{dP}} + S * C_{\text{deg}}$$

donde,

V_{agua} = valor de la calidad del agua por hectárea

L_N = tasa reducida de lixiviación de nitrógeno (N)

C_{dN} = costo de descontaminación de N

L_P = tasa de lixiviación de fósforo (P)

C_{dP} = costo de descontaminación de P

S = tasa de sedimentación

C_{deg} = costo de degradación.

Las pérdidas por lixiviación de nitrógeno son de aproximadamente 11 kg N·ha⁻¹ (Alam et al., 2014). MacDonald y Bennett (2009) estimaron la pérdida por lixiviación de fósforo en el sur de Quebec entre 15 y 22 kg·ha⁻¹. Si se considera el mismo porcentaje de reducción de nitrógeno que de fósforo, la cantidad sería de 7.5 kg·ha⁻¹ (Alam et al., 2014).

El costo por eliminar el exceso de nutrientes en las plantas de tratamiento de agua fue de 6.53 USD·kg⁻¹ N (Olewiler, 2004) y 47.05 USD·kg⁻¹ P (Jiang, Beck, Cummings, Rowles & Russell, 2005). El costo estimado para la retención de sedimentos fue de 5.25 USD·ha⁻¹ (Wilson, 2008). Por lo tanto, el costo de la calidad del agua se obtuvo al agregar el costo para eliminar el exceso de nutrientes y el costo de retención de sedimentos. Posteriormente, el costo de la calidad del agua se actualizó al 2017 utilizando el Índice de Precios de Productos Industriales (Statistics Canada, 2018) y se dividió en el total de hectáreas de área forestal alrededor de la ciudad de Quebec.

Calidad del aire (captura de carbono)

La captura de carbono se valoró con base en el método del costo evitado. Para este caso, la metodología propuesta por Wilson (2008) se utilizó para estimar el carbono capturado por el bosque, por hectárea, y luego multiplicarlo por el precio de mercado. Según el mismo autor, la captura neto promedio de carbono en un área forestal fue de 2.26 t C·ha⁻¹, lo que representa la inmovilización de 8.3 t CO₂·ha⁻¹ (1 t de carbono = 3.67 t de dióxido de carbono). Los datos de precios de mercado de carbono de 2014 se obtuvieron de la publicación Reporte del Auditor General de Quebec a la Asamblea Nacional para 2016-2017 (Report of the

et al., 2002). The source for market price and land typology was the database of the Ministry of Municipal Affairs and Territorial Occupation (MAMOT, 2016). The typology provides data about the real estate category, valued units per the real estate category and the standard value per unit on July 1, 2015 (Québec Federation of Real Estate Boards [QFREB], 2017). According to the typology, there are three land categories: Farmland, Non-residential and Other. This last category involves any type of forest area and it is used to estimate the habitat value per hectare. Thus, the number of valued units is multiplied by the standard value, and the result represents the forestland value for an area of 15 998.96 ha.

Results and discussion

Water supply and water quality

Water Supply

The municipal service value for the supply and treatment of drinking water and wastewater treatment was estimated by adding together operational cost and amortization and then subtracting rented services (Table 1). Based on replacement cost, a water supply value of USD 1 983.99·ha⁻¹ was obtained. Every year, Quebec City provides the financial resources for supplying and treating water and therefore avoids extracting water from the forestland aquifers for residential water needs. Otherwise, the forest in an area of 15 998.96 ha around Quebec City would supply the water requirements.

Since the Quebec government absorbs the financial costs of water supply year after year, Quebec residents have little appreciation of the water supply value; therefore, the contingent approach would not be a correct alternative valuation method (Alam et al., 2014). Based on the replacement cost, Wilson (2008) obtained a value of USD 1 428.90·ha⁻¹. This value is lower than that estimated for water supply in the present study. Thus, although the same valuation method was used in the two studies, different human-made systems were used. Using the CITYGreen software, Wilson (2008) determined a construction cost for water runoff control of USD 53.48·m⁻³, whereas in the present research, the cost of the water supply through physical infrastructure was USD 75.22·m⁻³. Dupras et al. (2015) analyzed different studies and obtained a water supply average value of USD 464.36·ha⁻¹ for the Greater Montreal rural areas. The study carried out by Wilson (2008) assumed a potential number for storm water runoff within an area, whereas the present research calculated the value using real data.

Sustainable Development Commissioner [RSDC], 2016) y se actualizaron al 2017 a través del Índice de Precios de Gases Industriales (Statistics Canada, 2018).

Hábitat

El valor del hábitat se estimó de acuerdo con el método del precio de mercado (King & Mazzotta, 2000; Pagiola et al., 2002). La fuente del precio de mercado y tipología del terreno fue la base de datos del Ministerio de Asuntos Municipales y Ocupación Territorial (MAMOT, 2016). La tipología proporciona datos sobre la categoría de bienes raíces, las unidades valoradas por la categoría de bienes raíces y el valor estándar por unidad el 1 de julio de 2015 (Québec Federation of Real Estate Boards [QFREB], 2017). Según la tipología, existen tres categorías: tierras de cultivo, no residencial y otros. Esta última categoría involucra cualquier tipo de área forestal y se usa para estimar el valor del hábitat por hectárea. Por tanto, el número de unidades valoradas multiplica el valor estándar, y el resultado representa el valor de las tierras forestales para un área de 15 998.96 ha.

Resultados y discusión

Suministro y calidad del agua

Suministro de agua

El valor del servicio municipal para el suministro y tratamiento de agua potable y tratamiento de aguas residuales se obtuvo sumando el costo operacional y la amortización; posteriormente, se restaron los servicios alquilados (Cuadro 1). Basado en el costo de reposición, se obtuvo un valor de suministro de agua de 1 983.99 USD·ha⁻¹. Cada año, la ciudad de Quebec proporciona los recursos financieros para suministrar y tratar el agua y, por lo tanto, evita extraer agua de los acuíferos de las tierras forestales para satisfacer las necesidades residenciales de agua. En caso contrario, el bosque con área de 15 998.96 ha alrededor de la ciudad de Quebec suministraría los requerimientos de agua.

Debido a que el gobierno de Quebec absorbe los costos financieros del suministro de agua año tras año, sus residentes aprecian poco el valor de este elemento; por ello, el enfoque contingente no sería un método de valoración alternativo adecuado (Alam et al., 2014). En función del costo de reposición, Wilson (2008) obtuvo un valor de 1 428.90 USD·ha⁻¹. Este valor es inferior al estimado para el suministro de agua en este estudio; aunque se utilizó el mismo método de valoración, los sistemas hechos por el hombre fueron diferentes. Mediante el uso del software CITYGreen,

Table 1. Cost, amortization and rented services related to water supply and wastewater treatment in Quebec City (2017).**Cuadro 1. Costo, amortización y servicios de alquiler relacionados con el suministro de agua y tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Quebec (2017).**

Item/ Información	Cost/ Costo	Amortization/ Amortización	Rented Services/ Servicios alquilados	Total Municipal service value/ Valor total del servicio municipal			
	(Thousand CAD·year ⁻¹)/ (miles de CAD·año ⁻¹)			(Thousand CAD·year ⁻¹)/ (miles de CAD·año ⁻¹)	(CAD·ha ⁻¹ ·year ⁻¹)/ (CAD·ha ⁻¹ ·año ⁻¹)	(Thousand USD·year ⁻¹)/ (miles de USD·año ⁻¹)	(USD·ha ⁻¹ ·year ⁻¹)/ (USD·ha ⁻¹ ·año ⁻¹)
Supply and treatment/ Suministro y tratamiento	14 668	4 998	77	19 589	1 224.38	15 090	943.17
Wastewater treatment/ Tratamiento de aguas residuales	12 553	9 908	844	21 617	1 351.15	16 652	1 040.82
Total water supply value/ Valor total del suministro de agua				41 206	2 575.53	31 742	1 983.99

Water quality

Based on the cost-effectiveness method, the water quality value considered the following values: USD 96.18·ha⁻¹·year⁻¹ for N, USD 441.37·ha⁻¹·year⁻¹ for P, and USD 4.71·ha⁻¹·year⁻¹ for sediment retention. The total water quality value was USD 542.26·ha⁻¹·year⁻¹ for 2017 (Table 2).

Alternative studies of water quality valuation were reported by Wilson (2008) based on the avoided method, and by Alam et al. (2014) based on the cost-effectiveness method. These authors obtained values of USD 473.98·ha⁻¹ and USD 505.27·ha⁻¹ respectively. Dupras et al. (2015), based on several studies, obtained an average value of USD 107.10·ha⁻¹ for the Greater Montreal rural areas. Therefore, although the same method used in the present study was used by Alam et al. (2014), the difference obtained can be explained by the market prices of the nutrients used. Comparing the lowest values of the avoided cost and cost-effectiveness methods, the difference between the two can be explained by the efficiency of the forest ecosystem. Wilson (2008) reported a 20 % increase in water treatment costs for each 10 % loss in forest cover.

Wilson (2008) determinó un costo de construcción para el control de la escorrentía de agua de 53.48 USD·m⁻³, mientras que en este estudio, el costo del suministro de agua a través de la infraestructura física fue de 75.22 USD·m⁻³. Dupras et al. (2015) analizaron varios estudios y obtuvieron un valor promedio de 464.36 USD·ha⁻¹ para las zonas rurales de la Gran Montreal. En el estudio llevado a cabo por Wilson (2008) se asumió un número potencial de escorrentía de aguas pluviales dentro de un área, mientras que en el presente estudio, el valor se calculó utilizando datos reales.

Calidad del agua

De acuerdo con el método costo-efectividad, el valor de la calidad del agua consideró los siguientes valores 96.18 USD·ha⁻¹·año⁻¹ para N, 441.37 USD·ha⁻¹·año⁻¹ para P, y 4.71 USD·ha⁻¹·año⁻¹ para retención de sedimentos. El valor total de la calidad del agua fue 542.26 USD·ha⁻¹·año⁻¹ para el 2017 (Cuadro 2).

Wilson (2008) y Alam et al. (2014) reportaron estudios alternativos de la valoración de la calidad del agua, basados en el método evitado y en el método costo-efectividad, respectivamente. Estos autores obtuvieron valores de 473.98 USD·ha⁻¹ y 505.27 USD·ha⁻¹, respectivamente.

Table 2. Costs of decontamination and sediment degradation required for guaranteeing the water quality in Quebec (2017).**Cuadro 2. Costo de descontaminación y degradación de sedimentos requeridos para garantizar la calidad del agua en Quebec (2017).**

Item/Información	Quantity (kg·ha ⁻¹ ·year ⁻¹)/ Cantidad (kg·ha ⁻¹ ·año ⁻¹)	Price (CAD·kg ⁻¹ ·ha ⁻¹)/ Precio (CAD·kg ⁻¹ ·año ⁻¹)	Water quality Value/Valor calidad del agua	
			(CAD·ha ⁻¹ ·year ⁻¹)/ (CAD·ha ⁻¹ ·año ⁻¹)	(USD·ha ⁻¹ ·year ⁻¹)/ (USD·ha ⁻¹ ·año ⁻¹)
N decontamination/ Descontaminación de N	11.0	11.35	124.86	96.18
P decontamination/ Descontaminación de P	7.5	76.40	572.97	441.37
Sediment degradation/ Degradación de sedimentos	1.0	6.12	6.12	4.71
Total water quality value/ Valor total de la calidad del agua			703.95	542.26

Air quality (carbon sequestration)

Based on the avoided cost method, total carbon value was estimated at USD 1 179 443.33·year⁻¹ (Table 3). The study considered a carbon value of USD 73.72·ha⁻¹ for 15 998.96 ha of forestland area around Quebec City.

Kulshreshtha et al. (2000), using the replacement cost method for afforestation and reforestation and obtained values of USD 24.73·ha⁻¹ and USD 26.62·ha⁻¹, respectively. Dupras et al. (2015), based on several studies, obtained an average value and a maximum value of USD 37.52·ha⁻¹ and USD 90.68·ha⁻¹, respectively, for the Greater Montreal rural areas. Wilson (2008), using the avoided cost method in the Southern Ontario Greenbelt, obtained a value of USD 39.11·ha⁻¹. Van Kooten et al. (2000), based on the avoided cost, obtained a carbon cost of USD 81.74·ha⁻¹ for forestland in western Canada. According to different estimations, the estimated carbon value in the present research was higher than the value obtained by Wilson (2008) and Kulshreshtha et al. (2000), but lower than that obtained by van Kooten et al. (2000). The present study used market prices to obtain the values, whereas other authors used indirect market prices. Using market prices indicated how much the economic agent was willing to pay for the air quality service.

Habitat

The market price method was used and it was based on real estate characteristics according to the MAMOT (2016). This method measures the value that an economic agent would pay for the habitat (King & Mazzotta, 2000). The following values were obtained for land categories (Table 4).

Dupras et al. (2015), con base en varios estudios, obtuvieron un valor promedio de 107.10 USD·ha⁻¹ para las zonas rurales de la Gran Montreal. Por lo tanto, aunque el método en este estudio fue el mismo que el utilizado por Alam et al. (2014), la diferencia obtenida puede explicarse por los precios de mercado de los nutrientes manejados. Comparando los valores más bajos del método costo-efectividad y costo evitado, la diferencia entre ambos puede explicarse por la eficiencia del ecosistema forestal. Wilson (2008) reportó un aumento de 20 % en los costos del tratamiento del agua por cada pérdida del 10 % en la cubierta forestal.

Calidad del aire (captura de carbono)

De acuerdo con el método del costo evitado, el valor total de carbono se estimó en 1 179 443.33 USD·año⁻¹ (Cuadro 3). El estudio consideró un valor de carbono de 73.72 USD·ha⁻¹ para 15 998.96 ha de área forestal alrededor de la ciudad de Quebec.

Kulshreshtha et al. (2000) utilizaron el método del costo de reposición para la forestación y reforestación, y obtuvieron valores de 24.73 USD·ha⁻¹ y 26.62 USD·ha⁻¹, respectivamente. Dupras et al. (2015), con base en varios estudios, calcularon un valor promedio y un valor máximo de 37.52 USD·ha⁻¹ y 90.68 USD·ha⁻¹, respectivamente, para las áreas rurales de la Gran Montreal. Wilson (2008), al emplear el método de costo evitado en el cinturón verde al sur de Ontario, obtuvo un valor de 39.11 USD·ha⁻¹. Van Kooten et al. (2000), basándose en el costo evitado, obtuvieron un costo de carbono de 81.74 USD·ha⁻¹ para el área forestal al oeste de Canadá. De acuerdo con diferentes estimaciones, el valor de carbono en este estudio fue superior al valor obtenido por Wilson (2008) y Kulshreshtha

Table 3. Income paid to the Green Fund for carbon sequestration auctions in Quebec City (2017).**Cuadro 3. Ingresos pagados al Fondo Verde para subastas de captura de carbono en Quebec (2017).**

Quebec carbon auction/ Subasta de carbono en Quebec		Income paid to Green Fund/ Ingreso pagado al Fondo Verde	CO ₂ value/ Valor de CO ₂	Carbon value (factor [t·ha ⁻¹] = 8.29)/ Valor de carbono (factor [t·ha ⁻¹] = 8.29)		
Date/ Fecha	CO ₂ sold units (t)/ Unidades vendidas de CO ₂ (t)	(CAD)	(CAD·t ⁻¹)	(CAD·ha ⁻¹)	(USD·ha ⁻¹)	
March/Marzo 2014	1 035 000	11 788 650	11.39	94.42	85.64	
May/Mayo 2014	1 049 111	11 949 374	11.39	94.42	86.25	
August/Agosto 2014	694 000	7 904 660	11.39	94.42	87.21	
November/ Noviembre 2014	1 049 114	14 351 880	13.68	113.41	101.42	
Total 2014	3 827 225	45 994 564	12.02	99.63	90.20	
Updated prices to 2017/ Precios actualizados al 2017	3 827 225	44 182 289	11.54	95.70	73.72	

Table 4. Market prices of three real estate categories for habitat estimates in Quebec City (2017).**Cuadro 4. Precios de mercado de tres categorías de bienes raíces para estimaciones de hábitat en la ciudad de Quebec (2017).**

Real estate category/ Categoría bienes raíces	Standard value (CAD·unit ⁻¹)/ Valor estándar (CAD·unidad ⁻¹)	Valued units/ Unidades valoradas	Forestland / Área forestal		
			Area (ha)/ Área (ha)	Value (CAD·ha ⁻¹)/ Valor (CAD·ha ⁻¹)	Value (USD· ha ⁻¹)/ Valor (USD·ha ⁻¹)
Farmland/ Tierras de cultivo	29.80	111 753			
Non-residential/ No residencial	230.80	231 944			
Other/Otras	59.30	659 494	15 998.96	2 517.78	1 939.50

The total valued forestland area was 15 998.96 ha with 659 494 units valued. Therefore, the value of forestland in the present study was approximately estimated at USD 1 939.50·ha⁻¹. Snyder et al. (2007), based on the hedonic method, obtained an average value for forestland in Northern Minnesota of USD 2 324.00·ha⁻¹. Variables such as the presence of lake frontage or river frontage and purchasing a place in which to enjoy the wildlife explained the forestland value to a significant degree. Dupras et al. (2015) obtained an average value of USD 2 382.80·ha⁻¹ for the Greater Montreal rural areas. Wilson (2008) valued the biodiversity of the Ontario greenbelt considering three ecosystem services, namely pollination, biodiversity, and recreation. The habitat value was USD 1 774.27·ha⁻¹ and two valuation methods were used: replacement cost used for biodiversity and contingent cost for recreation. Thus, the present study estimated a habitat value lower than the values estimated by Snyder et al. (2007) and higher than the value estimated by Wilson (2008). Difference between estimated values in the present study and the Snyder et al. (2007) study can be explained by the valuation method used as well as the market price location. In particular, the market price location is determined by local supply and demand and a property's conditions (Monson, 2009). Regarding the study carried out by Wilson (2008), in which the habitat value is defined as the cost of restoration, the difference between estimated values can be explained by the valuation method used.

Total Economic Value

In the present research, the economic value corresponding to the three ecosystems (water supply and quality, air quality and habitat) was USD 4 539.48·ha⁻¹. Thus, the total economic value for 15 998.96 ha of forest area around Quebec City was USD 72 627 025.00·year⁻¹ (Table 5).

The highest ecosystem values were attributed to the water supply and habitat services. These ecosystem services were based on the replacement and market price methods respectively. The lowest estimated value was attributed to the air quality service based on the avoided cost method.

Authors such as Alam et al. (2014) and Wilson (2008) obtained an estimated value of USD 2 395.08·ha⁻¹ and USD 3 684.68·ha⁻¹ for an intercropping forest in Quebec and for the Southern Ontario Greenbelt, respectively. These estimates were based on, among other factors, air quality, water runoff control, water filtration, and habitat services of the greenbelt. Dupras et al. (2015), considering information from several studies, obtained an average value of USD 3 277.92·ha⁻¹ for the forest and wetlands of the Greater Montreal rural area. Therefore, the total economic value corresponding to

et al. (2000), pero inferior al obtenido por van Kooten et al. (2000). En el presente estudio se utilizaron precios de mercado para obtener los valores, mientras que otros autores usaron precios de mercado indirectos. El uso de precios de mercado indicó cuánto estuvo dispuesto a pagar el agente económico por el servicio de calidad del aire.

Hábitat

Se utilizó el método de precio de mercado y se basó en las características de los bienes raíces según el MAMOT (2016). Este método mide el valor que un agente económico pagaría por el hábitat (King & Mazzotta, 2000). El Cuadro 4 muestra los valores obtenidos para las categorías de suelo.

El área forestal total valuada fue 15 998.96 ha con 659 494 unidades valoradas. Por lo tanto, el valor del suelo forestal en este estudio se estimó aproximadamente en 1 939.50 USD·ha⁻¹. Snyder et al. (2007), basados en el método hedónico, obtuvieron un valor promedio para el área forestal en el norte de Minnesota de 2 324.00 USD·ha⁻¹. Variables como la presencia de la orilla del lago o la orilla del río y la compra de un lugar para disfrutar de la vida silvestre explican el valor del área forestal en un grado significativo. Dupras et al. (2015) indicaron un valor promedio de 2 382.80 USD·ha⁻¹ para las áreas rurales de la Gran Montreal. Wilson (2008) valoró la biodiversidad del cinturón verde de Ontario considerando tres servicios ecosistémicos, concretamente, polinización, biodiversidad y recreación. El valor del hábitat fue de 1 774.27 USD·ha⁻¹ y se utilizaron dos métodos de valoración: costo de reemplazo utilizado para biodiversidad y costo contingente para recreación. Por lo tanto, en el presente estudio se estimó un valor de hábitat inferior a los valores estimados por Snyder et al. (2007) y superior al estimado por Wilson (2008). La diferencia entre los valores estimados en el presente estudio y el de Snyder et al. (2007) puede explicarse mediante el método de valoración utilizado y por la ubicación del precio de mercado. En particular, la ubicación del precio de mercado está determinada por la oferta y la demanda local y las condiciones de la propiedad (Monson, 2009). Con respecto al estudio realizado por Wilson (2008), en el que el valor del hábitat se define como el costo de restauración, la diferencia entre los valores estimados puede explicarse mediante el método de valoración utilizado.

Valor económico total

En este estudio, el valor económico correspondiente a los tres servicios ecosistémicos (suministro y calidad del agua, calidad del aire y hábitat) fue de 4 539.48 USD·ha⁻¹. Por lo tanto, el valor económico total para 15 998.96 ha del área forestal alrededor de la ciudad de Quebec fue 72 627 025.00 USD·año⁻¹ (Cuadro 5).

Table 5. Estimated economic values of three ecosystem services in Quebec City (2017).**Cuadro 5. Valores económicos estimados de tres servicios ecosistémicos en la ciudad de Quebec.**

Ecosystem service/ Servicio ecosistémico	Value per hectare/ Valor por hectárea		Total value (15 998.96 ha)/ Valor total (15 998.96 ha)	
	(CAD·ha ⁻¹)	(USD·ha ⁻¹)	(CAD)	(USD)
Water supply/ Suministro de agua	2 575.53	1 983.99	41 205 782	31 741 780
Water quality/ Calidad del agua	703.95	542.27	11 262 449	8 675 729
Air quality (carbon sequestration)/ Calidad del aire (captura de carbono)	95.70	73.72	1 531 124	1 179 461
Habitat	2 517.78	1 939.50	40 281 852	31 030 055
Total ecosystem value/ Valor total del ecosistema	5 892.96	4 539.48	94 281 208	72 627 025

the three ecosystems considered in the present study was higher than the total economic value obtained by other authors.

Although several authors considered a similar forest biomass, the estimated economic values showed differences for the water supply and quality (Dupras, Alam, & Revéret, 2015; Wilson, 2008), carbon sequestration (Kulshreshtha et al., 2000; Van Kooten, Krcmar-Nozic, Van Gorkom, & Stennes, 2000; Wilson, 2008), and the forest habitat (Dupras et al., 2015; Snyder, Kilgore, Hudson, & Donnay, 2007; Wilson, 2008).

Conclusions

In the present study, the economic valuations of three of the most important ecosystem services supplied by the forest were estimated and compared in Quebec City. This study confirmed the relevance of considering two criteria for determining the economic ecosystem valuations: the type of forest and the valuation method. In addition, the results underline the importance of using real instead of assumed data. Variation between our estimates and the values reported in other studies resulted from comparison of different valuation

Los valores más altos de los ecosistemas se atribuyeron a los servicios de suministro de agua y hábitat. Estos servicios ecosistémicos se basaron en los métodos de reemplazo y precio de mercado, respectivamente. El valor estimado más bajo se atribuyó al servicio de calidad del aire basado en el método de costo evitado.

Autores como Alam et al. (2014) y Wilson (2008) obtuvieron un valor estimado de 2 395.08 USD·ha⁻¹ y 3 684.68 USD·ha⁻¹ para un bosque intercalado en Quebec y para el cinturón verde al sur de Ontario, respectivamente. Estas estimaciones se basaron, entre otros factores, en la calidad del aire, el control de la escorrentía de agua, la filtración de agua y los servicios de hábitat del cinturón verde. Dupras et al. (2015), considerando la información de varios estudios, indicaron un valor promedio de 3 277.92 USD·ha⁻¹ para los bosques y humedales de la zona rural de la Gran Montreal. Por tanto, el valor económico total correspondiente a los tres ecosistemas considerados en este estudio fue mayor que el valor económico total obtenido por dichos autores.

Aunque varios autores consideraron una biomasa forestal similar, los valores económicos estimados

methods, efficiency level between forest and human-made systems, and market price sources used for ecosystem valuation.

Acknowledgements

The authors would like to thank CONACYT for the scholarship granted, as well as Joahnn H. Palacios and Luc Belzile for their help in data collection.

End of English version

References / Referencias

- Alam, M., Olivier, A., Paquette, A., Dupras, J., Revéret, J. P., & Messier, C. (2014). A general framework for the quantification and valuation of ecosystem services of tree-based intercropping systems. *Agroforestry Systems*, 88(4), 679–691. doi: 10.1007/s10457-014-9681-x
- Amati, M. (2008). Green belts: A twentieth-century planning experiment. In Amati, M. (Ed.), *Urban green belts in the twenty-first century* (pp. 1–17). Burlington, Vermont, USA: Ashgate Publishing Ltd. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=075623B5543B00FC71E5E6D0EAED6F28?doi=10.1.1.60.6.9672&rep=rep1&type=pdf>
- Aznar-Bellver, J., & Estruch-Guitart, A. V. (2015). *Valoración de activos ambientales, teoría y casos* (2.ª ed.). Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia. Retrieved from <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/19179/VALORACION%20DE%20ACTIVOS%20AMBIENTALES.pdf?sequence=6>
- Balana, B. B., Vinten, A., & Slee, B. (2011). A review on cost-effectiveness analysis of agri-environmental measures related to the EU WFD: Key issues, methods, and applications. *Ecological Economics*, 70(6), 1021–1031. doi: 10.1016/j.ecolecon.2010.12.020
- Barsky, A. (2005). El periurbano productivo, un espacio en constante transformación. Introducción al estado del debate, con referencias al caso de Buenos Aires. *Scripta Nova*, 194(36), 1–16. Retrieved from <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-194-36.htm>
- Brander, L., & Koetse, M. (2011). The value of urban open space: Meta-analyses of contingent valuation and hedonic pricing results. *Journal of Environmental Management*, 92(10), 2763–2773. doi: 10.1016/j.jenvman.2011.06.019
- Chervin, S., Gibson, T., & Green, H. A. (2009). Greenbelt revisited. Retrieved from <https://www.tn.gov/content/dam/tn/tacir/documents/greenbeltrevisited.pdf>
- De Groot, R. S., Alkemade, R., Braat, L. Hein, L. & Willemsen, L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 7(3), 260–272. doi: 10.1016/j.ecocom.2009.10.006
- mostraron diferencias para suministro y calidad del agua (Dupras, Alam & Revéret, 2015; Wilson, 2008), captura de carbono (Kulshreshtha et al., 2000; Van Kooten, Krcmar-Nozic, Van Gorkom & Stennes, 2000; Wilson, 2008), y hábitat del bosque (Dupras et al., 2015; Snyder, Kilgore, Hudson, & Donnay, 2007; Wilson, 2008).

Conclusiones

En este estudio se estimaron y compararon las valoraciones económicas de tres de los servicios ecosistémicos más importantes proporcionados por el bosque de la ciudad de Quebec. Se confirmó la relevancia de considerar dos criterios para determinar las valoraciones de los ecosistemas económicos: el tipo de bosque y el método de valoración. Además, los resultados actuales subrayan la importancia de utilizar datos reales en lugar de datos asumidos. La variación entre nuestras estimaciones y los valores reportados en otros estudios se debió a la comparación de diferentes métodos de valoración, el nivel de eficiencia entre los bosques y los sistemas creados por el hombre, así como las fuentes de precios de mercado utilizadas para la valoración del ecosistema.

Agradecimientos

Agradecemos al CONACYT por la beca otorgada, así como a Joahnn H. Palacios y a Luc Belzile por su ayuda en la recolección de datos.

Fin de la versión en español

- De Groot, R. S., Matthew, A. W., & Roelof, M. J. B. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393–408. doi: 10.1016/S0921-8009(02)00089-7
- Dupras, J., Alam, M., & Revéret, J. (2015). Economic value of greater Montreal's non-market ecosystem services in a land use management and planning perspective. *The Canadian Geographer*, 50(1), 93–106. doi: 10.1111/cag.12138
- Economic and Social Affairs (ESA). (2006). World urbanization prospect. The 2005 revision. Retrieved from http://www.un.org/esa/population/publications/WUP2005/2005WUPHighlights_Final_Report.pdf
- Franquis, F., & Infante, A. (2003). Los bosques y su importancia para el suministro de servicios ambientales. *Revista Forestal Latinoamericana*, 34, 17–20. Retrieved from <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/24124/articulo2.pdf?sequence=2>
- Gouvernement du Québec (2016). ÉVAsat 2016. Statiques annuelles sur l'évaluation foncière municipale au Québec. Retrieved from <https://www.mamot.gouv>

- qc.ca/fileadmin/publications/evaluation_fonciere/reenseignements_donnees/EVAstat2016.pdf
- Hackbart, V. C. S., de Lima, G. T. N. P., & dos Santos, R. F. (2017). Theory and practice of water ecosystem services valuation: Where are we going?. *Ecosystem Services*, 23, 218–227. doi: 10.1016/j.ecoser.2016.12.010
- Herath, S., Choumert, J., & Maier, G. (2015). The value of the greenbelt in Vienna: A spatial hedonic analysis. *The Annals of Regional Science*, 54(2), 349–374. doi: 10.1007/s00168-015-0657-1
- Infrastructure de Géomatique Ouverte (IGO) (2017). Ecoforestières du Québec, Gouvernement du Québec. Retrieved September 5, 2017, from <https://geoegl.msp.gouv.qc.ca/igo/mffpecofor/>
- Jiang, F., Beck, M. B., Cummings, R. G., Rowles, K., & Russell, D. (2005). Estimation of costs of phosphorus removal in wastewater treatment facilities: Adaptation of existing facilities. Retrieved from <http://chatfieldwatershedauthority.org/wp-content/uploads/2013/04/Estimation-of-Costs-of-Phosphorus-Removal-Feb-2005-D0490003.pdf>
- King, D., & Mazzotta, M. (2000). Ecosystem valuation. Retrieved June 5, 2017, from <https://www.ecosystemvaluation.org/index.html>
- Kulshreshtha, S. N., Lac, S., Johnston, M., & Kinar, C. (2000). *Carbon sequestration in protected areas of Canada: An economic valuation*. Retrieved from <http://www.parks-parcs.ca/english/pdf/549.pdf>
- Legay, C., Cloutier, G., Chakhar, S., Joerin, F., & Rodriguez, M. J. (2015). Estimation of urban water supply issues at the local scale: a participatory approach. *Climatic Change*, 130(4), 491–503. doi: 10.1007/s10584-015-1366-6
- MacDonald, G., & Bennett, E. (2009) Phosphorus accumulation in the Saint Lawrence River watershed: A century-long perspective. *Ecosystems*, 12(4), 621–635. doi: 10.1007/s10021-009-9246-4
- Ministry of Finance (2012). *Ontario population projections update, 2011-2036*. Toronto, Canada: Queen's printer for Ontario. Retrieved from <http://www.ontla.on.ca/library/repository/mon/26006/318319.pdf>
- Ministry of Municipal Affairs and Territorial Occupation (MAMOT) (2016). Gouvernement du Québec. Retrieved from https://www.mamot.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/evaluation_fonciere/reenseignements_donnees/EVAstat2016.pdf
- Monson, M. (2009). Valuation using hedonic pricing models. *Cornell Real Estate Review*, 7, 62–73. Retrieved from <https://scholarship.sha.cornell.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com.mx/&httpsredir=1&article=1058&context=crer>
- Mundell, J., Taff, S. J., Kilgore, M. A., & Snyder, S. A. (2010). Using real estate records to assess forest land parcelization and development: A Minnesota case study. *Landscape and Urban Planning*, 94(2), 71–76. doi: 10.1016/j.landurbplan.2009.08.001
- Olewiler, N. (2004). The value of natural capital in settled areas of Canada. Retrieved http://www.cmnbc.ca/sites/default/files/natural%2520capital_0.pdf
- Pagiola, S., Landell-Mills, N., & Bishop, J. (2002). *Market-based mechanisms for forest conservation and development* (1th ed.). New York, USA: Earthscan Publications Ltd.
- Pandeya, B., Buytaert, W., Zukafii, Z., Karpouzoglou, T., Mao, F., & Hannah, D. M. (2016). A comparative analysis of ecosystem services valuation approaches for application at the local scale and in data scarce regions. *Ecosystem Services*, 22(B), 250–259. doi: 10.1016/j.ecoser.2016.10.015
- Québec Federation of Real Estate Boards (QFREB). (2017). Using the municipal assessment to determine the selling price of a property: a good idea? Retrieved August 15, 2017, from <https://www.fcic.ca/using-the-municipal-assessment-to-determine-the-selling-price-of-a-property-a-good-idea/>
- Report of the Sustainable Development Commissioner (RSDC). (2016). Carbon market: description and issues. Report of the Auditor General of Québec to the National Assembly for 2016-2017. Retrieved from http://www.vgq.gouv.qc.ca/en/en_publications/en_rapport-annuel/en_fichiers/en_rapport2016-2017-cdde.pdf
- Samuelson, A., & William, D. (2002). *Economía* (1.ª ed.). Madrid, España: Mc Graw-Hill.
- Shi, A. (2003). The impact of population pressure on global carbon dioxide emissions, 1975–1996: evidence from pooled cross-country data. *Ecological Economics*, 44(1), 29–42. doi: 10.1016/S0921-8009(02)00223-9
- Schild, J. E. M., Vermaat, J. E., & van Bodegom, P. M. (2017). Differential effects of valuation method and ecosystem type on the monetary valuation of dryland ecosystem services: A quantitative analysis. *Journal of Arid Environments*, 1–11. doi: 10.1016/j.jaridenv.2017.09.001
- Snyder, S. A., Kilgore, M. A., Hudson, R., & Donnay, J. (2007). Determinants of forest land prices in Northern Minnesota: A hedonic pricing approach. *Forest Science*, 53(1), 25–36. Retrieved from https://www.nrs.fs.fed.us/pubs/jrnl/2007/nc_2007_snyder_001.pdf
- Spangenberg, J. H., & Settele, J. (2010). Precisely incorrect? Monetising the value of ecosystem services. *Ecological Complexity*, 7(3), 327–337. doi: 10.1016/j.ecocom.2010.04.007
- Statistics Canada (2018). Consumer price index, annual average, not seasonally adjusted. Retrieved May 1, 2017, from <https://www.statcan.gc.ca/tables-tableaux/sum-som/l01/cst01/econ157g-eng.htm>
- van Kooten, G. C., Krmar-Nowic, E., van Gorkom, R., & Stennes, B. (2000). Economics of afforestation for carbon sequestration in western Canada. *The Forestry Chronicle*, 76(1), 165–172. doi: 10.5558/tfc76165-1
- Wilson, S. J. (2008). *Ontario's wealth, Canada's future: Appreciating the value of the greenbelt's eco-services*. Vancouver, Canada: David Suzuki Foundation. Retrieved from <https://david Suzuki.org/wp-content/uploads/2018/02/ontario-wealth-canada-future-value-greenbelt-eco-services.pdf>