



**UNIVERSIDAD MICHOACANA  
DE SAN NICOLÁS DE  
HIDALGO**



Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra  
Maestría en Geociencias y Planificación del Territorio

**ANÁLISIS DEL CAMBIO DE COBERTURA Y USO DEL  
TERRENO EN EL DISTRITO DE SQUAMISH Y  
SQUAMISH-LILLOOET D, CANADÁ**

**TESIS**

Para obtener el grado académico de:  
Maestro en Geociencias y Planificación  
del Territorio

Presenta:  
**Biol. Rosa Leiz Ponce Díaz**

**Directora de tesis: Dra. Erna M. López Granados**

**Codirector: Dr. Manuel E. Mendoza Cantú**

Morelia Michoacán, septiembre, 2023.

## Índice general

<b>Índice de figuras</b> .....	IV
<b>Índice de cuadros</b> .....	VI
<b>Dedicatoria</b> .....	VII
<b>Agradecimientos</b> .....	VIII
<b>Resumen</b> .....	IX
<b>Abstract</b> .....	X
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	11
1.1. Importancia de los bosques .....	13
1.2. Superficie forestal en el mundo y su pérdida .....	14
1.3. Bosques en América del Norte .....	16
1.4. Bosques de Canadá .....	17
1.5. Justificación .....	22
1.6. Objetivos .....	23
1.7. Hipótesis .....	23
<b>CAPÍTULO 2. ZONA DE ESTUDIO</b> .....	24
2.1. Topografía .....	25
2.2. Geología .....	26
2.3. Edafología .....	29
2.4. Clima .....	33
2.5. Hidro-meteorología .....	34
2.6. Población de la zona de estudio .....	37
2.7. Parques y reserva ecológica .....	40
2.8. Carreteras .....	43
2.9. Flora y fauna .....	44
<b>CAPÍTULO 3. ANTECEDENTES</b> .....	45
3.1. Uso del terreno .....	45
3.2. Perturbaciones forestales .....	48
<b>CAPÍTULO 4. MARCO HISTÓRICO</b> .....	50
4.1. Políticas de manejo forestal sostenible .....	50
4.1.1. Evolución de la Política forestal del año 1700 al 2000 .....	50
4.1.2. Sistema de licencias .....	54
4.1.3. Corte anual permitido (CAP) .....	56

4.1.4. Plan de manejo forestal.....	57
4.1.5. Cumplimiento y aplicación de las políticas de manejo forestal.....	59
<b>CAPÍTULO 5. MARCO CONCEPTUAL.....</b>	<b>60</b>
<b>CAPÍTULO 6. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>61</b>
6.1. Materiales.....	61
6.2. Métodos.....	63
6.2.1. Interpretación de imágenes satelitales.....	63
6.2.2. Elaboración de los mapas de Cobertura y Uso del Terreno.....	63
6.2.3. Descripción de categorías.....	64
6.2.4. Validación .....	68
6.2.5. Obtención de la matriz de Markov .....	69
<b>CAPÍTULO 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>73</b>
7.1. Calidad de la base de datos.....	73
7.2. Características de las categorías interpretadas.....	74
7.3. Cobertura y uso del terreno de 1985 a 2018.....	77
7.4. Principales cambios de cobertura y uso del terreno de la Matriz de probabilidad ...	83
7.5. Variables biofísicas.....	89
7.6. Variables demográficas y económicas.....	93
7.7. Procesos de cambio en la zona de estudio.....	97
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>99</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>101</b>

## Índice de figuras

Figura 1. Casas tradicionales de madera construidas por población de las Primeras Naciones, en estas construcciones habitaban 50 familias aproximadamente. Fotografía de Erna M. López tomada en el Museo de Antropología (MOA) de la Universidad de la Columbia Británica (Vancouver, Canadá). -----	21
Figura 2. Nombre original de la zona de estudio Squamish-Lillooet. Foto tomada por Erna M. López Granados, en la Columbia Británica. -----	24
Figura 3. Mapa de ubicación de la zona de estudio: a) Canadá, b) Columbia Británica, c) Distrito Regional de Squamish-Lillooet (DRSL) y c) Distrito de Squamish (Squamish) y Squamish-Lillooet D. -----	25
Figura 4. Mapa de pendientes y curvas de nivel del área de estudio (Distrito de Squamish y Squamish-Lillooet D). -----	26
Figura 5. Mapa Geológico del área de estudio (Distrito de Squamish y Squamish-Lillooet D) (Cui <i>et al.</i> , 2017). -----	29
Figura 6. Mapa se suelos en el área de estudio (Distrito de Squamish y Squamish-Lillooet D). En este mapa se encuentra el horizonte podzol Ferrohúmico y podzol Humo-Férrico, además de la superficie de nieve y hielos perpetuos (Government of Canada, 2020) ---	32
Figura 7. Mapa de elevación, ríos principales y ríos intermitentes del área de estudio (Distrito de Squamish y Squamish-Lillooet D). Fuente: Picketts and Hamilton, 2016. ---	36
Figura 8. Población de 1991 a 2016 del Distrito de Squamish y Squamish-Lillooet D (Natural Resources Canada). -----	38
Figura 9. Mapa de ubicación de las Primeras Naciones. -----	39
Figura 10. Mapa de reserva ecológica y parques en el área de estudio. -----	42
Figura 11. Mapa de clase de carreteras del área de estudio. -----	43
Figura 12. Mapa de carreteras por localidad del área de estudio. -----	44
Figura 13. Subcategorías interpretadas del bosque: a) bosque cerrado, b) bosque semiabierto y c) bosque abierto. La imagen de lado izquierdo es del año 1985 y la imagen de lado derecho es del 2018. -----	65
Figura 14. Categoría de plantaciones de 1985 (imagen de lado izquierdo) y 2018 (imagen de lado derecho). -----	65
Figura 15. Categoría de pastizal de 1985 (imagen de lado izquierdo) y 2018 (imagen de lado derecho). -----	66
Figura 16. Categoría de asentamientos humanos de 1985 (imagen de lado izquierdo) y 2018 (imagen de lado derecho). -----	66
Figura 17. Categoría de cuerpo de agua de 1985 (imagen de lado izquierdo) y 2018 (imagen de lado derecho). -----	67
Figura 18. Categoría de nieve y hielos de 1985 (imagen de lado izquierdo) y 2018 (imagen de lado derecho). -----	67
Figura 19. Categoría de suelo desnudo de 1985 (imagen de lado izquierdo) y 2018 (imagen de lado derecho). -----	68
Figura 20. Ejemplo de la matriz de Markov. -----	70
Figura 21. Diagrama de flujo de la metodología desarrollada durante el presente proyecto. -----	72
Figura 22. Mapas de bosque semiabierto del año 1985 y 2018. -----	76
Figura 23. Mapas de asentamientos humanos (AH) del año 1985 y 2018. -----	76
Figura 24. Porcentaje para cada una de las categorías y subcategorías del año 1985 y 2018. BC (Bosque cerrado), BSa (Bosque semiabierto), BA (Bosque abierto), PI (Plantaciones), Pz (Pastizal), AH (Asentamientos humanos), CA (Cuerpos de agua), N (Nieve y hielos), Sd (Suelo desnudo). -----	77

Figura 25. Mapas de Bosques: bosque cerrado, bosque semiabierto y bosque abierto) del año 1985. -----	78
Figura 26. Mapas de Bosques: bosque cerrado, bosque semiabierto y bosque abierto) del año 2018. -----	79
Figura 27. Mapas de plantaciones del año 1985 y 2018. -----	81
Figura 28. Mapa de cobertura y uso del terreno (CUT) del año 1985. -----	87
Figura 29. Mapa de cobertura y uso del terreno (CUT) del año 2018. -----	88
Figura 30. Mapa de procesos de cambios del área de estudio. -----	98

## Índice de cuadros

Cuadro 1. Principales causas de deforestación -----	18
Cuadro 2. Volumen estimado de rollo de madera (millones de m <sup>3</sup> ) en Canadá (NRCan, 2019) -----	19
Cuadro 3. Litología y porcentaje del área de estudio (Cui et al., 2017). -----	28
Cuadro 4. Grupos de los suelos podzólicos -----	31
Cuadro 5. Superficie y porcentaje de los suelos podzólicos en el área de estudio -----	33
Cuadro 6. Número de personas por localidad y superficie de la zona de estudio -----	37
Cuadro 7. Superficie y habitantes de las localidades habitadas por personas de las Primeras Naciones -----	38
Cuadro 8. Reserva ecológica y parques en el área de estudio (Squamish-Lillooet Regional District, 2020) -----	41
Cuadro 9. Categorías principales y subcategorías del año 1985 y 2018 -----	64
Cuadro 10. Matriz de confusión para el mapa 2018 -----	74
Cuadro 11. Características de las categorías interpretadas para los dos años de estudio-- -----	75
Cuadro 12. Cambios de cobertura y uso del terreno del año 1985 y 2018 -----	80
Cuadro 13. Matriz de probabilidad de Markov de los años 1985 y 2018 -----	83
Cuadro 14. Tabla de tasas de cambio para cada una de las coberturas del área de estudio. -----	86
Cuadro 15. Cobertura del área de estudio y variables biofísicas para el año 1985. -----	90
Cuadro 16. Cobertura del área de estudio y variables biofísicas para el año 2018. -----	92
Cuadro 17. Estimaciones de empleo, ingresos laborales, PIB, ingresos fiscales del sector turístico de Squamish, 2018. -----	96
Cuadro 18. Procesos de cambio de 1985 al 2018. -----	97

## **Dedicatoria**

*Esta tesis se la dedico a mi hermana Anleyfer, por ser la pequeña de mis hermanos y a la nueva integrante de la familia Georgina, a quienes deseo en un futuro lleguen a cumplir sus sueños y metas.*

*A mis padres y hermanos a quienes amo con el alma.*

## **Agradecimientos**

A la **Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo** (UMSNH), especialmente al **Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra** (INICIT) donde tuve el honor de realizar el presente proyecto de investigación para obtener el grado de Maestro en Ciencias. Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** (CONACYT) por la beca proporcionada para su realización. Al proyecto Dendrogeomorfología: desarrollo e implementación de un esquema para cartografiar y evaluar peligros geomorfológicos en zonas montañosas intertropicales de México, financiado por PAPIIT-UNAM (IN110222)

A mí directora **Dra. Erna Martha López Granados**, por aceptarme como su alumna para la realización de esta tesis, por su paciencia, confianza, ayuda, motivación y asesorías durante la realización del presente trabajo.

A mí codirector el **Dr. Manuel E. Mendoza Cantú**, por brindarme su ayuda en todo momento, por ser muy paciente, por corregirme académicamente y de manera amable. Por ser un gran guía en mi proceso de terminación de esta tesis.

A mis sinodales Dra. Ruth Alfaro Cuevas Villanueva, Dr. Jorge Alejandro Ávila Olivera, Dr. Luis Rafael Olmos Navarrete y al Dr. Rafael Trueba Regalado, por el tiempo dedicado en la revisión de esta tesis, por sus valiosos comentarios y por su disposición para atender mis dudas.

Quisiera agradecer a mi familia Ponce Díaz por apoyarme siempre y a mis compañeros de maestría, por sus consejos y compañerismo.



## Resumen

Los Cambios de Cobertura y Uso del Terreno (CCUT) han modificado el paisaje y el intercambio de energía en la atmósfera, ocasionando un impacto en el clima regional y global. Estos cambios han provocado la pérdida de diversidad de especies biológicas, cambios en los ciclos biogeoquímicos, alteración en los ecosistemas y en la afectación de la capacidad de los sistemas biológicos de dar sustento a las necesidades humanas y mantenerse. En la presente tesis se analizó el CCUT en el periodo de 1985 a 2018 en el Distrito de Squamish y Squamish-Lillooet D, ubicado en la Columbia Británica en Canadá. Se realizó interpretación visual en pantalla en dos tipos de imágenes satelitales: Landsat TM y Sentinel 2A a escala 1:80 000, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), especialmente con ArcMap. La interpretación realizada se validó con verdad de imagen detallada, de la cual se obtuvo una fiabilidad del 97%. La zona estudiada comprende 329 380 ha, de las cuales se interpretaron siete categorías generales: Bosques (bosque cerrado, bosque semiabierto y bosque abierto), plantaciones, pastizales, asentamientos humanos, cuerpos de agua, nieve y hielos y suelo desnudo. Se observó que el bosque predominó en las dos fechas analizadas (1985 y 2018), con 56% del área en el año 1985 y 71% en el año 2018; asimismo, se identificó que las plantaciones en el primer año (30 503 ha) fueron superiores a las del segundo año (2 768 ha), indicando que los bosques en el año 2018, pueden ser, principalmente secundarios o de tercer crecimiento a partir de regeneración natural y/o plantaciones forestales; el desarrollo de los bosques se debe al adecuado manejo forestal sostenible en la zona de estudio.

Palabras clave: Cobertura del terreno, uso del terreno, bosques, manejo forestal y plantaciones.

## **Abstract**

The Land Cover and Land Use Changes (LCLUC) have modified the landscape and the exchange of energy in the atmosphere, causing an impact on the regional and global climate. These changes have caused the loss of diversity of biological species, changes in biogeochemical cycles, alteration in ecosystems, and on the capacity of biological systems to support and maintain human needs. In this thesis, LCLUC was analyzed in the period from 1985 to 2018 in the District of Squamish and Squamish-Lillooet D, located in British Columbia in Canada. An on-screen visual interpretation was performed on two types of satellite images: Landsat TM and Sentinel 2A at 1:80 000 scale, using a Geographic Information Systems (GIS), especially with ArcMap. The interpretation was validated with detailed image truth, of which a reliability of 97% was obtained. The studied area comprises 329,380 ha, of which seven general categories were interpreted: Forests (closed forest, semi-open forest, and open forest), plantations, grasslands, human settlements, bodies of water, snow and bare soil. It was observed that the forest predominated in the two dates analyzed (1985 and 2018), with 56% of the area in 1985 and 71% in 2018; Likewise, it was identified that the plantations in the first year (30,503 ha) were higher than those of the second year (2,768 ha), indicating that the forests in 2018 can be mainly secondary or third growth from natural regeneration and / or forest plantations; the development of forests is due to adequate sustainable forest management in the study area.

Keywords: Land cover, land use, forests, forest management and plantations.

## INTRODUCCIÓN

Los Cambios de Cobertura y Uso del Terreno (CCUT) en el siglo XXI han modificado la superficie y el intercambio de energía en la atmósfera, impactando el clima regional y global. Cuando estos cambios se agregan a nivel mundial, afectan aspectos clave del funcionamiento del sistema terrestre (Lambin *et al.*, 2001).

La comprensión del CCUT requiere conocer las interacciones entre la Cobertura del Terreno (CT) y Uso del Terreno (UT) en sus aspectos espaciales y temporales (Turner *et al.*, 1994). Si bien, estos se relacionan, pero no son idénticos, ya que la CT es independiente del UT; la CT debe referirse de la Cobertura del Terreno y sus patrones (Jansen and Gregorio, 2003; Brown *et al.*, 2014). Por lo tanto, las elecciones de UT que se hagan en el espacio y el tiempo, modificarán la Cobertura del Terreno resultante.

La CT se define como los objetos que pueden observarse en la superficie de la Tierra, por ejemplo: los bosques, pastizales, glaciares, ríos, lagos, entre otros. Asimismo, la CT es una expresión de las actividades humanas y como tal, cambia de acuerdo con los usos y el manejo del suelo. La CT puede formar una base de referencias para estudios que incluyen monitoreo de bosques y pastizales, producción de estadísticas para la planificación y transformación del área estudiada (Jansen and Di Gregorio, 2002; Jansen and Di Gregorio, 2003; Brown *et al.*, 2014; Sleeter *et al.*, 2018).

En el caso del UT se refiere al tipo de actividad humana que se desarrolla en la superficie terrestre, con el cual se espera obtener beneficios en forma de bienes y/o servicios, considerando sus objetivos, medios disponibles, posibles restricciones y el conjunto dado de parámetros biofísicos; el UT está determinado por factores económicos, institucionales, culturales, biofísicos y legales (Jansen and Di Gregorio, 2003; Brown *et al.*, 2014).

Los CCUT han provocado la pérdida de biodiversidad, cambios en el ciclo hidrológico, la alteración de los servicios ecosistémicos y la afectación de la capacidad de los sistemas biológicos para apoyar las necesidades humanas y mantenerse (Lambin *et al.*, 2001; Lambin and Geist, 2006; Zhu *et al.*, 2012). Por esta razón es necesario el estudio del CCUT a diferentes escalas espacio-temporales, para comprender como las alteraciones en el Cambio del Uso del Terreno (CUT) llevan a cambios ambientales (tanto locales, regionales y globales) y sugerir estrategias de desarrollo que apoyen la sostenibilidad de los ecosistemas (Jansen and Di Gregorio, 2003; Lambin and Geist, 2006; da Silva Junior *et al.*, 2014).

El análisis del CCUT proporciona la ubicación, el tipo y la forma en que la cobertura y uso del terreno están cambiando. La detección de estos cambios en el medio ambiente, las causas y respuestas relacionadas con el ser humano, pueden usarse para predecir cambios y proyectar trayectorias futuras (Jansen and Di Gregorio, 2003). Asimismo, los CCUT pueden determinar la vulnerabilidad de los lugares y de las personas a los cambios climáticos, económicos y/o perturbaciones socioeconómicas (Lambin *et al.*, 2001; Brown *et al.*, 2014)

Uno de los procesos de cambio en el uso del terreno es la deforestación, es decir la transformación de una superficie cubierta por vegetación arbórea hacia una que carece de ella, es la pérdida completa del bosque; sin considerar la sostenibilidad a corto o largo plazo (Bennett, 2017; FAO, 2018). La deforestación ocurre cuando la superficie cubierta de bosques pierde su masa arbórea permanentemente y se convierte a otros usos de la tierra, como construcción de caminos, asentamientos humanos o uso industrial. Esta conversión significa la pérdida de los múltiples valores y servicios ambientales producidos por un bosque, como la biodiversidad, el filtrado de agua y el secuestro de carbono, provocando un desequilibrio en el entorno natural, como el aumento de la escorrentía, el aumento en la producción de CO<sub>2</sub> y el incremento de la temperatura ambiental (Trevol, 1998; SFI, 2020; Seto, 2012; NRCan, 2019).

Es importante no confundir el aprovechamiento de bosques correctamente gestionados o el uso y manejo de bosques sostenibles con un proceso de deforestación no planeado. Los bosques gestionados se talan con garantías de sostenibilidad a corto o largo plazo, donde las tierras son reforestadas con las diferentes especies del área (NRCan, 2019).

### **1.1. Importancia de los bosques**

Los bosques desempeñan funciones esenciales al brindar beneficios al planeta, debido a que, fortalecen la vida en la tierra, evitan la erosión del suelo, moderan el clima, regulan los sistemas hídricos, son parte fundamental en los ciclos biológicos o biogeoquímicos y conservan la biodiversidad (Ekhuemelo *et al.*, 2016; Bennett, 2017; FAO, 2018; FAO 2020).

Los bosques albergan la mayor diversidad biológica que cualquier otro ecosistema en la tierra, lo que influye en una alta capacidad de recuperación del medio ambiente, porque las especies pueden absorber y reducir los efectos de los cambios ambientales en la estructura total del ecosistema (FAO, 2018; FAO 2020).

Los bosques también proporcionan bienes y/o servicios a las personas, como son alimentos y medicinas, suministros de aire y agua limpios, responden a la disminución de inundaciones y al cambio climático (tanto para su mitigación como para adaptarse a este); todos los beneficios que se obtienen de los bosques son insustituibles (Ekhuemelo *et al.*, 2016; Bennett, 2017; FAO, 2018).

Los bosques y árboles ofrecen protección, prevención o disminución de efectos ante fenómenos peligrosos como avalanchas y desprendimientos de tierras, así como tsunamis y ciclones en las zonas costeras (FAO 2020).

De igual manera, los bosques desempeñan una función esencial para regular la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera, dado que

absorben 2 000 millones de toneladas de dióxido de carbono por año. En este sentido, la deforestación es una de las principales causas del cambio climático, ya que la capacidad de los bosques para retener carbono disminuye a medida que estos se pierden (FAO, 2018).

Las tres cuartas partes del agua dulce accesible del planeta provienen de cuencas hidrográficas boscosas (FAO, 2003; FAO, 2018). Agua que es necesaria para usos urbanos, agrícolas, industriales y ecológicas (Ekhuemelo *et al.*, 2016). Por lo que la pérdida de cubierta forestal representa una amenaza a la supervivencia de millones de personas y daño el medio ambiente.

## **1.2. Superficie forestal en el mundo y su pérdida**

Actualmente los bosques ocupan el 30.8% de la superficie terrestre mundial, es decir, 4 060 Mha de superficie forestal total (aproximadamente 0.5 ha por personas), sin embargo, los bosques no están distribuidos de manera equitativa en el mundo, ya que más de la mitad (2 189 Mha) de los bosques se encuentran en solo cinco países: la Federación Rusa (20%), Brasil (12%), Canadá (9%), Estados Unidos de América (8%) y China (5%) (NRCan, 2019; FAO, 2020; Leberger *et al.*, 2020).

Cabe señalar que, el 66% de los bosques del mundo están situados en 10 países; los primeros cinco países ya mencionados, además de Australia (3%), República Democrática del Congo (3%), Indonesia (2%), Perú (2%) e India (2%) y solamente el 34% de los bosques se encuentra en el resto del mundo (FAO, 2020).

En los últimos tres decenios (1990 y 2020) la superficie forestal disminuyó del 32.5% al 30.8%, esto representa una pérdida neta de 178 Mha de bosques. Sin embargo, la tasa media de pérdida neta de bosque ha disminuido en un 40% entre 1990-2000 y 2010-2020 (de 7.84 Mha al año a 4.74 Mha al año), como resultado

de la reducción de la pérdida de superficie forestal en algunos países y de aumento de bosque en otros (Keenan *et al.*, 2015; FAO, 2020).

La pérdida de bosques se debe principalmente a la expansión agrícola (Keenan *et al.*, 2015), a la deforestación y a otros factores naturales o relacionados con el ser humano como: las enfermedades, los incendios forestales o eventos de sequía. Asimismo, se ha demostrado que la disminución de bosques está vinculada a factores como los cambios en la densidad de población, el comercio internacional y el desarrollo económico (Leberger *et al.*, 2020).

La pérdida de bosques se registra principalmente en los países en vías de desarrollo, en particular en África Subsahariana, América Latina y Asia Sudoriental, a medida que aumenta la población y las tierras forestales se convierten en fines agrícolas u otros usos (Keenan *et al.*, 2015; FAO, 2018).

Los bosques disminuyen en todas las regiones climáticas excepto en las templadas, las cuales al contrario han aumentado desde 1990, por los programas forestales a gran escala, que se han implementado en varios países (Keenan *et al.*, 2015; FAO, 2018). Este aumento de superficie se produce mediante la expansión natural de los bosques, por ejemplo, en tierras agrícolas abandonadas o por medio de reforestación (replantación de un terreno con bosque y regeneración natural asistida) o forestación (plantación o renovación de árboles) (FAO, 2018; FAO, 2020).

La cantidad de bosques plantados en el mundo ha aumentado en más de 105 Mha, desde 1990, pero el ritmo de este aumento disminuyó de 2010 a 2015, debido a la reducción de las plantaciones en Asia Oriental, América del Norte, Asia Meridional y Suboriental (Keenan *et al.*, 2015; FAO, 2018). Sin embargo, de 2015 a 2020, el ritmo de pérdida se ha desacelerado en la mayoría de los países, a excepción de los países de África donde la pérdida ha aumentado desde el 2010

al 2020, con 3.94 Mha al año, al igual que los países de América del Sur con 2.60 Mha al año (FAO, 2020).

Cabe señalar que Asia presenta el mayor aumento neto de la superficie forestal en el periodo 2010-2020, seguida por Oceanía y Europa. Tanto Europa como Asia presentan un aumento neto (0.5 a 2 Mha) de bosques desde 1990 a la actualidad. Mientras que América del Sur y África, presenta la mayor pérdida (-2.5 a -5.5 Mha) de superficie forestal desde 1990 a 2010 (FAO, 2020).

### **1.3. Bosques en América del Norte**

Estados Unidos (U. S) y Canadá son los países de América del Norte con mayor superficie forestal (NRCan, 2019). Estados Unidos cuenta con 310 Mha, las cuales cubren un tercio de la superficie total del país. El 56% de los bosques son de propiedad privada y el resto es administrado por los gobiernos locales, estatales y federales (Tidwell, 2016; FAO, 2020).

En el siglo XIX, el principal problema de los bosques en U.S fue la deforestación (Oswalt *et al.*, 2014), la cual fue producida también por la expansión de la frontera agrícola. Por esta razón se implementaron áreas protegidas y se crearon estructuras sólidas de gobernanza para gestionar los bosques de manera sostenible, tanto en tierras públicas como en privadas. Con las políticas de manejo forestal se produjo a un equilibrio en el país hasta mediados del siglo XX, pero después los problemas cambiaron, ya que estos se asociaron con la sequía, los brotes de insectos y enfermedades, los incendios forestales y las especies invasoras (Kanott *et al.*, 2019; Saenz y Mendoza, 2022), todo empeorado por el cambio climático (Tidwell, 2016; Oswalt *et al.*, 2019).

En el caso de Canadá, el país cuenta con 347 Mha (FAO, 2020), de los cuales 164 Mha de bosques están certificados con estándares de gestión forestal



sostenible y 30 Mha se encuentran en áreas protegidas legalmente establecidas (NRCan, 2019).

#### **1.4. Bosques de Canadá**

Canadá cuenta con 909 Mha de superficie total, de los cuales el 34.8% es de superficie forestal, donde 235 Mha son coníferas, 36 Mha son de hoja ancha, 54 Mha de madera o bosque mixto y solo 20 Mha de áreas temporalmente sin árboles. Los bosques se encuentran sujetos a diferentes procesos de cambio, como la forestación (manejo forestal voluntario en tierras anteriormente deforestadas), la deforestación y las perturbaciones naturales (NRCan, 2019).

En Canadá se han presentado perturbaciones en los ecosistemas, debido a los cambios en el paisaje en las últimas décadas. Leahy (2014), mencionó que el territorio canadiense pierde con rapidez los últimos bosques vírgenes y es de los países con mayor deforestación desde el siglo XIX, ya que se perdieron o degradaron más de 104 Mha de bosque. La tala, la construcción de caminos y los incendios, se encuentran entre las principales causas de la pérdida forestal (SFI, 2020; Saenz y Mendoza, 2022).

En Ontario y regiones circundantes, por la tala de árboles a gran escala ocasionada por el cambio a tierras agrícolas, produjo un contraste en el promedio anual de la temperatura de la superficie del suelo, causando el calentamiento del área deforestada en los últimos dos siglos (Trevol et al., 1998; Trevol, 1998).

Cabe mencionar que, los cambios en la cobertura del terreno que se han producido recientemente y que pueden seguir ocurriendo en el país de Canadá, son cambios abruptos asociados con perturbaciones, ya sea por incendios, brotes de insectos, cosecha de madera y agricultura (Robson et al., 1995; Mcguire et al., 2012). El cambio de cobertura puede ocasionar cambios sutiles en la dinámica de la vegetación que influyen en el funcionamiento estacional, como en el tiempo de

congelación y descongelación del suelo; la distribución espacial de la vegetación, por la disminución de árboles en las regiones ahora ocupadas por la tundra y los cambios de zonas de aguas superficiales (Mcguire et al., 2012).

En el 2019 la pérdida anual de los bosques canadienses fue del 0.01% (35 385 ha), causado por la deforestación (ver Cuadro 1), mientras que, la pérdida anual por otras perturbaciones es de: 4.5% (15 Mha) por insectos (2017), 0.7% (2 Mh) por incendios (2018) y 0.2% (755 884 ha) por áreas cosechadas (2017) (NRCan, 2019).

Cuadro 1. Principales causas de deforestación.

Causas de deforestación	Porcentaje (%)
Minería, la extracción de petróleo y gas	37
Agricultura	35
Área construida	18
Hidroelectricidad	6
Silvicultura	4

Fuente: NRCan, 2019

Por otra parte, Canadá contiene 44.6 mil millones de m<sup>3</sup> (Mm<sup>3</sup>) de volumen de rollo de madera (VRM) (ver Cuadro 2) y para mantenerse estable, las ganancias del crecimiento del VRM y la regeneración de los bosques deben compensar las pérdidas causadas por los disturbios por el hombre (como la cosecha o la deforestación) y los disturbios naturales (como incendios forestales, tormentas de vientos, enfermedades e infestaciones por insectos) (NRCan, 2019).

Entre 1990 y 2018 la disminución de volumen de madera se debió principalmente a las perturbaciones naturales, las cuales fueron 20 veces mayor que la pérdida por la tala y la deforestación (NRCan, 2019). Sin embargo, en 2017 y 2018 se registraron los peores años de incendios en CB.

Cuadro 2. Volumen estimado de rollo de madera (millones de m<sup>3</sup>) en Canadá.

Año	Madera en rollo
1990	47,625
1995	47,608
2000	47,320
2005	45,997
2010	45,509
2015	45,144
2016	45,107
2017	44,897
2018	44,648

Fuente: NRCan, 2019.

En 2018 Canadá cosechó 156.2 Mm<sup>3</sup> de madera en rollo industrial de los 217.9 Mm<sup>3</sup> anuales, estimados del suministro de madera sostenible (volumen de madera que se puede cosechar anualmente) (NRCan, 2019). De los 156.2 Mm<sup>3</sup> Columbia Británica (CB) (British Columbia, 2020) representó la mayor extracción (41.5%) de cosecha industrial de madera, seguida de Ontario y Alberta (Government of Canada, 2020).

CB es la provincia con mayor exportación (59.6%) y cosecha de madera (200 mil ha al año), por lo que se ha convertido en un líder mundial en el manejo forestal sostenible (MFS) desde 1990 (Robson *et al.*, 1995; Ministry of Forest, 2003; NRCan, 2019), debido a que satisface las necesidades de la sociedad de productos forestales, respetando los valores que las personas atribuyen a los bosques y preservando la salud y la diversidad de los bosques para el futuro (Naturally Wood, 2019).

Las prácticas de manejos forestales en CB mantienen un equilibrio de los valores del bosque, incluida: a) la calidad del agua y el suelo, b) el hábitat de los peces y la biodiversidad y, c) las oportunidades recreativas y comunitarias. Estas prácticas ayudan a garantizar que los bosques se aprovechen y se gestionen legalmente para obtener una demanda de productos forestales a largo plazo (10

años). De acuerdo con esto, CB cuenta con 22 Mha de tierra disponible para cosechar, de los 55 Mha de tierra forestal (Naturally Wood, 2019).

Cabe señalar que, el paisaje de la zona de estudio tiene una historia en común con la población de las Primeras Naciones, es decir; con los primeros habitantes de la zona, también denominados comunidades originales, americanos nativos o indígenas americanos (Borrows, 1996). Esta población, se conoce actualmente como la Nación Squamish y son los descendientes de las personas aborígenes de la Costa Salish (Salish Coast, es una etnia amerindia que se localizaban en la costa noroeste del Pacífico de la Columbia Británica) que habitaron, ocuparon y gobernaron la región por 8,000 años (Kennedy, Bouchard and Filice, 2019).

Antes del contacto europeo ocurrido a finales de 1,700; la Nación Squamish utilizó los recursos naturales que la rodeaban (ver Figura 1), tomando únicamente lo que necesitaban para asegurarse que sus hijos, los hijos de sus hijos y aun los que no nacían, tuvieran lo necesario para poder sobrevivir (Kennedy, Bouchard and Filice, 2019); cortando solamente árboles valiosos y de rápido acceso, por lo que su aprovechamiento no generó un impacto significativo en el ambiente (Harding, 1993; Pearse, 1992).

Con la llegada de los inmigrantes europeos en el siglo XIX, la Compañía de la Bahía de Hudson estableció puestos comerciales en los territorios de la comunidad de la Costa Salish, como Fort Langley en el territorio de Halkomelem (1827) y Fort Victoria en el territorio de Lekwungan (1843). Con la llegada de colonos a lo largo del siglo XIX, los pueblos de Coast Salish fueron cada vez más desplazados, además de que las epidemias de viruela redujeron significativamente a la población (Kennedy, Bouchard and Filice, 2019).

Figura 1. Casas tradicionales de madera construidas por población de las Primeras Naciones, en estas construcciones habitaban 50 familias aproximadamente. Fotografía de Erna M. López tomada en 2019 en el Museo de Antropología (MOA) de la Universidad de la Columbia Británica (Vancouver, Canadá).



El presente trabajo se integra en siete capítulos, el primero nos introduce a la problemática, algunos antecedentes importantes que hacen referencia a la importancia de los bosques a nivel mundial y en particular de los bosques del área de estudio, la justificación, los objetivos y la hipótesis de este proyecto. Posteriormente, en el capítulo dos se describen las características de la zona de estudio, primeramente, se aborda la ubicación geográfica de la zona, en seguida se describen los aspectos topográficos, la geología, edafología, clima, hidrometeorología, población de la zona de estudio, parques y reserva ecológica, carreteras y, flora y fauna. En el capítulo tres, se mencionan los antecedentes, los cuales se dividen en dos puntos, el uso del terreno y las perturbaciones forestales en la zona de estudio.

En el capítulo cuarto se describen las políticas de manejo forestal sostenible en la Columbia Británica, empezando por la evolución histórica forestal y seguida de las principales políticas forestales que se utilizan en la actualidad en la provincia. En el capítulo cinco se realiza una breve descripción de los conceptos relacionados con la práctica de elementos visuales para la interpretación de las imágenes

Landsat y Sentinel. En el capítulo seis se describen los materiales y la metodología empleada para la elaboración de mapas de Cobertura y Uso del Terreno, la descripción de las categorías, la validación y obtención de la matriz de Markov.

En el capítulo siete, se integran los resultados y discusión, donde se menciona la calidad de la base de datos obtenidos, las características de las categorías interpretadas, los principales cambios de cobertura y uso del terreno de la matriz de probabilidad, las variables biofísicas, demográficas y económicas, así como los procesos de cambio en la zona de estudio. Al final de este proyecto de investigación se encuentran las conclusiones y la bibliografía citada.

### **1.5. Justificación**

Con la presente investigación se pretende conocer la dinámica del cambio de cobertura y uso del terreno, en un país desarrollado en donde la principal cobertura son los bosques, en este caso particular es Squamish y Squamish-Lillooet D, Columbia Británica, Canadá; el estudio forma parte del proyecto Dendrogeomorfología y evaluación de peligros en ambientes de Montañas (DGAPA PAPIIT IN108719). De igual manera, con la presente investigación se desea conocer los procesos de manejo forestal sostenible, llevados a cabo en la provincia, con el fin de entender las políticas de manejo y planes de gestión forestal. Los años estudiados se debió a que se quería conocer el CCUT de finales del siglo pasado hasta la segunda década del presente siglo a partir de la interpretación de imágenes satelitales (Landsat y Sentinel).

## **1.6. Objetivos**

### Objetivo general

Analizar el cambio de cobertura y uso del terreno en el periodo de 1985 a 2018 ocurrido en el Distrito de Squamish y Squamish-Lillooet D, ubicado en la Columbia Británica de Canadá.

### Objetivos particulares

- Conocer la distribución espacial de la cobertura y uso del terreno de Squamish y Squamish-Lillooet D para los años 1985 y 2018 a partir de imágenes satelitales.
- Identificar los cambios de cobertura, uso del terreno y tasas de cambio del área de estudio de 1985 al 2018.
- Relacionar los cambios de cobertura y uso del terreno ocurridos en la zona de estudio con variables biofísicas, demográficas y económicas de la zona.
- Conocer las políticas de manejo forestal del área de estudio.

## **1.7. Hipótesis**

El principal cambio de cobertura en el periodo de estudio es la deforestación de sus bosques, provocada por el crecimiento urbano, la implementación de caminos e incendios forestales.

## CAPÍTULO 2. ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio del presente trabajo, son: el Distrito de Squamish y Squamish-Lillooet D, los cuales se encuentran dentro del Distrito Regional de Squamish-Lillooet (DRSL) (ver Figura 2), Columbia Británica, Canadá (Squamish-Lillooet Regional District, 2020); la zona de estudio (ver Figura 3) se ubica entre las coordenadas 50°23'17" y 49°29'55" latitud norte, 123°37'53" y 122°42'09" longitud oeste, con una superficie total de 329 380 hectáreas.

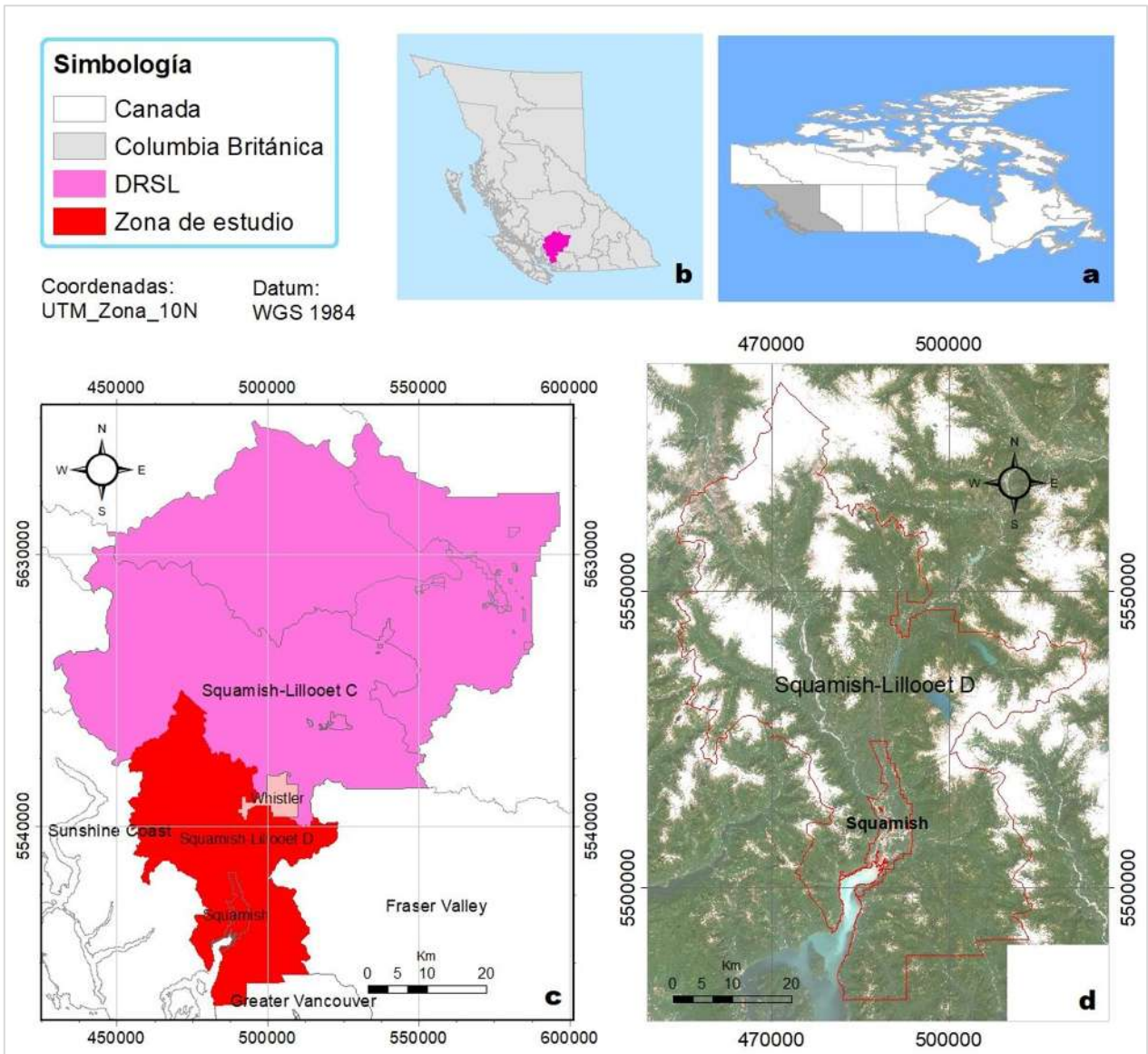
Figura 2. Nombre original de la zona de estudio Squamish-Lillooet. Foto tomada en 2019 por Erna M. López Granados, en la Columbia Británica.



El Distrito de Squamish (DS) está ubicado en el extremo Norte de Howe Sound, se encuentra en el camino entre la ciudad de Vancouver y el Municipio de Whistler. La comunidad está ubicada dentro del territorio tradicional de la Nación Squamish y dentro de los límites del Área Electoral D del DRSL (ver Figura 3) (Squamish-Lillooet Regional District, 2020). Mientras que, Squamish-Lillooet D (Área Electoral D), se encuentra delimitada al norte por Squamish-Lillooet C, al sur la ciudad de Vancouver, al oeste el Distrito Regional Sunshine Coast y al este el Distrito Regional Fraser Valley (ver Figura 3) (Squamish-Lillooet Regional District, 2020).



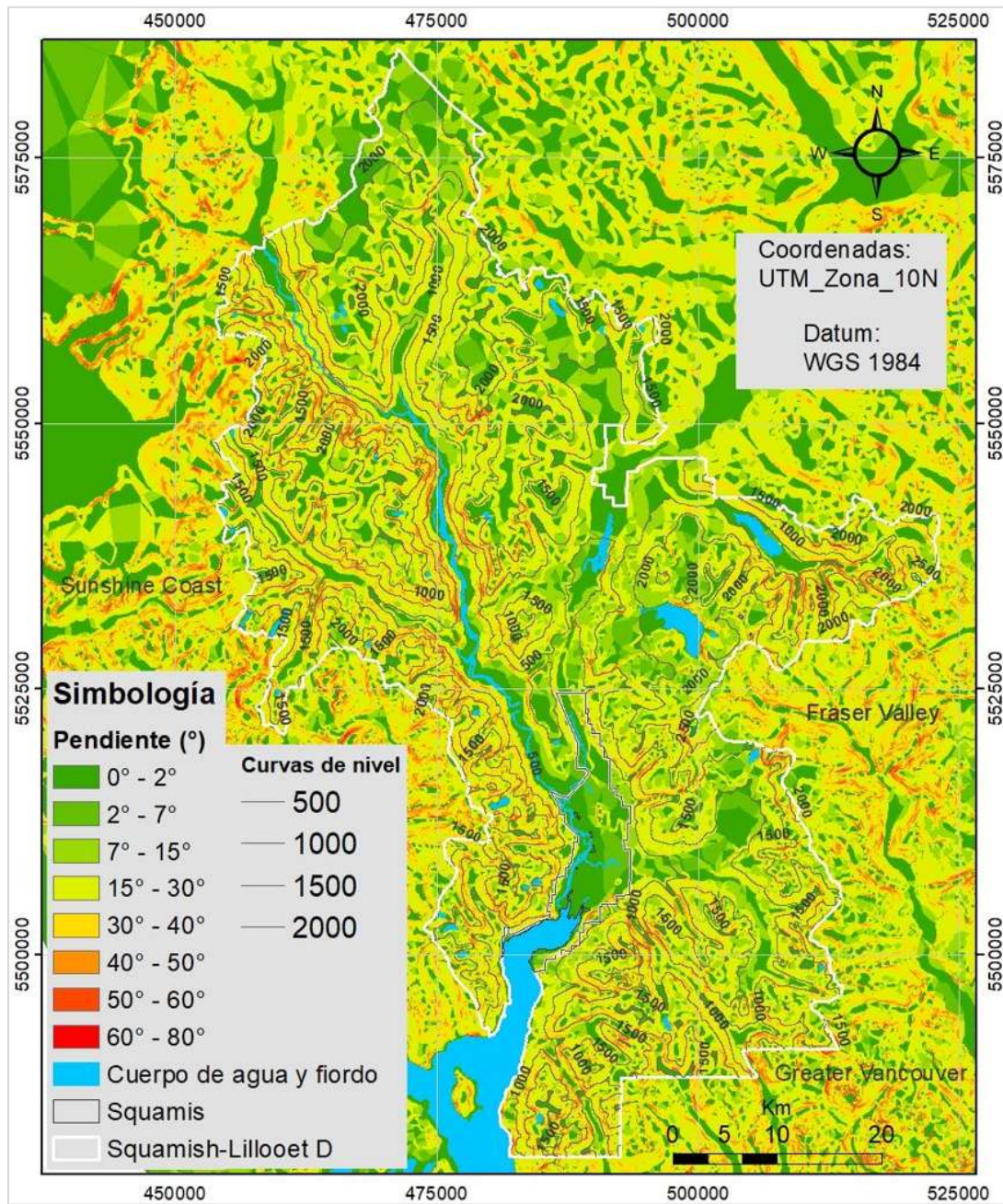
Figura 3. Mapa de ubicación de la zona de estudio: a) Canadá, b) Columbia Británica, c) Distrito Regional de Squamish-Lillooet (DRSL) y c) Distrito de Squamish (Squamish) y Squamish-Lillooet D.



## 2.1. Topografía

La topografía del sitio está caracterizada por elevaciones que van desde los 0 a 2800 msnm y el terreno cuenta con pendientes que varían entre los 0° a los 80° (ver Figura 4). El área de estudio cuenta principalmente con pendientes de 15° a 30° (132 787 ha) y de 0° a 2° (66 962 ha).

Figura 4. Mapa de pendientes y curvas de nivel del área de estudio (Distrito de Squamish y Squamish-Lillooet D).



Fuente: Government of Canada, 2021.

## 2.2. Geología

La región de Squamish es parte del cinturón occidental de las montañas costeras; básicamente consiste en rocas plutónicas (graníticas), de la edad del Jurásico

medio al Cretácico tardío, con cantidades menores de rocas volcánicas y sedimentarias metamorfoseadas; principalmente del Triásico al Cretácico. Estas rocas han sido afectadas por fallas predominantemente del Cretácico medio que golpean generalmente al noroeste y se sumergen muy abruptamente. El movimiento en estas fallas fue predominante al lado suroeste, a diferencia de las montañas de la costa oriental, hay poca evidencia de fallas que continúen hasta el comienzo del Terciario (Woodsworth y Geo, 2003).

No se conoce actividad ígnea en el área de Squamish, desde hace aproximadamente 89 millones de años (Ma), hasta el comienzo del vulcanismo de Garibaldi, hace 2 a 3 Ma. El cinturón volcánico Garibaldi consiste en rocas volcánicas del Plioceno - Pleistoceno, que forman parte del arco magmático de la Cascade. En la región de Squamish, el vulcanismo de Garibaldi cesó durante o poco después del final de la glaciación (Woodsworth y Geo, 2003; Cui *et al.*, 2017).

De acuerdo con el Atlas de Canadá, el área de Squamish está compuesta de rocas intrusivas, volcánicas y sedimentarias, las cuales tienen los siguientes componentes (Columbia Británica, 2020):

*Rocas ígneas intrusivas:* granodiorita, cuarzo monzonita, cuarzo diorita; granito, sienita.

*Rocas sedimentarias:* arenisca, lutita y conglomerado

*Rocas volcánicas:* basalto y andesita.

*Rocas sedimentarias y volcánicas marinas:* Están compuestas principalmente de argillita, caliza, cuarcita, andesita, brecha volcánica y arenisca.

El Distrito de Squamish está compuesto principalmente de granodiorita Squamish (granito de grano grueso, compuesto en mayor porcentaje de cuarzo, abundante feldespato potásico y presencia de biotita) y de cuarzo diorita (roca de grano medio, compuesta de plagioclasas con cuarzo menor y hornblende) (ver Cuadro 3 y Figura 5) (British Columbia, 2020). En la zona, también se encuentran

minerales metamórficos comunes, como el clorito y la epidota (Woodsworth y Geo, 2003).

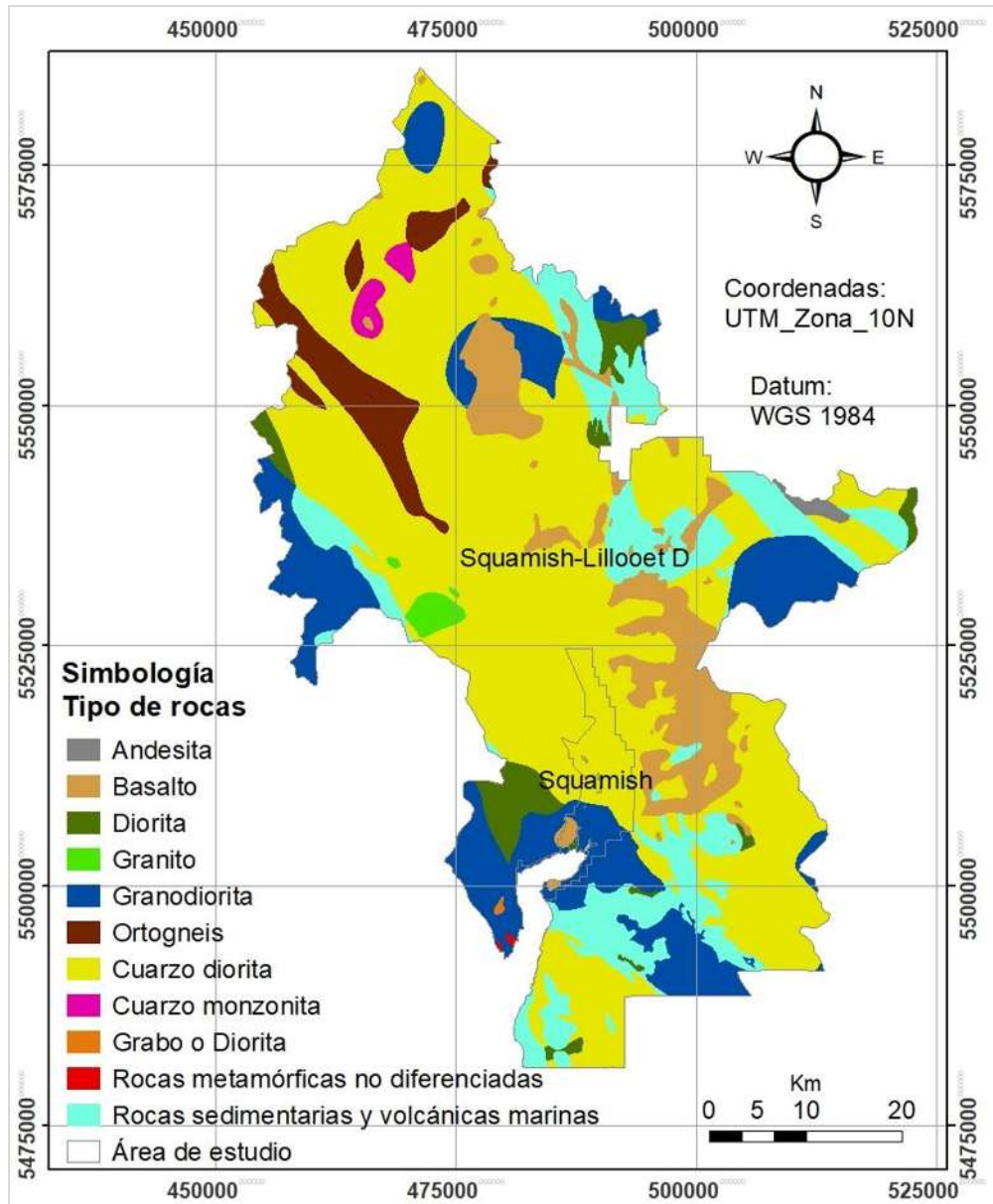
Cuadro 3. Litología y porcentaje del área de estudio.

Tipo de roca	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Andesita	918	0.3
Basalto	29018	8.8
Diorita	9263	2.8
Granito	2023	0.6
Granodiorita	47952	14.6
Rocas metamórficas no diferenciadas	124	0.04
Ortogneis	12910	3.9
Cuarzo diorita	183290	55.6
Cuarzo monzonita	2157	0.7
Gabro o Diorita	109	0.03
Rocas sedimentarias y volcánicas marinas	41616	12.6

Fuente: Cui *et al.*, 2017.

Partes de la zona sur de Squamish, están sustentadas por gruesos depósitos de grava y arena, que son depósitos de deslaves glaciáricos que datan de una época en que el valle inferior del río Squamish estaba bloqueado por el hielo, y el río Mamquam fluía hacia el Suroeste y se unía al río Stawamus. La desviación se estima de hace 13 mil millones de años, basada en la datación por radiocarbono en la región (Woodsworth y Geo, 2003). Los sedimentos del área tienen alta permeabilidad y porosidad, con un grosor de sedimentos de aproximadamente 10 a 40 metros (Woodsworth y Geo, 2003).

Figura 5. Mapa Geológico del área de estudio (Distrito de Squamish y Squamish-Lillooet D).



Fuente: Cui *et al.*, 2017.

### 2.3. Edafología

En el área de estudio, se encuentra exclusivamente el “suelo podzólico”, el cuál es un suelo forestal normalmente asociado a vegetación de coníferas en materiales parentales, derivados de rocas ígneas (Pike *et al.*, 2010; CSSS, 2020).

Los suelos podzólicos se encuentran en materiales parentales ácidos, de textura gruesa a media, en climas fríos, húmedos o per-húmedos y se localizan debajo de la vegetación de bosques o arbustos (Pike *et al.*, 2010), como son los bosques de coníferas, los bosques mixtos de coníferas o arbustos ericáceos (SCWG, 1998; CSSS, 2020).

El orden podzólico, es un suelo mineral caracterizado por una acumulación de materia orgánica amorfa, óxidos de Al y Fe en el horizonte B, por la posterior lixiviación del horizonte A. Este último tiene una alta acidez que puede dar como resultado la formación de un horizonte eluvial Ae de color claro (CSSS, 2020).

Cabe señalar que, los materiales parentales por los que se forman los podzoles son escasos en minerales de Ca y Mg, pero son ricos en cuarzo, como granito y arenisca; estos suelos no se pueden formar sobre material parental con un contenido de arcilla superior al 35% (SCWG, 1998; CSSS, 2020).

Otra de las características de los podzoles es que se reconocen fácilmente en el campo, ya que generalmente tienen horizontes superficiales orgánicos que son comúnmente horizontes: fíbricos, méxicos y húmicos. La mayoría de estos suelos tienen un horizonte B de color marrón rojizo o negro con un límite superior abrupto y horizontes B o BC inferiores con colores que se vuelven progresivamente en tonos amarillos con la profundidad (SCWG, 1998).

Los suelos del orden podzólico se clasifican en tres grupos: podzoles húmicos, podzoles ferrohúmicos y podzoles humo-férricos, estos basados en el contenido de carbono orgánico y la relación de carbono orgánico a "Fe" extraíble con pirofosfatos del horizonte B podzólico (ver Cuadro 4) (SCWG, 1998; Pike *et al.*, 2010; CSSS, 2020).

**Podzoles Húmicos (Bh):** Están asociados con ambientes altamente húmedos (precipitación media anual de 1500 a 3000 mm), niveles freáticos altos,

condiciones reductoras periódicas o continuas, vegetación hidrófita y comúnmente una superficie de turba. Son horizontes de color oscuro dominado por la materia orgánica.

**Podzoles Ferrohúmicos (Bhf):** Ocurren en áreas de precipitaciones efectivas y no están bajo condiciones reductoras por periodos prolongados. Tienen cantidades apreciables de materia orgánica; hierro y aluminio extraíbles.

**Podzoles Humo-Férricos (Bf):** Se asocian con el extremo seco del rango podzólico, con una precipitación anual de 700 a 800 mm y comúnmente se entremezclan con suelos brunisólicos. Son horizontes de color marrón rojizo, debido a las altas cantidades de hierro en relación con la materia orgánica.

Cuadro 4. Grupos de los suelos podzólicos.

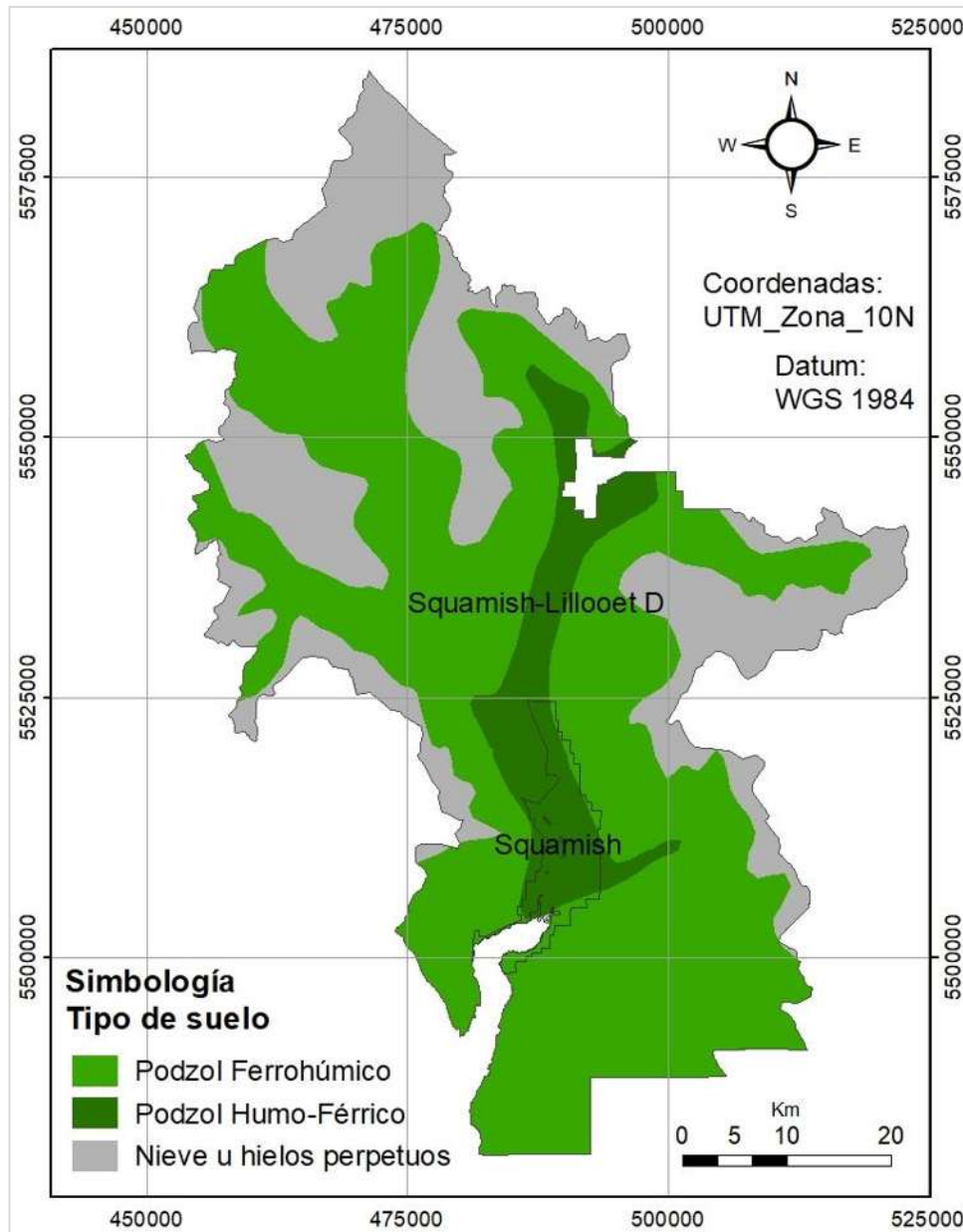
	Podzoles Húmicos	Podzoles Ferrohúmicos	Podzoles Humo-Férrico
Horizonte B	Bh $\geq$ 10 cm de espesor	Bhf $\geq$ 10 cm de espesor	Bf, o Bhf + Bf delgado $\geq$ 10 cm de espesor
Carbono orgánico	> 1%	> 5%	> 0.5 - 5%
Otro	Pirofosfatos Fe < 0.3%, carbono orgánico/pirofosfato Fe $\geq$ 20	Pirofosfatos Al + Fe $\geq$ 0.6% ( $\geq$ 0.4% para arenas)	Pirofosfatos Al + Fe $\geq$ 0.6% ( $\geq$ 0.4% para arenas)

Nota: El horizonte B de los suelos podzólicos se clasifican en Bh (podzoles húmicos), Bhf (podzoles ferrohúmicos) y Bf (podzoles humo-férrico). Fuente: CSSS, 2020.

De acuerdo con la zona de estudio, solamente se encuentran los horizontes Podzol Ferrohúmico y Podzol Humo-Férrico, además de la superficie sin clasificar (nieve y hielos perpetuos), la cual está cubierta de nieve (ver Cuadro 5 y Figura 6). El área sin clasificar se debe a que el suelo está en condiciones nativas o no perturbado por la agricultura y no cumple con el propósito de clasificación de suelos de

Canadá, tal como proporcionar hipótesis sobre la génesis del suelo y la respuesta de este al uso y manejo del terreno (SCWG, 1998).

Figura 6. Mapa de suelos en el área de estudio (Distrito de Squamish y Squamish-Lillooet D). En este mapa se encuentra el horizonte podzol Ferrohúmico y podzol Humo-Férrico, además de la superficie de nieve y hielos perpetuos.



Fuente: Government of Canada, 2020.



Cuadro 5. Superficie y porcentaje de los suelos podzólicos en el área de estudio.

Suelo podzólico	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Podzol Ferrohúmico	205 021	62
Podzol Humo-Férrico	29 191	9
Nieves y hielos perpetuos	95 218	29

Fuente: SCWG, 1998.

## 2.4. Clima

El clima en la zona de estudio se clasifica como Cfb según Köppen y Geiger, ya que se caracteriza porque los inviernos suelen ser fríos o templados, y los veranos frescos, además de que las precipitaciones son constantes a lo largo del año (Climate-data.org, 2019; GnY, 2017; Picketts and Hamilton, 2016).

El **Cfb** es un clima marino de costa occidental (costero), que se da entre los 45° y 55° de latitud (GnY, 2017), a continuación, se describe cada letra:

**C** (clima de latitudes medias): La temperatura media del mes más frío está entre -3 y 18 °C, y la del mes más cálido supera los 10 °C. Este clima se da en los bosques templados.

**f** (explica el régimen de lluvias): Húmedo, precipitaciones constantes a lo largo del año, sin estación seca.

**b** (comportamiento de las temperaturas en verano): Templado, el verano es fresco ya que no se supera los 22 °C de temperatura media en el mes más cálido.

En Squamish la temperatura media anual es de 5.4 °C, con una temperatura media máxima de 15.1 °C en agosto y una temperatura media mínima de -2.5 °C en diciembre (Weather Atlas, 2020; Climate-data.org, 2019; Gobierno de Canadá, 2019; Bourdon, 2017). Hay precipitaciones durante todo el año, incluso el mes más seco todavía tiene mucha lluvia; aquí la precipitación anual es de 2871 mm, con una precipitación máxima en noviembre (430 mm) y una precipitación mínima en julio (93 mm) (datos recopilados de 1999-2019) (Climate-data.org, 2019). De

acuerdo con el promedio de nevadas, el mes con mayor nevada es enero (981 mm) y los meses con menor nevada es junio, julio, agosto y septiembre (0 mm) (Weather Spark, 2018; Government of Canada, 2019).

La precipitación y la elevación son los factores primarios que determinan qué especies prosperan en un área específica, así que a medida que se desplace de elevaciones bajas a medias y a elevaciones altas o del sur hacia el norte, aparecerán diferentes especies (Bourdon, 2017).

## **2.5. Hidro-meteorología**

La temperatura en las zonas costeras del sur de Columbia Británica ha incrementado en un 0.8 °C por siglo desde 1900, lo que se ha ocasionado un cambio en la hidrología. Esto por la influencia del Océano Pacífico, ya que es un disipador de calor, debido a que el agua tiene una alta capacidad calorífica (Bauch and Hickin, 2011; Picketts and Hamilton, 2016).

El incremento de la energía térmica en la interfase océano-atmósfera, influye en la intensidad de la circulación atmosférica local, ocasionando tormentas extremas, frecuentes y duraderas. El aumento en las precipitaciones implican cambios relacionados en la hidrología de los ríos y en los cambios potenciales en la geomorfología de los afluentes de la zona, por la presencia de inundaciones extremas (Bauch and Hickin, 2011); estas inundaciones provocan erosión y degradación en las llanuras aluviales, además de causar riesgos en áreas residenciales, comerciales y naturales (Squamish, 2018).

Los entornos costeros y de baja elevación sobre el nivel del mar, son dominados principalmente por las lluvias, ya que, con la influencia oceánica, las temperaturas rara vez descienden por debajo de los 0 °C y no logra almacenar nieve (Thompson, 2020).

Por otra parte, la cuenca del río Squamish es un área de largo drenaje de 3200 km<sup>2</sup>, esto por las montañas costeras del suroeste de CB (Bauch and Hickin, 2011). La mayor parte de precipitación captada por la cuenca, es generada por sistemas frontales ciclónicos que representan los meses de otoño e invierno. Se desarrollan sobre el norte del Océano Pacífico y se desplazan hacia el este o hacia el suroeste. Asimismo, la orientación norte/sur de la cuenca la convierte en un interceptor eficiente de eventos de precipitación (Bauch, 2009).

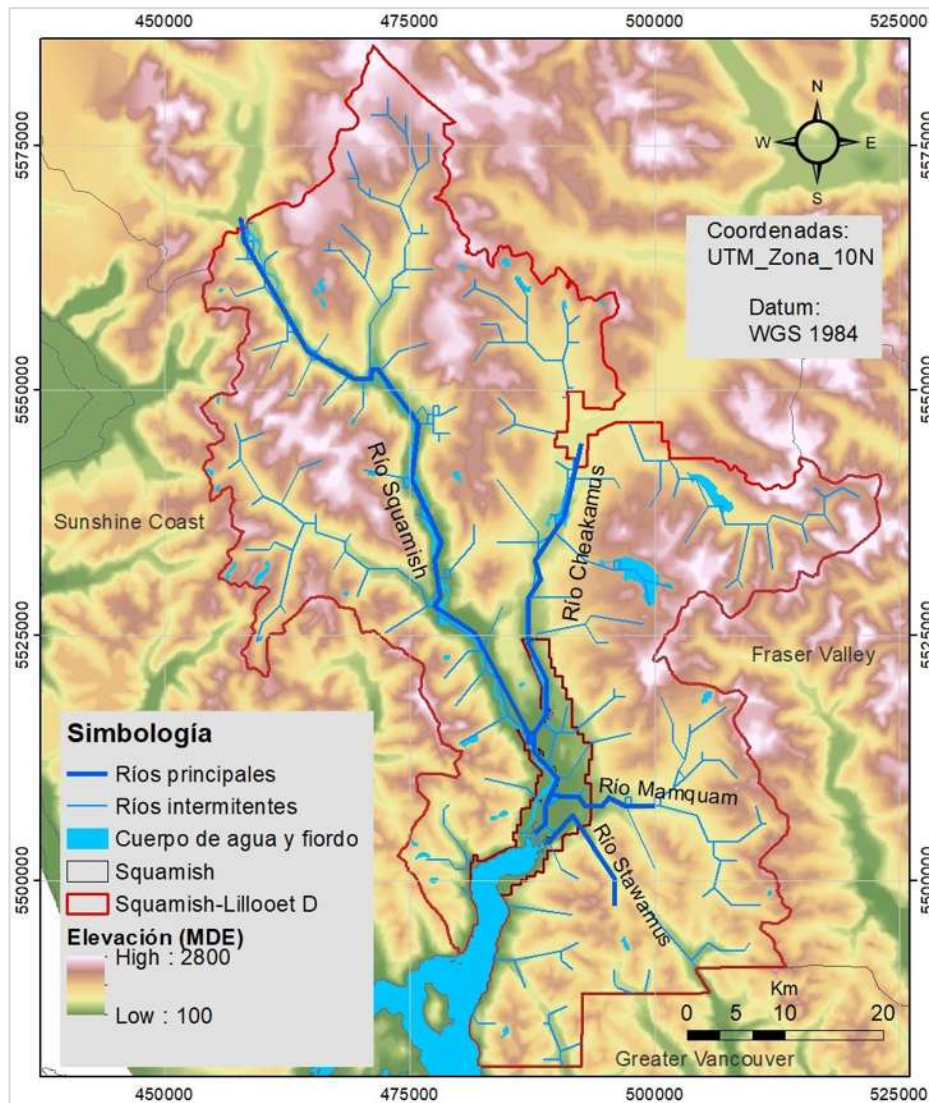
De acuerdo a las intensas tormentas en el área de estudio, los ríos potencialmente en riesgo de inundación son: el río Squamish, el río Mamquam, el río Cheakamus y el río Stawamus (ver Figura 7). El río Squamish nace en el noroeste de la cordillera de Tantalus y desciende aproximadamente 2700 m. Hasta desembocar término al nivel del mar en la cabecera del fiordo de Howe Sound. Este es un río multiplano de alta energía compuesto por tramos serpenteantes trenzados, estructuralmente confinados y de un solo canal. La mayor parte del río costero está flanqueado por empinadas laderas montañosas compuestas principalmente de roca granítica con algo de gneis y esquisto formados durante el cretácico superior (Bauch and Hickin, 2011; Picketts and Hamilton, 2016).

En la aldea de Brackendale, se registran las mayores descargas anuales promedio del río Squamish de 240 m<sup>3</sup>/s. El flujo de agua oscila entre un mínimo mensual promedio de 100 m<sup>3</sup>/s (diciembre-febrero) hasta un máximo de 500 m<sup>3</sup>/s (en agosto). Los eventos de tormentas intensas y prolongadas pueden producir inundaciones extremas con una descarga igual o superior a 1500 m<sup>3</sup>/s (Bauch and Hickin, 2011). Estas descargas también pueden ser impulsadas por el agua del deshielo con eventos de precipitación, especialmente durante el otoño (Bauch, 2009).

Parte de la comunidad de Squamish, está ubicada dentro del área de peligro de inundaciones, incluido el histórico centro del Distrito. Los peligros relacionados

con las inundaciones incluyen: inundaciones y erosión como consecuencia de la rotura de diques a lo largo de los ríos Squamish, Mamquam, Cheakamus y Stawamus. El río Cheekeye y varios arroyos pequeños del área de estudio son propensos a inundaciones y flujos de escombros (ver Figura 7). Cabe señalar que, los peligros de inundaciones costeras y tsunamis de Howe Sound empeoran a medida que aumenta el nivel del mar debido al continuo cambio climático global (Squamish, 2018).

Figura 7. Mapa de elevaciones, ríos principales y ríos intermitentes del área de estudio (Distrito de Squamish y Squamish-Lillooet D).



Fuente: Picketts and Hamilton, 2016.

Después de las inundaciones que ocurrieron en el Distrito de Squamish, en 1994 se inició un Plan de Manejo Integrado de Riesgos de Inundaciones, el cual fue actualizado en 2014, como un nuevo plan para responder a los cambios en la comunidad. El punto principal de trabajo, es el mejoramiento de diques en los ríos para la protección contra inundaciones en el Distrito, esto incluye levantar, ensanchar y fortalecer los diques por aproximadamente un kilómetro. Asimismo, el plan recomienda planificar una elevación mínima de inundación costera a 4.59 m geodésicos, ya que las elevaciones de 1 m o 3 m, ya están en riesgo de desbordamientos (Squamish, 2018).

## 2.6. Población de la zona de estudio

La zona de estudio cuenta con un total de 20 569 habitantes en el año 2016 y una superficie de 329 380 hectáreas (ver Cuadro 6 y Figura 8) (Squamish-Lillooet Regional District, 2020; British Columbia, 2020).

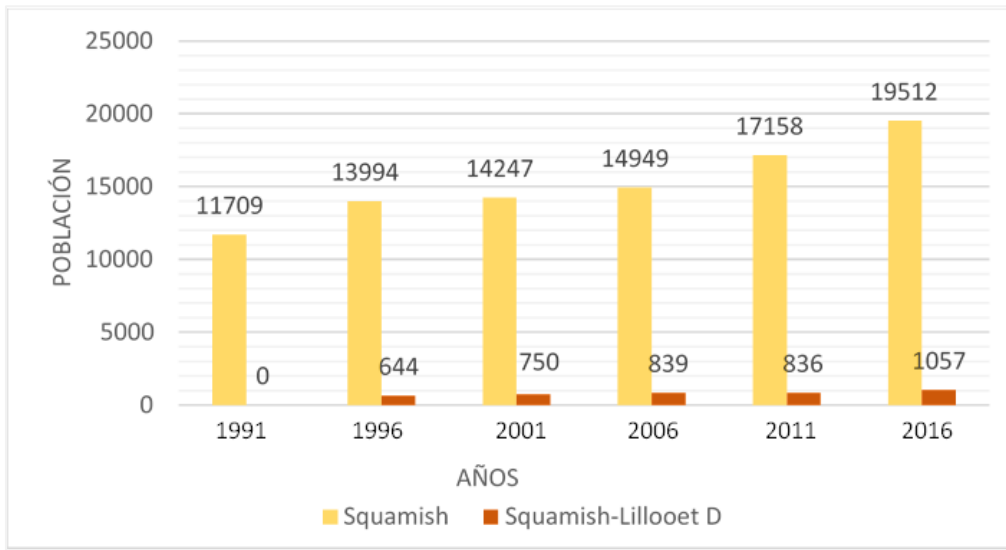
Cuadro 6. Número de personas por localidad y superficie de la zona de estudio.

Zona de estudio	Superficie (ha)	Número de personas (2016)
Distrito de Squamish	10 078.5	19 512
Squamish-Lillooet D	319 301.5	1 057
Total	329 380.0	20 569

Fuente: British Columbia, 2020.

Se conocen tres principales grupos de personas pertenecientes a los pueblos originarios en Canadá, Primeras Naciones, Inuit y Métis (IWGIA, 2020). En Columbia Británica, el 67% de la población perteneciente a comunidades originarias, pertenece a la población de las Primeras Naciones, mientras que el 30% son de Métis y solamente el 1% son de Inuit (National Household Survey, 2011; BCStats, 2013).

Figura 8. Población de 1991 a 2016 del Distrito de Squamish y Squamish-Lillooet D.



Fuente: Natural Resources Canada, 2020.

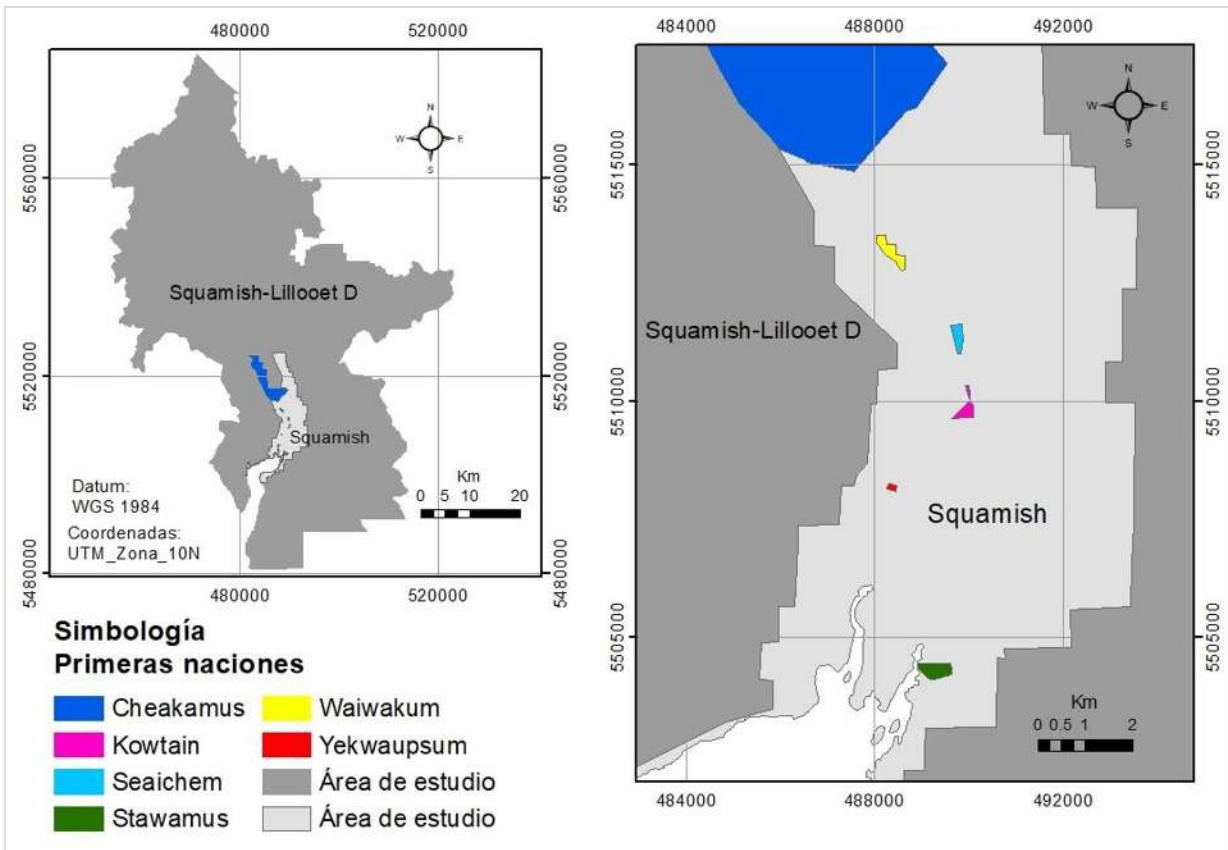
Dentro del área de estudio, se encuentran asentamientos de las Primeras Naciones (First Nations) o reservas indígenas (tierra en poder de la corona “para uso y beneficio de los grupos indígenas”) (Mccue H, 2018), tales como: Cheakamus, Kowtain, Seaichem, Stawamus, Waiwakum y Yekwaupsum (ver Cuadro 7 y Figura 9) (Natural Resources Canada, 2020). El conjunto de estas comunidades ocupa el 2.2% del total de la población del área de estudio, es decir; es un porcentaje menor que la existente a nivel nacional.

Cuadro 7. Superficie y habitantes de las localidades habitadas por personas de las Primeras Naciones.

Reservas indias	Superficie (ha)	Número de personas (2016)	Población en porcentaje (%)
Cheakamus	2 336.30	57	0.30
Kowtain	10.50	35	0.20
Seaichem	10.40	51	0.24
Stawamus	19.33	107	0.50
Waiwakum	16.94	160	0.80
Yekwaupsum	2.44	28	0.13

Fuente: Natural Resources Canada, 2020.

Figura 9. Mapa de ubicación de las Primeras Naciones.



Fuente: GADM, 2018.

En la CB, la Ley de declaración de los derechos de los pueblos indígenas permite que la provincia tome acuerdos con los gobiernos nativos y que se proporcione un marco para la toma de decisiones en áreas de interés común. Esta ley cubre una variedad de políticas, como: niños y familias, pesca, acuicultura, agricultura y ganadería, silvicultura, evaluación ambiental y minería (WIGIA, 2020).

Para las Primeras Naciones, tanto las tierras como los bosques tienen un importante significado espiritual y cultural (Ministry of Forests, 2003). Debido a que los bosques les han proporcionado todo, desde peces, vida silvestre, agua potable, alimentos para plantas, medicinas, materiales para construir casas, ropa y botes (Robson *et al.*, 1995; Ministry of Forests, 2003). Por lo que, los indígenas tienen conflictos con el gobierno provincial, ya que no aprueban que perturben su heredad.

Algunas de las acciones que realizan las Primeras Naciones son: a) no permitir el desarrollo de oleoductos ni el establecimiento de industrias de recursos extractivos de combustibles fósiles en Canadá (WIGIA, 2020); b) exigir responsabilidad de la administración de herencia y cultura, como la protección de los sitios arqueológicos; c) introducir nuevos requisitos de gestión del patrimonio para la industria forestal (Klassen *et al.*, 2009) y d) revisan y opinan los planes de manejo forestal sostenible en la Columbia Británica (RFPA, 2009).

Por otra parte, dentro del Área Electoral D se encuentran ocho comunidades no indígenas o áreas de asentamiento, denominadas: Black Tusk Village, Pinecrest States, Tunnel Station, Upper Squamish Valley, Ring Creek, Britannia Beach, Furry Creek y Porteau Cove (Squamish-Lillooet Regional District, 2020).

## **2.7. Parques y reserva ecológica**

En la zona de estudio se localizan diez parques y una reserva ecológica (Isla Baynes), los cuales protegen sitios de patrimonio cultural, albergan una amplia gama de flora y fauna y contribuyen a la protección ambiental, tal como la protección de los bosques lluviosos templados en la provincia (British Columbia, 2020). Estos parques son utilizados para diferentes actividades deportivas y de esparcimiento, como alpinismo, excursionismo, ciclismo, pesca, observación de la fauna y campismo (ver Cuadro 8 y Figura 10) (Squamish-Lillooet Regional District, 2020).

Los bosques ubicados en áreas protegidas son ecosistemas dinámicos y vivos, formados por rodales jóvenes y viejos. Tanto las estructuras del bosque y la composición de las especies experimentan cambios naturales, como los que ocurren como resultado de las perturbaciones ocasionadas por incendios o insectos; la creación de áreas naturales protegidas (ANP) van de la mano con el manejo forestal sostenible del paisaje circundante (NRCan, 2019).



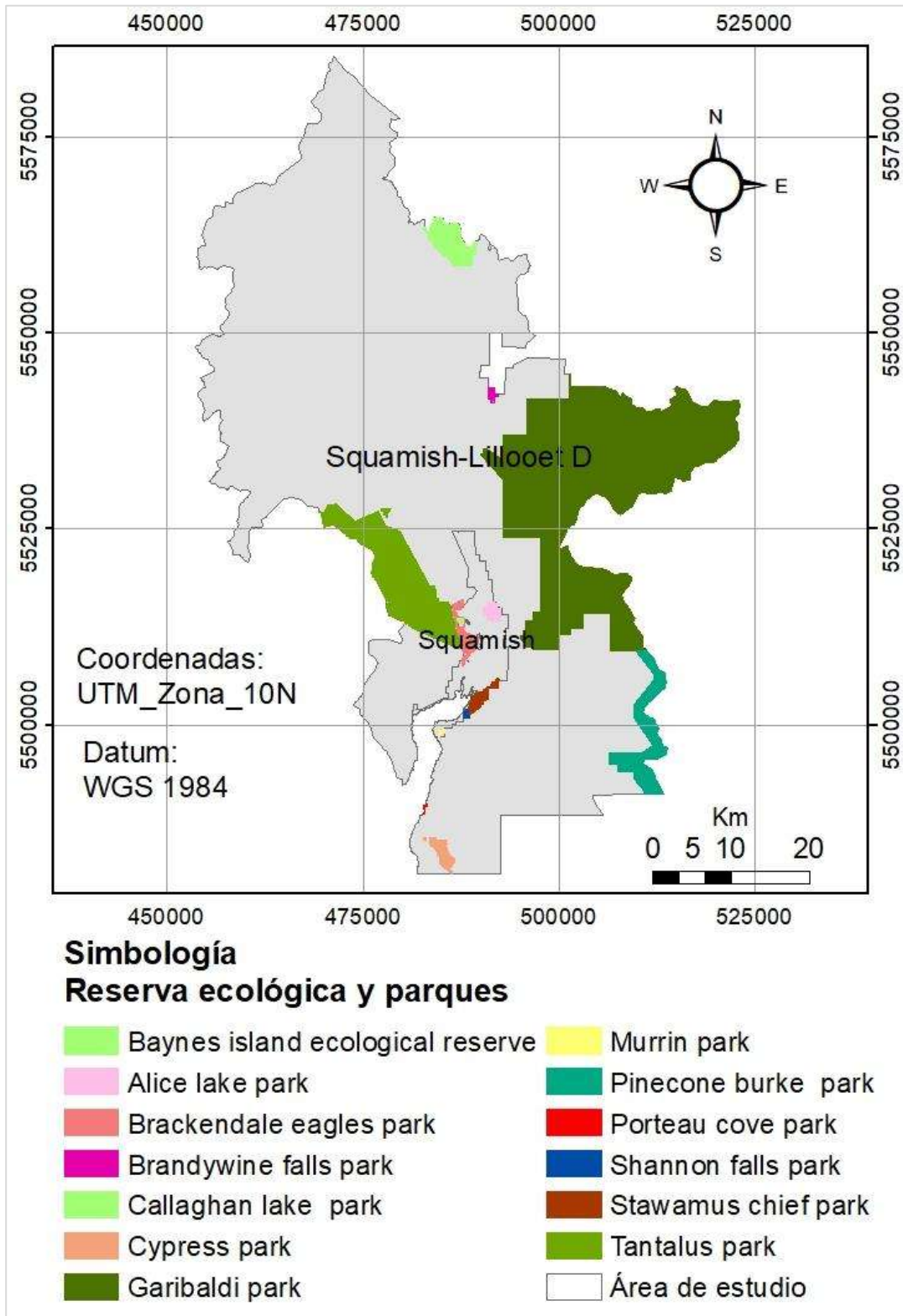
Cuadro 8. Reserva ecológica y parques en el área de estudio.

Parques	Superficie (ha o Mha)
Reserva Ecológica Baynes Island	446 645 ha
Alice Lake	412 ha
Murrin	320 303 ha
Porteau Cove	579 658 ha
Shannon falls	906 214 ha
Brackendale Eagles	7.64 Mha
Brandywine Falls	4.17 Mha
Callaghan Lake	26.96 Mha
Cipreses	28.62 Mha
Garibaldi	1 886.61 Mha
Pinecone Burke	372 Mha
Stawamus Chief	5.30 Mha (2 ha son área protegida)
Tantalus	114.25 Mha

Fuente: Squamish-Lillooet Regional District, 2020.

Entre 1988 y 2011 se registraron 870 áreas naturales protegidas (ANP) en la Columbia Británica, las cuales cubren un total de 13.5 Mha (British Columbia, 2020); la mitad de las ANP se establecieron en la década de 1990 al 2000, como resultado de la planificación del uso de la tierra. El objetivo de estas áreas es proteger la diversidad biológica y el funcionamiento de los ecosistemas de CB, incluida una variedad de paisajes, tipos de bosques, hábitats de vida silvestre, así como actividades recreativas y culturales (Ministry of Forest, 2003).

Figura 10. Mapa de reserva ecológica y parques en el área de estudio.



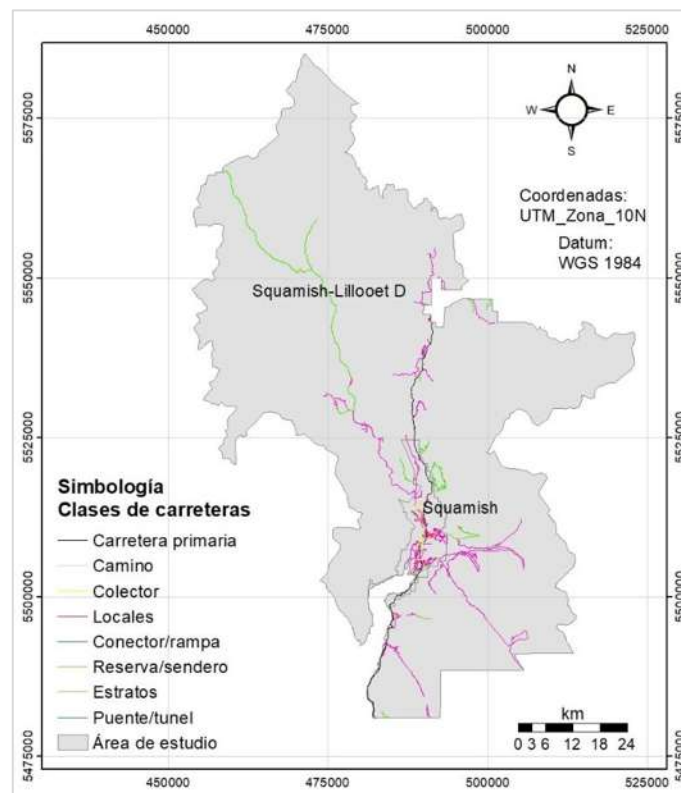
Fuente: Brithis Columbia, 2020.

Cabe mencionar que, en la zona Electoral D la extracción de recursos y las actividades industriales asociadas son frecuentes, incluida la extracción de grava, la silvicultura y la hidroelectricidad (Squamish-Lillooet Regional District, 2020). En el caso del Distrito de Squamish, la principal ocupación por trabajo laboral es de: ventas/servicios (24%), comercio/transporte (17.4%) negocios/finanzas (12%) y gestión forestal (11.9%) (Statistics Canada, 2017).

## 2.8. Carreteras

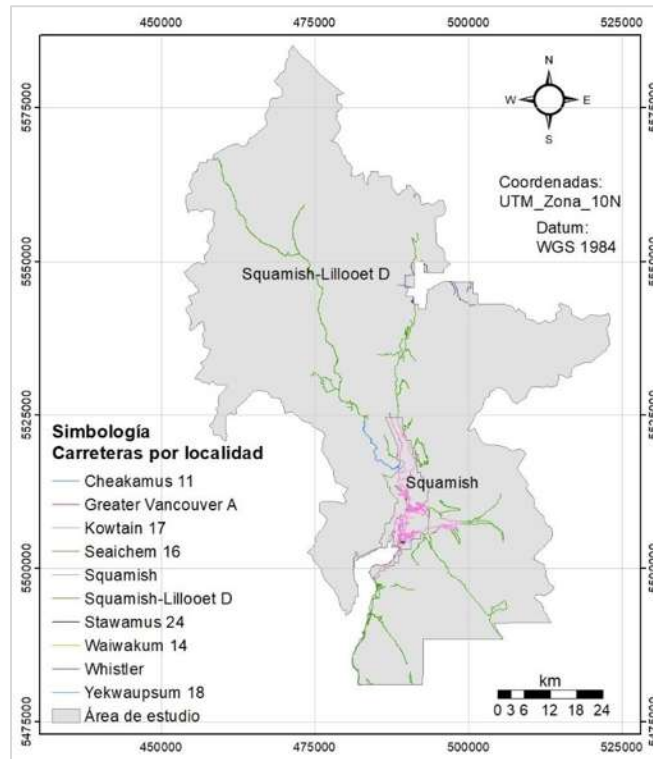
Las clases de carreteras (diferentes tipos de características de la calle) que se ubican en el área de estudio son: Carretera primaria, camino, colector, locales, conector/rampa, reserva/sendero, estratos y puente/túnel (ver Figura 11). Asimismo, puede observarse las carreteras por localidad en el área de estudio (ver Figura 12) (Road Network File, 2016).

Figura 11. Mapa de clase de carreteras del área de estudio.



Fuente: Road Network File, 2016.

Figura 12. Mapa de carreteras por localidad del área de estudio.



Fuente: Road Network File, 2016.

## 2.9. Flora y fauna

En el caso de la vegetación en la región de Squamish-Lillooet, las especies varían de elevaciones bajas a medias, estas pueden ser: *Thuja plicata*, *Pseudotsuga menziesii*, *Tsuga heterophylla*, *Alnus rubra*, *Populus trichocarpa*, *Acer macrophyllum* y *Acer circinatum*, mientras que en el caso de la fauna habitan las especies de *Bonasa umbellus*, *Haliaeetus leucocephalus*, *Oncorhynchus tshawytscha*, *Ursus americanus*, *Puma concolor*, *Lynx rufus*, *Odocoileus hemionus*, *Marmota caligata* y *Sciuridae* (Bourdon, 2017).

## CAPÍTULO 3. ANTECEDENTES

### 3.1. Uso del terreno

El cambio de cobertura y uso del terreno tiene implicaciones para el mantenimiento de los sistemas ecológicos, económicos y culturales, para los medios de vida humanos en todos los países de nuestro planeta a través de los efectos sobre los recursos de subsistencia, los recursos comerciales de madera, la infraestructura y la actividad industrial (como el desarrollo de petróleo y gas) (Mcguire *et al.*, 2012).

Los cambios de uso del terreno (CUT), en los países industrializados del Norte de América (Canadá y EE. UU), se presentan principalmente en los bosques, los cuales son usados para la recreación, turismo y/o cosecha de madera para apoyar la economía de las comunidades (Wolf and Klein, 2007). Cabe señalar que, en Canadá, el CUT y las políticas forestales son modificados por variables socioeconómicas (Pan *et al.*, 1999; Wolf and Klein, 2007).

Otro uso del terreno que afecta los ecosistemas terrestres en Canadá es la agricultura. Se estima que la agricultura se expandió de 10.9 Mha de tierras de cultivo en 1860 a 28.7 Mha en 1920 y luego a 45.6 Mha en 1990. No obstante, el establecimiento y el abandono de las tierras de cultivo es un proceso importante que probablemente tenga diferentes impactos en todo Canadá (Mcguire *et al.*, 2012).

Los usos del terreno agrícola en Canadá se concentran en la región de las praderas, en el área del río Peace al noroeste de las praderas, al sur de Columbia Británica, de Ontario y Quebec y esporádicamente en las provincias atlánticas. En general, las tierras de cultivo extensivas e intensivas y varios tipos de pastos dominan la agricultura canadiense (Kerr and Cihlar, 2003).

En Columbia Británica las tierras agrícolas se consideran comúnmente como sitio de urbanización, porque a menudo son las más fáciles de desarrollar. De acuerdo con esto, se asignó la reserva Integral de Tierras Agrícolas (ITA), la cual es una zona provincial en la que se reconoce la agricultura como uso prioritario y se restringe los usos no agrícolas. La reserva ITA responde a la pérdida de tierras agrícolas y se basa en planes de manejo para la agricultura y generación de mapas. Por lo tanto, estos estudios pueden tener implicaciones importantes para la planificación del Uso de la Tierra y para las prácticas de planificación (Noble, 2004).

Por ejemplo, los planificadores del uso del terreno en el Valle Central de Okanagan, CB, confían en modelos de planificación colaborativa que involucran al gobierno y diferentes grupos de beneficiarios para desarrollar planes a través de negociaciones basadas en consenso. La planificación colaborativa prepara planes estratégicos de uso de la tierra, utilizando métodos de evaluación multicriterio; estas evaluaciones tienen implicaciones para otras partes de Columbia Británica y para la preservación de tierras agrícolas en otras jurisdicciones (David, 2007).

En Columbia Británica la Planificación de la Gestión Sostenible (PGS) de los recursos se lleva a cabo a nivel de paisaje, definiendo objetivos y estrategias de recursos basados en las metas generales a través de los Planes de Uso de la Tierra. El objetivo de esta planificación es identificar y mantener oportunidades de desarrollo sostenible que sean consistentes con las consideraciones ambientales y puedan abordar todos o solo uno de los valores de los recursos, como la silvicultura, el agua, el turismo o la recreación. La planificación es una asociación cooperativa entre el gobierno y el sector privado, que involucra a las Primeras Naciones, las comunidades locales y a las empresas de recursos (Ministry of Forest, 2003).

La planificación puede ser desencadenada por una variedad de problemas de recursos, como una infestación por insectos, necesidades de planificación de la

biodiversidad, deseo de diversificación y crecimiento económico de la comunidad o conflictos entre diferentes sectores de recursos (MSRM, 2004).

Por otro lado, las áreas naturales protegidas (ANP) de Canadá, toman diferentes formas de acuerdo con la Cobertura del Terreno, las cuales pueden tener múltiples usos simultáneos, como conservación, recreación o extracción de recursos. Tal es el caso del parque Algonquin, en Ontario, donde: a) el área se encuentra sujeto a la tala en la mayor parte de su extensión, b) le atraviesa una carretera y c) es afectado por un corredor ferroviario vecino. La mayoría de los parques de áreas protegidas están asociados con usos recreativos y todos tienen fines de conservación (Kerr and Cihlar, 2003).

Cabe señalar que, los roles funcionales de los bosques en Canadá son importantes, desde una perspectiva sociocultural y económica. Como resultado, se requiere el monitoreo de estos bosques, para cumplir con las responsabilidades nacionales y participar en programas internacionales. Para ayudar en el monitoreo forestal, se inició el programa de Observación de la Tierra para el Desarrollo Sostenible de los bosques (EOSD, Earth Observation for Sustainable Development of Forests), el cual está diseñado para utilizar datos de observación de la tierra basados en el espacio, productos para el inventario forestal, contabilidad de carbono forestal y monitoreo de desarrollo sostenible (Wulder *et al.*, 2003).

La EOSD trabaja en colaboración con el Inventario Nacional Forestal (NFI, National Forest Inventory), para garantizar la armonización de las normas y definiciones que permitan un enfoque de múltiples fuentes para caracterizar los bosques de Canadá. Por lo tanto, el objetivo inicial de EOSD fue producir un mapa nacional de la cubierta forestal a una escala 1:250 000 (Wulder *et al.*, 2003).

### 3.2. Perturbaciones forestales

Diversos sitios del Oeste de Canadá están perturbados por los cambios de vegetación de la superficie debido a la deforestación, lo que ha causado grandes contrastes en el promedio anual de la temperatura de la superficie del suelo (TSS), entre sitios ubicados cerca de árboles y sin estos (Trevol *et al.*, 1998). Por lo tanto, la tala de árboles provoca el cambio de la TSS, que se presenta fácilmente en momentos superiores a 1 o 2 años después de la deforestación, como un aumento en el promedio al año (Trevol, 1998); la TSS en áreas boscosas o con un nivel freático alto en promedio son más frías que en áreas despejadas o con césped (Trevol *et al.*, 1998; Trevol, 1998).

Cabe señalar que, el calentamiento aumenta en una región cuando ocurre la deforestación, tal es el caso de Ontario y regiones circundantes, donde se talan árboles para la creación de tierras agrícolas, provocando que la TSS aumentara tanto en la región deforestada como en las áreas no desarrolladas que rodean la región talada (Trevol *et al.*, 1998). Por lo tanto, cuando se eliminan los árboles la TSS aumenta (Trevol, 1998).

Por otra parte, el fuego representa una perturbación importante que es más frecuente en los bosques boreales que en la tundra y los bosques templados de la región. Canadá y sus procesos históricos sobre deforestación e incendios, muestran que, en el bosque boreal los fuegos son responsables de aproximadamente el 94% del área anual quemada y aunque sólo alrededor del 3% de los incendios son mayores a 200 ha, estas igniciones representan el 97% del área quemada (Saenz y Mendoza, 2022). En promedio, durante los últimos 50 años, aproximadamente 2 Mha se queman anualmente y la variabilidad interanual en la cantidad de área quemada varía entre 0.5 y 7 Mha (Mcguire *et al.*, 2012).

El área quemada en Canadá, está relacionada con inmensos vientos del Oeste que causan largas secuencias de días con poca lluvia y humedad relativa



por debajo del 60%, y la ocurrencia de un incendio dentro de un mes depende de la frecuencia de la lluvia, la temperatura y la humedad relativa, además, los vínculos contiguos de estas condiciones al fuego son los rayos como fuente de incendio y el contenido de humedad de la materia orgánica del suelo del bosque, que es importante para la propagación lateral del fuego (Mcguire *et al.*, 2012).

Los incendios reducen la profundidad media del suelo, aumentan drásticamente la extensión de roca estéril en la piedra caliza y destruye la camada y cubierta de musgo e incluso la malla de la raíz dentro del suelo que la une (Harding and Ford, 1993).

En la última mitad del siglo XX, la frecuencia de incendios en el Noroeste de Canadá aumentó sustancialmente durante los años 70 y 80 en relación con un clima más cálido. Por lo que, el análisis de frecuencia de incendios en la región tiene el potencial de aumentar en respuesta al continuo calentamiento del clima (Mcguire *et al.*, 2012).

En los bosques de coníferas montanos, las perturbaciones provocadas por incendios influyen: en la composición de las poblaciones y las distribuciones de edades de los árboles, en los ciclos biogeoquímicos y en la estabilidad del suelo, además tienen una dinámica compleja con otros tipos de alteraciones abióticas y bióticas. Asimismo, se sugiere que la erosión aumenta luego de la actividad de un incendio dentro de una cuenca, por lo que el fuego es el impulsor más importante de la dinámica del ecosistema a escala del paisaje en los bosques de abeto subalpino, de picea de Engelmann y bosques de cedro-cicutita del Sureste de Columbia Británica (Courtney *et al.*, 2018; Trevol, 1998).

Otro factor, que influye en la generación de incendios son las infestaciones por insectos, ya que las masas afectadas por la perturbación de los parásitos pueden ser más vulnerables a las quemaduras, debido a que la mortalidad de los árboles aumenta la inflamabilidad de las masas forestales. Los insectos

responsables de las infestaciones más importantes en Canadá incluyen el gusano picea oriental, el cerrojo de la cicuta, el gusano de los pinos Jack y el escarabajo del pino de la montaña (Page *et al.*, 2014; Natural Resources Canada, 2020).

## **CAPÍTULO 4. MARCO HISTÓRICO**

### **4.1. Políticas de manejo forestal sostenible**

En este apartado se hablará sobre las políticas del manejo forestal en la Columbia Británica, donde se describirá de manera breve la evolución histórica forestal del año de 1700 al 2000, se continuará con las políticas principales que se utilizan en la actualidad en la provincia, como son, sistema de tenencias, corte anual permitido (CAP), el plan de manejo forestal y por último acciones de cumplimiento y aplicación de las leyes (C & E).

El esquema actual de medidas sobre el manejo de la madera y las tierras forestales en la Columbia Británica, denominado como sistema de tenencia forestal, refleja las políticas forestales de los gobiernos coloniales y provinciales. Estas políticas asignan los derechos a la tierra y a la madera, regulan la tasa de aprovechamiento, los estándares de utilización, la protección forestal y las prácticas silvícolas, entre otras (Pearse, 1992; British Columbia, 2020).

#### **4.1.1. Evolución de la Política forestal del año 1700 al 2000.**

Las políticas de manejo forestal han cambiado a través de los años, modificando las leyes de acuerdo con las necesidades del bosque y en combinación con el medio ambiente. Para el manejo y cosecha de los árboles, los habitantes de la Columbia Británica van en dos direcciones: una mirada hacia atrás para aprender de las experiencias del pasado y una visión al futuro, esperando asegurar que se cumplan los valores y demandas legales (Robson *et al.*, 1995).

Desde el año 1700 los bosques de Columbia Británica (CB) han sido usados, primero por los pueblos originarios (Primeras Naciones), quienes utilizaban los árboles enfermos, muertos o caídos para sus necesidades materiales, construcción de vivienda (de tablones y ramas), transporte (canoas de árboles tallados), vestimenta, artículos para el hogar, combustible, ceremonias, arte y alimentos; los indígenas valoraban la madera muerta para una variedad de propósitos. No obstante, en el siglo XIX, los colonos de CB comenzaron la cosecha forestal, cuando se dieron cuenta de que el cultivo de madera era valioso a diferencia de cualquier otra actividad productiva por la que pudieran reemplazarlo (Pearse, 1992; Robson *et al.*, 1995; Stone *et al.*, 2002).

A finales del siglo XIX, la explotación comercial en CB comenzó a desarrollarse, concentrándose en la madera productiva y de fácil acceso de la costa oeste y en los valles principales en el interior de la provincia. En la década de 1860, los impactos en el bosque fueron generalmente insignificantes, porque solo se cortaban los árboles valiosos y fáciles de transportar; durante esta época se implementaron los primeros aserraderos al sur de la Isla de Vancouver y el Bajo Continente (Gran Vancouver y Distrito Regional de Squamish Lillooet) (Robson *et al.*, 1995; Stone *et al.* 2002).

Debido a la escasa demanda de árboles, durante el periodo colonial y la década de 1870, las concesiones de tierras forestales no eran restringidas y no tenían limitaciones respecto a la madera en la tierra. Pero después de 1880, se efectuaron cambios en las políticas de las tierras de la Corona, donde se redujeron gradualmente el alcance de nuevas licencias de tierras forestales, las cuales fueron especificadas en la “Ley de Tierras” en 1884 (Pearse, 1992).

El principal desarrollo de las políticas del manejo forestal fue la separación progresiva de los “derechos a la tierra” de los “derechos a la madera” y la restricción de los títulos de propiedad de las tierras forestales. Otras restricciones fueron: que los árboles cortados de las tierras otorgadas en 1906 fueran manufacturados en la

provincia. Además, la venta de bosques de tierras forestales, se definieron como tierras adecuadas para la producción forestal, ya sea de madera o no y estas a la vez se restringieron para el año de 1947 (Pearse, 1992).

Por otra parte, a finales de la década de 1940, el gobierno alentó a los colonos a adoptar técnicas de manejo de madera sostenible, a través de dos formas de incentivos (Pearse, 1992):

- Primero, las rectificaciones a la ley de impuestos, aprobada en 1951, otorgó un impuesto preferente a los propietarios que cosechaban y regeneraban sus tierras, de acuerdo con los criterios de rendimiento sostenible aprobados. Estas propiedades se conocieron como “impuestos de granjas de árboles” (Pearse, 1992).

- En segundo lugar, a través del “sistema de granjas de árboles”, se les ofreció el derecho de cosecha de las tierras de la Corona, a cambio de comprometer sus propiedades privadas en un beneficio forestal sostenible (Pearse, 1992).

Las políticas de manejo sostenible se introdujeron en 1948, cuando el comisionado G. Sloan, se ocupó del diseño de una política forestal de cosecha sostenible, esto para obtener la máxima ventaja de los recursos forestales de la provincia y así proporcionar estabilidad a la industria y a las comunidades que dependían de ellos. Para esto, se implementaron dos tipos de unidades de gestión de cosecha sostenible. La primera es la licencia de granjas de cultivo de árboles (o “TFL” por sus siglas en inglés), que incorporan las propuestas de un grupo de trabajo privado. Y, la segunda es el Área de suministro de madera (Timber Supply Area o “TSA” por sus siglas en inglés), las cuales se encuentran designadas a círculos o grupos de trabajo público (TSR 2016).

El Acuerdo de Desarrollo de Recursos Forestales de Columbia Británica (ADRF), de 1985 propició la reforestación; se proporcionaron \$ 200 millones de dólares canadiense, destinados directamente a la Regeneración No Satisfactoria (RNS) de tierras forestales, es decir, plantaciones de árboles que no prosperaban. Este acuerdo también comprometió a CB a una disminución neta de RNS, donde se dedicó al desarrollo de los árboles (Pearse, 1992; Brown, 1997).

A finales de 1987 y principio de 1988, el gobierno introdujo en la Ley Forestal, establecida en 1978, los reglamentos correspondientes sobre prácticas de reforestación (Robson, 1995; Brown, 1997), los cuales son:

- Antes de cosechar la madera de la Corona, se debe preparar y aprobar un procedimiento de silvicultura.
- Después de la cosecha, se debe establecer un cultivo de árboles ecológicos y comerciales.
- Las empresas con licencias a largo plazo deben asumir el costo de reforestar las áreas que cosechan, incluso el costo de las plántulas de árboles.
- La reforestación sigue siendo una responsabilidad del ministerio y los costos de la silvicultura se recuperan mediante la fijación de precios de madera.
- El gobierno se comprometió a reforestar áreas perdidas por incendios forestales o infestaciones por insectos, así como a pagar por la reforestación de áreas cosechadas por la industria entre 1982 y 1987.

A principio de la década de 1990, el gobierno de CB inició la planificación del uso de la tierra basada en las partes interesadas para determinar cómo debían utilizarse las tierras públicas, qué áreas debían protegerse y cuáles deberían estar disponibles para el desarrollo de recursos y otros usos. Asimismo, el gobierno es responsable de determinar cómo y dónde se realiza la cosecha, además de cuánta cosecha se obtiene, esto debido al alto nivel de propiedad pública que posee la provincia del 95% (Ministry of Forest, 2003).

#### 4.1.2. Sistema de licencias

Las empresas forestales privadas, las comunidades y los individuos obtienen derechos o permisos de cosecha de madera de los bosques públicos, a través de convenios de licencias con el gobierno provincial. Los contratos se pueden obtener para diferentes tenencias, como licencias forestales, licencias de madera, licencias de granjas de árboles, licencias de bosques de las primeras naciones, licencia de salvamento comunitario, licencias para cortar, licencias de venta de madera, licencias de lote de madera, acuerdo forestal comunitario, permisos de árboles libres, permisos de árboles de navidad y permisos de carreteras (Ministry of Forest, 2003; Forest Act, 2020).

Las licencias forestales otorgan el derecho de cosechar un volumen determinado de madera de la Corona, a cambio del pago de derechos de tala y responsabilidades de manejo forestal, como la protección forestal, la planificación operativa, la construcción de carreteras y la reforestación. Esta licencia puede estar dentro de un área de suministro de madera (TSA, por sus siglas en inglés) o una granja de cultivo de árboles (TFL, por sus siglas en inglés) de las cuales actualmente existen 38 TSA y 36 TFL en toda la provincia de Columbia Británica. No obstante, la mayoría de las licencias forestales operan dentro de áreas de suministro de madera (Robson *et al.*, 1995; Forest Act, 2020; British Columbia, 2020).

En la Columbia Británica la planificación a nivel local se lleva a cabo dentro de las unidades de gestión de áreas de Suministro de Madera y Granjas de cultivo de Árboles:

- El área de suministro de madera es una superficie de la Corona provincial (determinada por el Ministerio de Bosques, Tierras y Operaciones de Recursos Naturales, de acuerdo con la sección 7 de la Ley Forestal), la cual es gestionada para una gama de objetivos, incluida la producción de madera.

- Mientras que la granja de cultivo de árboles es una tenencia entre el gobierno provincial y el licenciatario (persona que obtiene una licencia), donde se otorgan derechos exclusivos para cosechar madera, administrar y conservar los recursos forestales dentro de un área definida de tierra de la Corona, esto de acuerdo con la sección 35 de la Ley Forestal de Canadá. (TSR, 2016; Forest Act, 2020; British Columbia, 2020)

Para regular el suministro de madera de cada una de las TSA y TFL, se encuentra el programa de Revisión de Suministro de Madera (Timber Supply Review o “TSR”, por sus siglas en inglés) en CB, el cual actualiza los Cortes Anuales Permitidos (CAP), al menos una vez cada 10 años; sin embargo, el reajuste de CAP puede cambiar dependiendo del consumo o suministro de madera y es resuelto por el jefe forestal.

Los objetivos del TSR son:

- Identificar información económica, ambiental y social disponible para respaldar la determinación del corte anual permitido del jefe forestal. Esto debe reflejar las prácticas actuales de manejo forestal, incluido su impacto potencial en el suministro de madera a corto y largo plazo.

- Identificar los intereses y preocupaciones públicas de las Primeras Naciones que pueden verse afectadas por una determinación de corte anual permitido.

- Identificar dónde se requiere información para mejorar y respaldar futuras revisiones de suministro de madera.

### 4.1.3. Corte anual permitido (CAP)

El Corte Anual Permitido, es la tasa máxima de extracción de madera determinada para un área (Área de Suministro de Madera o Área de granja de Árboles), especificada como un volumen de madera (metros cúbicos) por año. El CAP es determinado por el jefe forestal provincial, quien se basa en la rectitud administrativa (sin corrupción) por medio del uso de la mejor información disponible de una amplia gama de factores ambientales, sociales y económicos (TSR, 2016; TSRB, 2017), donde se incluye:

- La tasa de producción de madera que puede mantenerse en el área.
- Las implicaciones de las tasas alternativas de extracción de madera del área, a corto y largo plazo para la provincia.
- Limitaciones en la cantidad de madera producida en el área debido al uso del bosque para fines distintos a la producción de madera.
- Los objetivos económicos y sociales de la Corona Británica, para el área, la región y la provincia, según lo expresado por el ministro del Bosque, Tierras y Operaciones de Recursos Naturales.
- Las infestaciones anormales de insectos o enfermedades y programas de rescate planeados para el área.

El jefe forestal asume la decisión de mayor responsabilidad, en el decreto de CAP, debido a que puede afectar la economía local y provincial, la estabilidad de la comunidad y el medio ambiente, en el presente y el futuro. Es por eso que, para que el jefe forestal determine un CAP, las licencias de cualquier tenencia o permiso deben presentar un plan de manejo forestal y cumplir con los objetivos y requerimientos que señala el gobierno (Robson *et al.*, 1995; TSR, 2016; Ministry of Forest, 2003).

El CAP cambia en las diferentes Áreas de Suministro de Madera o Granjas de Árboles y de un año a otro. Por ejemplo, en el área de estudio de la presente



investigación, el CAP del Áreas de Suministro de Madera de “Soo” (área que va desde Squamish, Wistler hasta Pemberton), para el 2000 fue de 503 000 m<sup>3</sup> y disminuyó para el 2011 a 480 000 m<sup>3</sup>. Este último permanecerá vigente hasta que se determine un nuevo CAP, que tendría lugar dentro de los siguientes 10 años de la última determinación (Snetsinger, 2011).

#### **4.1.4. Plan de manejo forestal**

Actualmente, las políticas forestales de la CB se centran en el concepto de gestión forestal sostenible. Donde el objetivo es lograr: a) un equilibrio entre la demanda impuesta a “los bosques” por productos y beneficios, b) el mantenimiento de la salud y la diversidad de los bosques y c) ayudar a dar forma a las tierras forestales del futuro. Para obtener lo anterior, el jefe de silvicultura o forestal de CB, cuenta con un equipo de liderazgo de silvicultores en jefe, los cuales en conjunto se basan en la ciencia para promover bosques saludables, ecológicamente diversos y resistentes, que mantengan un sector forestal fuerte en la provincia. El grupo apoya el trabajo hacia la sostenibilidad, mientras equilibra la sociedad, la economía y las consideraciones ambientales y ecológicas (Ministry of Forest, 2003; Annual report, 2019; British Columbia, 2020).

Para obtener derechos y permisos sobre la madera y las tierras forestales, se realiza un Plan de Manejo Forestal (PMF) para el cual es clave cartografiar a nivel de paisaje, las posibles actividades de desarrollo forestal que tienen lugar en el área descrita en el método, durante un periodo de hasta cinco años y si se extiende hasta de 10 años. El PMF es el único plan operativo para el aprovechamiento de madera y actividades relacionadas, por lo que los licenciatarios forestales deben preparar y obtener la aprobación del gobierno para poder comenzar las actividades de cosecha (permisos de corte) y construcción (permisos de carreteras) (RFPA, 2009; FRPA, 2010).

El gobierno de la CB y los licenciarios forestales contratan profesionales de recursos calificados para preparar, revisar y aprobar los planes de manejo forestal, bajo la Ley de Prácticas Forestales y de Distribución (LPFD). Los planes aseguran que los operadores de las prácticas forestales sean consistentes con los objetivos y valores del gobierno de la provincia (RFPA, 2009).

La LPFD regula cómo deben llevarse a cabo todas las prácticas forestales y de distribución, y las actividades basadas en los recursos de las tierras de la Corona en CB (planificación, construcción de caminos, tala, deforestación y pastoreo), al tiempo que garantiza la protección de todo lo que se encuentre dentro del área: plantas, animales y ecosistemas (RFPA, 2009; RFPA, 2010).

El Plan de Manejo Forestal (PMF) tiene varios propósitos (RFPA, 2009):

- Identificar en general, las áreas donde el desarrollo forestal, como la cosecha, el empleo de carreteras, la reforestación y otros, ocurra durante el plazo o vigencia del PMF. Estas áreas se identifican como Unidades de Desarrollo Forestal (UDF). El licenciario tendrá derechos de aprovechamiento dentro de estas UDF a través de su acuerdo emitido bajo la Ley Forestal, como una licencia forestal.

- Brindar al público, a las primeras naciones, a las agencias de recursos y a otros licenciarios la oportunidad de revisar y comentar los planes del licenciario para el desarrollo forestal en un área, que incluye: a) la localización general de las actividades de desarrollo forestal y propuestas por el licenciario, y b) la identificación de valores (p. e., biodiversidad, efectos visuales, la vida silvestre) dentro del área del plan, tanto a nivel de paisaje como de sitio.

- Identificar como el licenciario, será coherente con los objetivos del gobierno para el área del plan, a través de los resultados y/o estrategias propuestas en PMF.

- Ayudar a implementar los objetivos del gobierno, para el uso de la tierra y los recursos de la Corona, por ejemplo, planificar actividades forestales que sean consistentes con las metas y objetivos contenidos en los planes estratégicos de uso de la tierra, y

- Promover el debate y la consulta entre los licenciarios, agencias de acuerdos, organizaciones no gubernamentales y el público sobre el desarrollo forestal y actividades relacionadas, incluidos los valores que son importantes para el público, las primeras naciones y otras partes interesadas.

Con el manejo forestal de la CB se ayuda a garantizar que se consideren todos los valores forestales, que existan oportunidades para las primeras naciones y la participación pública, que existan procesos independientes para la determinación de los niveles de aprovechamiento y la verificación de las prácticas forestales (Ministry of Forest, 2003; British Columbia, 2020).

#### **4.1.5. Cumplimiento y aplicación de las políticas de manejo forestal**

Para el cumplimiento y aplicación de las políticas de manejo forestal, se toma en cuenta la Ley del sector de recursos naturales de CB, la cual se conoce como Cumplimiento y Aplicación (C & A). El objetivo principal de C & A, es asegurar que se cumplan las leyes de gestión de los recursos de las tierras públicas, agua y bosques, para que se tomen medidas en caso de incumplimiento. Asimismo, los Oficiales de Recursos Naturales y los Oficiales de Conservación patrullan, inspeccionan, investigan y hacen cumplir activamente las leyes de gestión de recursos; quienes incumpla las leyes, son sancionados (MFLNRO, 2017; British Columbia, 2020).

Los Oficiales de Recursos Naturales, tienen una gama de opciones de cumplimiento disponibles y pueden ejercer discreción al elegir las acciones

apropiadas. Sus decisiones a menudo dependen de la gravedad de la situación y tienen en cuenta el historial del licenciatario (British Columbia, 2020).

Algunas de las acciones que los Oficiales de Recursos Naturales realizan hacia los licenciarios son; acciones de cumplimiento, tickets de advertencia y aviso de incumplimiento, acciones de aplicación, que incluye multas por infracción, sanciones monetarias, órdenes y enjuiciamientos, estas últimas pueden suspender la licencia, bajo la cual un licenciario o cliente está operando o la cancelación de la misma (las persona o empresa ya no puede operar en el sitio) (MFLNRO, 2017; British Columbia, 2020).

De acuerdo con las sanciones monetarias, los montos van desde 2 000 hasta 75 000 dólares, las cuales están prescritas por la regulación. Sin embargo, el precio a pagar, dependerán de los tomadores de decisiones legales, quienes emiten las sanciones considerando todas las circunstancias atenuantes y agravantes del incumplimiento (British Columbia, 2020).

## **CAPÍTULO 5. MARCO CONCEPTUAL**

Las imágenes que se utilizaron para la interpretación de esta tesis fueron Landsat y Sentinel; para la interpretación se pusieron en práctica los elementos visuales de reconocimiento como tono, forma, tamaño, patrón, textura y asociación (Pérez y Muñoz, 2006). Los cuales se describen de la siguiente manera:

*Tono:* Se refiere al brillo relativo de los objetos. Las variaciones de tono son elementos indispensables en la interpretación visual, por lo tanto, los cuerpos de agua, la vegetación y el suelo representan diferentes tonos (Chuvieco, 1995; Pérez y Muñoz, 2006).

*Color:* La ventaja del color sobre el tono, se da porque el ojo humano tiene mayor sensibilidad a las variaciones pancromáticas frente a las variaciones de

intensidad luminosa. Esto se debe, a que el ojo humano percibe longitudes de onda entre 400 y 700 nm (luz visible), separando la energía recibida en tres componentes, que son los denominados colores primarios: rojo, verde y azul. A partir de estos se puede generar cualquier otro color (Chuvienco, 1995; Pérez y Muñoz, 2006). Por ejemplo, en nuestra investigación se mezclaron varias bandas del espectro en una composición de color, tales como: el “color natural” para la imagen Sentinel y “falso color” para la imagen Landsat.

*Forma:* Se refiere a la representación de caracterizar a varios objetos observables en las imágenes, es decir, a la forma del perímetro y como se ve en una foto de dos dimensiones. Por ejemplo: se distinguieron por su forma, los asentamientos humanos y cuerpos de agua (Chuvienco, 1995; Pérez y Muñoz, 2006).

*Patrón:* Se refiere a la distribución espacial de los objetos (tanto naturales como construidos) y a la representación de formas de cada cierto espacio, que permite su identificación. Tal es el caso de los asentamientos, pastizales y áreas de agricultura, las cuales reflejan la creación de un patrón, en la imagen (Chuvienco, 1995; Pérez y Muñoz, 2006).

*Textura:* Es la frecuencia con la que suceden cambios tonales, es decir, el contraste espacial entre los elementos que componen la imagen. Por ejemplo, en las imágenes trabajadas, se observó una diferencia en la tonalidad de los bosques, plantaciones, arbustos y pastizales (Chuvienco, 1995; Pérez y Muñoz, 2006).

## **CAPÍTULO 6. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **6.1. Materiales**

Para la elaboración de los mapas de cobertura y uso del terreno (CUT) del Distrito de Squamish y Squamish-Lillooet D, se utilizaron dos tipos de imágenes satelitales

(ver Figura 22): Landsat TM (resolución temporal de 16 días; resolución espacial de 30 m x 30 m) y Sentinel 2A (resolución temporal de 10 días; resolución espacial de 10 m x 10 m); las cuales se obtuvieron del sitio Earth Explorer ([earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov)).

Antes de realizar la interpretación de cobertura y uso del terreno, se realizó “un mosaico” con tres imágenes de Sentinel, con la intención de cubrir toda el área de estudio. Sin embargo, para la imagen de Landsat no fue necesario hacer lo anterior, debido a que una sola imagen cubría toda la zona. A las imágenes se les asignó el sistema de proyección, Universal Transversal de Mercator (UTM) Zona 10N (Datum WGS84).

La imagen Landsat TM se adquirió con fecha del mes de julio del año 1985, de la cual se utilizaron las bandas multiespectrales 5, 4 y 3 (infrarrojo cercano 2, infrarrojo cercano 1 y rojo). Mientras que, la imagen Sentinel 2A se obtuvo de julio del 2018 y las bandas usadas fueron 2, 3 y 4 (rojo, verde y azul).

Las imágenes Landsat y Sentinel, se adquirieron del mismo mes (julio), con diferente año, para realizar un periodo comparativo, esto para ayudar a minimizar las diferencias entre la vegetación estacional y los efectos de las diferentes posiciones del Sol. Además, fueron las que presentaron mejor nitidez, menos del 10% de nubosidad, menor cantidad de nieve y sombras.

Por otra parte, las variables físicas (Hidrología y Edafología), datos demográficos y las políticas de manejo forestal, se adquirieron de la página web oficial de Canadá (Natural Resources Canada) y de Columbia Británica (British Columbia), así como, de consultas bibliográficas de artículo y libros. La información demográfica se proporciona a través de los censos de 1991, 1996, 2001, 2006, 2011 y 2016 (Natural Resources Canada, 2020; Squamish-Lillooet Regional District, 2020; British Columbia, 2020).

La generación y manipulación de la información espacial del cambio de cobertura y uso del terreno, se realizó en un sistema de información geográfica (SIG), que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir datos geográficos. El SIG utilizado se denomina ArcGIS versión 10.5 (Esri), el cual incluye aplicaciones profesionales y completas que admiten diversas funciones: Operaciones con mapa (visualización, selecciones gráficas, análisis, y diseño de mapas) y operaciones con bases de datos (consultas, informes, estadísticas y resúmenes) (Mancebo *et al.*, 2008; Pucha *et al.*, 2017).

ArcGIS, permitió trabajar con los siguientes elementos de información:

- Bandas multiespectrales 5, 4 y 3 de Landsat y bandas 2, 3 y 4 de Sentinel.
- Geodatabases (Es la estructura de datos nativa del ArcMap y es el formato de datos primarios para la edición y administración de estos).
- Caja de herramientas de edición y geoprocésamiento.
- Obtención de mapas, resumen estadístico y archivos txt (Text File).

## **6.2. Métodos**

### **6.2.1. Interpretación de imágenes satelitales**

La interpretación de las imágenes se realizó sobre monitor de computadora desplegada a escala 1:80 000 para los dos años. La interpretación se realizó de forma visual, donde se pusieron en práctica los elementos visuales de tono, forma, tamaño, patrón, textura y asociación (Pérez y Muñoz, 2006).

### **6.2.2. Elaboración de los mapas de Cobertura y Uso del Terreno**

Las categorías que se utilizaron para la interpretación del año de 1985 (Landsat) y del 2018 (Sentinel 2A) fueron: bosque, plantaciones, pastizal, asentamientos humanos, cuerpos de agua, nieve y hielos, y suelo desnudo (ver Cuadro 9). Las

clases señaladas comprenden coberturas naturales y antropogénicas, las cuales se ajustaron acorde a lo que se observó en las imágenes y al área mínima cartografiable de 10 ha.

Cuadro 9. Categorías principales y subcategorías del año 1985 y 2018.

<b>Categorías principales</b>	<b>Subcategorías</b>
<b>1. Bosque</b>	1.1. Bosque cerrado 1.2. Bosque semiabierto 1.3. Bosque abierto
<b>2. Plantaciones</b>	Plantaciones forestales
<b>3. Pastizal</b>	Pastizal
<b>4. Asentamientos humanos</b>	Asentamientos humanos
<b>5. Cuerpo de agua</b>	5.1. Ríos 5.2. Lagos 5.3. Océano
<b>6. Nieve y hielos</b>	Nieve y hielos
<b>7. Suelo desnudo</b>	7.1. Sedimentos de río 7.2. Roca expuesta 7.3. Banco de materiales

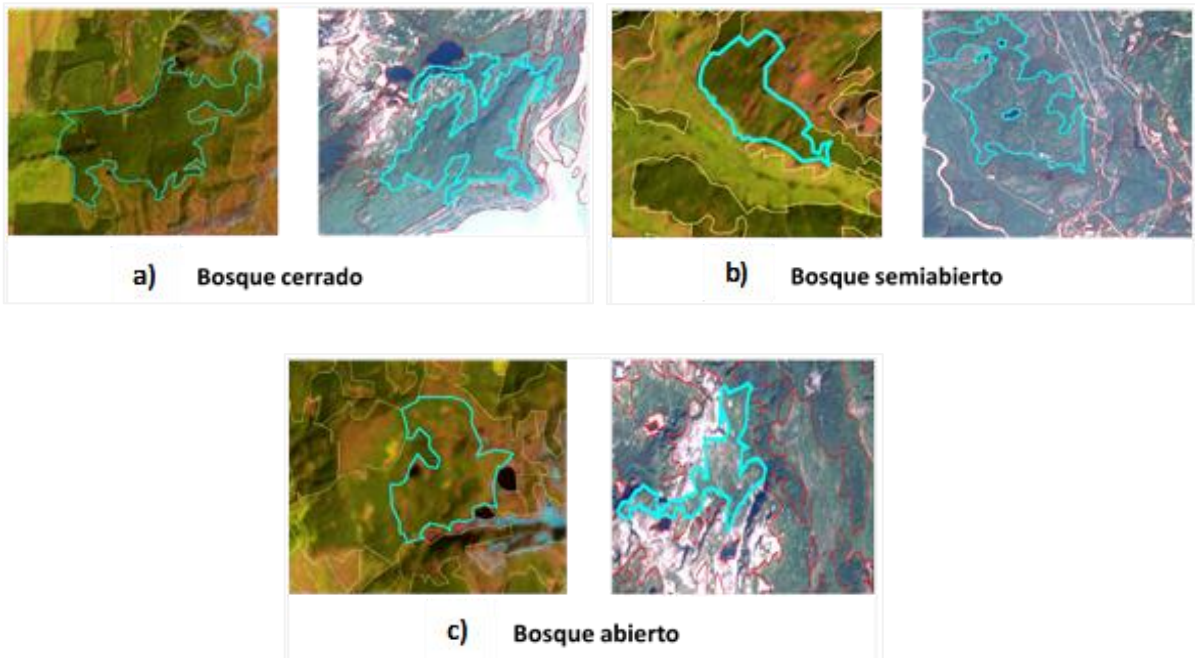
Fuente: Elaboración propia, 2019

### 6.2.3. Descripción de categorías

La cobertura de bosque se clasificó en: “bosque cerrado” que fueron aquellas áreas cubiertas con porcentaje de vegetación arbórea mayor al 75% (ver Figura 13a), “bosque semiabierto” donde la vegetación arbórea cubría el 50% al 75% del área (ver Figura 13b) y como “bosque abierto” a la superficie entre el 25% y el 50% de vegetación arbórea (ver Figura 13c) (Ramos J., 2018).



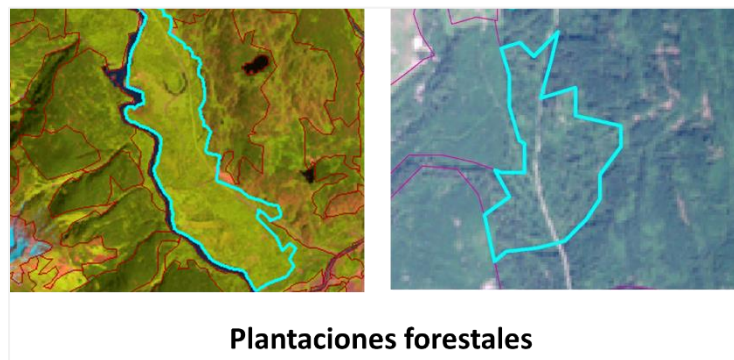
Figura 13. Subcategorías interpretadas del bosque: a) bosque cerrado, b) bosque semiabierto y c) bosque abierto. La imagen de lado izquierdo es de 1985 y la imagen de lado derecho es de 2018.



Fuente: Elaboración propia, 2020

En las plantaciones forestales, se incluyeron aquellos espacios arbolados que se han originado a través de la plantación o siembra de árboles, los cuales pueden ser de una misma especie o en combinación con otras. Las plantaciones se pueden visualizar en tonos verde limón (Landsat) o tonalidades de verde y textura diferente (menos granulada) en comparación con los bosques (ver Figura 14) (Chuvieco, 1995; Pérez y Muñoz, 2006; Ramos J., 2018).

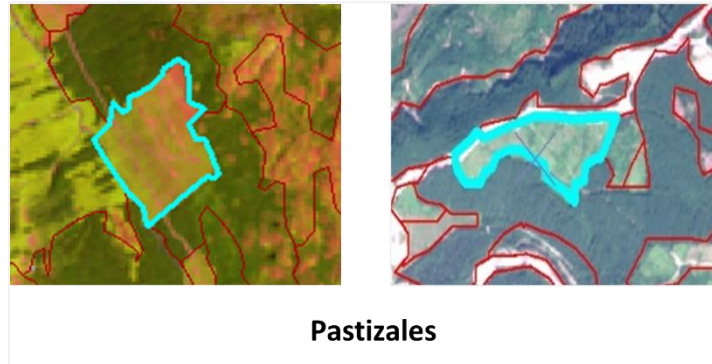
Figura 14. Categoría de plantaciones de 1985 (imagen de lado izquierdo) y 2018 (imagen de lado derecho).



Fuente: Elaboración propia, 2020

En el caso de la categoría de pastizal, se consideró a la superficie con vegetación herbácea mayor al 75% y al área que presentaba una consistencia de tono verde suave (ver Figura 15) (Chuvienco, 1995; Pérez y Muñoz, 2006; Ramos J., 2018).

Figura 15. Categoría de pastizal de 1985 (imagen de lado izquierdo) y 2018 (imagen de lado derecho).



Fuente: Elaboración propia, 2020

Los asentamientos humanos se clasificaron por superficie construida, donde se tomaron en cuenta viviendas o edificios, industrias de madera y lotes baldíos. En el caso de la imagen Landsat, se reconocieron por el tono, patrón y textura de la imagen (ver Figura 16) (Chuvienco, 1995; Pérez y Muñoz, 2006).

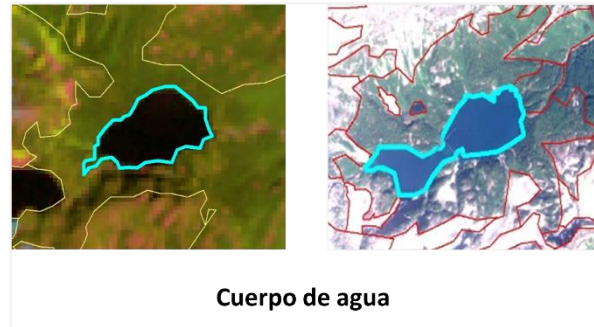
Figura 16. Categoría de asentamientos humanos de 1985 (imagen de lado izquierdo) y 2018 (imagen de lado derecho).



Fuente: Elaboración propia, 2020

Por otro lado, se clasificaron como cuerpos de agua a todas las áreas cubiertas con agua, incluyendo, ríos, lagos y al océano Pacífico, además de las formas de objetos con colores azul oscuro o negro (ver Figura 17) (Chuvieco, 1995; Pérez y Muñoz, 2006).

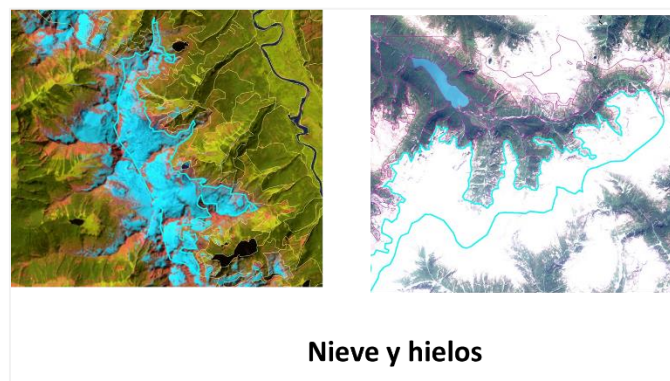
Figura 17. Categoría de cuerpo de agua de 1985 (imagen de lado izquierdo) y 2018 (imagen de lado derecho).



Fuente: Elaboración propia, 2020

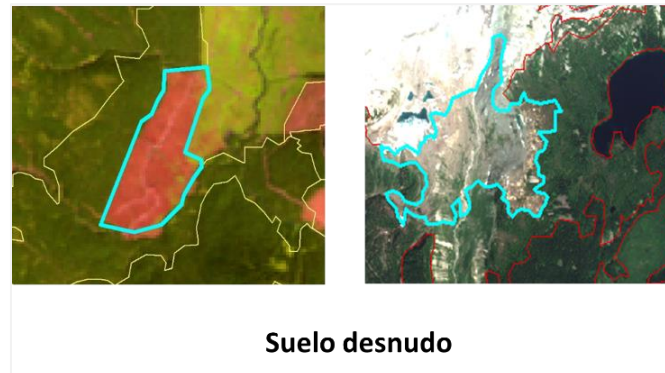
Para la categoría de nieve y hielos se interpretó al área de estudio de color azul o blanco (ver Figura 18) y a la categoría de suelo desnudo, se consideró a las áreas sin vegetación aparente, como suelo desnudo, roca expuesta, banco de materiales, sedimentos de río y suelo en laderas expuestas (ver Figura 19) (Chuvieco, 1995; Pérez y Muñoz, 2006).

Figura 18. Categoría de nieve y hielos de 1985 (imagen de lado izquierdo) y 2018 (imagen de lado derecho).



Fuente: Elaboración propia, 2020

Figura 19. Categoría de suelo desnudo de 1985 (imagen de lado izquierdo) y 2018 (imagen de lado derecho).



Fuente: Elaboración propia, 2020

#### 6.2.4. Validación

Durante la interpretación del área de estudio, se comparó nuestro resultado con imágenes almacenadas en Google Earth, la cual es una plataforma que permite visualizar la superficie terrestre en 3D y a diferentes escalas. En la plataforma se puede deslizar a través de una aplicación web como si se estuviera delante de un globo terráqueo tradicional, con la posibilidad de realizar un acercamiento y ampliar el detalle de determinadas áreas de interés. Asimismo, en esta plataforma se realizan funciones tanto de mediciones como de marcaciones de lugares, áreas y rutas, además de la superposición de imágenes y fotos (Pérez y Muñoz, 2006; Ministerio de educación, 2020).

Cabe mencionar que, para cada una de las categorías interpretadas del área de estudio del año 2018, se validó el 80% de polígonos digitalizados con Google Earth (esto a una altura de 500 y 100 m en el entorno de visualización gráfica de Google Earth). También, este año fue revisada por el Dr. John J. Clague de la Universidad Simon Fraser, Departamento de Ciencias de la Tierra, Canadá, quien conoce el área de estudio.

Posteriormente, se validó la cobertura y uso del terreno con verdad de imagen detallada (imágenes de Google Earth), para conocer a detalle el error de interpretación (Leckie *et al.*, 2016). Al validar se rectificó el 10% de polígonos digitalizados de cada una de las categorías determinadas. El proceso de validación en campo no se realizó debido a la pandemia del Covid-19, lo cual impidió el viaje a Canadá.

Para el análisis de los datos de fiabilidad se generó una matriz de confusión, la cual permitió confrontar la información de los sitios de verificación de la imagen con la base de datos del mapa de cobertura y uso del terreno del año 2018. En la matriz de confusión, las filas representan las clases de referencia y las columnas las clases del mapa. La diagonal de la matriz expresa el número de sitios de verificación para los cuales hay concordancia entre el mapa y los datos de referencia, mientras que, los valores fuera de la diagonal representan errores de asignación (Bautista *et al.*, 2011; Mas y Couturier, 2011). Los residuales de las filas son categorías que fueron atribuidas erróneamente a otra categoría (error de comisión) y los residuales en columnas muestran las categorías omitidas de su clase verdadera (error de omisión).

#### **6.2.5. Obtención de la matriz de Markov**

Con los polígonos de cada categoría interpretada, se obtuvieron los mapas de cobertura y uso del terreno de cada uno de los años (1985 y 2018), los cuales se sobrepusieron para generar la matriz de Markov y cuantificar la dinámica y procesos de cambio de cobertura y uso del terreno.

La matriz de Markov, es una tabla con arreglos simétricos que contiene en el eje horizontal los tipos de vegetación y usos del terreno del año base (primer tiempo o  $t_1$ ) y en el eje vertical, las mismas categorías del segundo año ( $t_2$ ) (ver Figura 20). De esta manera, cada uno de los datos de la diagonal principal de la tabla (color rojo), representa la superficie de cada categoría de uso del terreno que

permanece en la misma categoría en los dos años, mientras que el resto de los datos estiman la superficie de una determinada cobertura o uso del terreno que pasó a otra categoría, permitiendo entender la dinámica de cambio y uso del terreno (López *et al.*, 2001; Bocco *et al.*, 2001; Kumar *et al.*, 2017).

Figura 20. Ejemplo de la matriz de Markov.

t1 (1985) \ t2 (2018)	C1	C2	C3	C4	C5	Cn	Total general t1
C1	11	12	13	14	15	1n	11+12+...+1n
C2	21	22	23	24	25	2n	21+22+...+2n
C3	31	32	33	34	35	3n	31+32+...+3n
C4	41	42	43	44	45	4n	41+42+...+4n
C5	51	52	53	54	55	5n	51+52+...+5n
Cn	n1	n2	n3	n4	n5	nn	n1+n2+...+nn
Total general t2	11+21+...+n1	12+22+...+n2	13+23+...+n3	14+24+...+n4	15+25+...+n5	1n+2n+...+nn	Superficie total de la zona

Fuente: Kumar *et al.*, 2017.

Una vez obtenida la matriz de Markov se construyó la matriz de probabilidad de transición, donde la probabilidad ( $P_{ij}$ ) de cada categoría de la matriz será proporcional a la superficie remanente de la misma categoría entre 1985 – 2018:

$$P_{ij} = S_{ij} (1985) / S_j (2018)$$

Donde  **$S_{ij}$** , es la superficie del elemento  **$ij$**  de la matriz de transición de la cobertura y uso del terreno en 1985 y  **$S_j$**  la superficie de la categoría de la cobertura y uso del terreno  **$j$**  en 2018. De esta manera, para cada categoría de uso del terreno  **$j$** ,  $\sum P_{ij} = 1$ .

Con la información obtenida de la Matriz de Markov, también se calcularon los siguientes aspectos:

Pérdida: Superficie de 1985 menos la permanencia (P, obtenida de la diagonal de la Matriz).

Ganancia: Superficie de 2018 menos la permanencia.

Cambio neto: Es la tendencia a ganar o perder superficie al final del periodo (es la diferencia de la superficie entre ganancia y pérdida).

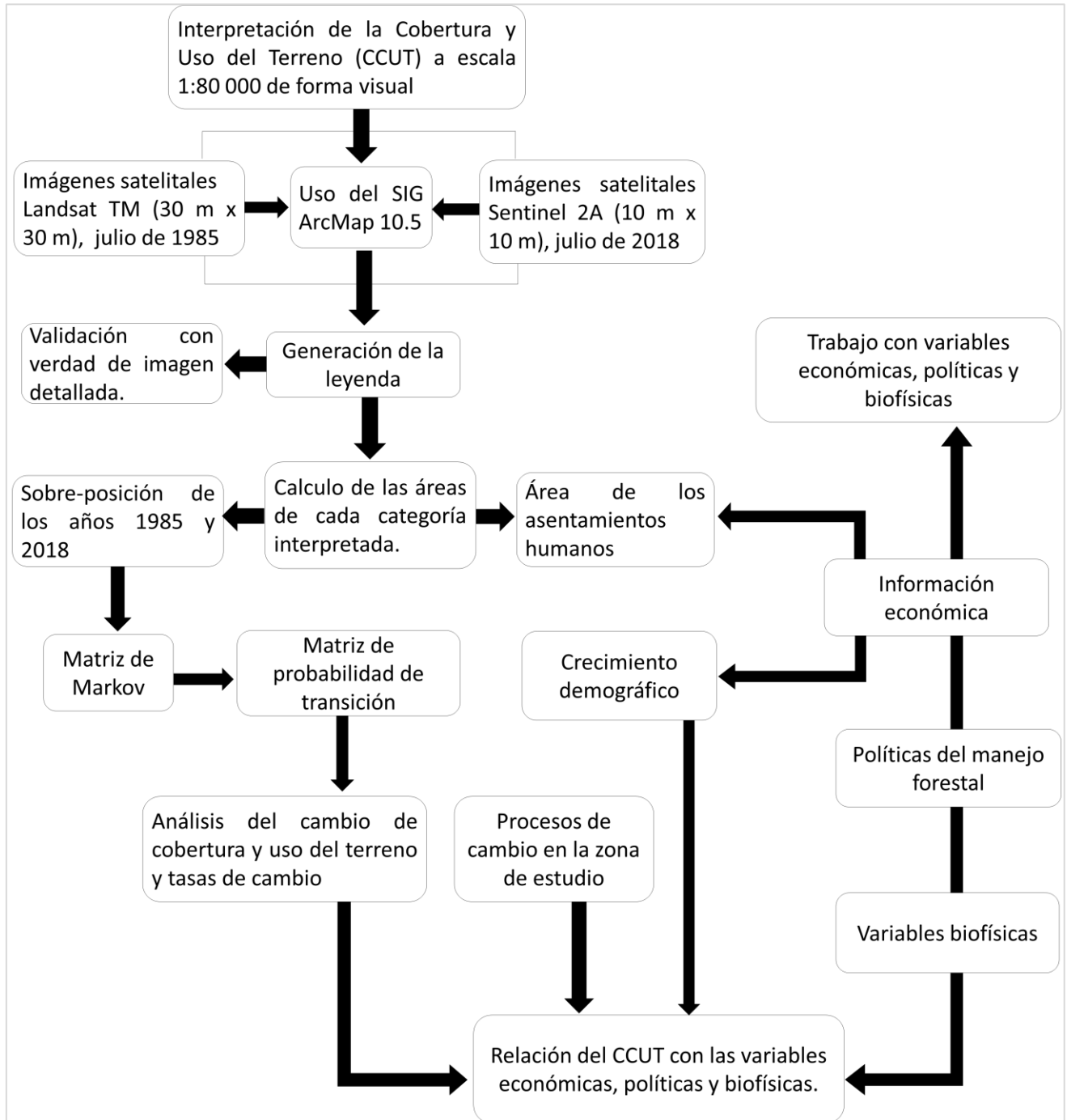
Por otra parte, se calculó la tasa de cambio media anual de cada una de las categorías interpretadas, a partir de la ecuación utilizada por la FAO (1996):

$$\delta_n = \left( \frac{S_2}{S_1} \right)^{1/n} - 1$$

Donde  $\delta_n$  es la tasa de cambio (para expresar en %, hay que multiplicar por 100),  $S_1$  es la superficie de la categoría en el tiempo uno (1985),  $S_2$  es la superficie en el tiempo dos (2018) y  $n$  es el número de años entre los dos tiempos (33 años).

Posteriormente, la dinámica de cambio se relacionará con los procesos económicos, biofísicos y políticas de manejo forestal, para reconocer los criterios responsables de los principales cambios de cobertura y uso del terreno de la zona de estudio (ver Figura 21).

Figura 21. Diagrama de flujo de la metodología desarrollada durante el presente proyecto.





## CAPÍTULO 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1. Calidad de la base de datos

La matriz de confusión indicó que la mayoría de las categorías se encuentran por arriba del valor mínimo de exactitud del 80% (Bocco *et al.*, 2000), a excepción de las plantaciones y los pastizales, los cuales presentaron un error de omisión del 42.9% y 25%. Las categorías que presentaron algún grado de confusión fueron siete, en mayor grado fue: a) el bosque cerrado (3 polígonos), que erróneamente se etiquetó como bosque semiabierto (1 polígono) y plantaciones (2 polígonos); b) bosque semiabierto (4 polígonos), que fue clasificado como bosque cerrado (3 polígonos) y bosque abierto (1 polígono) y c) plantaciones (3 polígonos), que fue atribuido erróneamente a bosque cerrado (1 polígono) y pastizal (2 polígonos) (ver Cuadro 10).

El bosque cerrado y las plantaciones se confundieron debido a la escala a la que se interpretó (1: 80 000) y a la calidad de la imagen. En el caso del bosque semiabierto la confusión se debió a que, al momento de hacer la interpretación, no se asignó a la categoría correcta.

Por otro lado, las categorías que presentaron un menor grado de confusión fueron: a) el bosque abierto (1 polígono), que fue confundido como bosque semiabierto; b) el pastizal (1 polígono) que fue etiquetado erróneamente como plantaciones; c) la nieve y hielos (1 polígono) que fue clasificado erróneamente como suelo desnudo y el d) suelo desnudo (1 polígono) que fue etiquetado como nieve y hielos. De acuerdo con lo anterior, el grado de fiabilidad global de la interpretación fue del 91% (ver Cuadro 10).

Cuadro 10. Matriz de confusión para el mapa 2018.

Categorías	Bosque cerrado	Bosque semiabierto	Bosque abierto	Plantaciones	Pastizal	Asentamientos humanos	Cuerpo de agua	Nieve y hielos	Suelo desnudo	Total	Error de comisión	Exactitud
Bosque cerrado	36	1		2						39	7.7	92.3
Bosque semiabierto	3	41	1							45	8.9	91.1
Bosque abierto		1	38							39	2.6	97.4
Plantaciones	1			4	2					7	42.9	57.1
Pastizal				1	6					7	14.3	85.7
Asentamientos humanos						2				2	0.0	100.0
Cuerpo de agua							5			5	0.0	100.0
Nieve y hielos								6	1	7	14.3	85.7
Suelo desnudo									1	21	4.5	95.5
Total	40	43	39	7	8	2	5	7	22	173		
Error de omisión	10.0	4.7	2.6	42.9	25.0	0.0	0.0	14.3	4.5			
Exactitud	90.0	95.3	97.4	57.1	75.0	100.0	100.0	85.7	95.5			
Fiabilidad global = (36+41+38+4+6+2+5+6+21)/173 = 0.91												

Nota: error de comisión = categorías atribuidas erróneamente a otra clase; error de omisión = categorías omitidas de su clase verdadera.

Fuente: Elaboración propia, 2022

## 7.2. Características de las categorías interpretadas

La zona de estudio comprende 329 380 ha, en las cuales se interpretaron siete categorías generales para los dos años seleccionados 1985 y 2018, estas fueron: bosque (bosque cerrado, bosque semiabierto y bosque abierto), plantaciones, pastizal, asentamientos humanos, cuerpos de agua, nieve y hielos, además de suelo desnudo.

De acuerdo con las características de las categorías interpretadas, se obtuvo un total de 1 485 polígonos para el año de 1985, donde la subcategoría de bosque semiabierto fue el que presentó el mayor número con 292 y la categoría de asentamientos humanos presentó el mínimo con 13 (ver Cuadro 11). Asimismo, para el año 2018, se presentaron 1 729 polígonos, donde el bosque semiabierto fue el que obtuvo el mayor número con 430 y el de menor número los asentamientos humanos con 20 (ver Cuadro 11).

Aunque los dos años de estudio presentaron el mayor número de polígonos en el bosque semiabierto y el menor número en los asentamientos humanos, el

segundo año presentó el mayor número de polígonos en el área de estudio (ver Figura 22 y 23). En general el 2018 presentó una mayor fragmentación con 244 polígonos a diferencia del año de 1985. Las categorías más fragmentadas en el 2018 fueron: el bosque (con una diferencia de 505 polígonos más que el primer año), los asentamientos humanos (7) y los cuerpos de agua (5), mientras que, las plantaciones, el pastizal, la nieve y hielos y el suelo desnudo presentaron la menor fragmentación (ver Cuadro 11).

Cuadro 11. Características de las categorías interpretadas para los dos años de estudio.

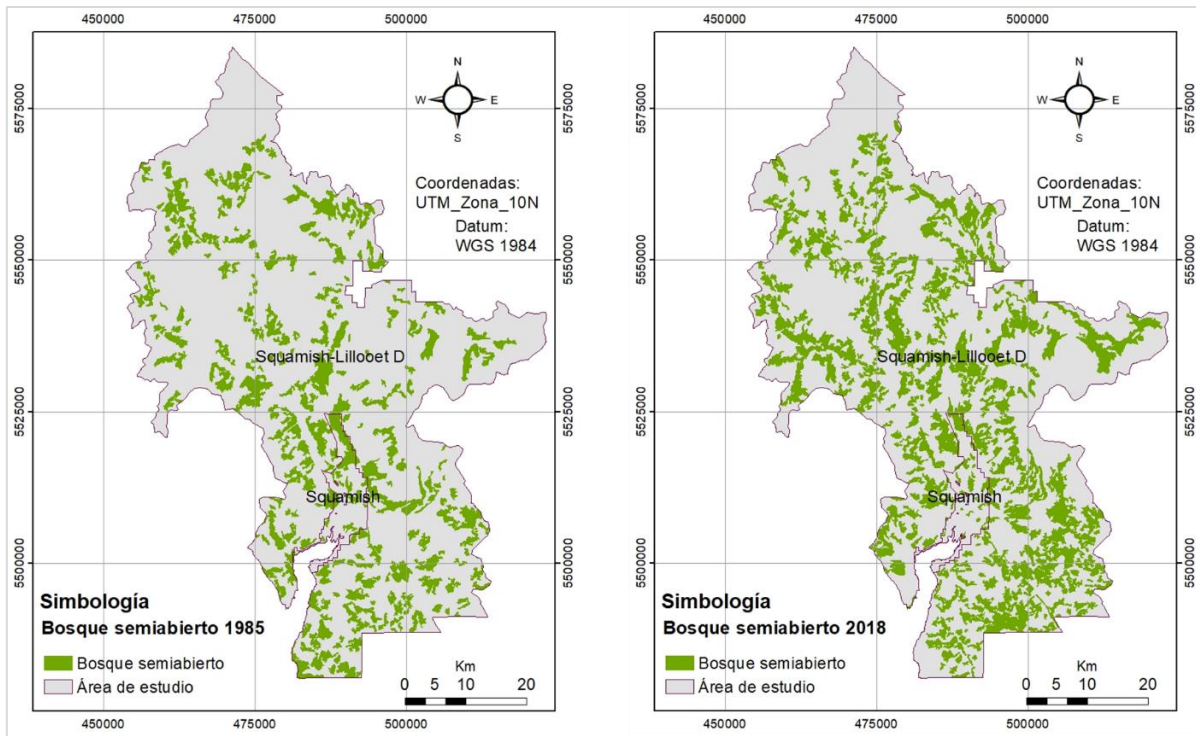
Categorías	Polígonos		Mín (ha)	Máx (ha)	Mín (ha)	Máx (ha)	Promedio (ha)	
	1985	2018	1985		2018		1985	2018
Bosque cerrado	157	398	16	8 563	13	3 842	491	209
Bosque semiabierto	292	430	14	1 917	11	2 496	181	181
Bosque abierto	262	388	14	2 486	13	5 928	218	184
Plantaciones	220	72	14	2 747	10	122	139	38
Pastizal	139	85	13	521	14	176	80	40
Asentamientos humanos	13	20	11	228	8	571	75	84
Cuerpos de agua	41	46	8	1 412	8	1 030	116	107
Nieve y hielos	83	70	14	16 797	14	16 361	917	936
Suelo desnudo	278	220	8	1 009	14	2 603	68	84
Total	1 485	1 729	111	35 680	105	33 129	2 284	1 864

Nota: Polígonos: número de polígonos interpretados por categoría; Mínimo (Mín.): superficie mínima en hectáreas (ha) de cada categoría; Máximo (Máx.): superficie máxima en hectáreas de cada categoría; Promedio: valor medio de la superficie en hectáreas (ha) por categoría (obtenido al dividir la suma de diversas cantidades de una categoría por el número de sumandos de la misma categoría).

Fuente: Elaboración propia, 2021.

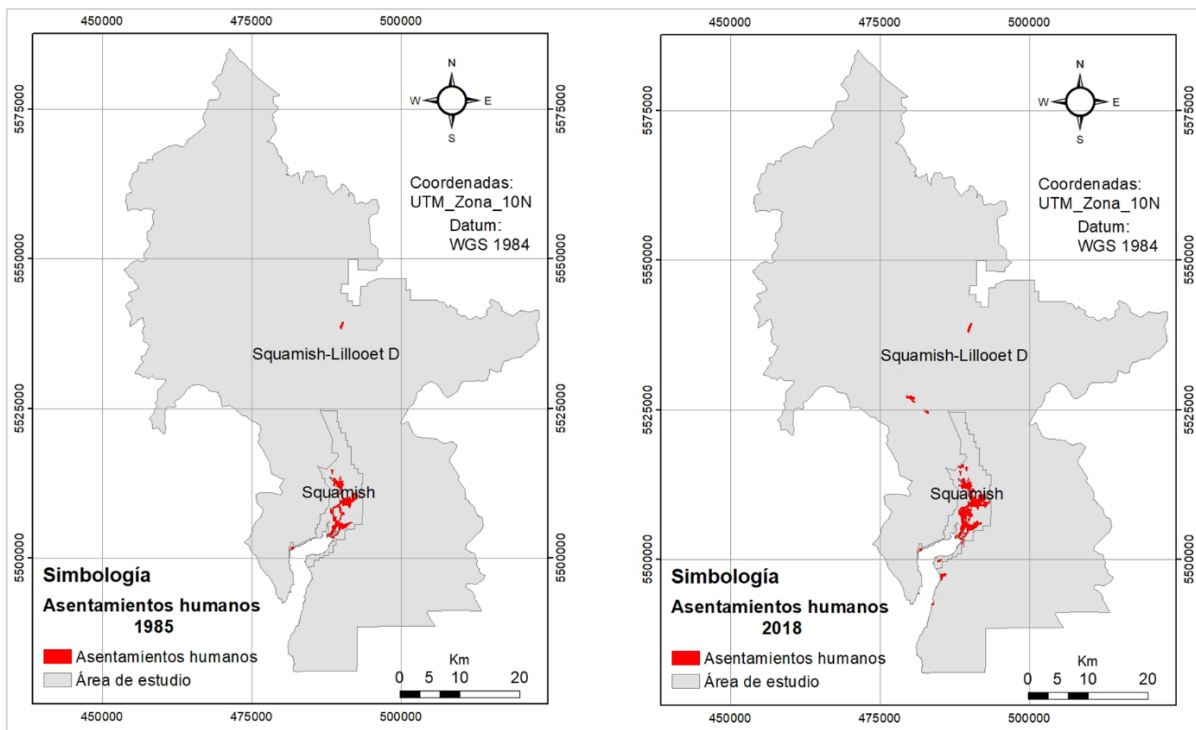
Por otro lado, la categoría que presentó el mínimo en hectáreas para los dos años fueron los cuerpos de agua, además de los asentamientos humanos para el 2018. Asimismo, la categoría que mostró el máximo y el mayor promedio en hectáreas fue la nieve y hielos, esta tanto para el año 1985 como para el 2018 (ver Cuadro 11); en general el segundo año mostró áreas reducidas, esto debido a la fragmentación en la zona de estudio por el cambio de cobertura y uso del terreno.

Figura 22. Mapas de bosque semiabierto del año 1985 y 2018.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura 23. Mapas de asentamientos humanos (AH) del año 1985 y 2018.

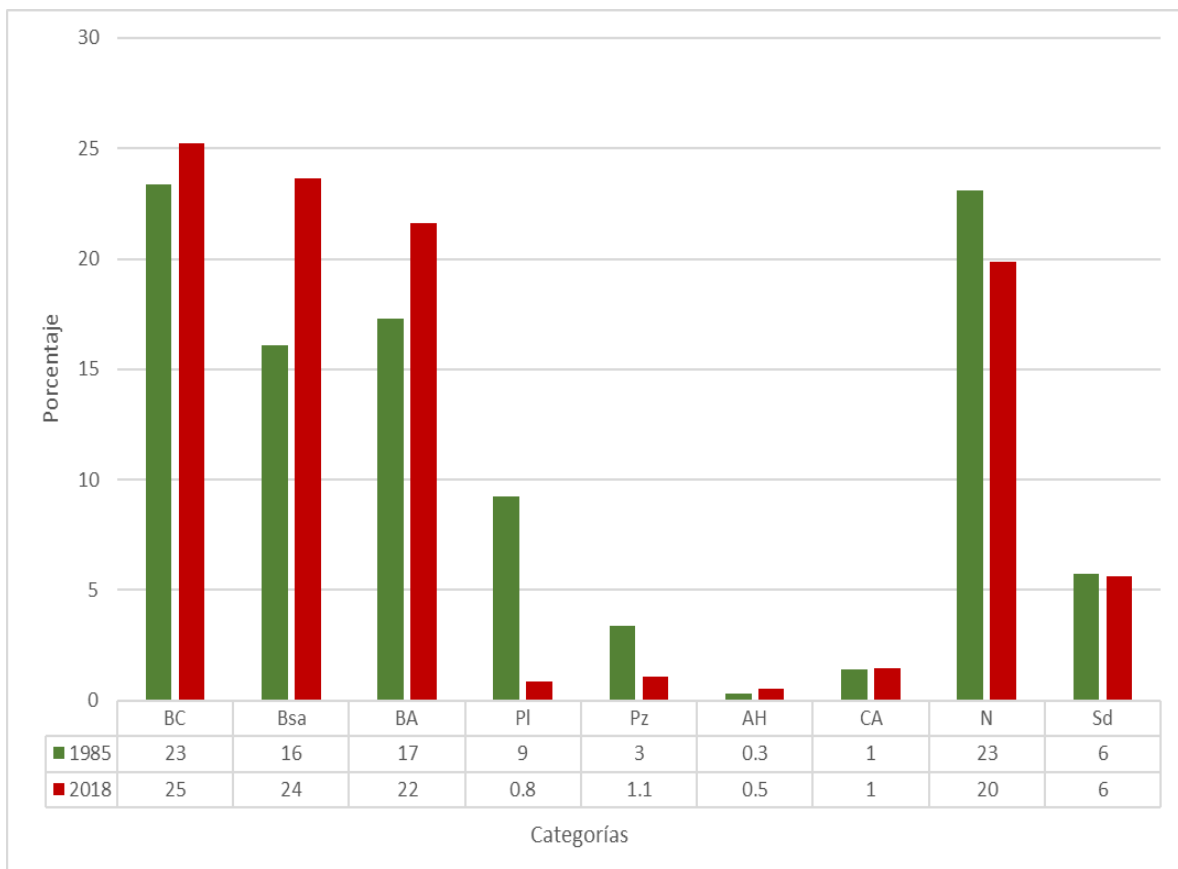


Fuente: Elaboración propia, 2021

### 7.3. Cobertura y uso del terreno de 1985 a 2018

La categoría que predominó en la zona de estudio para el año 1985, fue la de bosque con el 56%, donde imperó la subcategoría de bosque cerrado (23%), después el bosque abierto (17%) y por último el bosque semiabierto (16%) (ver Figura 24 y 25). Del mismo modo, en el año 2018 la categoría que presentó mayor porcentaje de cubierta es el bosque, con el 71% del área total, de acuerdo con esto, la subcategoría que predomina es el bosque cerrado (25%), continuando el bosque semiabierto (24%) y al final el bosque abierto (22%) (ver Figura 24 y 26).

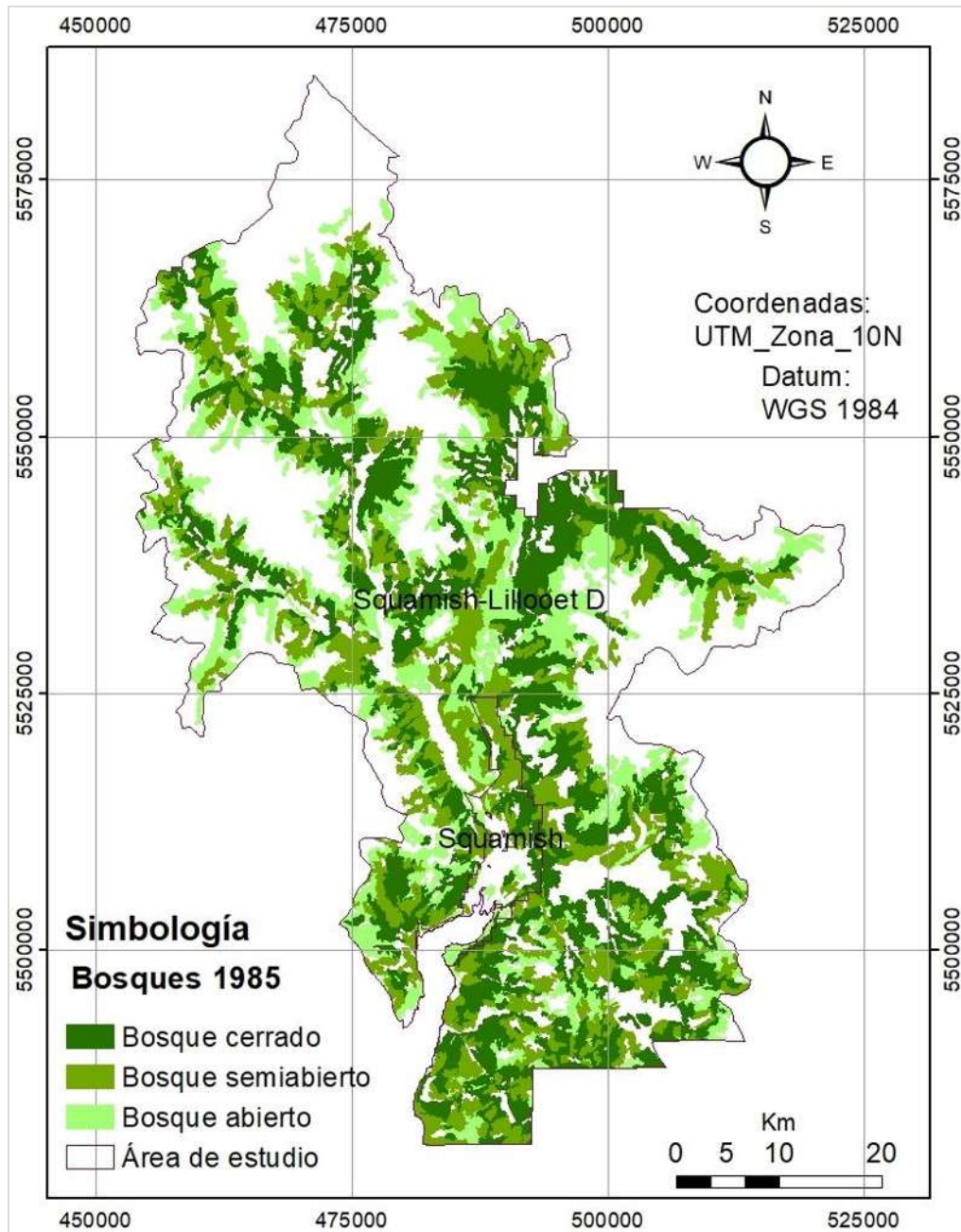
Figura 24. Porcentaje para cada una de las categorías y subcategorías del año 1985 y 2018. BC (Bosque cerrado), BSa (Bosque semiabierto), BA (Bosque abierto), PI (Plantaciones), Pz (Pastizal), AH (Asentamientos humanos), CA (Cuerpos de agua), N (Nieve y hielos), Sd (Suelo desnudo).



Fuente: Elaboración propia, 2021

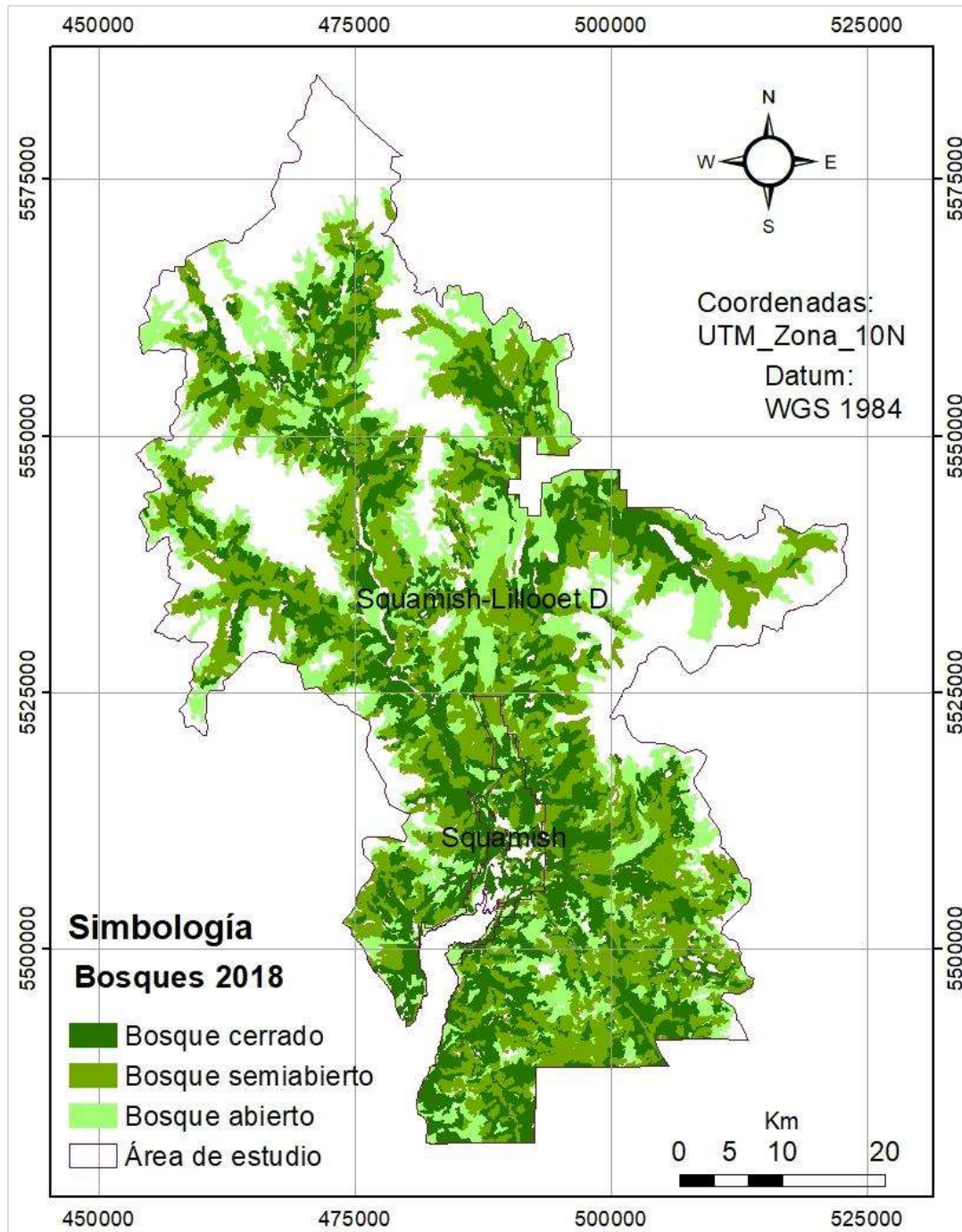
La categoría de bosque aumentó el 15% en el periodo de estudio, siendo el bosque semiabierto el que presentó el mayor incremento (8%). En la figura 26, se pueden observar los incrementos de las diferentes subcategorías en la zona de trabajo.

Figura 25. Mapas de Bosques: bosque cerrado, bosque semiabierto y bosque abierto del año 1985.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura 26. Mapas de Bosques: bosque cerrado, bosque semiabierto y bosque abierto del año 2018.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Por medio de la matriz de Markov se obtuvo un cambio general de la cobertura y uso del terreno (ver Cuadro 12). Los bosques presentaron una mayor permanencia y ganancia en el área de estudio, lo cual se debe a la conservación

y gestión forestal sostenible (NRCan, 2019; Naturally wood, 2019). Las hectáreas obtenidas provienen principalmente de las plantaciones, las cuales mostraron una pérdida de 27 734 ha. Esto indica que los árboles plantados en el año de 1985 se desarrollaron y en el 2018 durante la interpretación se observaron como una cobertura arbórea definida como bosque.

Cuadro 12. Cambios de cobertura y uso del terreno del año 1985 y 2018.

Categorías	T1 (1985)	T2 (2018)	Permanencia (ha)	Pérdida (ha)	Ganancia (ha)	Cambio neto (ha)
	Superficie (ha)					
Bosque	186 986	232 365	112 184	74 802	120 181	45 379
Plantaciones	30 503	2 768	469	30 033	2 299	-27 734
Pastizal	11 179	3 589	522	10 657	3 067	-7 591
Asentamientos humanos	979	1 682	979	0	703	703
Cuerpos de agua	4 736	4 903	4 133	603	770	167
Nieve y hielos	76 107	65 503	61 188	14 920	4 315	-10 605
Suelo desnudo	18 889	18 570	5 646	13 243	12 924	-320

Los datos del cuadro se obtuvieron de la matriz de Markov. La permanencia: Son las hectáreas que no cambiaron de cada categoría, se obtuvieron de la diagonal de la matriz. Pérdida: Superficie de 1985 menos la permanencia. Ganancia: Superficie de 2018 menos la permanencia. Cambio neto: Tendencia de ganar o perder superficie al final del periodo (diferencia de la superficie entre ganancia y pérdida); signos negativos pérdida, signos positivo ganancia.

Fuente: Elaboración propia, 2020

Cabe señalar que, con el manejo forestal sostenible se pretende mantener un equilibrio entre los bienes y servicios del bosque; mantener la salud y diversidad de los bosques, y ayudar a dar forma a las tierras forestales del futuro (Ministry of Forest, 2003; Annual report, 2019).

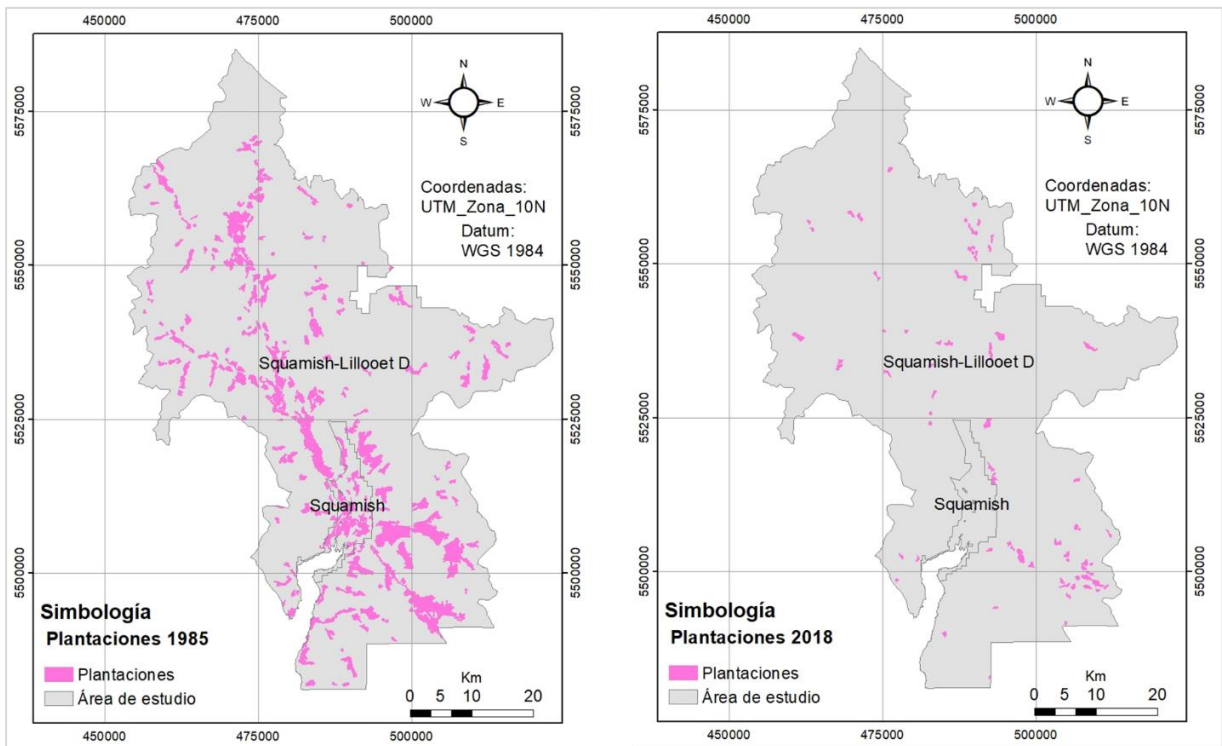
Las especies arbóreas con las que principalmente se reforesta en el área de estudio son: el abeto Douglas (*Pseudotsuga menziesii*), el cedro rojo occidental (*Thuja plicata*), la cicuta occidental (*Tsuga heterophylla*), el abeto amabilis (*Abies*



*amabilis*), arce de hoja grande (*Acer macrophyllum*) y el aliso rojo (*Alnus rubra*), los cuales son árboles nativos con importancia comercial. Asimismo, las especies de árboles se siembran de acuerdo con el tipo de vegetación que se encuentre alrededor del área cosechada, al tipo de suelo, la topografía y el clima (Page *et al.*, 2014; Naturally wood, 2019).

En el área de estudio la superficie con plantaciones en 1985 fue superior al 2018 (ver Cuadro 12), ya que cubrieron un 9% del área de trabajo, en comparación con 2018 que solo presentó el 1% (ver Figura 27). Las plantaciones del primer año se deben a que en las décadas de 1860 y 1980, la mayor parte del sureste de la CB fue talada (Robson *et al.*, 1995). Por tanto, los bosques del segundo año de la zona de estudio pueden ser en su mayoría secundarios o de tercer crecimiento a partir de regeneración natural, reforestación y/o plantaciones forestales (Ministry of Forest, 2003).

Figura 27. Mapas de plantaciones del año 1985 y 2018.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Cabe señalar que, en los bosques costeros, se talan anualmente 27,000 ha, esto incluyendo una cantidad cada vez mayor de bosque de segundo crecimiento, que está siendo reemplazado por bosques prósperos de tercer crecimiento. Los cortes anuales permitidos son dirigidos por el jefe provincial, quien decide y es responsable del buen manejo forestal sostenible y de tomar las decisiones que beneficien la estabilidad de la comunidad, el medio ambiente y la economía local y provincial, en el presente y el futuro (Robson *et al.*, 1995; Naturally wood, 2019).

En el interior de la Columbia Británica, en Cranbrook, se cortaron árboles en 1970, donde después de 24 años (1994) se recuperaron los árboles de pinos y abetos nativos. Lo mismo ocurrió en el lago Cowichan, en la Isla de Vancouver, donde se plantaron árboles en 1965, que después de 29 años, generaron un nuevo bosque (Robson *et al.*, 1995). Esto indica que los bosques que se observan en el 2018 son árboles plantados o reforestados entre 1982 y 1987 (Brown, 1997); son árboles con más 33 años de vida.

Desde la década de 1930, se han plantado más de 7 500 millones de plántulas en la CB con fines de reforestación, después de una tala, ocurrencia de incendios forestales o infestaciones por insectos. En promedio, 200 millones de plántulas de árboles, se plantan cada año en tierras forestales públicas en la provincia y alrededor de 200 000 ha de madera se cosechan cada año y solamente una fracción de 0.9% del bosque está disponible para la tala (22 Mha) a lo largo del tiempo (Ministry of Forest, 2003; Naturally Wood, 2019). Asimismo, el corte anual permitido de la unidad de área de suministro de madera “TSA Too”, a la que pertenece el área de estudio es de 480 000 m<sup>3</sup> (Snetsinger, 2011).

Por otra parte, se puede observar que, los asentamientos humanos aumentaron a 1 682 ha para el 2018, presentando una permanencia de 979 ha y en el caso de los cuerpos de agua obtuvieron una ganancia de 167 ha y una permanencia de 4 133 ha. Al contrario, las categorías que presentaron una pérdida fueron, los pastizales (7 591 ha), suelo desnudo (320 ha) y nieve y hielos (10 605 ha).

La pérdida de la nieve y hielos puede deberse a la descongelación por el aumento de la temperatura, el cambio en la precipitación y la cubierta forestal, ya que año con año estos factores se han modificado por el cambio climático y las gestiones forestales (Ministry of Forest, 2003; British Columbia, 2020).

#### 7.4. Principales cambios de cobertura y uso del terreno de la Matriz de probabilidad

Los principales cambios que se presentan en los bosques son, de bosque cerrado a bosque semiabierto (20%) y bosque abierto (8%) (ver Cuadro 13), los cuales se deben a las perturbaciones naturales como son los incendios forestales, las plagas de insectos, vientos huracanados y las perturbaciones antrópicas (fuegos provocados y el manejo forestal operan en más de una escala temporal o espacial, generando un complejo mosaico de paisajes forestales que a su vez influyen en la regeneración de los bosques) (Mcguire *et al.*, 2012; Seely *et al.*, en prensa).

Cuadro 13. Matriz de probabilidad de Markov de los años 1985 y 2018.

1985 \ 2018	BC	Bsa	BA	PI	Pz	AH	CA	N	Sd
BC	0.65	0.20	0.08	0.024	0.02	0.001	0.0004	0.000	0.026
Bsa	0.26	0.53	0.17	0.003	0.005	0.002	0.001	0.001	0.029
BA	0.055	0.321	0.592	0.002	0.003	0.002	0.001	0.005	0.019
PI	0.454	0.313	0.14	0.015	0.041	0.012	0.012	0.000	0.013
Pz	0.126	0.387	0.408	0.008	0.047	0.001	0.005	0.006	0.012
AH	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
CA	0.034	0.048	0.018	0.000	0.000	0.000	0.873	0.012	0.016
N	0.000	0.006	0.089	0.000	0.000	0.000	0.001	0.804	0.101
Sd	0.035	0.092	0.354	0.004	0.002	0.002	0.007	0.204	0.30

Nota: Bosque cerrado (BC), Bosque semiabierto (Bsa), Bosque abierto (BA), Arbustos cerrado (ArC), Arbustos semiabierto (ArSa), Plantaciones (PI), Pastizal (Pz), Asentamientos humanos (AH), Cuerpo de agua (CA), Nieve y hielos (N), Suelo desnudo (Sd). Los cuadros en color amarillo y verde indican los cambios más importantes.

Fuente: Elaboración propia, 2022

Los incendios en la CB están relacionados principalmente por: a) las largas secuencias de días con lluvia limitada, b) la humedad relativa por debajo del 60%, c) por las altas temperaturas (Coogan *et al.*, 2019) y d) por el tipo de bosque. Asimismo, las igniciones pueden ser provocadas por las infestaciones de insectos, ya que los árboles afectados por la perturbación de los parásitos son vulnerables a las quemaduras, esto porque la mortalidad de los árboles aumenta la inflamabilidad de las masas forestales (Mcguire *et al.*, 2012).

En la CB las infestaciones por insectos comenzaron a principios de los 90', principalmente por el "escarabajo de pino de montaña" (EPM), el cual ataca a pinos comerciales (Page *et al.*, 2014). El EPM ocasionó, que en el 2017 se perdiera el 58% de volumen de pino vendible. Otro insecto de cuidado es el "escarabajo de corteza de bálsamo occidental", el insecto más destructivo del abeto subalpino en la CB, causando una mortalidad dispersa en extensas áreas (British Columbia, 2020; Natural Resources Canada, 2020). La pérdida de árboles por escarabajos en el 2018 fue 6 228 569 ha, incluyendo árboles defoliados de moderado a severo y árboles muertos (National Forestry Database, 2020).

El gobierno de la Columbia Británica ha desarrollado soluciones de detección y control de plagas, las cuales ayudan a la localización del escarabajo en las nuevas áreas. Esto para eliminar, quemar o cosechar árboles infectados, antes de que el valor económico de madera se pierda o disminuya (Ministry of Forest, 2003; Government of Canada, 2020).

Por otra parte, el bosque semiabierto cambia principalmente a bosque cerrado (26%), mientras que, el bosque abierto cambia a bosque semiabierto (32%) (ver Cuadro 13). Esto contrario a lo que se mencionó en el párrafo anterior, se debe a que no del todo son perjudiciales los incendios forestales, ya que estos pueden dar resultados efectivos cuando no son frecuentes ni severos. Los incendios forestales son un proceso ecológico importante que ayudan a mantener y dar forma a los ecosistemas (Coogan *et al.*, 2019). La tala forestal moderada, es

otro factor que ayuda al desarrollo de los árboles pequeños o rezagados, debido a la disponibilidad de luz solar y de nutrientes (Robson *et al.*, 1995).

En el caso de las plantaciones, cambia principalmente a bosque cerrado (ver Cuadro 13), lo que indica que los árboles plantados y regenerados se convirtieron en plantaciones maduras; sin embargo, solo un intérprete experto distinguiría entre un bosque o plantaciones maduras (Robson *et al.*, 1995; British Columbia, 2020). Lo anterior es usual en la CB, donde se lleva a cabo la cosecha y la plantación de árboles, esto realizado bajo un plan de manejo forestal sostenible (opera el aprovechamiento de madera y actividades relacionadas), el cual está regulado por la Ley de Prácticas Forestales y de Distribución (LPGD) (RFGA, 2009).

La LPGD normaliza cómo deben llevarse a cabo todas las prácticas forestales y las actividades basadas en los recursos de las tierras de la provincia (planificación, construcción de caminos, tala y reforestación) al tiempo de garantizar la protección del ecosistema (RFGA, 2009; RFGA, 2010).

El éxito de las plantaciones de 1985 se debió al inicio del Acuerdo de Desarrollo de Recursos Forestales de Columbia Británica, donde el ministerio del bosque se comprometió a disminuir la regeneración no satisfactoria de las tierras forestales, esto para que las plantaciones de árboles fueran exitosas en un 90% y de ser lo contrario, por legislación, debían remediarse (Pearse, 1992; Brown, 1997).

En la categoría de pastizal, se transforma a bosque semiabierto y bosque abierto (ver Cuadro 13), esto puede deberse al manejo forestal que se lleva a cabo en la provincia, donde una vez talado el bosque, queda desnudo el suelo, pasando a pastizal o plantíos de árboles y después a la formación de bosques o plantaciones maduras. Sin embargo, debido a los factores naturales que se presentan (enfermedades por plagas o incendios forestales frecuentes), se pierden árboles (Coogan *et al.*, 2019; Leberger *et al.*, 2020).

Por otro lado, el bosque cerrado, en el año 2018 incrementó su superficie, principalmente, a partir de las plantaciones (45.4%), mientras que el bosque semiabierto y abierto, crecieron a partir de la categoría de pastizal, con un porcentaje de 38.7% y 40.8% (ver Cuadro 13); asimismo, la tasa de cambio media anual (TCMA) de la categoría general de bosque es de 1 375 ha (2.1%), teniendo en mayor ganancia el bosque semiabierto, con una tasa media anual (TMA) de 756 ha (1.2%) y el de menor TMA el bosque cerrado con 187 ha (0.2%) (ver Cuadro 14). Asimismo, en el cuadro 14, se muestran los aumentos o decrementos de las TCMA, para cada una de las coberturas del área de estudio, donde se observa que después de los bosques (2.1), los asentamientos humanos son los que más aumentan con una TMA de 1.7%.

Cuadro 14. Tabla de tasas de cambio media anual para cada una de las coberturas del área de estudio.

Categorías	Tasas de cambio media anual	
	(ha)	(%)
Bosque cerrado	187	0.2
Bosque semiabierto	756	1.2
Bosque abierto	432	0.7
Plantaciones	-840	-7.0
Pastizal	-230	-3.4
Asentamientos humanos	21	1.7
Cuerpos de agua	5	0.1
Nieve y hielos	-321	-0.5
Suelo desnudo	-10	-0.1

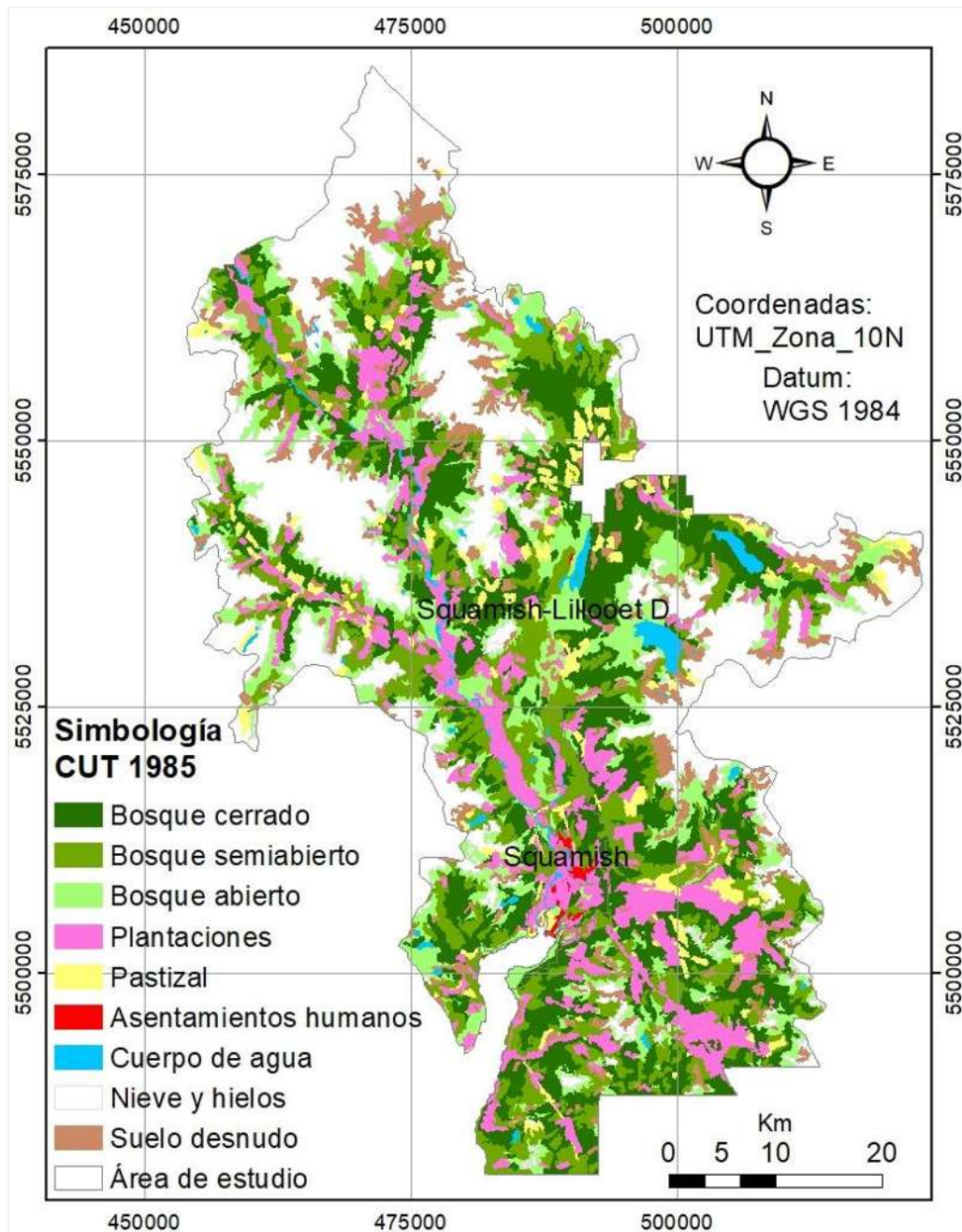
Fuente: Elaboración propia, 2021

En los mapas de cobertura y uso del terreno de 1985 y 2018, se puede observar que la mayor superficie está ocupada por las categorías de bosques y nieve y hielos (ver Figura 28 y 29). Asimismo, se observa que en el primer año la categoría de plantaciones es mayor a las plantaciones del segundo año.

En los mapas de cobertura y uso del terreno, se observa un cambio en el río principal de Squamish, ya que en el primer año 1985 (ver Figura 28), el río no se observa claramente, a diferencias del año 2018 (ver Figura 29), donde se ve un

canal continuo y ancho. La ampliación del canal del río en este año se debe a las tormentas intensas y prolongadas, las cuales pueden producir inundaciones extremas (descarga diaria igual o superior a 1 500 m<sup>3</sup>/s) (Bauch, 2009; Squamish, 2018).

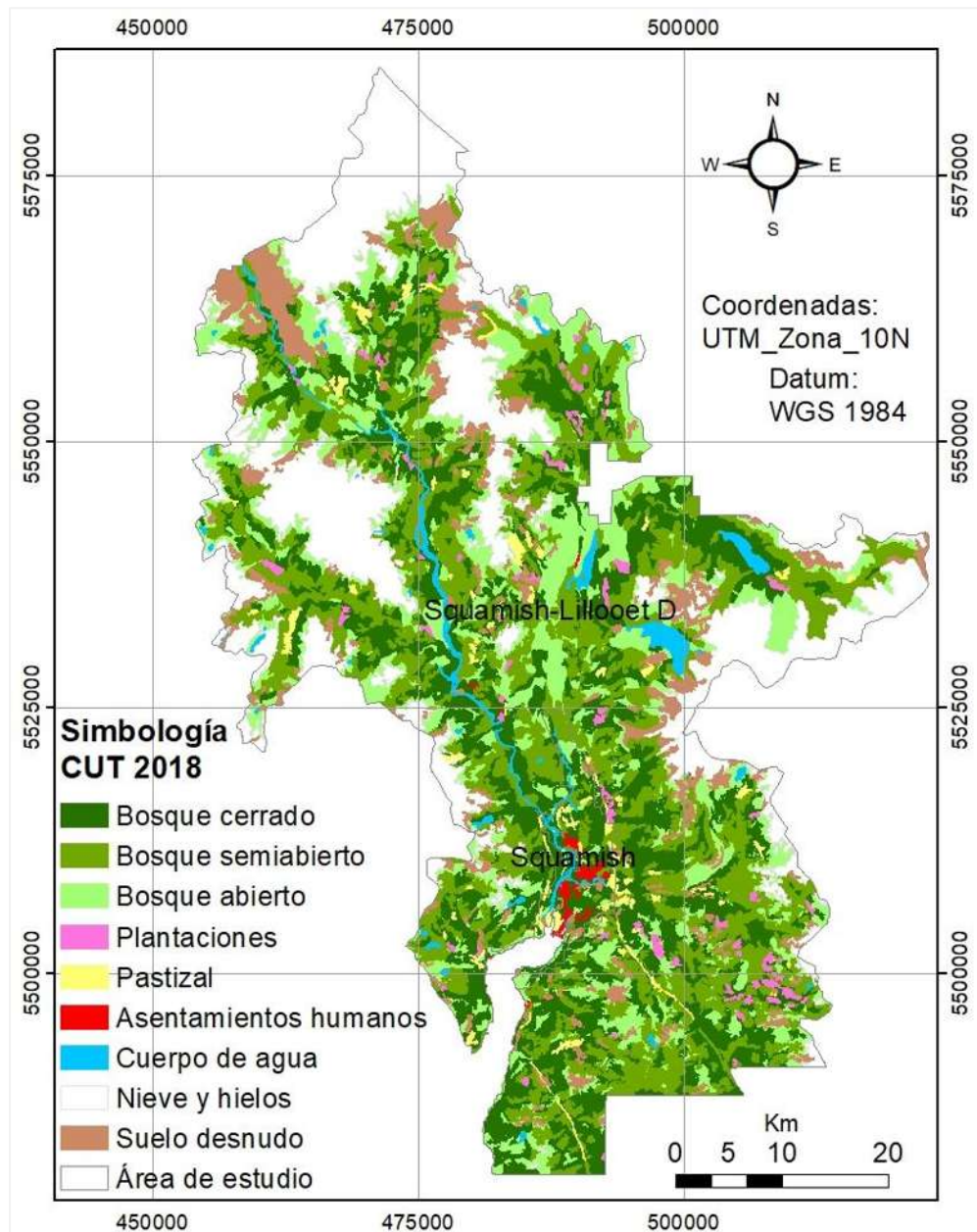
Figura 28. Mapa de cobertura y uso del terreno (CUT) del año 1985.



Fuente: Elaboración propia, 2020

Las inundaciones extremas son geomorfológicamente importantes, porque son capaces de cambiar sustancialmente la morfología fluvial asociada al río Squamish. Cabe señalar que, el cambio del canal en el área de estudio es provocado por la erosión y sedimentación de la llanura, las cuales se atribuyen al curso de las inundaciones excesivas; estos cambios se han acelerado en los últimos 50 años (Bauch and Hickin, 2011).

Figura 29. Mapa de cobertura y uso del terreno (CUT) del año 2018.



Fuente: Elaboración propia, 2020



Squamish está expuesto a peligros de inundación, por esto se implementó el plan de manejo integrado de “riesgos de inundaciones” el cual es un proyecto de implementación de diques, para reducir significativamente el riesgo de inundación y proteger las áreas residenciales, comerciales y ambientales (Squamish, 2018).

### **7.5. Variables biofísicas**

En la cobertura de 1985 predomina las rocas intrusivas cuarzo diorita en todas las categorías, esto de acuerdo con que este tipo de rocas ocupan la mayor cantidad en el área de estudio (ver Cuadro 15). Asimismo, los bosques, las plantaciones y los pastizales se encuentra principalmente entre altitudes de 1000 a 1500 msnm y pendientes entre 15° a 30°; el bosque cerrado cubre la mayor cantidad de área de rocas cuarzo diorita con 45 645 ha, esto en comparación con las otras categorías ya mencionadas, debido a que se encuentra en mayor cantidad con 77 011 ha (ver Cuadro 15).

Los cuerpos de agua y los asentamientos humanos se encuentran, principalmente, en pendientes de 0° a 2°, pero en altitudes diferentes, el primero se encuentra entre 1000 a 1500 msnm y el segundo entre altitudes de 0 a 200 msnm. Asimismo, la nieve y hielos y el suelo desnudo se encuentran entre altitudes de 1500 a 2000 msnm y en pendientes principalmente de 15° a 30° (ver Cuadro 15).

Para el caso de las clases de cobertura del año 2018, se observa que todas las categorías se encuentran primordialmente en rocas intrusivas cuarzo diorita. Asimismo, el bosque semiabierto, bosque abierto y las plantaciones se encuentra en mayor cantidad entre altitudes de 1000 a 1500 msnm y pendientes entre 15° a 30° (ver Cuadro 16).

El bosque cerrado del año 2018 cubre la mayor cantidad de área en rocas intrusivas cuarzo diorita con 50 350 ha (ver Cuadro 16), 4 705 ha más que el bosque cerrado de 1985, esto debido a que hubo un aumento en esta categoría de 1985 al 2018. El bosque cerrado y los pastizales se encuentran principalmente entre altitudes de 500 a 1000 msnm y en pendientes de 15° a 30°. En el caso de los asentamientos (0 a 200 msnm) y cuerpos de agua (1000 a 1500 msnm) se encuentran principalmente en pendientes de 0° a 2° (ver Cuadro 16). La nieve y hielos y el suelo desnudo se localizan principalmente en altitudes de 1500 a 2000 msnm y en pendientes de 15° a 30° (ver Cuadro 16).

Cuadro 15. Cobertura del área de estudio y variables biofísicas para el año 1985.

Cobertura 1985	Rocas	Hipsometría (msnm)	Pendientes (°)	Superficie (ha)	Numero de polígonos
Bosque Cerrado	Basalto (6 099 ha)	0-200 (2 563 ha)	0°-2° (10 978 ha)	77 011 ha (23%)	157
	Diorita (2 519 ha)	200-300 (2 237 ha)	2°-7° (2 663 ha)		
	Granito (102 ha)	300-500 (5 535 ha)	7°-15° (10 857 ha)		
	Granodiorita (8 389 ha)	500-1000 (31 703 ha)	15°-30° (34 957 ha)		
	Ortogneis (1 334 ha)	1000-1500 (32 802 ha)	30°-40° (13 155 ha)		
	Cuarzo diorita (45 645 ha)	1500-2000 (2 170 ha)	40°-50° (3 867 ha)		
	Cuarzo monzonita (140 ha)		50°-60° (847 ha)		
	Gabro o diorita (60 ha)		Más de 60° (46 ha)		
	Sedimentarias y volcánicas marinas (12 723 ha)				
Bosque Semiabierto	Basalto (3 904 ha)	0-200 (3 146 ha)	0°-2° (8 339 ha)	52 951 ha (16%)	292
	Diorita (1 622 ha)	200-300 (2 123 ha)	2°-7° (2 168 ha)		
	Granito (755 ha)	300-500 (5 467 ha)	7°-15° (6 147 ha)		
	Granodiorita (7 337 ha)	500-1000 (15 117 ha)	15°-30° (21 250 ha)		
	Metamórficas no diferenciadas (2 ha)	1000-1500 (22 303 ha)	30°-40° (11 194 ha)		
	Ortogneis (1 120 ha)	1500-2000 (4 786 ha)	40°-50° (3 346 ha)		
	Cuarzo diorita (30 912 ha)	y más de 2000 (8 ha)	50°-60° (462 ha)		
	Cuarzo monzonita (159 ha)		Más de 60° (46 ha)		
	Gabro o diorita (18 ha)				
Sedimentarias y volcánicas marinas (7 122 ha)					
Bosque Abierto	Andesita (18 ha)	0-200 (2 603 ha)	0°-2° (10 586 ha)	57 024 ha (17%)	262
	Basalto (4 847 ha)	200-300 (837 ha)	2°-7° (2 213 ha)		
	Diorita (1 872 ha)	300-500 (2 948 ha)	7°-15° (7 865 ha)		
	Granito (314 ha)	500-1000 (8 145 ha)	15°-30° (22 181 ha)		
	Granodiorita (9 435 ha)	1000-1500 (27 580 ha)	30°-40° (10 169 ha)		
	Metamórficas no diferenciadas (92 ha)	1500-2000 (14 872 ha)	40°-50° (3 503 ha)		
	Ortogneis (2 265 ha)	y más de 2000 (39 ha)	50°-60° (481 ha)		
	Cuarzo diorita (30 160 ha)		Más de 60° (24 ha)		
	Cuarzo monzonita (610 ha)				
Gabro o diorita (14 ha)					
Sedimentarias y volcánicas marinas (7 397 ha)					
Plantaciones	Basalto (1 667 ha)	0-200 (6 466 ha)	0°-2° (9 477 ha)	30 503 ha (9%)	220
	Diorita (380 ha)	200-300 (1 133 ha)	2°-7° (1 342 ha)		
	Granito (78 ha)	300-500 (3 946 ha)	7°-15° (3 470 ha)		
	Granodiorita (3 729 ha)	500-1000 (12 220 ha)	15°-30° (10 870 ha)		
	Metamórficas no diferenciadas (16 ha)	1000-1500 (5 951 ha)	30°-40° (4 066 ha)		
	Ortogneis (693 ha)	1500-2000 (783 ha)	40°-50° (1 104 ha)		
	Cuarzo diorita (19 351 ha)	y más de 2000 (5 ha).	50°-60° (165 ha)		
	Cuarzo monzonita (12 ha)		Más de 60° (9 ha)		
	Gabro o diorita (16 ha)				
Sedimentarias y volcánicas marinas (4 561 ha)					
Pastizal	Basalto (1 175 ha)	0-200 (496 ha)	0°-2° (2 575 ha)	11 179 ha (3%)	139
	Diorita (514 ha)	200-300 (73 ha)	2°-7° (449 ha)		
	Granito (48 ha)	300-500 (509 ha)	7°-15° (1 723 ha)		
	Granodiorita (866 ha)	500-1000 (4 791 ha)	15°-30° (4 527 ha)		
	Metamórficas no diferenciadas (15 ha)	1000-1500 (3 554 ha)	30°-40° (1 203 ha)		
	Ortogneis (274 ha)	1500-2000 (1 708 ha)	40°-50° (357 ha)		
	Cuarzo diorita (6 381 ha)	y más de 2000 (49 ha)	50°-60° (43 ha)		
	Gabro o diorita (1 ha)		Más de 60° (2 ha)		
	Sedimentarias y volcánicas marinas (1 905 ha)				

Continuación de tabla anterior.

Cobertura 1985	Rocas	Hipsometría	Pendientes	Superficie	Numero de polígonos
Asentamientos humanos	Basalto (35 ha)	0-200 (944 ha)	0°-2° (762 ha)	979 ha (0.3%)	13
	Granodiorita (455 ha)	200-300 (26 ha)	2°-7° (160 ha)		
	Cuarzo diorita (489 ha)	300-500 (9 ha)	7°-15° (55 ha)		
			15°-30° (1 ha)		
Cuerpo de agua	Basalto (406 ha)	0-200 (1 559 ha)	0°-2° (3 984 ha)	4 736 ha (1%)	41
	Diorita (22 ha)	200-300 (16 ha)	2°-7° (271 ha)		
	Granodiorita (453 ha)	300-500 (436 ha)	7°-15° (339 ha)		
	Ortogneis (18 ha)	500-1000 (755 ha)	15°-30° (136 ha)		
	Cuarzo diorita (2 758 ha)	1000-1500 (1 722 ha)	30°-40° (4 ha)		
	Cuarzo monzonita (70 ha)	y 1500-2000 (248 ha)	40°-50° (1 ha)		
	Sedimentarias y volcánicas marinas (1009 ha)		Más de 60° (1 ha)		
Nieve y hielos	Andesita (651 ha)	300-500 (2 ha)	0°-2° (16 852 ha)	76 107 ha (23%)	83
	Basalto (7 691 ha)	500-1000 (71 ha)	2°-7° (4 339 ha)		
	Diorita (1 939 ha)	1000-1500 (6 438 ha)	7°-15° (12 590 ha)		
	Granito (670 ha)	1500-2000 (50 187 ha)	15°-30° (31 568 ha)		
	Granodiorita (14 807 ha)	y más de 2000 (19 410 ha)	30°-40° (8 678 ha)		
	Ortogneis (5 866 ha)		40°-50° (1 782 ha)		
	Cuarzo diorita (38 543 ha)		50°-60° (282 ha)		
	Cuarzo monzonita (855 ha)		Más de 60° (16 ha)		
Sedimentarias y volcánicas marinas (5 085 ha)					
Suelo desnudo	Andesita (248 ha)	0-200 (463 ha)	0°-2° (3 408 ha)	18 889 ha (6%)	278
	Basalto (3 192 ha)	200-300 (156 ha)	2°-7° (974 ha)		
	Diorita (393 ha)	300-500 (652 ha)	7°-15° (3 096 ha)		
	Granito (57 ha)	500-1000 (2 594 ha)	15°-30° (7 298 ha)		
	Granodiorita (2 482 ha)	1000-1500 (5 911 ha)	30°-40° (2 877 ha)		
	Ortogneis (1 341 ha)	1500-2000 (8 296 ha)	40°-50° (992 ha)		
	Cuarzo diorita (9 052 ha)	y más de 2000 (817 ha)	50°-60° (225 ha)		
	Cuarzo monzonita (310 ha)		Más de 60° (18 ha)		
	Sedimentarias y volcánicas marinas (1 814 ha)				

Fuente: Elaboración propia, 2022

En todas las categorías de la cobertura del año 1985 y 2018 predomina las rocas intrusivas cuarzo diorita en comparación con los otros tipos de rocas (ver Cuadro 15 y 16), debido a su mayor distribución en el área de estudio, 183 290 ha (Cui *et al.*, 2017) (ver Figura 5), el 55% del total de 329 380 ha; sobre las rocas dioríticas, ricas en cuarzo se desarrollan, principalmente, suelos podzólicos (Pike *et al.*, 2010; CSSS, 2020). Cabe señalar que, la categoría de bosque cerrado fue la que presentó la mayor cantidad de área con rocas intrusivas cuarzo diorita en ambos años (45 50 350 ha; 50 350 ha) (ver Cuadro 15 y 16).

Cuadro 16. Cobertura del área de estudio y variables biofísicas para el año 2018.

Cobertura 2018	Rocas	Hipsometría (msnm)	Pendientes (°)	Superficie (ha)	Numero de polígonos
Bosque Cerrado	Basalto (6 414 ha)	0-200 (8 144 ha)	0°-2° (15 821 ha)	83 185 ha (25%)	398
	Diorita (1 866 ha)	200-300 (3 284 ha)	2°-7° (3 374 ha)		
	Granito (417 ha)	300-500 (8 424 ha)	7°-15° (10 276 ha)		
	Granodiorita (9 423 ha)	500-1000 (31 860 ha)	15°-30° (35 178 ha)		
	Metamórficas no diferenciadas (71 ha)	1000-1500 (29 679 ha)	30°-40° (13 919 ha)		
	Ortogneis (1 551 ha)	1500-2000 (1 793 ha)	40°-50° (4 062 ha)		
	Cuarzo diorita (50 350 ha)		50°-60° (519 ha)		
	Cuarzo monzonita (175 ha)		Más de 60° (34 ha)		
	Gabro o diorita (88 ha)				
Sedimentarias y volcánicas marinas (12 830 ha)					
Bosque Semiabierto	Basalto (5 778 ha)	0-200 (2 863 ha)	0°-2° (14 035 ha)	77 914 ha (24%)	430
	Diorita (2 887 ha)	200-300 (1 509 ha)	2°-7° (2 527 ha)		
	Granito (614 ha)	300-500 (5 688 ha)	7°-15° (10 779 ha)		
	Granodiorita (10 133 ha)	500-1000 (23 508 ha)	15°-30° (31 686 ha)		
	Metamórficas no diferenciadas (14 ha)	1000-1500 (34 158 ha)	30°-40° (14 273 ha)		
	Ortogneis (2 681 ha)	1500-2000 (10 181 ha)	40°-50° (4 059 ha)		
	Cuarzo diorita (44 153 ha)	y más de 2000 (7 ha)	50°-60° (510 ha)		
	Cuarzo monzonita (130 ha)		Más de 60° (45 ha)		
	Gabro o diorita (7 ha)				
Sedimentarias y volcánicas marinas (11 518 ha)					
Bosque Abierto	Andesita (41 ha)	0-200 (2 892 ha)	0°-2° (12 782 ha)	71 266 ha (22%)	388
	Basalto (6 159 ha)	200-300 (1 456 ha)	2°-7° (3 055 ha)		
	Diorita (2 597 ha)	300-500 (3 361 ha)	7°-15° (9 523 ha)		
	Granito (656 ha)	500-1000 (14 424 ha)	15°-30° (28 560 ha)		
	Granodiorita (11 192 ha)	1000-1500 (29 023 ha)	30°-40° (12 411 ha)		
	Metamórficas no diferenciadas (14 ha)	1500-2000 (19 924 ha)	40°-50° (4 204 ha)		
	Ortogneis (2 944 ha)	y más de 2000 (186 ha)	50°-60° (642 ha)		
	Cuarzo diorita (37 202 ha)		Más de 60° (49 ha)		
	Cuarzo monzonita (973 ha)				
Gabro o diorita (14 ha)					
Sedimentarias y volcánicas marinas (9 472 ha)					
Plantaciones	Basalto (106 ha)	0-200 (107 ha)	0°-2° (417 ha)	2 768 ha (0.8%)	72
	Diorita (57 ha)	200-300 (35 ha)	2°-7° (84 ha)		
	Granito (20 ha)	300-500 (162 ha)	7°-15° (594 ha)		
	Granodiorita (165 ha)	500-1000 (1 026 ha)	15°-30° (1 372 ha)		
	Cuarzo diorita (1 562 ha)	1000-1500 (1 436 ha)	30°-40° (220 ha)		
	Sedimentarias y volcánicas marinas (858 ha)	y 1500-2000 (2 ha)	40°-50° (66 ha)		
			50°-60° (15 ha)		
Pastizal	Basalto (232 ha)	0-200 (553 ha)	0°-2° (1 023 ha)	3 589 ha (1.1%)	85
	Diorita (25 ha)	200-300 (236 ha)	2°-7° (162 ha)		
	Granodiorita (644 ha)	300-500 (502 ha)	7°-15° (580 ha)		
	Metamórficas no diferenciadas (25 ha)	500-1000 (1 207 ha)	15°-30° (1 296 ha)		
	Cuarzo diorita (2 396 ha)	1000-1500 (921 ha)	30°-40° (364 ha)		
	Sedimentarias y volcánicas marinas (266 ha)	y 1500-2000 (170 ha)	40°-50° (136 ha)		
		50°-60° (27 ha)			
		Más de 60° (1 ha)			
Asentamientos humanos	Basalto (61 ha)	0-200 (1 627 ha)	0°-2° (1 209 ha)	1 682 ha (0.5%)	20
	Granodiorita (728 ha)	200-300 (7 ha)	2°-7° (323 ha)		
	Cuarzo diorita (847 ha)	300-500 (39 ha)	7°-15° (123 ha)		
	Sedimentarias y volcánicas marinas (47 ha)	y 500-1000 (9 ha)	15°-30° (28 ha)		
Cuerpo de agua	Basalto (369 ha)	0-200 (1 741 ha)	0°-2° (4 111 ha)	4 903 ha (1%)	46
	Diorita (22 ha)	200-300 (12 ha)	2°-7° (280 ha)		
	Granodiorita (498 ha)	300-500 (404 ha)	7°-15° (338 ha)		
	Ortogneis (34 ha)	500-1000 (750 ha)	15°-30° (167 ha)		
	Cuarzo diorita (2 918 ha)	1000-1500 (1 779 ha)	30°-40° (5 ha)		
	Cuarzo monzonita (70 ha)	y 1500-2000 (218 ha)	40°-50° (1 ha)		
	Sedimentarias y volcánicas marinas (992 ha)		50°-60° (1 ha)		
		Más de 140° (1 ha)			

Continuación de tabla anterior.

Cobertura 2018	Rocas	Hipsometría	Pendientes	Superficie	Numero de poligonos
Nieve y hielos	Andesita (582 ha)	300-500 (1 ha)	0°-2° (14 467 ha)	65 503 ha (20%)	70
	Basalto (6 438 ha)	500-1000 (52 ha)	2°-7° (3 823 ha)		
	Diorita (1 225 ha)	1000-1500 (3 781 ha)	7°-15° (11 631 ha)		
	Granito (316 ha)	1500-2000 (42 370 ha)	15°-30° (26 828 ha)		
	Granodiorita (13 383 ha)	y más de 2000 (19 299 ha)	30°-40° (6 909 ha)		
	Ortogneis (5 026 ha)		40°-50° (1 554 ha)		
	Cuarzo diorita (34 603 ha)		50° -60° (271 ha)		
	Cuarzo monzonita (657 ha)		Más de 60° (19 ha)		
Suelo desnudo	Sedimentarias y volcánicas marinas (3 272 ha)			18 570 ha (6%)	220
	Andesita (295 ha)	0-200 (314 ha)	0°-2° (3 098 ha)		
	Basalto (3 460 ha)	200-300 (36 ha)	2°-7° (952 ha)		
	Diorita (583 ha)	300-500 (940 ha)	7°-15° (2 298 ha)		
	Granodiorita (1 787 ha)	500-1000 (2 567 ha)	15°-30° (7 633 ha)		
	Ortogneis (674 ha)	1000-1500 (5 484 ha)	30°-40° (3 545 ha)		
	Cuarzo diorita (9 258 ha)	1500-2000 (8 395 ha)	40°-50° (2 315 ha)		
	Cuarzo monzonita (152 ha)	y más de 2000 (835 ha)	50° -60° (162 ha)		
Sedimentarias y volcánicas marinas (2 360 ha)		Más de 60° (12 ha)			

Fuente: Elaboración propia, 2022

El bosque cerrado transitó de presentarse en mayor cantidad en altitudes de 1000 a 1500 msnm a altitudes menores de 500 a 1000 mnsnm, lo contrario paso con las plantaciones, las cuales pasaron con una mayor cantidad a altitudes entre 500 a 1000 msnm a presentarse en mayor cantidad entre altitudes de 1000 a 1500 msnm para el 2018 (ver Cuadro 15 y 16), lo cual nos indica que las plantaciones crecieron (1985) y pasaron a ser bosques cerrados para el 2018, mientras que los bosques cerrados de 1985 fueron talados y reforestados, pasando a ser plantaciones para el año 2018. Lo anterior nos muestra que el corte de árboles se realiza principalmente en bosques cerrados, esto para tener un equilibrio forestal (Robson *et al.*, 1995; Ministry of Forest, 2003; Annual report, 2019).

En el caso del bosque semiabierto, bosque abierto, pastizal, asentamientos humanos, cuerpos de agua, nieve y hielos y suelo desnudo permanece la mayor cantidad de hectáreas en las mismas altitudes y pendientes, del año 1985 al 2018 (ver Cuadro 15 y 16).

## 7.6. Variables demográficas y económicas

Los asentamientos humanos (AH) se presentan en una mínima cantidad respecto al total del área de estudio, contando con 0.3% en 1985 y 1% en 2018. Entre estos

años se obtuvo una ganancia de 703 ha, creciendo a una tasa de 21 ha por año. Lo anterior es común en la Columbia Británica, debido a que los estados o naciones, son significativamente pequeños en relación con el paisaje (McGillivray, 2005).

Al aumentar el número de personas en el área de estudio también se incrementó la mancha urbana, por ejemplo, el número de habitantes aumento de 14 880 a 20 950 durante los años de 1996 al 2016 (Statistics Canada, 2017). El crecimiento poblacional cambia en la tasa media anual de un siglo a otro, ya que, en el siglo XX, el incremento de la mancha se desarrolló paulatinamente, tal es caso del cambio que ocurrió de 1976 a 1994, donde después de 18 años, se formó el suburbio del Valleycliffe, localizado al sureste del Distrito de Squamish (Sadler, 2003).

Ya para el siglo XXI, la tasa de desarrollo demográfico en el Distrito aumentó, de 2011 a 2016 Squamish se había convertido en una de las 10 comunidades de rápido crecimiento en Canadá, con una tasa de 13.7%, en comparación a la tasa demográfica de la CB de 5.6% (Statistics Canada, 2017; Community profile, 2015).

El acelerado desarrolló poblacional de Squamish se debe al progreso industrial, comercial, al accesible costo en la construcción y renta de viviendas, en comparación con Vancouver, el cual maneja precios superiores. Por ejemplo, para el 2014, el precio de una vivienda unifamiliar en esta localidad es de 505 700 dólares, mientras que para Gran Vancouver es de 931 400 dólares, la diferencia del costó era de un 46% menos entre una localidad y otra (Community profile, 2015). Asimismo, se prevé que la población de Squamish se duplicará para 2036, impulsado por el atractivo estilo de vida de aventura y por la cercanía a Vancouver y Whistler (BCStats, 2017; Statistics Canada, 2017; Community profile, 2015).

Más de 50% de la población del Distrito de Squamish vive en casas unifamiliares, un 20% mayor que los residentes en Vancouver. Los edificios de apartamentos con menos de cinco pisos son el segundo tipo de vivienda más ocupada en Squamish (Community profile, 2015).

Cabe mencionar que el transporte fue el principal factor en el crecimiento y desarrollo económico de Squamish (McGilliuray, 2005), esto por la construcción del ferrocarril (1956) y la autopista Sea to Sky (1958) que une Vancouver a Squamish. Con el ferrocarril se ha formado un enlace de traslado a los puertos de Squamish y el Norte de Vancouver. Mientras que la autopista Sea to Sky es el principal sistema de transporte hoy en día, debido a que abre paso a House Sound hasta Squamish, siguiéndole a Whistler, Pemberton, Lillooet y el interior de Columbia Británica (McGilliuray, 2005; Sadler, 2003).

Squamish se convirtió en una comunidad dinámica con una rápida transformación socioeconómica, debido a los desarrollos industriales, comerciales y turísticos. Algunas de las industrias están basadas en el conocimiento, educación, manufactura, silvicultura y productos de madera (Community profile, 2015; Sadler, 2003).

En la zona de estudio el número de perceptores de ingresos totales de 15 años y más, para el 2016 es de 15 715, con un ingreso medio después de impuestos de 72 342 dólares aproximadamente (Statistics Canada, 2021).

La población se emplea en: las ciencias naturales y aplicadas; la salud, el arte y la cultura; en negocios, finanzas y administración; en la educación, derecho, servicios sociales, comunitarios y gubernamentales; ocupaciones de ventas y servicios; operadores de oficios, transporte y equipos; en recursos naturales, agricultura, pesca y caza; en el transporte y almacenamiento; en servicios profesionales, científicos y técnicos; servicios educativos; administración pública; la construcción; y a la atención sanitaria y asistencia social (Statistics Canada,

2021). Sin embargo, el turismo es uno de los principales sectores económicos de la Columbia Británica y contribuye significativamente a la economía (Mulligan K., 2020).

El sector turístico en Squamish impacta la economía a nivel local, provincial o nacional. Este impacto económico se clasifica en impactos directos (representan la actividad económica del propio sector objetivo), indirectos (son aquellos que resultan de los impactos directos, que involucran empleo en industrias transformadoras que surgen del turismo) e inducidos (se genera a partir de los gastos en la economía general de personas empleadas directa o indirectamente en el turismo) (ver Cuadro 17) (Wozny R., 2011; Mulligan K., 2020).

Cuadro 17. Estimaciones de empleo, ingresos laborales, PIB, ingresos fiscales del sector turístico de Squamish, 2018.

Indicador de Impacto	Squamish				Resto de BC	BC
	Directo	Indirecto	inducido	Total	Total	Total
Empleos (trabajo)	727	37	24	788	303	1 091
Empleos						
Ingresos (millones de dólares)	\$28.4	\$2.6	\$4.5	\$35.5	\$17.7	\$53.2
PIB (millones de dólares)	\$40.7	\$3.8	\$5.6	\$50.1	\$29.0	\$74.0
Total de impuestos federales (millones de dólares)	\$9.3	\$0.4	\$0.3	\$10.1	\$2.9	\$13.0
Total de impuestos gubernamentales de CB (millones de dólares)	\$7.7	\$0.3	\$0.3	\$8.2	\$2.3	\$10.5
Total de impuestos del gobierno local (millones de dólares)	\$1.9	\$0.1	\$0.1	\$2.1	\$1.0	\$3.1

Fuente: Mulligan K. (2020). Traducción: Ponce R.

La importancia económica del sector turístico de Squamish se refleja en los 788 puestos de trabajo estimados de primera línea (como instalaciones de alojamiento, restaurantes, atracciones locales, entre otros) y los 50,1 millones de dólares aportados al Producto Interno Bruto (PIB). Al incluir los impactos indirectos e inducidos (ver Cuadro 17), el sector turístico de Squamish generó un total



estimado de 1 091 puestos de trabajo y 79,2 millones de dólares en PIB en Columbia Británica en 2018 (Wozny R., 2011; Mulligan K., 2020).

### 7.7. Procesos de cambio en la zona de estudio

En el presente proyecto de investigación no se comparte la hipótesis mencionada, debido a que la deforestación no es el principal cambio de cobertura en el periodo de estudio. Además, en la zona estudiada no se observaron incendios, esto por el mes en el que se interpretaron las imágenes, pero según la literatura sí ocurren y pueden provocar cambios en la cobertura del terreno (Robson *et al.*, 1995; Coogan *et al.*, 2019; Leberger *et al.*, 2020).

De acuerdo con los principales procesos de cambio que se presentaron en la zona de estudio (ver Cuadro 18 y Figura 30), la permanencia de bosques y recuperación de bosques son los cambios que se dan en mayor porcentaje con 34% y 27%. Estos procesos muestran la apropiada Planificación de Gestión Forestal Sustentable de Squamish-Lillooet, en la cual participa el gobierno, el sector privado, las Primeras Naciones, las comunidades locales y las empresas de recurso, quienes procuran mantener una sostenibilidad ambiental de los bosques (Pan *et al.*, 1999; MSRM, 2004; David, 2007; Wolf and Klein, 2007).

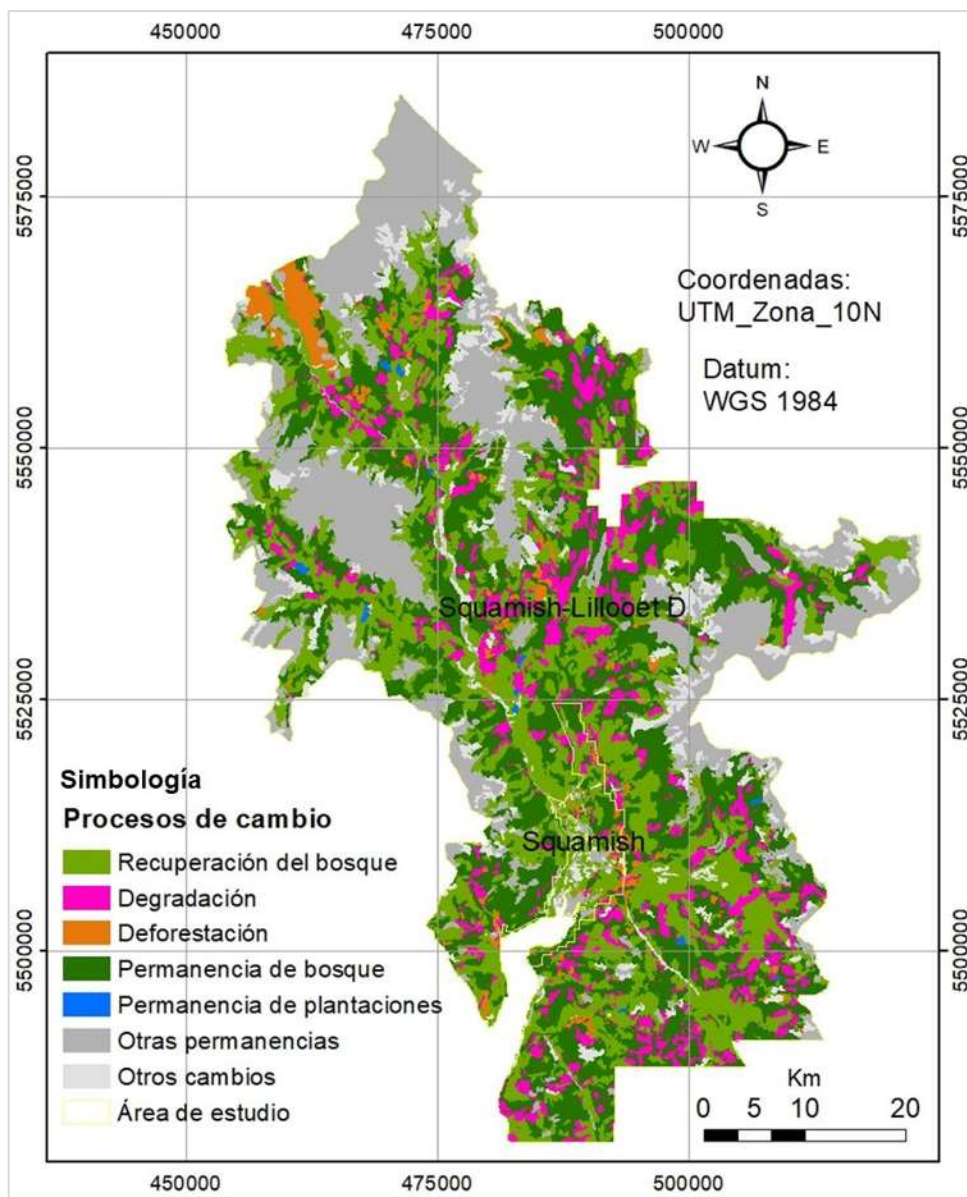
Cuadro 18. Procesos de cambio de 1985 al 2018.

Categorías	Procesos de cambio (1985 – 2018)		
	Polígonos	ha	%
Recuperación del bosque	2008	89 791	27
Degradación del bosque	733	32 524	10
Deforestación	262	7 182	2
Permanencia del bosque	1076	112 184	34
Permanencia de plantaciones	18	469	0.1
Otras permanencias	286	72 468	22
Otros cambios	389	14 761	4

Fuente: Elaboración propia, 2022

La recuperación de bosques es resultado del aumento de bosques en el periodo (1985 a 2018), esto por las plantaciones de árboles que se llevan a cabo cada año y por la limitada deforestación o tala (corte anual permitido). Además del buen liderazgo de silvicultores, que junto con el jefe forestal de CB, se basan en la ciencia para promover bosques saludables, ecológicamente diversos y resistentes, que mantengan un sector forestal fuerte en la provincia (Ministry of Forest, 2003; Annual report, 2019).

Figura 30. Mapa de procesos de cambios del área de estudio.



Fuente: Elaboración propia, 2022

## CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se cumplieron todos los objetivos planteados, ya que se interpretó la distribución de la cobertura y uso del terreno (CUT) de Squamish y Squamish-Lillooet D para los años 1985 y 2018. Se observó que los principales cambios se presentaron en los bosques y las plantaciones. Se discutieron las relaciones de CCUT con las variables biofísicas, demográfica y económicas, así como con las políticas de manejo forestal.

La cobertura predominante en ambos años (1985 y 2018) fue el bosque seguido por la nieve y hielos. El bosque cubría el 56% de área en 1985, y cubrió 71% del área total para el año 2018, su incremento fue de 120 181 ha y una permanencia de 112 184 ha. En consecuencia, la tasa de cambio media anual fue de 2.1% (1 375 ha).

La gestión de los bosques de la CB es un ejemplo de la importancia del manejo forestal sostenible en el país, el cual ha mejorado la calidad y aumento de las tierras forestales desde 1990, esto por el cuidado de la forestación y/o reforestación que se realiza. El manejo forestal influye en que Canadá enliste en los primeros cinco países con mayor superficie forestal.

Cabe señalar que los bosques del año 2018 parecen corresponder a las plantaciones de árboles realizadas en los años 80's y este éxito se debió al compromiso del Ministerio del Bosque, quien se comprometió al cuidado del crecimiento y desarrollo de los plantíos.

El cambio de cobertura y uso del terreno, se deben principalmente al manejo forestal, incendios y plagas por insectos, los cuales han modificado el paisaje. Estas perturbaciones naturales son provocadas por el cambio climático, el cual también ha ocasionado la descongelación de la nieve y hielos, pasando de 76 107 ha a 65 503 ha.

Los asentamientos humanos han crecido paulatinamente de 1985 (979 ha) a 2018 (1 682 ha) en el área de estudio (1.7%); sin embargo, el Distrito de Squamish, ha crecido sustancialmente en los últimos años, de 2011 a 2016; debido al desarrollo industrial, el comercio, el accesible costo en la renta de viviendas y el atractivo estilo de vida en sus paisajes.

La interpretación visual de la cobertura y uso del terreno, el conocimiento en las políticas de manejo forestal a favor de la conservación de los árboles y el compromiso de las Primeras Naciones con su entorno proporcionan un valor en los bosques, que deberían ser conocidos y utilizados en los países del mundo con recursos forestales.

Los principales procesos de cambio en el área de estudio tales como: recuperación de bosques y permanencia de bosques, demuestra que las políticas forestales han promovido la implementación de eficientes planes de manejo sustentable y corte anual permitido.

## REFERENCIAS

- Bauch G. (2009). Intensifying storms, floods and channel change: Squamish river, BC (1956-2007). Simon Fraser University. Burnaby, BC, Canada. 208 pp.
- Bauch G. and E. Hickin. (2011). Rate of floodplain reworking in response to increasing storm-induced floods, Squamish River, south-western British Columbia, Canada. *Earth Surface Processes and Landforms*. 36: 872–884. DOI: 10.1002/esp.2115
- Bautista F., J. Palacio, H. Delfin. (2011). Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. 2da edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 790pp.
- Bennett L. (2017). Deforestation and Climate Change. Clima Institute. Washington, DC 20036.
- Bocco G., J.L. Palacio-Prieto, J. A. Velázquez y J.F. Mas. (2000). Informe Técnico Inventario Nacional Forestal 2000-2001. Instituto de Geografía, Universidad Autónoma de México. 323 pp.
- Bocco G., M. Mendoza y O. Masera. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Instituciones Geográficas, Boletín* 44. 18- 38 pp.
- Bourdon M. (2017). Squamish Hiking. Ed First. Quickdraw Publication. 352 pp.
- Brown, D. G., C. Polsky, P. Bolstad, S. D. Brody, D. Hulse, R. Kroh, T. R. Loveland, and A. Thomson. (2014). Land Use and Land Cover Change. *Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment*, J. M. Melillo, Terese (T.C.) Richmond, and G. W. Yohe, Eds., U.S. Global Change Research Program. Ch.13: 318-332 pp. doi:10.7930/J05Q4T1Q.
- Chuvieco E. (1995). Fundamentos de Teledetección especial. 2da Edición. Rialp, S.A. Alcalá, Madrid. 451 pp.
- Community profile. (2015). Squamish hardwires for adventure. District of Squamish. Recuperado de [www.squamish.ca](http://www.squamish.ca)
- Coogan S., F. Robinne, P. Jain and M. Flannigan. (2019). Flannigan Scientists' warning on wildfire: a Canadian perspective. *NRC Research Press. Can. J. For. Res.* 49: 1015–1023 pp.

- Courtney C., M. Pisaric. (2018). Forest vegetation change and disturbance interactions over the past 7500 years at Sasquatch Lake, Columbia Mountains, western Canada. *Quaternary International*. 488, 95-106 pp.
- CSSS (Canadian Society of Soil Science). (2020). Soils of Canada. Available: [soilsofcanada.ca](http://soilsofcanada.ca).
- da Silva Junior C., M. Nanni, A. da Silva, E. Cezar, F. Romagnoli. (2014). Conversion of land use and cover in northwest Amazon (Brazil). *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 44 (3): 230-237 pp.
- David, T. (2007). Land use planning in British Columbia: An evaluation of the Lillooet land and resource management plan (degree thesis). Simon Fraser University. BC, Canada.
- Ekhuemelo D., A. J. and U. I. (2016). Importance of forest and trees in sustaining water supply and rainfall. *Nigeria Journal of Education, Health and Technology Research*. 8: 11 pp.
- FAO. (2003). State of the world's forests. 164 pp. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-y7581e.pdf>
- FAO. (2018). The state of the world's forests, forest pathways towards sustainable development. Rome.
- FAO. (2020). The State of the World's Forests. Forests, biodiversity and people. Rome. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Harding H. and D. Ford. (1993). Impacts of primary deforestation upon limestone slopes in northern Vancouver Island, British Columbia. *Environmental Geology*. 21:137 - 143 pp.
- IWGIA. (2020). The Indigenous World. Copenhagen, Dinamarca. SVANEM/ERKET. Recuperado de [http://iwgia.org/images/yearbook/2020/IWGIA\\_The\\_Indigenous\\_World\\_2020.pdf](http://iwgia.org/images/yearbook/2020/IWGIA_The_Indigenous_World_2020.pdf)
- Jasen L y A. Di Gregorio. (2002). Parametric land cover and land-use classifications as tools for environmental change detection. *Agriculture, Ecosystems and Environmental*. 91: 89-100 pp.

- Jasen L y A. Di Gregorio. (2003). Land-use data collection using the “land cover classification system”: results from a case study in Kenya. *Land Use Policy*. 20: 131-148 pp.
- Kanott J., J. Desprez, C. Oswalt, S. Fei. (2019). Shifts in forest composition in the eastern United States. *Forest Ecology and Management*. 433: 176-183 pp.
- Mulligan K. (2020). Draft Squamish tourism sector economic impact analysis. Squamish. 62 pp. Recuperado de <https://squamish.ca/assets/grid-item-files/aa57c8b370/RTC-Tourism-Impact-Study.pdf>
- Keenan R., G. Reams, F. Achard, J. de Freitas, A. Grainger and E. Lindquist. (2015). Dynamics of global forest area: Results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015. *Forest Ecology and Management*. 352: 9-20 pp.
- Kerr J. and J. Cihlar. (2003). Land use and cover with intensity of agriculture for Canada from satellite and census data. *Global Ecology & Biogeography*. 12: 161-172 pp.
- Kumar S., P. Basommi, Sk. Mustak, P.K. Srivastava and S. Szabó. (2017). Modelling of Land Use Land Cover Change using Earth Observation Datasets of Tons River Basin, Madhya Pradesh, India. Geocarto Internacional. DOI:10.1080/10106049.2017.1343390
- Lambin E., B.L. Turner, H. Geist, S. Agbola, A. Angelsen, J. Bruce, O. Coomes, R. Dirzo, G. Fischer, C. Folke, P.S. George, K. Homewood, J. Imbernon, R. Leemans, X. Li, E. Moran, M. Mortimore, P.S. Ramakrishnan, J. Richards, H. Skanes, W. Steffen, G. Stone, U. Svedin, T. Veldkamp, C. Vogel, J. Xu. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*. 11: 261–269 pp.
- Lambin E., G. Helmut. (2006). Land-Use and Land-Cover Change Local Processes and Global Impacts. *Global Change*. 236 pp.
- Leahy P. (2014). World’s Last Remaining Forest Wilderness at Risk. Recuperado de <http://www.ipsnews.net/2014/09/worlds-last-remaining-forest-wilderness-at-risk/>
- Leberger R., I. Rosa, C. Guerra, F. Wolf. (2020). Global patterns of forest loss across IUCN categories of protected areas. *Biological Conservation* 241: 8 pp.

- Leckie D, S. Tinis, M. Henley, F. Eichel, N. Walsworth, D. Hardman, W. Burt, J. Dechka, D. Paradine, R. Landry, and X. Yuan. (2016). Deforestation and forest harvest mapping with integrated automated and manual methods: pilot study Prince George, British Columbia, Canada. Pacific Forestry Centre. 1- 36 pp.
- López E., G. Bocco y M. Mendoza. (2001). Predicción del cambio de cobertura y uso del suelo. El caso de la ciudad de Morelia. Instituciones Geográficas, Boletín 45. 56-76 pp.
- Mancebo S., E. Ortega, A. Valentín, B. Martín, L. Matrin. (2008). LibroSIG: aprendiendo a manejar los SIG en la gestión ambiental. Madrid, España. Los autores.
- Mas J. y S. Couturier. (2011). Evaluación de bases de datos cartográficos. En F. Bautista (ed). *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales* (675-703). Universidad Nacional Autónoma de México.
- McGillivray B. (2005). Geography of British Columbia people and landscapes in transition. 2<sup>nd</sup> Ed. UBCpress. Vancouver-Toronto. 36 pp.
- Mcguire A., M. Apps, R. Dargaville, M.D. Flannigan, E.S. Kasischke, D. Kicklighter, J. Kimball, W. Kurz, D.J. Mcrae, K. Mcdonald, J. melillo, R. Myneni, B.J. Stocks, D.L. Verbyla, Q. Zhuang. (2012). Land cover disturbances and feedbacks to the climate system in Canada and Alaska. Land Change Science. Remote Sensing and Digital Image Processing. 6:143-165 pp.
- MFLNRO (Ministry of Forest, Lands and Natural Resource Operations). (2017). Forest Tenures Branch. British Columbia. 18 pp.
- Ministerio de educación. (2020). Tutorial de Google Earth. Buenos Aires, Argentina. Sarmiento BA. 33 pp.
- Ministry of Forest. (2003). British Columbia's Forests and their management. (2003). BRITISH COLUMBIA. Recuperado de [https://www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/Docs/Mr/Mr113/BC\\_Forest\\_Management.pdf](https://www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/Docs/Mr/Mr113/BC_Forest_Management.pdf)
- MSRM (Ministry of Sustainable Resource Management). (2004). Resource Analysis Guide For Sustainable Resource Management Planning. Volume 1. Forests, Lands and Marine Branch. British Columbia. 333 pp.



- National Household Survey. (2011). Aboriginal Peoples in Canada: First Nations People, Métis and Inuit. Statistics Canada. Canada. <https://www12.statcan.gc.ca/nhs-enm/2011/as-sa/99-011-x/99-011-x2011001-eng.pdf>.
- Naturally Wood. (2019). Forestry Innovation Investment. Sustainable by Nature Innovative by Design. British Columbia. 162 pp.
- Noble, D. (2004). Regional planning and British Columbia's agricultural land reserve: A case study of land use, development and policy impacts in the Central Okanagan Valley (degree thesis). Wilfrid Laurier University, Ontario, Canada.
- NRCan. (2019). The State of Canada's Forests Annual Report 2019. Natural Resources Canada. Canada. 84 pp.
- Oswalt S., W. Brad, P. Miles and S. Pugh. (2019). Forest Resources of the United States, 2017: a technical document supporting the Forest Service 2020 RPA Assessment. Gen. Tech. Rep. WO-97. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington Office. 223 pp.
- Oswalt S., W. Brad, P. Miles, S. Pugh. (2014). Forest Resources of the United States, 2012: A Technical Document Supporting the Forest Service 2015 update of the RPA Assessment. Gen. Tech. Rep. WO-91. Washington, DC: US. Department of Agriculture. Forest Service. Washington Office. 2018 pp.
- Page W., M. Jenkins and M. Alexander. (2014). Crown fire potential in lodgepole pine forests during the red stage of mountain pine beetle attack. *Forestry*. 87: 347–361 pp.
- Pan, D., G. Domon, S. Blois and A. Bouchard. (1999). Temporal (1958–1993) and spatial patterns of land use changes in Haut-Saint-Laurent (Quebec, Canada) and their relation to landscape physical attributes. *Landscape Ecology*. 14: 35-52pp.
- Pearse P. (1992). Evolution of the forest tenure system in British Columbia. Vancouver, B.C. 62 Pp.
- Pérez C. y Muñoz A. (2006). Teledetección: Nociones y Aplicaciones. Universidad de Salamanca. 356 pp. ISBN-10: 84-611- 1613-5 pp.
- Picketts I. and B. Hamilton. (2016). Adapting to Climate Change in Squamish: Backgrounder Report. 26 Pp. Recuperado de <https://squamish.ca/assets/OCP->

Review/Public-Hearing/Backgrounders-and-Policy-Guides/013932c74e/Adapting-to-Climate-Change-in-Squamish-Nov-2016.pdf.

- Pike, R.G., T.E. Redding, R.D. Moore, R.D. Winker and K.D. Bladon. 2010. Compendium of forest hydrology and geomorphology in British Columbia. B.C. Min. For. Range, For. Sci. Prog., Victoria, B.C. and FORREX Forum for Research and Extension in Natural Resources, Kamloops, B.C. Land Manag. Handb. 66. [www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/Docs/Lmh/Lmh66.htm](http://www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/Docs/Lmh/Lmh66.htm)
- Pucha F., A. Fries, F. Cánovas, F. Oñate, V. González, D Pucha. (2017). Fundamentos de SIG Aplicaciones con ArcGIS. Loja, Ecuador. Ediloja Cia. Ltda.
- Ren Y., Y. Lü, A. Comber, B. Fu, P. Harris, L. Wu. (2019). Spatially explicit simulation of land use/land cover changes: Current coverage and future prospects. *Earth-Science Reviews* 190:398–415 pp.
- RFPA (Forest and Range Practices Act). (2009). Administrative Guide for Forest Stewardship Plans (FSPs). Volume I. Preparation and Approval of an FSP. 244 Pp.
- RFPA (Forest and Range Practices Act). (2010). Administrative Guide for Forest Stewardship Plans (FSPs). Volume II. Operating Under an Approved FSP. 170 pp.
- Robson P., A. Walker, Burch G. (1995). *The Working Forest of British Columbia*. Harbour publishing/I.K. Barber. Madeira Park, BC, Canadá. 166 pp.
- Sadler H. (2003). *Squamish revealed* (Thesis master). University of British Columbia, Landscape Architecture Program. 38 pp.
- Sáenz-Ceja J. & Mendoza M. (2022): Latitudinal gradient of fire return interval in conifer forests of western North America, *Physical Geography*, DOI: 10.1080/02723646.2022.2108206
- SCWG (Soil Classification Working Group). 1998. *The Canadian System of Soil Classification*, 3rd ed. Agriculture and Agri-Food Canada Publication 1646, 187 pp.
- Seto K., C. Woodcock, Kaufmann R. (2012). Changes in land cover and land use in the pearl river delta, China. *Land Change Science. Remote Sensing and Digital Image Processing*. 6: 227-240 pp.
- Sleeter, B.M., T. Loveland, G. Domke, N. Herold, J. Wickham, and N. Wood, 2018: Land Cover and Land-Use Change. In *Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: Fourth National Climate Assessment, Volume II* [Reidmiller, D.R., C.W.

- Avery, D.R. Easterling, K.E. Kunkel, K.L.M. Lewis, T.K. Maycock, and B.C. Stewart (eds.]. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, pp. 202–231.
- Snetsinger J. (2011). AAC Rationale for Soo TSA. British Columbia. Canada. 41 pp.
- Stone J. J. Parminter, A. Arsenault, T. Manning, N. Densmore, G Davis and A. MacKinnon. (2002). Dead Tree Management in British Columbia. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-181.13 pp
- Tidwell T. (2016). State of Forests and Forestry in the United states. (Recuperado de <https://www.fs.usda.gov/speeches/state-forests-and-forestry-united-states-1>) 29 jul20 tools for environmental change detection. Agriculture, Ecosystems and Enviroment. 91: 89-100 pp.
- Trevol L. (1998). The effect of deforexstation on ground surface temperatures. Global and Planetary Change. 18,1–13 pp.
- Trevol L. and K. Wang. (1998). Geothermal evidence for deforestation induced warming: Implications for the climatic impact of land development. GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS. 25(4):535-538 pp.
- TSR (Timber Supply Review). (2016). Forest Analysis and Inventory Branch Ministry of Forest, Lands and Natural Resource Operations. British Columbia. Canada. Recuperado de [https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/forestry/stewardship/forest-analysis-inventory/tsr-annual-allowable-cut/tsr\\_timber\\_supply\\_areas.pdf](https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/forestry/stewardship/forest-analysis-inventory/tsr-annual-allowable-cut/tsr_timber_supply_areas.pdf).
- Turner B., W. Meyer and D. Skole. (1994). Global Land-Use/Land-Cover Change: Towards an Integrated Study. Allen Press. 23 (1): 91-95 pp.
- Wolf S. and J. Klein. (2007). Enter the working forest: Discourse analysis in the Northern Forest. Geoforum. 38: 985-998pp.
- Woodsworth Glenn y P. Geo. (2003). Geología y potencial geotérmico del grupo Claim AWA, Squamish, Columbia Británica. Geological Survey Branch. 15 pp.
- Wozny R. (2011). Master Planned Community – Market Demand/Supply and Financial/Economic Impact Study. South Britannia, Howe Sound, British Columbia. 136pp. Recuperado de <https://slrd.civicweb.net/document/36672/>

- Wulder M. J. Dechka, M Gillis, J. Luther, R. Hall, A. Beaudoin and S. Franklin. (2003). Operational mapping of the land cover of the forested area of Canada with Landsat data: EOSD land cover program. *The Forestry y Chronicle*. 79 (6): 1- 9.
- Zhu J. and Zhang Q. (2018). Analysis and Research on Information Processing of Regional Land Use Coverage Change. *Materials Science and Engineering*. 452: 1-6pp.

### **Documentos y páginas de internet**

- BC Stats. (2013). 2011 Census Fast Facts. Recuperado de <https://www12.statcan.gc.ca/nhs-enm/2011/dp-pd/prof/index.cfm?Lang=E>, 10/05/2020
- BCStats. (2017). 2016 Census: Population and Dwelling Counts. British Columbia. Recuperado de <https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/dp-pd/prof/index.cfm?Lang=E>, 15/05/2020
- British Columbia. (2015). Recuperado de <http://www.env.gov.bc.ca/soe/indicators/climate-change/temp.html>, 10/12/2020
- British Columbia. (2020). Recuperado de <https://apps.gov.bc.ca/pub/dwds-rasp/pickup/2088568>, 29/05/2020
- British Columbia. (2020). Recuperado de <https://www2.gov.bc.ca/gov/content/home>, 20/01/2020
- British Columbia. (2020). B.C. Data Catalogue. Recuperado de <https://catalogue.data.gov.bc.ca/dataset>, 09/08/2020.
- Brown R. (1997). *Forest Renewal and Sustainability in British Columbia*. Victoria Falls, Zimbabwe: Ministry of Forest and Range. Recuperado de <https://normasapa.com/como-citar-referenciar-paginas-web-con-normas-apa/>, 18/06/2020
- Climate-data.org. (2019). Recuperado de <https://es.climate-data.org/america-del-norte/canada/columbia-britanica/squamish-965/>. 25/10/21

Cui, Y., Miller, D., Schiarizza, P. y Diakow, L.J., (2017). Columbia Británica geología digital. Ministerio de Energía, Minas y Recursos Petrolíferos de Columbia Británica, British Columbia Geological Survey Open File 2017-8, 9 p. Recuperado de <https://www2.gov.bc.ca/gov/content/industry/mineral-exploration-mining/british-columbia-geological-survey/geology/bcdigitalgeology>, 16/04/2020

FAO. (2011). Regional Office for Latin America and the Caribbean. Recuperado de <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/en/c/230670/>, 27/07/2020

FAO. (2012). El Estado de los Bosques en el Mundo. <http://www.fao.org/3/a-i3010s.pdf> 02/02/21

FAO. (2017). Supporting rural communities and stabilizing climate change: sustainable forest management in Mexico. Recuperado de <http://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/en/c/1029481/>, 27/07/2020.

FAO. (2020). El Estado de los Bosques del Mundo. Los Bosques, la Biodiversidad y las Personas. <http://www.fao.org/3/ca8642es/CA8642ES.pdf> 02/02/21

FOREST ACT. (2020). Disposition of Timber by the Government. Queen's Printer, Victoria, British Columbia, Canada. Copyright. Recuperado de [https://www.bclaws.ca/civix/document/id/complete/statreg/96157\\_03#part3\\_division2](https://www.bclaws.ca/civix/document/id/complete/statreg/96157_03#part3_division2), 15/07/2020.

GADM. (2018). GADM maps and data, recuperado de [https://gadm.org/download\\_country.html](https://gadm.org/download_country.html), 30/04/2019.

Global Forest Watch. (2001). Recuperado de <https://www.globalforestwatch.org/map/>, 5/01/21

GnY (Geography and you). (2017). The Koppen Climate Classification System. Recuperado de <https://geographyandyou.com/koppen-climate-classification-system/>. 25/10/21

Government of Canada. (2019). Daily Data Report for August 2020. Canada. Recuperado de [https://climate.weather.gc.ca/climate\\_data/daily\\_data\\_e.html?StationID=336](https://climate.weather.gc.ca/climate_data/daily_data_e.html?StationID=336), 05/01/2020

Government of Canada. (2020). Is timber being harvested sustainably. Recuperado de <https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/forests-forestry/state-canadas-forests-report/timber-being-harvested-sustainably/16494>, 20/07/2020.

Government of Canada. (2020). Soils of Canada, Derived. Recuperado de

Government of Canada. (2020). Terrestrial Ecosystem. Recuperado de [http://www.env.gov.bc.ca/esd/distdata/ecosystems/Soil\\_Data/Soil\\_Data\\_Pkgs/](http://www.env.gov.bc.ca/esd/distdata/ecosystems/Soil_Data/Soil_Data_Pkgs/) <https://open.canada.ca/data/en/dataset/8f496e3f-1e54-4dbb-a501-a91eccf616b8>, 30/05/2020

Government of Canada. (2021). Elevation of Canada. Recuperado de [https://ftp.maps.canada.ca/pub/nrcan\\_nrcan/vector/canvec/archive/canvec+\\_archive\\_20151029/](https://ftp.maps.canada.ca/pub/nrcan_nrcan/vector/canvec/archive/canvec+_archive_20151029/), 26/10/2021.

Mccue H. (2018). Reserves. Recuperado de [https://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/aboriginal-reserves#:~:text=Two%20of%20the%20largest%20band,\(See%20also%20Haude nosaunee.\)](https://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/aboriginal-reserves#:~:text=Two%20of%20the%20largest%20band,(See%20also%20Haude nosaunee.)), 20/12/2020

National Forestry Database. (2020). Provincial and Territorial Profiles. Recuperado de <http://nfdp.ccfm.org/en/profiles/bc.php>, 20/05/2020.

National Household Survey. (2011). Statistics Canada. Canada. Recuperado de <https://www12.statcan.gc.ca/nhs-enm/2011/as-sa/99-011-x/99-011-x2011001-eng.pdf>, 19/07/2020.

Natural Resources Canada. (2020). Recuperado de <https://www.nrcan.gc.ca/home>, 05/01/2020

Picketts R. and B. Hamilton. (2016). Adapting to Climate Change in Squamish: Background Report. Recuperado de <https://squamish.ca/assets/OCP-Review/Public-Hearing/Backgrounders-and-Policy-Guides/013932c74e/Adapting-to-Climate-Change-in-Squamish-Nov-2016.pdf>, 17/08/2020

Road Network File, Reference Guide, Second edition, 2016 Census. Estadísticas Canadá Catálogo no. 92-500-G. Recuperado de <https://www150.statcan.gc.ca/n1/en/pub/92-500-g/92-500-g2016001-eng.pdf?st=Fe7Pg1pU>, 27/05/2020.

SFI (Sustainable Forestry Initiative). (2020). SFI and achieving zero net deforestation goals. Wellington Street West Suite 400 Ottawa, ON K1Y 3B2, Canada. Recuperado de <https://www.sfiprogram.org/deforestation-illegallogging/>, 20/07/2020.

Sierra Y. (2020). IPBES report: one million endangered species and tropical forests under attack. Mongabay Latam. Recuperado de <https://es.mongabay.com/2019/05/informe-cientifico-extincion-bosques-tropicales/>, 27/07/2020.

Squamish. (2018). Squamish River Dike Upgrades. <https://squamish.ca/yourgovernment/projects-and-initiatives/capital-projects/squamish-river-dike/#:~:text=Identified%20in%20the%20District%20of,and%20protect%20residential%2C%20commercial%20and>, 27/08/2020

Squamish-Lillooet Regional District. (2020). Recuperado de <https://www.slrd.bc.ca/about-us/slrd-electoral-areas/electoral-area-d>, 20/01/2020.

Statistics Canada. (2017). Population size and growth in Canada: Key results from the 2016 Census. Recuperado de <https://www150.statcan.gc.ca/n1/en/daily-quotidien/170208/dq170208a-eng.pdf?st=5ZPEpKLJ>, 26/04/2020.

Statistics Canada. (2021). Census Profile, 2016 Census. Recuperado de <https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/dp-pd/prof/details/page.cfm?Lang=E&Geo1=CSD&Code1=5931021&Geo2=PR&Code2=59&SearchText=Squamish-Lillooet+D&SearchType=Begins&SearchPR=01&B1=Income&TABID=1&type=0>, 31/08/2023

Thompson A. (2020). Regional Hydrology of British Columbia a comparison of hydrologic regimes in 3 streams. Recuperado de <https://storymaps.arcgis.com/stories/a318ff7199e44aeaa557ff4e8c255d54>, 28/08/2020

TSRB (Timber Supply Review Backgrounder). (2017). British Columbia. Recuperado de <https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources->

and-industry/forestry/stewardship/forest-analysis-inventory/tsr-annual-allowable-cut/tsr\_backgrounder2.pdf, 15/06/2020.

Weather Atlas. (2020). Monthly weather forecast and climate Squamish, Canada. Recuperado de <https://www.weather-atlas.com/en/canada/squamish-climate#temperature>. 25/10/21

Weather Spark. (2018). Recuperado de <https://weatherspark.com/y/145200/Average-Weather-at-Squamish-Airport-Canada-Year-Round>, 5/12/2020