



Universidad de Concepción



FACULTAD DE CIENCIAS  
AMBIENTALES

EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO DE USO DE  
SUELO SOBRE LAS TASAS DE SEDIMENTACIÓN EN  
LAGUNA GRANDE DE SAN PEDRO DE LA PAZ (CHILE)  
DURANTE LOS ÚLTIMOS 30 AÑOS.

Habilitación profesional presentada para optar al título de  
**Ingeniero Ambiental**

**ALEJANDRA ROJAS JORDÁN**

CONCEPCIÓN (Chile), 2018



Universidad de Concepción



FACULTAD DE CIENCIAS  
AMBIENTALES

EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO DE USO DE  
SUELO SOBRE LAS TASAS DE SEDIMENTACIÓN EN  
LAGUNA GRANDE DE SAN PEDRO DE LA PAZ (CHILE)  
DURANTE LOS ÚLTIMOS 30 AÑOS.

Habilitación profesional presentada para optar al título de  
**Ingeniero Ambiental**

**ALEJANDRA ROJAS JORDÁN**

Profesor Guía: Dr. Roberto Urrutia

Profesor Co-Guía: Dr. Mauricio Aguayo

CONCEPCIÓN (Chile), 2018

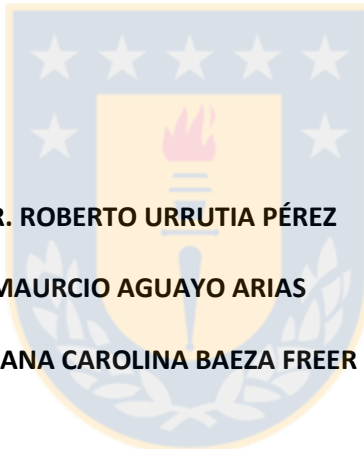


Universidad de Concepción



FACULTAD DE CIENCIAS  
AMBIENTALES

**“EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO SOBRE  
LAS TASAS DE SEDIMENTACIÓN EN LAGUNA GRANDE DE SAN PEDRO  
DEL PAZ (CHILE) DURANTE LOS ÚLTIMOS 30 AÑOS”**



**PROFESOR GUÍA: DR. ROBERTO URRUTIA PÉREZ**  
**PROFESOR CO - GUÍA: DR. MAURICIO AGUAYO ARIAS**  
**PROFESOR COMISIÓN: DRA ANA CAROLINA BAEZA FREER**

**CONCEPTO: APROBADO CON DISTINCIÓN MÁXIMA**

Conceptos que se indica en el Título

- ✓ Aprobado por Unanimidad : (En Escala de 4,0 a 4,9)
- ✓ Aprobado con Distinción (En Escala de 5,0 a 5,6)
- ✓ Aprobado con Distinción Máxima ( En Escala de 5,7 a 7,0)

**CONCEPCIÓN , ABRIL DE 2018**

## INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	vii
RESUMEN.....	viii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS .....	3
2.1 HIPÓTESIS .....	3
2.2 Objetivo General .....	3
2.3 Objetivos Específicos .....	3
3. ANTECEDENTES.....	4
3.1. Antecedentes y evolución de la comuna de San Pedro de la Paz .....	4
3.1.1. Historia de la comuna .....	7
3.2. Cambio de uso de suelo.....	8
3.2.1. Cambio de uso de suelo en Chile .....	10
3.3. Cambio de uso de suelo y efectos en el medio ambiente .....	12
3.3.1. Efectos ambientales de la urbanización.....	14
3.3.2. Cambio de uso de suelo e impactos sobre cuerpos lacustres .....	17
3.3.3. Sedimentación .....	19
3.3.4. Efectos perjudiciales de los sedimentos en el agua.....	19
3.3.5. Sedimentos como registradores históricos .....	22
3.3.6. Casos de estudio en la zona.....	24
3.4. Imágenes satelitales Landsat.....	31
4. METODOLOGÍA .....	34
4.1. Área de estudio .....	34
4.2. Imágenes satelitales.....	39
4.2.1. Tratamiento previo de las imágenes satelitales .....	40
4.3. Determinación del cambio de uso de suelo.....	40
4.3.1. Categorización de los usos de suelo .....	41
4.3.2. Superficie de cambio según pendientes .....	43
4.4. Geocronología y tasa de sedimentación .....	44
4.5. Análisis de datos .....	44

4.5.1. Correlación de Pearson entre usos de suelo y tasas de sedimentación de los últimos 30 años .....	44
5. RESULTADOS .....	46
5.1. Dinámica del cambio en el uso de suelo .....	51
5.2. Pendientes predominantes en la superficie de cambio .....	68
5.3. Tasa de sedimentación de los últimos 100 años.....	70
5.4. Correlación entre los usos de suelo y tasas de sedimentación últimos 30 años en el área de estudio.....	72
6. DISCUSIÓN.....	79
7. CONCLUSIONES .....	92
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	95
9. ANEXOS.....	105



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cambio de uso de suelo provincia de Concepción 1975-2000.....	5
Figura 2. Población total según provincia región del Biobío.....	5
Figura 3. Cambio de cubierta de bosque América del Sur, Centro América y el Caribe (1990, 2005, 2020).....	10
Figura 4. Representación esquemática del proceso de sedimentación .....	20
Figura 5. Perfil de decaimiento radioactivo del isótopo $^{210}\text{Pb}$ en los sedimentos. ...	23
Figura 6. Comparación del cubrimiento de bandas entre Landsat 7 y Landsat 8...	32
Figura 7. Esquema del resumen metodológico.....	34
Figura 8. Localización de laguna Grande de San Pedro de la Paz.....	35
Figura 9. Superficies de las principales coberturas de suelo en 1987 y 2016.....	47
Figura 10. Superficie de la cobertura Plantaciones forestales .....	47
Figura 11. Superficie de la cobertura Área sin vegetación.....	48
Figura 12. Superficie de cobertura Urbano .....	48
Figura 13. Superficie de cobertura Bosque.....	49
Figura 14. Dinámica del uso de suelo: (A) cobertura de suelo año 1987, (B) cobertura de suelo año 2016 y (C) detección de los cambios .....	51
Figura 15. Dinámica del uso de suelo: (A) cobertura de suelo año 1987, (B) cobertura de suelo año 1990 y (C) detección de los cambios. ....	53
Figura 16. Dinámica del uso de suelo: (A) cobertura de suelo año 1990, (B) cobertura de suelo año 1998 y (C) detección de los cambios. ....	56
Figura 17. Dinámica del uso de suelo: (A) cobertura de suelo año 1998, (B) cobertura de suelo año 2002 y (C) detección de los cambios. ....	59
Figura 18. Dinámica del uso de suelo: (A) cobertura de suelo año 2002, (B) cobertura de suelo año 2007 y (C) detección de los cambios. ....	62
Figura 19. Dinámica del uso de suelo: (A) cobertura de suelo año 2007, (B) cobertura de suelo año 2011 y (C) detección de los cambios.....	65
Figura 20. Dinámica del uso de suelo: (A) cobertura de suelo año 2011, (B) cobertura de suelo año 2016 y (C) detección de los cambios. ....	67
Figura 21. Distribución de pendientes en la cuenca de laguna Grande de San Pedro .....	69
Figura 22. Superficie de cambio por tipo de pendiente en cada periodo. ....	70

Figura 23. Tasa de sedimentación de los últimos 100 años en Laguna Grande de San Pedro. ....	72
Figura 24. Tasas de sedimentación de los últimos 30 años para laguna Grande San Pedro de la Paz .....	73
Figura 25. Correlación entre superficie de cambio y tasa de sedimentación de los últimos 30 años para laguna Grande San Pedro de la Paz. ....	75
Figura 26. Correlación entre tasa de cambio P. forestales y tasa de sedimentación los últimos 30 años para laguna Grande San Pedro de la Paz.....	75
Figura 27. Correlación entre tasa de cambio área sin vegetación y tasa de sedimentación los últimos 30 años para laguna Grande San Pedro de la Paz. ....	76
Figura 28. Correlación entre tasa de cambio urbana y tasa de sedimentación los últimos 30 años para laguna Grande San Pedro de la Paz. ....	76
Figura 29. Correlación entre tasa de cambio de bosque y tasa de sedimentación los últimos 30 años para laguna Grande San Pedro de la Paz. ....	77
Figura 30. Correlación entre superficie de cambio en pendientes bajas y tasa de sedimentación los últimos 30 años para laguna Grande San Pedro de la Paz.....	77
Figura 31. Correlación entre superficie de cambio en pendientes moderadas y tasa de sedimentación los últimos 30 años para laguna Grande San Pedro de la Paz..	78
Figura 32. Correlación entre superficie de cambio en pendientes fuertes y tasa de sedimentación los últimos 30 años para laguna Grande San Pedro de la Paz. ....	78
Figura 33. Correlación entre superficie de cambio en pendientes muy fuertes y tasa de sedimentación los últimos 30 años para laguna Grande San Pedro de la Paz..	78
Figura 34. Trayectorias de cambio de la cobertura de plantaciones forestales entre 1987 y 2016.....	80
Figura 35. Trayectorias de cambio de la cobertura urbana entre 1987 y 2016.....	82
Figura 36. Trayectorias de cambio de la cobertura de bosques entre 1987 y 2016 .....	83
Figura 37. Trayectorias de cambio de la cobertura de áreas sin vegetación entre 1987 y 2016.....	84

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Usos del suelo en el país al año 2011 .....	12
Tabla 2. Interrelación entre efectos ambientales y el proceso de expansión urbanística.....	16
Tabla 3. Principales causas y consecuencias importantes de la sedimentación.	21
Tabla 4. Rangos de variabilidad de resolución ( $\mu\text{m}$ ) espectral entre sensores y bandas. ....	32
Tabla 5. Principales características morfométricas del sistema lacustre Laguna Grande. ....	36
Tabla 6. Usos de suelo para ecosistemas lacustres San Pedro de la Paz.....	37
Tabla 7. Tipos de satélites con sus sensores para cada imagen en estudio....	40
Tabla 8. Periodos de análisis de la dinámica de las coberturas de suelo. ....	42
Tabla 9. Tabla de pendientes .....	43
Tabla 10. Superficie de cambio entre 1987 y 2016 .....	46
Tabla 11. Matriz de transición entre 1987 y 2016.....	49
Tabla 12. Superficie de cambio periodo 1 .....	52
Tabla 13. Matriz de transición periodo 1 .....	52
Tabla 14. Tasas de cambio por cobertura periodo 1.....	54
Tabla 15. Superficie de cambio periodo 2 .....	54
Tabla 16. Matriz de transición periodo 2 .....	55
Tabla 17. Tasas de cambio por cobertura periodo 2 .....	56
Tabla 18. Superficie de cambio periodo 3 .....	57
Tabla 19. Matriz de transición periodo 3 .....	58
Tabla 20. Tasas de cambio por cobertura periodo 3 .....	60
Tabla 21. Superficie de cambio periodo 4 .....	60
Tabla 22. Matriz de transición periodo 4 .....	61
Tabla 23. Tasas de cambio por cobertura periodo 4 .....	63
Tabla 24. Superficie de cambio periodo 5 .....	63
Tabla 25. Matriz de transición periodo 5 .....	64
Tabla 26. Tasas de cambio por cobertura periodo 5 .....	65
Tabla 27. Superficie de cambio periodo 6 .....	66



Tabla 28. Matriz de transición periodo 6 .....	66
Tabla 29. Tasas de cambio por cobertura periodo 6 .....	68
Tabla 30. Distribución de pendientes en la cuenca de laguna Grande. ....	68
Tabla 31. Geocronología y tasa de sedimentación para Laguna Grande de San Pedro.....	71
Tabla 32. Geocronología y tasas de sedimentación de los últimos 30 años para laguna Grande San Pedro de la Paz.....	73
Tabla 33. Resultados de correlación de Pearson para las superficies de cambio, tasas de cambio y pendientes asociadas a las tasas de sedimentación de ..... laguna Grande.....	74



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a mi incondicional familia, que siempre me ha apoyado, en cada decisión y en cada etapa de mi vida. Alentándome a seguir mis sueños. Ahora que finalizo esta gran etapa, esto es para ustedes.

Por otro lado, están mis profesores, que siempre tuvieron la voluntad y la paciencia de atender y resolver cada una de mis inquietudes, fueron parte esencial de este camino, subiendo el ánimo cada vez que uno flaqueaba, se convirtieron, algunos en grandes apoyos cuando la familia no estaba cerca.

Y agradezco, profundamente a todas aquellas personas, compañeros de carrera, de entrenamiento y amigos de la vida, por darme siempre una palabra de apoyo, estar presentes cuando lo necesitaba y por haberse cruzado en el camino durante esta larga etapa.



## RESUMEN

Los cambios de uso de suelo en Chile y el mundo han generado grandes transformaciones de las coberturas del territorio, principalmente por el crecimiento de la población que se ha intensificado rápidamente potenciado por el desarrollo económico, prefiriendo cada vez más sectores próximos a ecosistemas costeros y cuerpos de agua generando el aumento de procesos degradativos, incidiendo directamente en el desarrollo de problemas ambientales.

En este contexto, el presente trabajo corresponde a una evaluación de los efectos de los cambios de uso de suelo en la cuenca de laguna Grande sobre sus tasas de sedimentación, mediante un análisis multitemporal, la cual se localiza en la parte occidental de la cordillera de Nahuelbuta, Región del Biobío, Chile. Para ello se utilizaron imágenes satelitales de los años 1987, 1990, 1998, 2002, 2007, 2011 y 2016, junto con la datación del sedimento de la laguna de los últimos 100 años. Esta laguna demostró diversos grados de intervención, debido principalmente al uso de suelo urbano y al intensivo uso forestal en su cuenca. Los estudios realizados comprenden los usos históricos y actuales del suelo, su caracterización y evolución y sus principales características sedimentológicas, así como algunos aspectos geomorfológicos. Se realizó un análisis estadístico comparativo en relación a la influencia de los principales usos de suelo de la cuenca y su consecuente incidencia en las tasas de sedimentación durante los últimos 30 años. Los resultados indican una concordancia con lo mencionado en otros estudios en la zona, en donde la expansión urbana en los sectores de pendientes bajas ha sido el principal factor atribuido al aumento de los ritmos de acumulación en la cuenca de drenaje.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los recursos hídricos son altamente estudiados debido a la inmensa intervención antrópica a la que están sometidos y a lo altamente susceptibles de ser afectados por el cambio global (Grimm *et al.*, 2008). El intenso desarrollo industrial y aumento de la población humana durante las últimas décadas ha causado la degradación ambiental y pérdida de servicios ecosistémicos de especial relevancia sobre todo en áreas costeras, aumentando la erosión y vertidos sobre los cuerpos de agua alterando su dinámica natural, dejando en evidencia la escasa gestión que existe de nuestros recursos.

Los procesos de expansión urbana forman parte de la evolución de las ciudades, en este sentido los usos de suelo, el equilibrio del medio ambiente y la calidad de vida de las personas se ven alteradas. Desde el desarrollo de las grandes civilizaciones, el hombre se ha asentado preferentemente en áreas fluviales y costeras debido a la gran disponibilidad de recursos naturales y, por lo tanto, del aprovechamiento económico que podía efectuarse en las mismas (Kühn *et al.*, 2004). En el año 1995, el 39% de la población mundial vivía a una distancia menor a 100 km de la costa y diversos estudios sugieren que la población costera aumenta a un ritmo mayor que la de otras regiones (Crawford, 2007). Las áreas costeras, por tanto, se ven afectadas por el constante crecimiento de las ciudades.

Dicho esto, se pretende en esta investigación reconstruir el pasado de una de las áreas más importantes de la provincia de Concepción, la laguna Grande, perteneciente al sistema lacustre San Pedro (SLSP), el cual también comprende la laguna Chica, esta laguna ha crecido significativamente desde 1950 a la fecha debido al gran potencial de la zona en materias silvícolas e industriales. Situación que ha motivado a las migraciones y aumento de la población en busca de mejores oportunidades y aumentos en su calidad de vida, provocando presión en el uso de los espacios, lo que ha permitido la expansión de los límites urbanos de la ciudad, posicionando esta área como principal foco de investigación ambiental.

En este sentido, diversos estudios se han realizado sobre el cambio de uso de suelo y la importante información ambiental histórica que se puede rescatar de los sedimentos lacustres, los que a través de una columna de sedimento pueden evidenciar procesos naturales, condiciones basales y los diferentes procesos y perturbaciones humanas que han ocurrido a lo largo del tiempo sobre ellos.

A pesar del significado económico y social que ha traído el importante cambio del uso del suelo, hoy en día las características del proceso que han sufrido las cuencas del SLSP, no han sido suficientemente estudiadas, por lo que para efectos de esta memoria y considerando la importancia de evidenciar los efectos ambientales ocasionados por la creciente urbanización, es que, se pretende abordar la temática de las transformaciones espaciales desde una perspectiva histórica generando una evolución del área de estudio, para la cual se determinarán y analizarán las tasas de sedimento de los últimos 100 años de la laguna Grande con una comparación de estas con los cambios en los usos y coberturas de suelo para los últimos 30 años a través de imágenes Landsat y el uso de herramientas de información geográfica de modo que “la historia sedimentaria” asociada a dinámicas espaciales de crecimiento urbano, o a pérdidas de superficies de coberturas vegetacionales naturales sea evaluada y puesta en evidencia, sirviendo esto para la toma de conciencia del estado de nuestros recursos y de las respuestas ambientales que tiene la cuenca garantizando la conservación de las riquezas naturales que posee la zona de estudio.

## **2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**

### **2.1 HIPÓTESIS.**

Los cambios de uso de suelo en la cuenca de Laguna Grande de San Pedro han provocado un aumento significativo en las tasas de sedimentación durante los últimos 30 años.

### **2.2 OBJETIVO GENERAL.**

Evaluar el efecto de los cambios de uso de suelo sobre las tasas de sedimentación de laguna Grande durante los últimos 30 años.

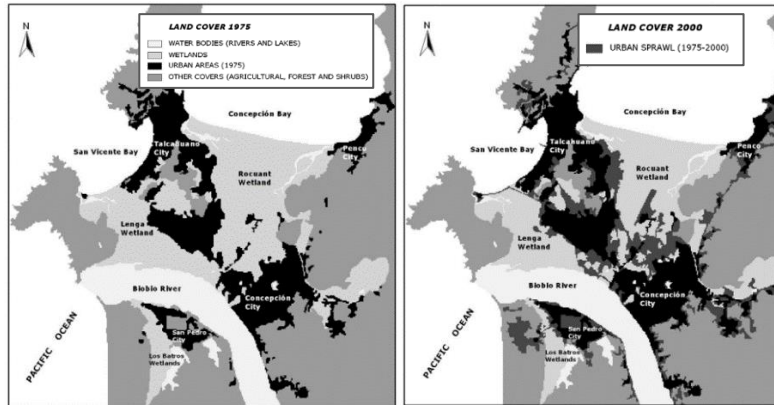
### **2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- 1) Determinar los cambios de uso de suelo durante los últimos 30 años en la cuenca de la laguna Grande de San Pedro de la Paz.
- 2) Determinar los niveles basales de las tasas de sedimentación para la Laguna Grande durante los últimos 100 años.
- 3) Analizar el comportamiento de las tasas de sedimentación con los cambios de uso de suelo en laguna Grande.

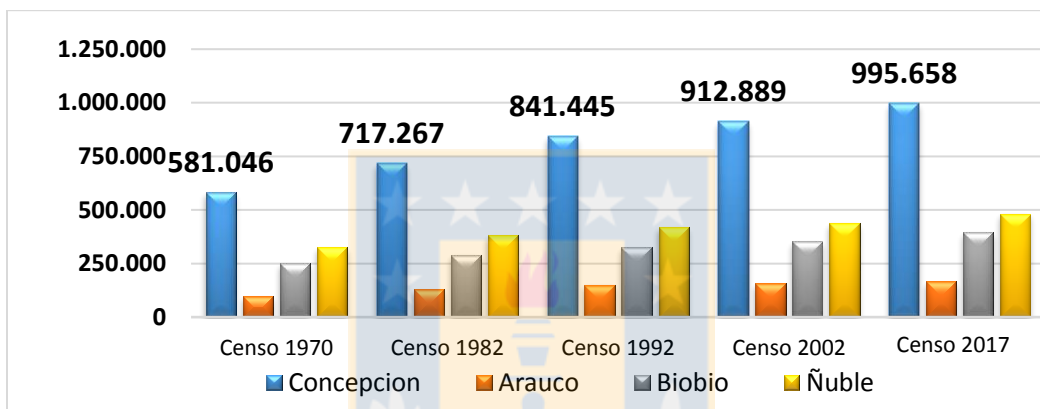
### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1. Antecedentes y evolución de la comuna de San Pedro de la Paz.

Actualmente en Chile, la provincia de Concepción es una de las áreas de mayor crecimiento urbano (Figura 2) junto con Valparaíso, reconocidas como metropolitanas y que se han desarrollado en ambientes costeros de importancia ecológica, como son los humedales, alcanzando una población superior al millón de habitantes (INE, 2012). La explosión demográfica, unida a su evolución histórica, llevó al conjunto urbano de Concepción a ensanchar sus límites y a densificar su planta sobre el territorio, alterando con ello el sistema natural y especialmente los procesos hidrográficos. Si bien el sitio del conjunto urbano ha sido sometido permanentemente a lo largo de su historia a elevadas presiones por la actividad humana, es a contar de la década de 1950 que registra el gran auge y las mayores transformaciones, como consecuencia de los procesos de industrialización y de migración urbano-rural y el desarrollo de plantaciones exóticas (Sánchez, 1989; Sanhueza y Azócar, 2000). La expansión urbana, (*Urban sprawl*) que ha tenido el área metropolitana de Concepción ha sido mal planificada, causada por el crecimiento de la población y la poca conciencia ambiental y regulaciones ambientales “relajadas” como la mayoría de las ciudades de Chile (EULA, 1999), la cual se ha emplazado principalmente alrededor y sobre los sistemas acuáticos lo que ha llevado al drenaje y llenado de humedales como muestra la Figura 1 del estudio de Pauchard *et al.*, (2006), que evidenciaron que se han perdido 1.743 hectáreas de estos ecosistemas, atribuidas principalmente a la expansión urbana.



**Figura 1.** Cambio de uso de suelo provincia de Concepción 1975-2000.  
Fuente: Pouchard et al., 2006.



**Figura 2.** Población total según provincia región del Biobío.

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Instituto Nacional de Estadísticas (INE)

Doce comunas integran al Gran Concepción, las que en su mayoría están ubicadas en zonas costeras, siendo el segundo conglomerado más grande del país con el 48,7 % de la población regional (INE, 2012). Esta zona es única, se caracteriza por extensas playas, humedales costeros, marismas y pantanos (Ilabaca 1989; Isla et al., 2012), pero la expansión espacial del Gran Concepción ha implicado ocupar sistemáticamente lechos de inundación fluvial, alterar fondos y bordes de cauces fluviales, cambiar la naturaleza y geometría de las redes hidrográficas, rellenar humedales y alterar significativamente la calidad y cantidad de las aguas superficiales y subterráneas. Al observar el desarrollo urbano que ha tenido la ciudad de Concepción, pareciera que ha ignorado sus lagunas, ya que aparecen



como escondidas provocando en algunas de ellas procesos de eutrofización cultural lo que las pone en peligro de desaparecer (Parra, 1989).

San Pedro de la Paz es una de las comunas que pertenece a este conglomerado y lidera el mayor crecimiento poblacional en los últimos 10 años, según los primeros datos entregados por el Censo 2012 con un 52,6%, alcanzando una población de 121.655 personas. Está ubicada en la ribera sur del río Biobío y concentra el 4,3% de la población total de la región, con una proyección al año 2015 de 6,18% según el censo 2002 (Instituto Nacional de Estadísticas), además, esta comuna forma parte de la gran cuenca del río Biobío que posee el sistema lacustre conformado por laguna Grande, laguna Chica y Estero Los Batros; limita al oeste con el Océano Pacífico, al este con la Cordillera de Nahuelbuta y al sur con la comuna de Coronel. Estas lagunas pertenecen al grupo denominado lagos Nahuelbutanos meridionales, los cuales pertenecen a áreas de desarrollo indígena que constituyen un componente cultural actualmente relevante en Chile para la toma de decisiones sobre estos recursos acuáticos (Parra, 2003). Por su ubicación, características geográficas y privilegiado entorno paisajístico, esta comuna se ha convertido en una de las principales áreas de expansión urbana de la región del Biobío. Es uno de los centros poblados de mayor crecimiento regional, donde se han ejecutado e implementado importantes proyectos inmobiliarios, públicos y privados, aumentando significativamente la población de la comuna.

Desde un punto de vista histórico, las lagunas insertas en esta comuna han experimentado grandes cambios en los usos del suelo a través del tiempo. En épocas precolombinas estuvo cubierta por vegetación nativa. Posteriormente, con la llegada de los conquistadores españoles el bosque habría sido utilizado como fuente de madera para construcciones y como combustible. A mediados del siglo XIX la demanda del auge cerealero probablemente implicó la utilización de parte de la cuenca con sembradíos. Luego, desde inicios del presente siglo, se dio comienzo a las plantaciones forestales intensivas sobre la cuenca, que desplazaron los remanentes nativos hacia las quebradas (Parra 1989; Morales 1989).

### 3.1.1. Historia de la comuna.

La historia descrita a continuación de esta comuna fue extraída del Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO) de San Pedro de la Paz 2012 – 2016.

En 1995 es fundada esta comuna. Entre 1877 y 1890 se construye el puente ferroviario sobre el río Biobío, el que permitió la conexión de la zona carbonífera del sur de San Pedro con el resto de Chile. En 1943 se inaugura el primer puente carretero sobre el Biobío (Puente Viejo), con 1.648,5 metros de largo, el que constituyó un hito importante para la comuna, permitiendo que la conexión fuera más rápida y expedita con Concepción lo que fomentó el desarrollo.

Hasta el año 1970 pertenecía a la comuna de Coronel y luego paso a depender de la comuna de Concepción, es a mediados de la década del sesenta que la población de San Pedro de la Paz aumenta considerablemente, debido a que los terrenos disponibles para la construcción de viviendas en el casco urbano de Concepción eran escasos y por el terremoto de mayo de 1960 que destruye e impide habitar gran cantidad de viviendas.

En los años setenta se produce una importante transformación del asentamiento en San Pedro de la Paz, que comprendía entre las lagunas Grande y Chica. En 1968 se inició la construcción del Puente Nuevo con 2.310 metros, habilitado en 1974, siendo bautizado como Juan Pablo II. Esto mejoró no solo la comunicación con la capital regional, sino que también con la zona portuaria. Se crean barrios como, Villa San Pedro, Boca Sur, Candelaria, Michaihue, Andalué, entre otros.

Y es a comienzos de los noventa, que se impulsa la idea de convertirse en comuna, para tener una administración más ordenada.

Por otro lado y de manera más experimental, los usos de suelo en Urrutia *et al.*, (2000) para este sistema lacustre han experimentado cuatro periodos diferentes durante los últimos 500 años (Cisternas *et al.*, 1999).

- “El primer periodo, dominado por la quema ocasional y actividades agrícolas, que comenzó aproximadamente en 1570, después de la fundación de la

ciudad de Concepción (1550) y la construcción del fuerte de San Pedro (1603) iniciando incendios a gran escala del bosque nativo original (Oliver & Zapata, 1950; Morales 1989)”.

- “El segundo periodo, empezó a comienzos del siglo XIX y se caracterizó por la intensiva actividad agrícola que alcanzó su máximo en 1848, como consecuencia de la cosecha extensiva de cereales por la – así llamada – “fiebre dorada” en América del Norte (Campos-Harriet, 1982). La mayoría de las zonas costeras secas fueron usadas para la producción intensiva del trigo, mediante la labranza por técnicas ancestrales heredadas de conquistadores españoles. Como a consecuencia de esto, a comienzos del siglo XX, las tierras costeras de montaña comenzaron a degradarse y erosionarse, siendo solo apropiado para reforestación”.
- Hacia finales del siglo XIX se inició el tercer periodo, caracterizado por el uso de la tierra por medio de la forestación y la introducción de las primeras plantaciones de árboles exóticos (pinos y eucaliptos) por la Compañía Minera de Carbón de Lota, para satisfacer sus necesidades de madera y controlar la erosión (Astorquiza 1929; Contesse 1987). Esta sustitución del bosque nativo por plantaciones comerciales se intensificó a mediados del siglo XX, alcanzando su máxima expresión hoy en día. Finalmente, a partir de 1968, comenzó el cuarto periodo, caracterizado por el asentamiento humano en las cuencas hidrográficas del sistema lacustre”.

Además, señala que: “A pesar que los impactos humanos en el sistema lacustre de San Pedro han ocurrido desde la llegada de los conquistadores españoles a Chile, las alteraciones más importantes del uso de suelo de las cuencas del sistema lacustre fueron producidos en los últimos sesenta años”. Actualmente, en la cuenca se desarrollan importantes proyectos inmobiliarios.

### **3.2. Cambio de uso de suelo.**

El término de cambio de uso de suelo, hace referencia a la sustitución de ciertos usos de la tierra por otros bajo condiciones constituidas legalmente donde se pueden identificar dos tipos de situaciones:

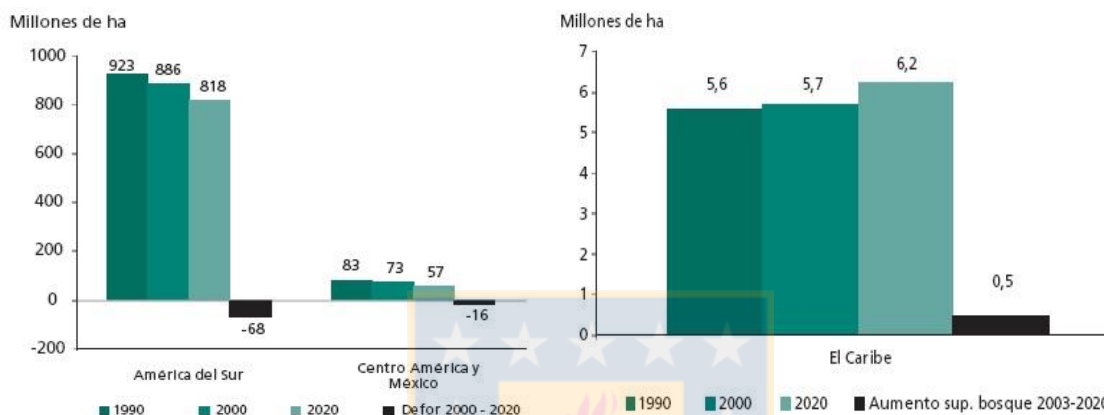
1) Se habla de cambio de uso de suelo cuando una zona con un uso consignado a través de un instrumento de planificación pasa a otro a través de la modificación del respectivo instrumento de planificación.

2) Cuando se sustituye un uso de suelo no urbano, por uno predominantemente urbano (ya sea residencial, equipamiento, industrial, etc.) fuera de los límites que permiten estos cambios. Hecho bastante recurrente en el país (GORE Bío-Bío y GTZ, 2000).

Una forma de poner en evidencia el proceso de urbanización es a través de la dinámica de los cambios de uso de suelo. Cabe destacar antes, la diferencia entre cobertura y uso de suelo. La primera describe los objetos que se distribuyen sobre un territorio determinado. Mientras que uso de suelo se refiere a la actividad socioeconómica que se desarrolla o se ha desarrollado sobre una cobertura. Por lo tanto, el uso del terreno se les atribuye a los distintos tipos de cobertura que el hombre crea para satisfacer sus necesidades materiales o espirituales (Bocco y Mendoza, 2001).

Mundialmente, las actividades agropecuarias, junto con la extracción de madera han causado una pérdida neta de 7 a 11 millones de km<sup>2</sup> de bosque en los últimos 300 años (Ramankutty y Foley 1999; Foley et al., 2005). Debido a estas transformaciones las tierras de cultivo y pastoreo son, en la actualidad, el bioma terrestre más grande del planeta el cual ocupa alrededor de 40 % de la superficie de la tierra (Aguayo et al., 2009). Goldewijk (citado por Aguayo et al., 2009) determinó que durante el período 1700-1990, 1.206 millones de hectáreas fueron convertidas en terrenos agrícolas y 2.927 millones fueron transformadas en áreas de pastoreo. Por otra parte- entre 1700 y 1992- 1.621 millones de hectáreas fueron habilitadas para la agricultura de las cuales 885 millones correspondían a bosque, 565 millones a sabana/praderas/estepa, 150 millones a matorrales y 21 millones a tundras/desiertos. Las tendencias en nuestro continente son altamente preocupantes, para América Latina y el Caribe, la superficie total de bosques continuará disminuyendo, la que será para el año 2020 de 83 millones de hectáreas deforestadas entre el 2000 y 2020 (Figura 1).

El escenario actual es desfavorable, las fuerzas impulsoras que determinan estas tendencias son principalmente las actividades del hombre, las que han ocasionado la mayor importancia de pérdida de diversidad biológica, deforestación, cambio en los ciclos hidrológicos, contaminación del aire, tierra y agua, así como la capacidad de rendimiento de las tierras productivas (Bocco y Mendoza, 2001).



**Figura 3.** Cambio de cubierta de bosque América del Sur, Centro América y el Caribe (1990, 2005, 2020).

Fuente: FAO 2006.

### 3.2.1. Cambio de uso de suelo en Chile.

En Chile los primeros estudios sobre transformaciones antropogénicas del paisaje se realizaron en la zona central a fines de la década de los setenta (Fuentes y Hajek, 1979). Durante la década de los ochenta, nuevas contribuciones fueron aportadas al conocimiento sobre los cambios de uso de suelo en el centro y sur del país (Fuentes, 1988; Lara et al., 1989). En los noventa, la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) inicia una serie de monitoreos para detectar los cambios de cobertura (CONAF 1999a, 1999b). Recientemente, una serie de estudios se han realizado debido a la disponibilidad de nuevas herramientas disponibles como son, el uso de sistemas de información geográficos (SIG) y la utilización de imágenes satelitales, que han permitido ampliar

la ventana temporal de análisis reconstituyendo paisajes de hasta 30 años atrás (Echeverría et al., 2006).

Estas investigaciones dan cuenta de las transformaciones del paisaje y exploran sus consecuencias ecológicas y sociales, así como también la vinculación con las pérdidas de superficies boscosas orientadas a determinar las causas de la disminución y fragmentación del bosque nativo e indagar sobre sus efectos (Echeverría et al., 2006).

Observando los resultados arrojados por el catastro de vegetación nativa, los usos de suelos predominantes en el territorio nacional corresponden a áreas desprovistas de vegetación, praderas-matorrales y bosques (Tabla 1). Esta información es considerada la fuente de información más completa que se tenga del territorio. Las respectivas actualizaciones han permitido visualizar la variabilidad existente en cuanto a la dinámica y tasa de cambio de uso del suelo, por ejemplo, la Región del Bío-Bío, posee un ritmo acelerado de cambio y fragmentación de los ecosistemas (CONAF, 2011) debido a las características que presenta, considerándose una de las regiones más productivas en el sector forestal atribuyéndole esto a su ubicación geográfica, el acceso terrestre y por contar con una actividad portuaria importante.

Los cambios más significativos debido al cambio de uso de suelo y la urbanización sobre la provincia de Concepción, están dados por pérdidas de áreas boscosas y con potencial forestal, desaparición de áreas agrícolas las que se han transformado en complejos industriales o residenciales como es el caso de los Huertos Familiares y Lomas Coloradas en San Pedro de la Paz, con la consecuencia de grandes pérdidas de superficies de humedales las que en el estudio de (Pouchard *et al.*, 2006) evidencia pérdidas equivalentes a un 23% entre 1975 y el 2000, los que se han visto rellenados para lograr estos desarrollos urbanos.

**Tabla 1.** Usos del suelo en el país al año 2011

USO DE LA TIERRA	SUPERFICIE (miles de ha)
Terrenos agrícolas	3.414,5
Praderas y matorrales	19.983,6
Bosques	16.676,9
Humedales	4.632,4
Áreas desprovistas de vegetación	24.776,4
Nieves y glaciares	4.293,9
Áreas urbanas, cuerpos de agua y otras	1.855,9
TOTAL	75.633,6

**Fuente:** Catastro Recursos Vegetacionales.

Fuente: CONAF 2011.

### **3.3. Cambio de uso de suelo y efectos en el medio ambiente.**

El cambio de uso de suelo se debe mayormente al acelerado crecimiento de la población a nivel mundial, lo que ha traído consigo diversos efectos para el medio ambiente. Sin embargo, el crecimiento urbano y los cambios del uso/cobertura del suelo constituyen procesos que forman parte del desarrollo urbano (Bhatta et al., 2010). Las ciudades son en general lugares muy productivos que hacen un aporte importante en la economía de la nación. A nivel mundial el crecimiento urbano se ha intensificado considerablemente, aumentando de 29% en 1950 a 50% en 2008; y se estima que para el 2050 el 70% de la población mundial vivirá en áreas urbanas (Barragán y de Andrés, 2015).

América Latina junto con el Caribe son las regiones con más tasas de ocupación con un 80%, las que están fuertemente ligadas a la migración campo-ciudad hasta la pasada década del noventa (UN-Habitat, 2012). Otros datos también de Naciones Unidas (UNCHS 2002) afirman que la población urbana de América Latina creció de 176,4 millones en 1972 a 390,8 millones para el 2000 y se espera que para el 2030 incremente a 604 millones. Las áreas urbanas son sumamente importantes en el crecimiento y desarrollo de países, por ejemplo, en América



Latina, la participación de estas es muy alta en la generación del producto interno bruto. Las grandes ciudades de este continente son un claro ejemplo de ese peso (36% del PIB en Brasil en 1999 fue generado en São Paulo y 43% en Lima, Perú) (CEPAL 2014).

En Chile, según los resultados del Censo Nacional de Población y Vivienda del año 2002, un 87% de la población nacional habita en áreas urbanas, por el contrario de un 13% en zonas rurales. Esto hace referencia al proceso de urbanización en el país que se reconoce como proceso “*Urban Sprawl*”, que da cuenta del crecimiento irregular y poco compacto de las ciudades sobre zonas naturales que presentan importantes servicios ambientales (Romero y Vásquez, 2005); como es el caso de la Laguna Grande de San Pedro de la Paz, que se encuentra en un área de condiciones geográficas especiales, marcada por un entorno montañoso, otras lagunas y humedales condicionando su uso de suelo y ocupación.

Sin embargo y a pesar de lo anterior, el proceso de crecimiento urbano, como se mencionó anteriormente, trae a menudo un deterioro de las condiciones ambientales del entorno, constituye uno de los procesos de mayor impacto sobre los sistemas naturales y es empeorado por el rápido crecimiento demográfico. Este fenómeno hoy en día es muy relevante en las áreas costeras, cerca de la mitad de la población mundial vive a menos de 60 kilómetros de la costa (Woodrofe, 2003), debido a la gran cantidad de servicios ecosistémicos que entregan (Millennium Ecosystem Assessment 2005) (ANEXO 1), generados principalmente en humedales y cuerpos de agua costeros (Costanza *et al.*, 1997), causando la degradación ambiental de estos, alteración de la dinámica litoral – erosión – y contaminación por vertidos sobre los cuerpos de agua.

Las lagunas costeras y los estuarios son conocidos por su gran producción biológica, por ocupar el 13% de la línea costera y por la importancia económica que representan (FAO, 1968; Lasserre, 1979; Cervigón, 1982; Nixon, 1982; Kjerfve, 1994). Las grandes variaciones espaciales y temporales de sus condiciones físicas y químicas, así como la gran capacidad de la mayoría de sus organismos de vivir en diferentes condiciones, han llevado a catalogar a estos ecosistemas como de



amplia capacidad de amortiguamiento (Yáñez-Arancibia, 1986). La intensa actividad económica desarrollada en estos ecosistemas ha generado alteraciones del estado natural de la mayoría de ellos. El grado de alteración o impacto humano se ha acelerado en los últimos años como resultado del incremento de la población y del crecimiento industrial (Nichols *et al.*, 1986), por lo tanto, requieren ser protegidos mediante un manejo específico, que garantice su producción sostenida (Lasserre, 1979).

Es en este sentido, que la llamada antropización por urbanización ha sido una de las manifestaciones más visibles del cambio global; afectando tanto la salud, calidad de vida de personas y del medio ambiente como la contaminación del agua y degradación de la calidad de esta, afectando las estructuras biofísicas de los ecosistemas acuáticos de distintas maneras.

El estudio de estos temas es fundamental para la elaboración de propuestas de ordenamiento territorial y planeamiento municipal debido a sus aportes en relación con la forma en que se materializa el crecimiento físico de la ciudad, la dinámica de la expansión urbana y la desaparición del suelo rural, el ritmo de la ocupación, entre otros (Nasarre Vázquez y Badia Perpinyá, 2006). Este conocimiento es utilizado, además, para predecir la expansión de las ciudades con el fin de prever las futuras demandas (infraestructura, servicios) de la población que se asentará en esas tierras y planificar nuevos asentamientos (López *et al.*, 2001).

### 3.3.1. Efectos ambientales de la urbanización.

La urbanización ha cambiado completamente el paisaje del planeta, siendo uno de los principales agentes de cambios del uso del suelo. Estas transformaciones traen efectos desfavorables y perjudiciales para la conservación de los recursos naturales, específicamente produciendo fragmentación de hábitats y repercutiendo en la pérdida de biodiversidad (Niemelä *et al.*, 2010) y es considerada la primera causa de alteración del suelo (Matson *et al.*, 1997); algunos de los efectos proporcionados por este fenómeno aparecen en la Tabla 2. Existe una interacción entre las poblaciones urbanas y su medio ambiente, la gente cambia el medio

ambiente a través del consumo de alimentos, energía, agua y el uso de la tierra y a su vez la contaminación ecológica urbana afecta la salud y la calidad de vida de las poblaciones en las ciudades. Por su parte, Sala et al., (2000), señala que el cambio de uso de suelo es el factor que se espera tenga el impacto global más importante sobre la diversidad el año 2100, debido principalmente a sus devastadores efectos sobre la disponibilidad de hábitat y extinción de especies.

Sin embargo, además de los efectos mencionados, se pueden presentar otros cambios que afectan a la sociedad, como es la diferenciación espacial por estrato socioeconómico, la segregación socioambiental, la aparición de focos de marginalidad, condominios, conglomerados industriales, etc. (Contreras, 2009; Hidalgo et al., 2008; Romero et al., 2007).

Siguiendo la línea investigativa y dentro de los efectos causados por el cambio de coberturas, es que innumerables países y lugares del mundo han sido y son afectados por la urbanización en cuanto a la remoción y desplazamiento de sedimentos en distintos sentidos, primero erosionando el suelo para luego ser depositados en distintos ecosistemas. Países como España, por ejemplo, el 53% del territorio sufre una pérdida de suelo por erosión hídrica que puede calificarse de importante a alarmante (MOPT, DGMA, 1989) y que en los primeros 10 km de costa, concentra un 30% del área artificial construida del país, basada en la construcción y *boom* inmobiliario (Rojas et al., 2015; OSE, 2010). Por otro lado, en Argentina, en las ciudades de Necochea y Quequén, ubicadas ambas en la ribera del río Quequén Grande, se analizaron los cambios producidos por la urbanización y el comportamiento del sistema natural, arrojando resultados negativos para los balances sedimentarios, con un retroceso en la línea de costa, evidenciando un significativo proceso erosivo (Piccolo, 2011).

**Tabla 2.** Interrelación entre efectos ambientales y el proceso de expansión urbanística.

<b>Factor del medio urbano y su expansión</b>	<b>Efectos sobre el medio ambiente</b>
<b>Transporte e infraestructuras asociadas</b>	
Consumo de combustibles fósiles	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminación del aire</li> <li>• Emisión de gases de efecto invernadero</li> <li>• Consumo de recursos no renovables</li> <li>• Impacto paisajístico</li> <li>• Ruido</li> </ul>
Número de vehículos	
Largas distancias entre la vivienda, lugar de trabajo	
Tiempo invertido en desplazamientos habituales	
<b>Edificios y áreas urbanas</b>	
Consumo energético para calefacción, aire acondicionado, etc.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de residuos</li> <li>• Emisión de contaminantes del aire y gases de efecto invernadero</li> <li>• Consumo de agua</li> <li>• Isla de calor</li> <li>• Pérdida de biodiversidad</li> <li>• Confort térmico</li> <li>• Ruido</li> </ul>
Lugar construcción	
Calidad del aire interior	
Disponibilidad de áreas verdes	
<b>Uso del suelo</b>	
Cambio en el uso de suelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deforestación</li> <li>• Contaminación</li> <li>• Presión sobre áreas naturales</li> <li>• Fragmentación de hábitats</li> <li>• Sellado del suelo y cambio en la dinámica hidrológica (incremento escorrentía, disminución de la recarga de acuíferos, etc.)</li> <li>• Pérdida de biodiversidad</li> <li>• Especies invasoras</li> </ul>
Consumo del recurso hídrico	

**Fuente:** Extraído de Urbanismo, Medio Ambiente. OSMAN 2015

Como ya se mencionó, un efecto de la urbanización es el aumento de la sedimentación en sistemas lacustres; en la laguna Cocinetas en Venezuela, que constituye el límite entre Venezuela y Colombia ha perdido 34 km<sup>2</sup> del espejo de agua en los últimos 50 años (Olier, 1996), lo que ha creado un problema limítrofe para este país y refleja la inconveniencia de utilizar este tipo de sistemas como límites fronterizos. Debido al aumento de la población en Venezuela, es que, a final de la década del cincuenta, varios ríos fueron cerrados o desviados por la construcción de la carretera Nacional de la Costa, lo que afectó el flujo de agua dulce de la laguna Tacarigua, lo cual provocó una disminución del agua dulce y aumento de la salinidad de las aguas de la laguna (Díaz y Zelwer, 1985).

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) ha establecido estrictas regulaciones en cuanto al control de la erosión y la generación de sedimentos, las cuales se aplican a gran parte (97,5%) del rubro de la construcción. Los sitios en construcción representan la actividad humana más devastadora, en términos erosivos, debido a la agresividad espacial y temporal asociada a éstos. Cualquier individuo en los Estados Unidos que modifique el suelo en más de un acre (medida de superficie), debe elaborar un Plan de Prevención de la Contaminación de Aguas Lluvia, en conjunto con las agencias locales correspondientes, con el fin de minimizar la sedimentación de los ríos y evitar millonarias multas.

Las actividades forestales de igual manera, como la tala, rasa, raleos y construcción de caminos representan una enorme alteración en el ciclo hidrológico, lo que se traduce en una disminución de la interceptación de copa y la capacidad de infiltración de los suelos, debido al uso de maquinaria pesada que generan gran cantidad de erosión y sedimentación. De igual manera las actividades del rubro agropecuario con el sobrepastoreo que no sólo disminuye la cubierta vegetal protectora de los suelos, sino que también compacta el suelo, produciendo más escurrimiento superficial y dando paso a distintos procesos erosivos (UNESCO, 2010).

### 3.3.2. Cambio de uso de suelo e impactos sobre cuerpos lacustres.

#### *Impactos físicos*

La urbanización puede alterar las dimensiones físicas de una masa de agua y por tanto alterar el ecosistema acuático. La planificación de los recursos hídricos y la gestión de las zonas urbanas pueden incluir prácticas como construcción de presas, cambios en la ruta de ríos, construcción de barreras marinas y drenaje de humedales. Todas estas prácticas afectan directamente el equilibrio de la vida en los ecosistemas acuáticos y pueden perturbar las relaciones complejas e interdependientes entre animales, plantas y organismos. Además, los cambios en la estructura física de los ecosistemas acuáticos pueden alterar la calidad del agua, como por ejemplo mediante el cierre de los canales hacia fuentes de agua dulce y cambiando la composición de las superficies de tierra subacuáticas. Por lo tanto,

todos estos cambios afectan directamente a la biodiversidad y a la viabilidad de las especies.

### *Impactos biológicos*

En el libro Fundamentos de la Gestión de Escorrentía Urbana (*Fundamentals of Urban Runoff Management*), Richard Horner describe los efectos biológicos de la urbanización que incluyen cambios en la composición de los sedimentos y la disminución significativa de la población de organismos sensibles. Las alteraciones biológicas afectan a la salud de especies de peces y plantas e impactan, a su vez, en los patrones de alimentación de las especies que residen en el hábitat acuático. Además, los cambios en los sedimentos, o en la cubierta del suelo, o en la distribución de la vida vegetal acuática afectan al comportamiento reproductivo y a la supervivencia de los huevos y, por lo tanto, potencialmente alteran el equilibrio de las especies.

### *Contaminación*

Aunque la mayor parte de la contaminación del agua es causada por la introducción de compuestos químicos en el medio acuático, la contaminación resulta en cambios biofísicos en el ecosistema. La urbanización introduce contaminantes en los sistemas de agua por una variedad de medios, incluyendo la escorrentía, el derrame industrial y la lluvia ácida. La contaminación altera el nivel de pH, degrada la calidad del agua y causa daños que afectan a toda la cadena alimentaria. Por ejemplo, los peces que se alimentan de plantas suelen ser más sensibles a ciertas sustancias químicas, como el mercurio, que se encuentra comúnmente en los ecosistemas acuáticos urbanos. Cuando los peces se alimentan de plantas, consumen pequeñas cantidades de mercurio, que afectan su salud y su tamaño poblacional. Si la población disminuye, esa pérdida afecta a las prácticas de alimentación y a la viabilidad de sus depredadores, quienes buscan nuevas presas para la alimentación.

### 3.3.3. Sedimentación.

Los sedimentos son partículas procedentes de rocas o suelos que son transportadas por las aguas o el viento, los que son finalmente depositados en lagos o lagunas, el mar o partes bajas de la cuenca. Se les considera un tipo de contaminante, al existir un exceso de estos, producidos por una alteración del proceso de erosión, se convierten en el más extenso agente contaminante en aguas superficiales.

### 3.3.4. Efectos perjudiciales de los sedimentos en el agua.

Los depósitos de sedimentos en los lagos pueden funcionar bien como fuente o como reserva de nutrientes esenciales, involucrados en el proceso de eutrofización. Naumann (1930) fue quien utilizó por primera vez la caracterización de ecosistemas lacustres a través de los sedimentos, según este autor, los sedimentos ricos en compuestos de fósforo, nitrógeno y materia orgánica de origen autóctono son típicos de lagos eutróficos, mientras que sedimentos con baja concentración de compuestos fosfatados, nitrogenados y de materia orgánica caracterizan a lagos oligotróficos, por lo tanto, sus características físicas y químicas deben ser consideradas dentro de la evaluación del sistema. (Smith *et al.*, 2009) (Anexo 2)

Algunos efectos propuestos por Heakson (1983) por la abundante presencia de sedimentos en el agua, degradando su calidad para el consumo humano, vida silvestre y para el suelo son:

- a) Se llenan los depósitos de cauces del arroyo y puertos

Esto causa que los cauces se inunden más fácilmente, alterando las proporciones de flujo y profundidades del cauce y reduciendo la vida útil de los depósitos.

- b) Extinción de los animales acuáticos

El sedimento que se encuentra en el fondo reduce la población de peces y otros microorganismos, esto se da debido a la reducción de alimentos.

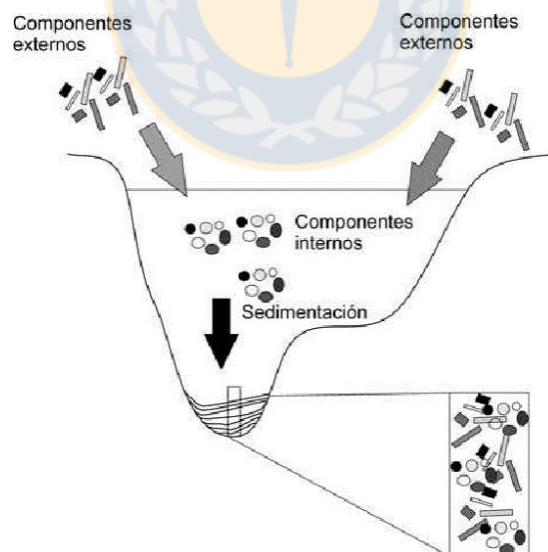
c) Reduce la penetración de luz en el agua

La reducción del ingreso de luz solar en el agua produce alteración de la fotosíntesis de las plantas y con esto una pérdida de oxígeno en el agua (sistema anóxico).

d) Turbidez en el agua

El agua contaminada con sedimentos se torna turbia, lo que impide la alimentación de peses y puede conducir a la reducción de supervivencia e impedir el crecimiento de vegetación natural. Este efecto también produce aumento del costo del tratamiento de agua potable.

La sedimentación, proceso en el cual las partículas provenientes de la cuenca decantan hasta el fondo a una determinada tasa (Figura 2), se produce principalmente por las formas tradicionales de uso sostenible de la tierra, las cuales están desapareciendo rápidamente con el aumento de la población incluso en zonas remotas (Verstraten y Poesen, 2000). En la Tabla 2 se mencionan algunas causas y consecuencias asociadas al aumento del proceso de sedimentación en cuerpos de agua.



**Figura 4.** Representación esquemática del proceso de sedimentación: deposito cronológico de componentes físicos, químicos y biológicos (tanto del cuerpo de agua como de la cuenca de drenaje), sobre la superficie del sedimento.

Fuente: (Garcia-Rodriguez et al., 2011)



**Tabla 3.** Principales causas y consecuencias importantes de la sedimentación.

<b>Pertinencia</b>	<b>Sector</b>	<b>Acción o mecanismo</b>	<b>Consecuencias</b>
Consecuencias principales Ríos y principales canales navegables	Navegación	Sedimentación en ríos o lagos Dragados	Disminución de la profundidad del agua, liberación de sustancias químicas tóxicas en el medio acuático o terrestre.
Ecosistemas acuáticos	Pesca/Hábitat acuático	Disminución de la penetración de luz, concentraciones más altas de sólidos en suspensión, aumento de la temperatura del agua debido a la energía solar absorbida, sedimentación y sedimentos asentados	Perjuicios en la alimentación, supervivencia de los peces y posibilidad de causar su muerte. Desplazamiento de plantas, invertebrados e insectos del lecho de los ríos repercutiendo en las fuentes de alimento de los peces; tensión para algunas especies de peces.
Lagos, ríos, embalses como suministro de agua	Suministro de agua	Desgaste bomba/turbina, tratamientos adicionales	de Aumento de costos de mantenimiento, reducción del valor y volumen de la fuente de agua.

**Fuente:** Adaptación de Environment Canada (2005a)

La cantidad de sedimentos que se depositan en los lagos provenientes de los alrededores es importante, muchos de estos aportes consisten en aluviones, restos de las actividades humanas (restos de fertilizantes y plaguicidas, basura, detritos humanos, etc.). Estos aportes poseen grandes cantidades de compuestos formados a base de fósforo, nitrógeno y materia orgánica. En determinados casos, el aporte de sedimentos puede llenar el fondo y así reducir la profundidad del lago hasta transformarlo en un estanque de aguas someras y posteriormente en un humedal, ya que el movimiento de agua en un lago no es tan grande en comparación con la de un río.



### 3.3.5. Sedimentos como registradores históricos.

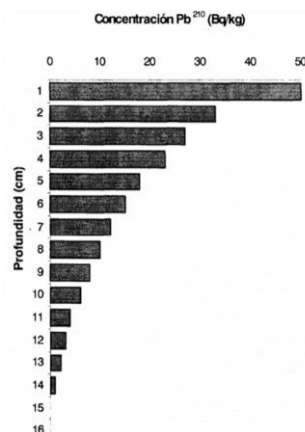
Los lagos y lagunas ofrecen uno de los mejores registros sedimentarios, ya que usualmente presentan pocas discontinuidades, de esta manera se pueden lograr reconstrucciones paleoambientales con resoluciones temporales que abarcan desde escalas interanuales hasta milenios. La importancia de la información de largo plazo radica en que hace posible inferir no solo el origen de los cuerpos de agua, sino también las diferentes configuraciones limnológicas que han sucedido durante su existencia. El proceso de sedimentación (Figura 5) puede generar series de datos lo que hace posible inferir cuáles estados o eventos limnológicos son usuales (o normales) y cuáles inusuales (o anómalos) en el cuerpo de agua.

Dado esto, es que las consecuencias de las actividades humanas sobre las cuencas son buscadas en la naturaleza de los sedimentos, estos pueden acumular en el fondo diferentes compuestos orgánicos, inorgánicos y biológicos, que permiten la elaboración de un perfil para estudiar las concentraciones en el pasado y en la actualidad (Frey, 1988). La composición de los sedimentos y la velocidad con que se acumulan pueden expresar la actividad del lago como receptor de una cuenca y como centro de actividad biológica (Margalef, 1983) aportando información sobre los diferentes ambientes de constitución y de sedimentación por los que ha pasado. Por lo tanto, la combinación de los datos de los análisis tanto químicos como mineralógicos de ellos reflejan su historia y los parámetros físicos, químicos y biológicos, los diversos procesos que han dado lugar a su formación (Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, 2002).

El comportamiento de estas variables puede comprenderse gracias a la ley de superposición, la cual establece que los depósitos más profundos son los más antiguos, debido a que estos se van acumulando de forma cronológica hasta los más actuales en las capas más superficiales (Smol, 2002). Los distintos componentes que se depositan en los sedimentos dependen de algunos factores como las dimensiones del lago, el área de la cuenca de drenaje, la naturaleza geológica de la cuenca, la vegetación, el régimen hidrológico, la comunidad de

organismos residentes, entre otros que determinan la tasa de sedimentación y la escala temporal de la muestra (Frey, 1988).

Para la obtención de una cronología apta, es necesario datar el sedimento, esto se realiza a través del análisis de una columna de sedimento obtenida del fondo. Los sedimentos, como bien se mencionó antes, constituyen la acumulación de materiales arrastrados (alóctonos), o bien producidos en la misma masa de agua (autóctonos) y es debido a la desintegración natural, que las capas sedimentarias más antiguas contienen proporciones menores de radioisótopos (Crickmore et al., 1990; Appleby et al., 1998; Appleby, 2000). En este sentido, la geocronología permite inferir la edad del sedimento a partir de la determinación cuantitativa de la distribución vertical de radioisótopos. La elección de la técnica de datación radica en la escala de tiempo. Los fechados  $^{14}\text{C}$  (vida media 5730 años), son apropiados para escalas de miles de años. Por el contrario, los radioisótopos con vidas medias menores (i.e.  $^7\text{Be}$ : 53,4 días;  $^{210}\text{Pb}$ : 22,26 años) los hacen apropiados para dinámicas de sedimentación contemporáneas (Eakins, 1983). De acuerdo a lo anterior, la actividad del  $^{210}\text{Pb}$  debiese presentar una disminución exponencial hacia las capas más profundas debido a la ley de desintegración radioactiva (Figura 3). Una vez que se establece la edad, se puede calcular la tasa de sedimentación, que es la acumulación vertical de material orgánico y/o inorgánico (gr) depositado en un intervalo de tiempo determinado ( $\text{cm año}^{-1}$ ).



**Figura 5.** Perfil de decaimiento radioactivo teórico del isótopo  $^{210}\text{Pb}$  en los sedimentos.

Fuente: (Garcia-Rodriguez et al., 2011)

Durante largo tiempo los investigadores se han preocupado de estudiar (entre otras cosas), la eutrofización y usos del suelo, por efecto de diversas actividades antrópicas (Frey, 1988). Estos cambios en los usos del suelo pueden ser reflejados en un aumento del ritmo de acumulación sedimentaria (e.g., Ruiz-Fernández et al., 2009). Los sedimentos, en especial los de origen lacustre, son por lo tanto, considerados como “registradores históricos” archivando entre sus capas información relevante que evidencian los problemas ambientales que pueden estar sucediendo en una determinada cuenca (Auer et al., 1996) lo que permite realizar una línea de base histórica de los cambios. Por estas razones, analizando los sedimentos lacustres y en consecuencia sus tasas de acumulación, es posible estimar los periodos más significativos en que ocurrieron los grandes cambios de uso de suelo en la cuenca y sus consecuencias para el sistema lacustre en estudio.

Si bien la cuenca de laguna Grande ha sido ampliamente estudiada, aún falta información relevante acerca de los cambios de uso de suelo que han experimentado en las últimas décadas y la medida en que se ha visto afectado este cuerpo de agua. La importancia de lo señalado radica en que se desconoce la capacidad de este sistema lacustre a enfrentar los impactos que está presentando por parte de las actividades provenientes de las acciones antrópicas desarrolladas en estas zonas.

#### 3.3.6. Casos de estudio en la zona.

Numerosos han sido los estudios realizados, desde hace aproximadamente 38 años que distintas instituciones y grupos de trabajo han ayudado a entender el estado de los lagos y lagunas de Concepción con especial énfasis en aquellas ubicadas en áreas urbanas. De los estudios revisados para efectos de esta memoria de título, donde muestran diferentes enfoques de los cuerpos de agua, como estudios de sedimento, de la columna de agua y de sus afluentes, de cambios de uso de suelo, entre otros; a continuación, se hace mención de la información más relevante rescatada de algunos de ellos.

En Parra (1989), realiza una revisión de los métodos utilizados en distintos estudios para la evaluación de parámetros morfométricos, físicos, químicos y biológicos de la Laguna Grande, donde destaca Dellarossa y Parra (1985) y Parra *et al.*, (1989) y califica las aguas seriamente deterioradas y en proceso de eutrofización cultural. Gran parte de la Laguna Grande se encuentra ocupada por Villa San Pedro a partir del año 1962 y afirma que sin duda alguna fue la presión del desarrollo urbano la que ocasionó el proceso de eutrofización cultural, con el aporte de nutrientes proveniente de desagües de aguas servidas de la Villa y que la relacionan con las posibles causas generadoras de contaminación tales como:

- Evacuación de aguas lluvias hacia la laguna, que arrastran desechos naturales encontrados en las calles, rebalses de sistemas públicos o privados en mal estado, detergentes, etc. (lo que aún puede suceder debido al aumento de la red de aguas lluvias por la posterior urbanización).
- La existencia de posibles conexiones clandestinas de alcantarillado al canal de desagüe de la Laguna Chica, la que posteriormente evacua sus aguas a la Laguna Grande.
- Vaciamiento de basura dentro o a orillas de la laguna
- Construcción de la población Miramar en un área de fuerte pendiente, en la cual, por negligencia de la empresa constructora, no se tomaron las precauciones correspondientes, provocando en un invierno fuertes lluvias y el deslizamiento de grandes cantidades de sedimento al cuerpo de agua.

El estudio deja en evidencia los principales aportes de nutrientes provenientes de las entradas artificiales (o urbanizadas) y naturales durante 1988, asegurando que estos aportes por los “afluentes naturales” son muy inferiores a los registrados en los “afluentes artificiales”. En vista de esta problemática que afecta a las lagunas es que en el estudio se plantean estrategias de control y manejo del proceso de eutrofización, dirigidos ya sea directamente a tratar las causas (como las mencionadas anteriormente) o atacar los síntomas.

A pesar del análisis realizado en este estudio, en la investigación de Cruces *et al.*, (2001) plantea que la información histórica sobre las condiciones limnológicas de

este sistema es escasa y parcial, lo que hace difícil distinguir entre su evolución trófica natural y aquella provocada por el hombre. A través de indicadores biológicos como las diatomeas y un análisis estatigráfico de un testigo de sedimento extraído del fondo de la laguna, donde se analizaron para cada centímetro de profundidad, los mencionados indicadores (análisis taxonómico y concentración de diatomeas) y algunos parámetros químicos (concentración de materia orgánica, fósforo total, sílice biogénica, aluminio, hierro y manganeso), es que en, Cruces et al (2001) se estudió la evolución trófica (aproximadamente 100 años, entre 1900 y 2000) de la Laguna Grande. En el estudio se utilizan los datos cronológicos y tasas de sedimentación de la columna de sedimento obtenidos por Cisternas (resultados no publicados) para obtener la tasa de acumulación de las diatomeas, nutrientes y metales (la concentración multiplicada por la tasa de sedimentación) para cada centímetro del testigo, los que a su vez representan distintos años.

De acuerdo con esto y según los resultados del análisis de la composición taxonómica de las comunidades de diatomeas a lo largo del perfil de sedimento, concluye que las zonas más profundas presentan un estado trófico de oligo-mesotrófica lo que cambió posteriormente hasta la zona más superficial, a un estado de mayor productividad característico de ambientes eutróficos. Este proceso se ha visto acelerado durante el último siglo, señala, lo que es corroborado por el aumento en la acumulación de fósforo, sílice biogénica y materia orgánica hacia los estratos más actuales reflejando mayor productividad del sistema. Junto con esto, en el estudio añade que, el aumento de las concentraciones tanto de los metales hierro y manganeso observado en la zona más actual del sedimento, lo atribuye al aumento en las tasas de erosión en la cuenca, como consecuencia de los cambios del uso del suelo durante este periodo, enfatizando en que la incidencia sobre el estado trófico de la laguna son el reemplazo de la vegetación nativa y la llegada de aguas servidas provenientes del sistema de alcantarillado de la ciudad como se mencionaba anteriormente en Parra (1989).

Finalmente, el estudio deja en evidencia un aumento del estado trófico de la Laguna Grande a través del tiempo y que el lago evolucionó desde un sistema bajo en

contenido de nutrientes, hasta un sistema eutrófico con altos niveles de nutrientes, ocurriendo los cambios más drásticos en las últimas décadas. Cambios principalmente de tipo forestal y urbano a finales del setenta, aumentando la erosión y arrastre de material alóctono al cuerpo de agua, provocando, un aumento del ingreso de la carga de nutrientes (y otros compuestos) modificando las condiciones limnológicas del lago.

De la misma forma en Urrutia et al., (2000) se realizó el mismo trabajo para Laguna Chica y los resultados de la estratigrafía de las diatomeas demuestran tres periodos de la historia limnológica de la laguna.

El primer periodo 1883-1940, mostro un aumento de las tasas de sedimentación, con incremento de las especies eutróficas. Desde los años cuarenta hasta el setenta el cambio en la comunidad de diatomeas fue más evidente y las tasas de sedimentación variaron fuertemente. A partir de 1978 ocurre que disminuyen las especies eutróficas y aumentan las indicadoras de condiciones de oligotrofia. Por tanto, indica que el estado trófico de la laguna ha mejorado en los últimos 15 años, pero que eso no significa que la entrada real de nutrientes al lago ha disminuido durante este periodo. Esto debido a que las plantaciones, uso de fertilizantes y aumento de la presión inmobiliaria han aumentado también en el mismo periodo.

Esta mejora en la calidad de la trofia de la laguna la atribuye a la invasión de la planta acuática *Egeria densa*, alterando la disponibilidad de nutrientes. Evento que compara a lo ocurrido en el estudio en el Lago Orange (Brenner *et al.*, 1999), que, a pesar de una disminución de sus concentraciones de fósforo durante los últimos 6 años, la carga real habría aumentado debido a perturbaciones urbanas, lo que se debería principalmente a los efectos de amortiguamiento de las macrófitas (plantas acuáticas). Estas medidas de control realizadas por las macrófitas pueden ser temporales, por tanto, no es improbable que el estado de la laguna pueda cambiar bruscamente si desaparece este efecto amortiguador de la macrófita.

La Dirección General de Aguas (DGA) desde 1983, empezó a realizar estudios con el fin de establecer una red de calidad de aguas en lagos y embalses a cargo del laboratorio ambiental de la DGA que pertenece al Departamento de Conservación

y Protección de Recursos Hídricos y así determinar las condiciones tróficas de ellos considerando los cambios a nivel antrópico al que han sido sometidos. Actualmente esta red considera un total de 20 cuerpos de agua ubicados en las macrozonas Centro y Sur y son monitoreadas periódicamente (DGA, 2009). Dentro de esta red de monitoreo se encuentra la Laguna Grande de San Pedro, junto con Laguna de La Laja y Lago Lanalhue para la región del Biobío.

En el estudio “Redefinición de la Red Mínima de Lagos” DGA-POCH (2009) se revisó la base de datos colectada por la DGA para la realización de correcciones y recomendaciones y validación de los registros obtenidos en el periodo comprendido entre 2000-2008. Esta revisión a 16 lagos y embalses determinaría la condición trófica histórica (2000-2008) así como también las mostradas en ese momento (desde 2007 en adelante) de estos, donde finalmente en base a la información levantada por la DGA en este periodo, se redefiniría el actual diseño de muestreo, evaluando la incorporación de 7 nuevos lagos. La validación consistió en una comparación de los valores de la base de datos con los considerados referenciales por entidades independientes de la DGA (publicaciones científicas y trabajos técnicos de universidades). Para el caso de Laguna Grande en el periodo 2000-2008 se utilizaron los estudios realizados por Parra *et al.* (2003) y Valdovinos & Figueroa (2000).

Respecto a los resultados de este estudio, se afirma que laguna Grande muestra una estratificación durante el verano con dos periodos de transición que indican el comienzo o decline de esta ya sea en primavera o en otoño y un periodo de mezcla en invierno presentando un comportamiento similar a los lagos Araucanos como un lago monomíctico temperado (se mezcla una vez al año por causa en las variaciones de temperatura). Históricamente, afirma que este sistema ha presentado una condición Oligotrófica, la que se ha mantenido hasta 2008. Sin embargo, la concentración de fósforo total medido en la laguna indica condiciones de meso-eutrofia, entre el 2004 y parte del 2006 y de mesotróficos desde el 2006 hasta 2008. Así también lo afirma el estudio de “Evaluación de la condición trófica de la red de control de la DGA” (DGA, 2014) calificando a la Laguna Grande con



meso-eutrofia, con el fósforo como su principal componente limitante y que la condición trófica considerada a largo plazo (2000-2013) de la laguna ha presentado históricamente niveles de Oligo-mesotrofia.

Este último estudio considera realizar un manejo de la condición trófica de la laguna Grande de San Pedro e implementar medidas de control principalmente de fósforo por descargas superficiales por vertidos domiciliarios y vertidos industriales durante los periodos de invierno y primavera, ya que presentaron valores altos durante el periodo de invierno (otoño, invierno y primavera) y que conllevarían a generar aumento del nivel trófico hasta niveles eutróficos.

Otro estudio, dentro de la bibliografía consultada, el realizado por Cisternas *et al.*, (2001) destaca en la comparación y la transición del uso del suelo con los cambios en la sedimentación en laguna Chica. En ella relaciona los porcentajes de área de uso del suelo obtenidas de fotografías aéreas durante los años 1943, 1955, 1961, 1978, 1981 y 1994 con las tasas de sedimentación de un núcleo de sedimento extraído de la laguna. Los resultados muestran tres grandes cambios, el primero comenzó a finales del siglo XIX y alcanzó su máximo a finales de 1940. El otro cambio a principios de 1950 y alcanzó su máximo a finales de 1969. Y el evento más reciente empezó a mediados de 1978 y continuó hasta los noventa donde alcanzó su máximo.

Los resultados de los cambios en el uso de suelo en este estudio demostraron que la mayor parte del bosque nativo de la cuenca ha desaparecido en los últimos 50 años. En 1943, fecha de las primeras fotos aéreas, el bosque cubría el 70% de la superficie de la cuenca, en su parte sur-central principalmente, el cual se redujo al 13% en 1994. Esto ocurría paralelamente al aumento de las plantaciones de pino que pasaron de un 4% a un 46% entre 1943 y 1994. Los pastizales por otro lado, en todos los años hasta 1978 cubrían entre 4-5%, después solo el 1% y se ausentaron por completo en 1994. El área de uso urbano y residencial comenzó con 1% en 1961 y alcanzó su máximo de 6% en 1981.

Aquí resalta la importancia en la transición de los usos de suelo, demostrado en los porcentajes de ocupación de alguno de ellos. Para estas cuencas, los principales



cambios han sido la preparación y uso de suelo para plantaciones y cultivos forestales, la que realiza un alto movimiento de maquinarias y grandes cantidades de movimientos de tierra. Esta situación también ha ocurrido para el área urbano-residencial, con la preparación de suelos, tala y rasa de árboles, inadecuado manejo de la escorrentía en las actividades tales como nivelar, rellenar, excavar, remover, etc., que agravan el problema de la sedimentación.

Por otro lado, para reconstruir la dinámica del crecimiento de las ciudades y evaluar sus cambios en los usos/coberturas del suelo, está ampliamente difundido el uso de fotografías aéreas (e.g. Cisternas et al 2001; Azócar et al., 2003). Sin embargo, otros trabajos que evalúan este fenómeno de crecimiento urbano han utilizado imágenes satelitales de distinta resolución espectral como las adquiridas por Landsat.

En este sentido, es como en el estudio de Aguayo *et al.* (2009) debido a la disponibilidad de imágenes satelitales y a la amplia ventana temporal de análisis de estudios de cambio de uso de suelo que hoy existe para hace más de 30 años atrás, es que evaluó la dinámica de los cambios en la cobertura del suelo en un área entre las cuencas de los ríos Itata y Biobío a través de dos imágenes Landsat correspondientes a los años 1979 y 2000 con el fin de evidenciar sus transformaciones y reconstruir la composición del paisaje para estos años.

El análisis de los resultados de este estudio reveló que alrededor del 40% del área en estudio ha sufrido modificaciones en casi todas las coberturas de suelo identificadas. Las que experimentaron los mayores cambios correspondieron a las plantaciones forestales, terrenos agrícolas, matorrales y bosques nativos. Las plantaciones forestales aumentaron ocho veces la superficie registrada en 1979. Los datos revelan que en el área de estudio más de 130 mil hectáreas de bosque nativo fueron sustituidas por plantaciones forestales transformándose en una de las principales causas de destrucción de estos ecosistemas. Por otro lado, las áreas urbanas aumentaron a más del doble respecto a la superficie del año 1979, ocupando fundamentalmente, terrenos agrícolas y matorrales. El resto de la

urbanización se produjo sobre bosque nativo, áreas sin vegetación y plantaciones forestales.

El estudio destaca además la libre disposición y fácil acceso de las imágenes satelitales como son las Landsat, orientadas a detectar y cuantificar las transformaciones del paisaje y describir su dinámica temporal y patrón espacial, e indagar en los efectos ecológicos a escalas locales y regionales.

Sin embargo, a pesar que los nuevos sensores proporcionan nuevas aplicaciones (Blaschke, 2010), las fotografías aéreas son las fuentes más utilizadas ya que constituyen una opción más accesible debido al alto costo de las imágenes satelitales de alta resolución, las cuales, además, son inexistentes para estudios de fechas históricas (Pascual Aguilar *et al.*, 2006).

#### **3.4. Imágenes satelitales Landsat.**

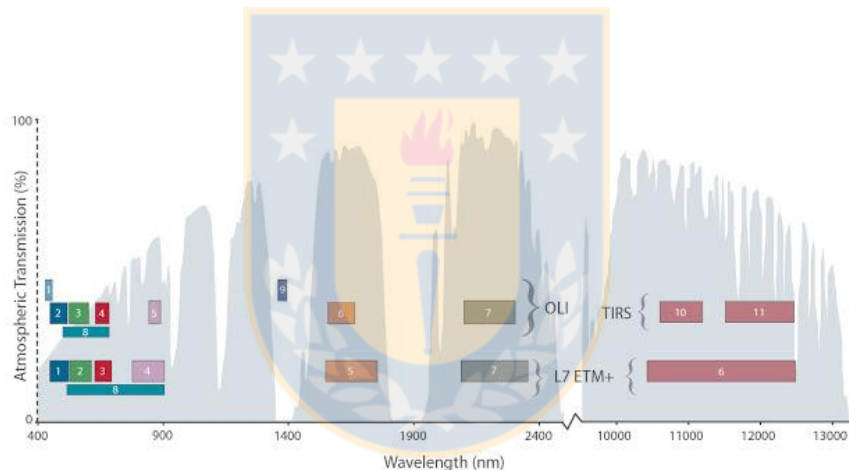
Por más de tres décadas los satélites Landsat han capturado información que ha permitido realizar estudios y evaluar los cambios producidos en cuanto a usos de suelo. Fue el primer programa de satélites de percepción remota para observación de los recursos terrestres. Desde el lanzamiento del primer satélite en 1972 con el sensor *Multispectral Scanner* (MSS), los desafíos por contar con un mejor producto no han cesado. Así entonces en 1984 se cuenta con el sensor *Thematic Mapper* (TM) y a partir de 1999 con *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) que no es más que una versión mejorada del TM y más recientemente el Landsat 8, que fue puesto en órbita en 2013 el cual posee los sensores *Operational Land Imager* (OLI) y *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). Las escenas de este satélite amplían las resoluciones espectrales de sus antiguos predecesores, registrando imágenes en 11 distintas bandas a diferencias del Landsat 7 que solo poseía 8. Son solo estos últimos los que se mantienen operativos. Entre ellos presentan algunas diferencias como la incorporación de una banda pancromática, con una resolución de 15 metros en el sensor ETM+, pero al considerar que el área que cubre una sola imagen (escena) se mantiene en aproximadamente los 185 x 185 Km<sup>2</sup> y que el período de

revolución es de 16 días, hace que sea una buena alternativa para realizar estudios multi temporales (ESRI, 2009).

**Tabla 4.** Rangos de variabilidad de resolución ( $\mu\text{m}$ ) espectral entre sensores y bandas.

Sensor	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7	Banda 8	Banda 9	Banda 10	Banda 11
TM	0,45	0,52	0,63	0,76	1,55	10,4	2,08	-	-	-	-
	0,52	0,6	0,69	0,9	1,75	12,5	2,35	-	-	-	-
ETM+	0,45	0,53	0,63	0,78	1,55	10,4	2,09	0,52	-	-	-
	0,52	0,61	0,69	0,9	1,75	12,5	2,35	0,9	-	-	-
OLI	0,44	0,45	0,53	0,64	0,85	1,56	2,1	0,5	1,36	10,6	11,5
TIIRS	0,45	0,51	0,59	0,67	0,88	1,65	2,29	0,67	1,38	11,19	12,51

Fuente: LANDSAT 8 Data user handbok 2016.



**Figura 6.** Comparación del cubrimiento de bandas entre Landsat 7 y Landsat 8.

Fuente: LANDSAT 8 handbook 2016.

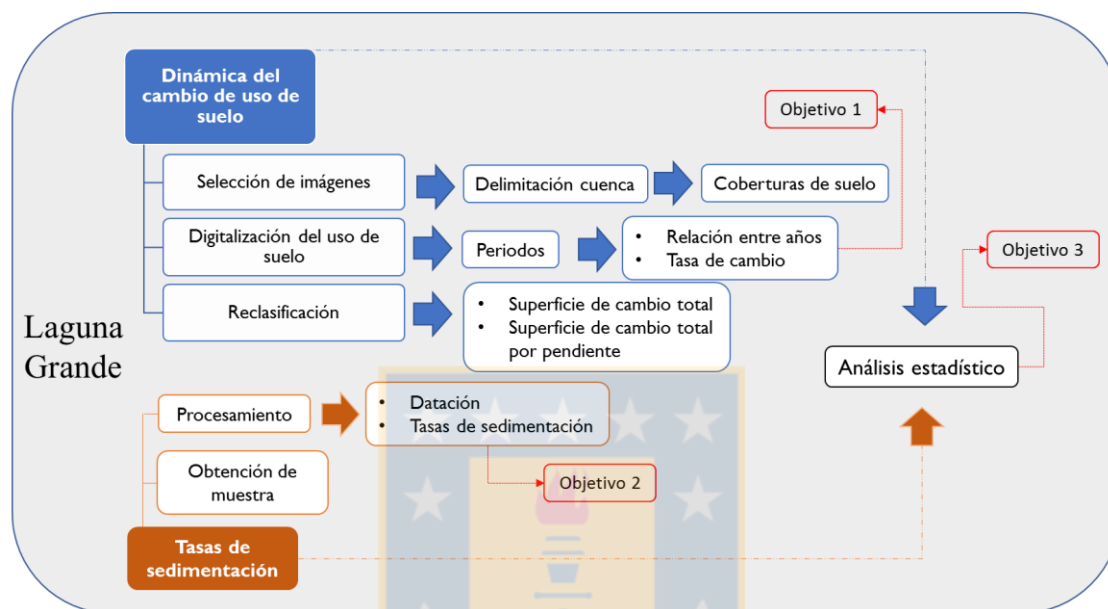
Las bandas espectrales del sensor OLI, aunque similares a Landsat 7 ETM+, proporciona mejoras de los instrumentos de los Landsat anteriores, con la incorporación de dos nuevas bandas espectrales: un canal profundo azul visible (banda 1), diseñado específicamente para los recursos hídricos y la investigación de las zonas costeras y un nuevo canal infrarrojo (banda 9) para la detección de nubes cirros. El sensor TIRS (infrarrojo termal) recoge dos bandas espectrales como indica la figura Figura 6.

Las principales aplicaciones que tienen estas imágenes están enfocadas en la identificación y clasificación de las distintas coberturas existentes en la superficie terrestre, así como la determinación de la humedad del suelo, clasificación de la vegetación, mapas hidrotermales y estudios multitemporales. Existen imágenes de archivos desde 1982 las cuales están disponibles en el sitio del Servicio Geológico de los Estados Unidos a través de la página <http://earthexplorer.usgs.gov> que permite visualizar, seleccionar y bajar escenas Landsat.



## 4. METODOLOGÍA

A continuación, se mencionarán las actividades que se realizaron para lograr los objetivos mencionados anteriormente, con especial relevancia en la asociación entre los cambios de uso de suelo y tasas de sedimentación.



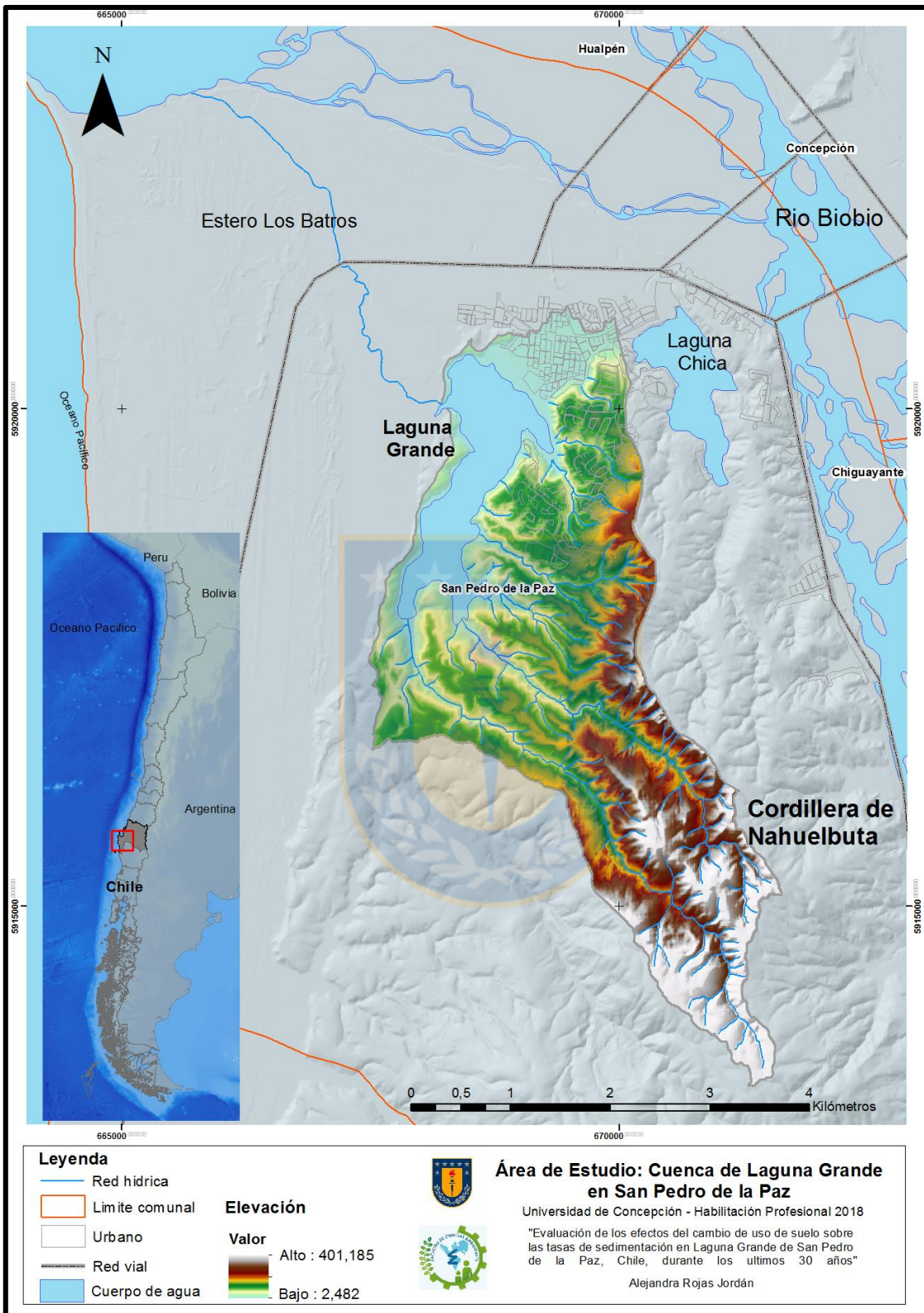
**Figura 7.**Esquema del resumen metodológico

Fuente: Elaboración propia

### 4.1. Área de estudio.

#### Sistema lacustre Laguna Grande

Se encuentra en la comuna de San Pedro de la Paz, Provincia de Concepción (VIII Región), Chile. Junto con laguna Chica, forman parte de un sistema de lagos costeros ubicados en la parte Nord occidental de la Cordillera de Nahuelbuta, al sur del río Biobío (Dellarossa *et al.*, 1979), la comuna en la que se encuentran posee una población de 80.447 habitantes (CENSO, 2002).



**Figura 8.** Localización de laguna Grande de San Pedro de la Paz.

*Fuente: Elaboración propia en base a Modelo de Elevación Digital*



En la Tabla 5 se entregan las principales características morfológicas de las lagunas en estudio.

**Tabla 5.** Principales características morfométricas del sistema lacustre Laguna Grande.

Parámetro	Laguna Grande San Pedro de la Paz
Latitud	36° 51'
Longitud	73° 06'
Profundidad máxima (m)	13
Profundidad media (m)	8,3
Área espejo (km <sup>2</sup> )	1,55
Área de la cuenca (km <sup>2</sup> )	12,7
Volumen de agua m <sup>3</sup> x 10 <sup>6</sup>	12,9
Perímetro (m)	9800
Largo máximo (m)	2675
Ancho máximo (m)	1375
Altitud (m.s.n.m)	4
Uso Actual	Navegación, pesca, deportes acuáticos

Fuente: Cruces *et al.*, 2001

La condición climática en esta comuna se define como templado cálido de tipo mediterráneo, variando hacia templado húmedo de latitudes más australes, con estación seca y húmeda similares, determinadas por el comportamiento del sistema anticlinal del pacífico y subantártico. La temperatura media más fría se registra en el mes de julio con 8,5 °C mientras que la más cálida en enero, registrándose una media de 16,1°C. La escasa amplitud térmica media pone de manifiesto la marcada influencia marítima de esta variedad climática costera que, en el caso de esta comuna, se acentúa un poco más por la presencia de varios cuerpos de agua importantes, entre ellos la Laguna Grande y Chica. Los vientos predominantes son del norte en invierno y del sur oeste en verano. Las precipitaciones por otra parte se distribuyen durante todo el año, con un total anual de 1.235 mm de agua caída repartidas de manera desigual a lo largo del año, lo que origina eventos de anegamiento e inundaciones en sectores con más depresión.

La cuenca de laguna Grande se emplaza en el pie noroccidental de la Cordillera de Nahuelbuta, en el contacto entre los relieves altos conformados por las terrazas o plataformas marinas hacia el sector oriental y sur y la Llanura litoral arenosa de topografía plana por el norte y el poniente. Además, de limitar al sur con la comuna

de Coronel y al norte con la ribera del río Biobío. Estos relieves han sido el resultado de diferentes procesos tectónicos y geodinámicos, relacionados con la acción del mar y el aporte de sedimentos acarreados por el río Biobío. El contacto entre ellas se produce a través de una tercera unidad de relieve correspondiente a las terrazas marinas de relieves escalonados de altura media (60 – 80 – 110 m.s.n.m.) de formas amesatadas y muy disectadas por quebradas, también denominadas Planicies o Plataformas litorales de origen marino. Al pie de esta unidad se origina un corredor de terrenos bajos, con drenaje deficiente, obstruidos por sedimentos y dunas dando origen a lagunas, humedales y vegas (DGA, 2014). Recibe aportes principalmente pluviales (Cisternas *et al.*, 2000). En su parte norte la laguna está represada por la sedimentación arenosa de la llanura fluvio marina y su desagüe se produce a través del humedal Los Batros.

En las quebradas más profundas de la cuenca, se observan restos de vegetación nativa, con especies como Olivillo (*Aextoxicon punctatum*), Peumo (*Cryptocarya alba*), Boldo (*Peumus boldus*), Avellano (*Gevuina avellana*), Litre (*Lithrea caustica*), Maqui (*Aristotelia chilensis*) y Canelo (*Drimys winteri*), siendo dominantes las especies exóticas, principalmente Pino insignie (*Pinus radiata*) (Parra *et al.*, 2003). Sin embargo, en los últimos años la vegetación presenta una tendencia notoriamente degradativa hacia comunidades del tipo matorral y pastizal, degradación que se traduce en erosión de los suelos (Barrientos, 1990).

Las comunidades dominantes destacan especies de Junco (*Scypus californicus*, *Juncaceae* y *Cyperaceae*). Se observa vegetación sumergida y flotante de “luchecillo” (*Egeria densa*) en casi todo el borde de la laguna, siendo su crecimiento limitado por la abundancia de cisnes (EULA, 2011).

**Tabla 6.** Usos de suelo para ecosistemas lacustres San Pedro de la Paz

Ecosistema Acuático	Uso de suelo (%)				
	Bosque nativo	Plantación forestal	Agricultura	Urbano	Protección
<b>Laguna Grande</b>	5,7	52,4	1	4,1	0

Fuente: Parra *et al.*, 2003



En Parra *et al* (2003), identifican los siguientes usos de suelo: a) bosque y matorral nativo generalmente una forma degradada de bosque, debido a la temprana intervención humana (corta y quemas), b) plantaciones forestales, áreas ocupadas por plantaciones forestales principalmente *P. radiata* y *Eucalyptus globulos*, c) áreas deforestadas con escasa o nula cobertura vegetal generadas por diversas intervenciones humanas (corta, quemas, incendios), con suelos expuestos, d) áreas con sectores de humedales y e) áreas con cobertura urbana y residencial. La Tabla 5 muestra una comparación de estos distintos usos de suelo entre ambas lagunas en estudio.

En cuanto a los sedimentos en general, Barral *et al.*, (2001) indica que los sedimentos de ambas lagunas presentan texturas fangosas (limos y arcillas) muy homogéneas, con ausencia de fracciones gruesas (arenas y gravas) de colores “Gris medianamente oscuros” con tonalidades “Gris café” y “Gris oliva”. Considerando el tamaño medio de las partículas de sedimento, los fangos de los lagos se clasifican texturalmente como "limos finos" (Wentworth, 1922). Los fondos están conformados por planicies que tienen sus mayores profundidades en los sectores centrales (Cisternas, 1999a) en cambio hacia los extremos Norte y Sur se encuentran sedimentos de tipo más gruesos (Barral *et al.*, 2001).

Las laderas y riberas de estas lagunas han sido intensamente alteradas por la acción antrópica. Este proceso se ha desarrollado en diferentes fases. Primero mediante la explotación del bosque nativo que cubría toda la cordillera, una segunda fase con las plantaciones con bosques de especies invasoras, de alto riesgo de incendios forestales y una tercera fase de corte de vegetación artificial y ocupación de los cerros y laderas con urbanizaciones, actividades turísticas y recreativas. Estos procesos han contribuido en los últimos 50 años a eutrofizar las aguas de estas lagunas a través de desechos urbanos, aceites y detergentes, aguas servidas y forestales.

Por último y de acuerdo con Parra *et al.* (2003), ninguno de los sistemas acuáticos pertenecientes a la comuna y sus cuencas lacustres se encuentran oficialmente sometidos a un régimen de protección especial y prácticamente la totalidad de sus

territorios son o han sido productivos, lo que explica el nivel de intervención al cual han sido sometidos.

El sector norte de la cuenca ha experimentado un fuerte desarrollo inmobiliario y urbanístico actualmente se encuentra ocupado por la Villa San Pedro y destacan además los barrios de Andalué y El Venado.

Esta laguna posee un fuerte proceso de eutrofización, debido al exceso del aporte de nutrientes, relacionados con el desagüe de colectores de aguas lluvias los que ocasionalmente también podrían llevar aguas servidas debido a rebases y conexiones clandestinas hacia la ribera norte de la laguna (Parra *et al.*, 1989). La constante y continua explotación de las plantaciones forestales como pino y eucaliptos también ha incidido en su contaminación.

El equilibrio de este cuerpo de agua es muy precario e inestable, por ser un cuerpo cerrado y relativamente pequeño rodeado de laderas de cerros de fácil erosión y propensas a la eutrofización por el exceso de entrada de nutrientes. Sin embargo, a pesar de las características descritas, el grado de contaminación está por debajo de lo permitido y no representan riesgos para la salud de la población.

#### **4.2. Imágenes satelitales.**

Para analizar espacial y temporalmente el cambio de uso de suelo en la cuenca de laguna Grande, fueron utilizadas siete imágenes Landsat (Path 1, Row 86) correspondientes a los años 1987, 1990, 1998, 2002, 2007, 2011 y 2016. La selección de estos años radica en que debían coincidir (en lo posible) entre los años de los segmentos de las tasas de sedimentación de los últimos 30 años (Tabla 23). Para ser seleccionadas estas escenas no debían presentar nubosidad por lo que la captura debía ser de una fecha cercana a primavera o verano. Las imágenes Landsat poseen una resolución espacial de 30 metros con una revisita de 16 días (Chuvieco, 1996). Las imágenes fueron extraídas de tres distintos satélites, los que se especifican a continuación con las fechas de captura.

**Tabla 7.** Tipos de satélites con sus sensores para cada imagen en estudio.

<b>Satélite / Sensor</b>	<b>Fecha Imágenes</b>
Landsat 4 / MMS	23/02/1990
Landsat 5 / TM	22/01/1987, 22/12/1998, 15/01/2002, 13/01/2007, 8/012011
Landsat 8 / OLI, TIRS	23/12/2016

#### 4.2.1. Tratamiento previo de las imágenes satelitales.

Para el realce de la vegetación, las imágenes fueron procesadas mediante el uso de falso color a fin de poder discriminar entre las plantaciones forestales y las masas de bosque nativo en una combinación de bandas 4 (banda del infrarrojo cercano), 3 (banda del rojo), 5 (banda del infrarrojo lejano), 2 (banda del verde).

#### 4.3. Determinación del cambio de uso de suelo.

##### *Delimitación de la cuenca de drenaje*

Debido a la necesidad de contar con la extensión de la cuenca de laguna Grande, se procedió a su delimitación computacional mediante un Modelo de Elevación Digital (MDE) a través de la utilización del *software* Arcgis 10.1.

El análisis y cuantificación de los cambios de cobertura y reemplazo de vegetación para la cuenca de laguna Grande comprende una ventana temporal de 30 años. Los usos de suelo fueron derivados de la clasificación de siete imágenes Landsat las que correspondieron a escenas entre el 1987 y 2016 mencionadas anteriormente (Tabla 7). Las imágenes fueron descargadas desde la galería del United States Geological Survey (<http://www.earthexplorer.usgs.gov>), cuyo nivel de procesamiento incluye correcciones radiométricas, geométricas y topográficas.

Esta página web tiene por objetivo proporcionar una serie de documentos y datos de coberturas globales, facilitando el alcance de las personas hacia estas

herramientas y contribuyendo a su mejoramiento, así como, el orden, visualización y manipulación de los datos espaciales.

#### 4.3.1. Categorización de los usos de suelo.

Se categorizaron los usos de suelo en ocho coberturas del suelo fácilmente identificables, esto considerando que las imágenes no solo tienen diferencia en su resolución espacial sino también en la espectral. Estas coberturas son:

1. Bosque (nativo bosque adulto y renovales)
2. Matorral (matorral esclerófilo, matorral de especies exóticas, matorral nativo arborescente)
3. Plantaciones forestales (incluye áreas recientemente explotadas o plantadas)
4. Terrenos agrícolas (incluye rotaciones cultivo/pradera)
5. Cuerpos de agua (lagos y lagunas)
6. Humedal
7. Áreas sin vegetación
8. Urbano (incluye áreas industriales)
9. Macrofitas\*

\*Esta cobertura solo se presentó en los años 1987, 1990 y 1998

La definición de cada clase de uso del suelo de la cuenca es una simplificación y agregación basada en las categorías y criterios usados en el catastro vegetacional realizado por CONAF y análisis de imágenes satelitales en base a fotointerpretación (CONAF, 2011).

Los criterios para seleccionar las áreas con las cuales se clasificaron las imágenes Landsat:

- a) Base de datos cartográfica del Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile (CONAF, 2011),
- c) Imágenes de alta resolución disponibles en Google Earth (<http://earth.google.com>).

### *Análisis temporal de los cambios en la cobertura*

Con las imágenes y sus coberturas ingresadas al SIG ArcGis 10.1 se realizó una digitalización de las coberturas mencionados anteriormente para la cuenca de laguna Grande, con la finalidad de obtener la superficie de cada una de ellas. Luego se exportaron las tablas resumen de sus superficies para cada año (Anexo 3). El análisis de los cambios de cobertura se realizó entre periodos definidos en la Tabla 8 en orden creciente para obtener su dinámica en este periodo de tiempo. Cada periodo de análisis se muestra a continuación:

**Tabla 8.** Periodos de análisis de la dinámica de las coberturas de suelo.

<b>Periodo</b>	<b>Imágenes</b>
6	2014 – 2011
5	2011 – 2007
4	2007 – 2002
3	2002 – 1998
2	1998 – 1990
1	1990 – 1987

Finalizado el procedimiento anterior, fue posible obtener las variaciones cualitativas, cuantitativas y temporales de las distintas coberturas, durante los últimos treinta años en toda la cuenca de drenaje de la laguna.

Además de la dinámica para cada periodo, se realizó una comparación entre el año más antiguo (1987) y el más actual (2016). Esta comparación consistió en demostrar como cambiaron los usos desde hace 30 años a través de mapas de superficie y una matriz de transición.

El cambio de uso del suelo para cada periodo fue cuantificado usando una matriz de transición que consiste en una tabla simétrica de doble entrada en cuyos ejes se presentan las coberturas del suelo y en cada celda la superficie de las áreas que experimentaron cambios entre los años en estudio (1987 y 2016). Las celdas que coinciden en el tipo de cobertura para cada año contienen la superficie de aquellas áreas que no experimentaron cambios durante el período (Lopez *et al.*, 2001;

Aguayo *et al.*, 2007). La matriz de transición fue construida a partir de la superposición y álgebra de mapas.

Por otro lado, las tasas de cambio para cada una de las coberturas de los periodos fueron calculadas utilizando la siguiente fórmula:

$$P = \frac{100}{t_2 - t_1} \ln \frac{S_2}{S_1}$$

donde S1 y S2 corresponde a la superficie en el tiempo t1 y t2, respectivamente y, P es el porcentaje de cambio por año (FAO 1996; Echeverría *et al.*, 2006).

#### 4.3.2. Superficie de cambio según pendientes.

Con las superficies de cada cobertura calculadas en cada periodo, a través de herramientas de análisis espacial de ArcGis 10.1 se calcularon las superficies de usos totales que presentaron cambios por periodo, reclasificando con 1 aquellas superficies en que si existieron cambios y 0 si no existieron. Estas se relacionaron con cuatro distintas pendientes. Se utilizó la clasificación de pendientes establecida por van Zuidam (1986), tal como se muestra en la Tabla 9 (Mora *et al.*, 2002). Con la finalidad de mostrar la superficie total de cambios distribuidas por cada tipo de ellas.

**Tabla 9.** Tabla de pendientes

<b>N°</b>	<b>Pendientes</b>	<b>Grados</b>
1	Baja	0 y 8
2	Moderada	8 y 16
3	Fuerte	16 y 35
4	Muy fuerte	35 >

#### **4.4. Geocronología y tasa de sedimentación.**

El muestreo de sedimentos fue realizado en enero de 2016 en el sector central y de mayor profundidad (13 metros) de la laguna, a través de la obtención de un núcleo de sedimento con un *gravity corer* el cual era de aproximadamente 30 centímetros. Los análisis radioisotópicos a partir de la datación de núcleos de sedimento con  $^{210}\text{Pb}$  y  $^{137}\text{Cs}$  de la columna de sedimento, fueron realizados en el laboratorio “Environnements et Paléoenvironnements Océaniques et Continentaux” de la Universidad de Bordeaux, Francia. Para efectos de este estudio solo se consideraron los resultados entregados de los estratos desde los centímetros 1 hasta el 23.

Las tasas de sedimentación de ambas lagunas fueron obtenidas, siguiendo la metodología descrita por Appleby & Oldfield (1992).

#### **4.5. Análisis de datos.**

Para evaluar la relación entre las variables USO DE SUELO y TASAS DE SEDIMENTACIÓN para laguna Grande, se realizó un análisis en primera instancia entre las superficies de cambio totales por periodo con las tasas de sedimentación de los últimos 30 años y luego entre estas y las tasas de cambio de los usos que presentaron cambios más significativos en los periodos seleccionados, estos fueron: Plantaciones forestales, Área sin vegetación, Urbano y Bosque.

##### **4.5.1. Correlación de Pearson entre usos de suelo y tasas de sedimentación de los últimos 30 años**

El nivel de asociación entre las dos variables antes mencionadas se realizó mediante la función de análisis del coeficiente de correlación de Pearson, la cual fue seleccionada por ser considerada una herramienta que entrega datos de fácil interpretación.

El coeficiente de correlación de *Pearson* puede ser calculado en cualquier conjunto de datos que presente variables cuantitativas, es altamente utilizado en estudios epidemiológicos debido a su fácil acceso. El cual mide la dependencia de una

variable con respecto a otra independiente y se expresa por la letra “r”, la cual oscila entre -1 para una correlación negativa perfecta, en cambio el valor es 0 si no existe relación y +1 si es una oscilación positiva perfecta (Mukaka *et al.*, 2012). Del mismo modo el coeficiente de determinación, que es el cuadrado del coeficiente de correlación de *Pearson* entrega la proporción de variación de la variable y que es explicada por la variable x. Cuanto mayor sea la proporción, mejor será la predicción.

En este análisis también fueron incorporadas las pendientes, de manera de visualizar el comportamiento en la cuenca con las tasas de sedimentación.





## 5. RESULTADOS

De la digitalización de las coberturas de suelo para la cuenca de laguna Grande, se obtuvieron las superficies para cada año (Anexo 1). Estas permitieron reconocer la localización y distribución geográfica de las diferentes coberturas y su dinámica en el tiempo. Esta dinámica se muestra primero para el primer y último año, luego aquellas por periodo.

Se reveló que, de la superficie total de 1399,42 hectáreas, 313.76 de ellas han cambiado desde 1987, lo que representa el 22,4 % (Tabla 10; Figura 15.C) siendo la cobertura de suelo urbano la de mayor expansión por sobre las demás, por el contrario, la cobertura de bosques que ha disminuido su superficie en un 30%.

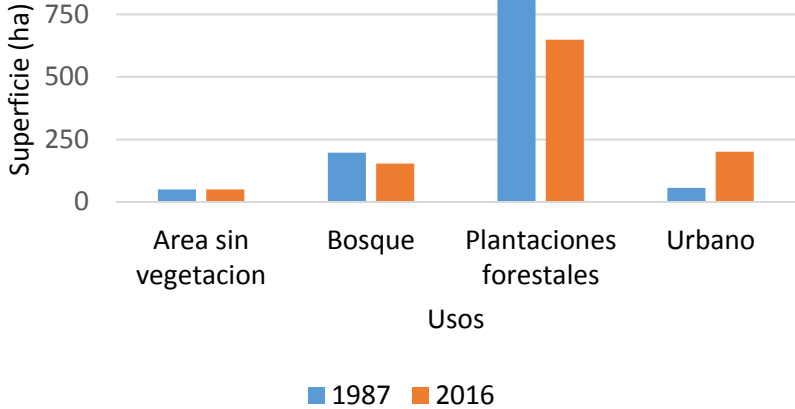
**Tabla 10.** Superficie de cambio entre 1987 y 2016

	<b>Superficie (ha)</b>
<b>Cambio</b>	313,76
<b>No Cambio</b>	1085,66

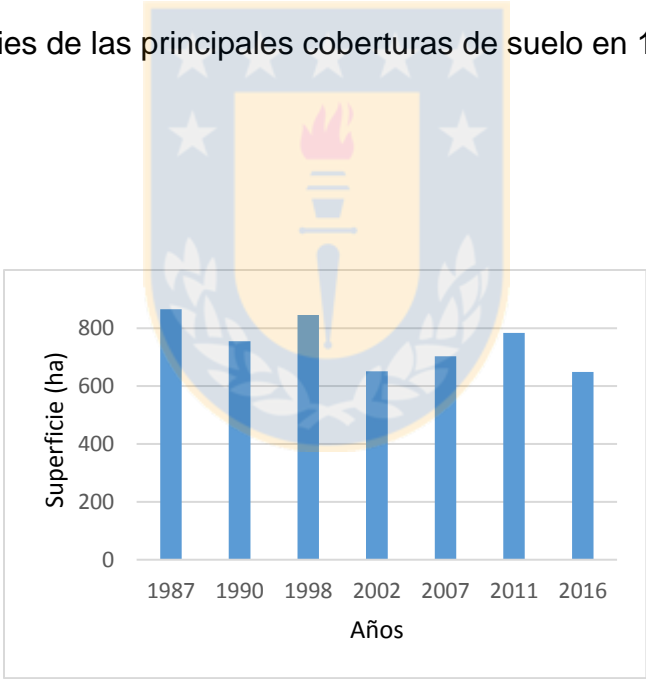
Se observa que, hacia principios de la década del noventa, la cuenca se encontraba mayoritariamente cubierta por plantaciones forestales (62%) y bosques (14%), distribuido principalmente a los pies de la cordillera de la costa en el caso de las plantaciones y hacia la cabecera y quebradas hacia el sur los bosques. En general la cobertura de bosques cubría sectores de mayores pendientes al interior de la cuenca, lo que, al contrario para esta década, las plantaciones forestales se encontraban tanto en sectores planos como de pendientes. En el año 2016 la cobertura de plantaciones siguió dominando, pero con una proporción menor (47%) y la cobertura de bosques se vio reducida (11%) y aumentó la participación de otras coberturas como la urbana (14,3%) y matorral (5,12%).

Las coberturas de suelo para estos dos años, que revelaron más cambios en la cuenca se representan a continuación en la Figura 10. De estas cuatro coberturas, las plantaciones forestales y área sin vegetación mostraron una variación y una dependencia entre ellos (Figuras 11 y 12), donde se observa que, cuando existió un

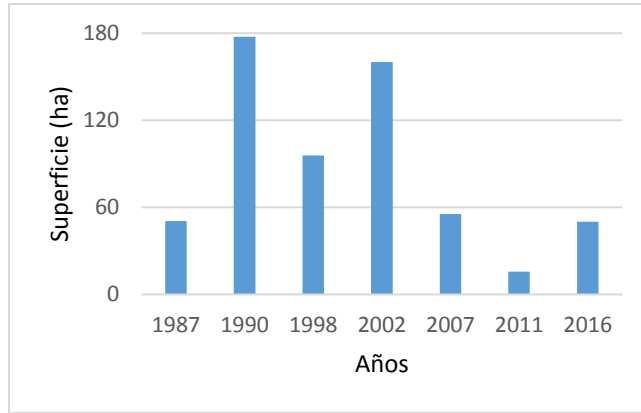
aumento de las plantaciones, el área sin vegetación, al contrario, experimentó una disminución de su superficie.



**Figura 9.** Superficies de las principales coberturas de suelo en 1987 y 2016.

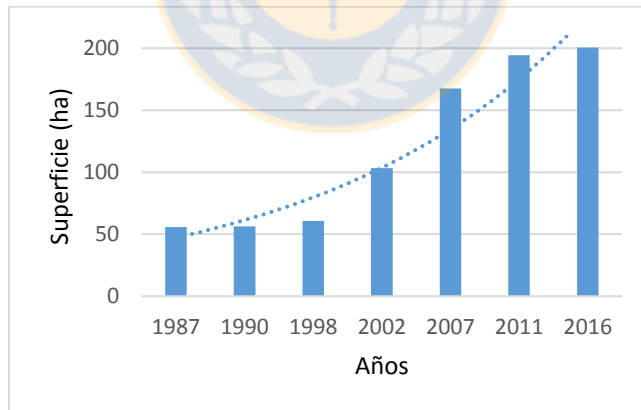


**Figura 10.** Superficie de la cobertura Plantaciones forestales

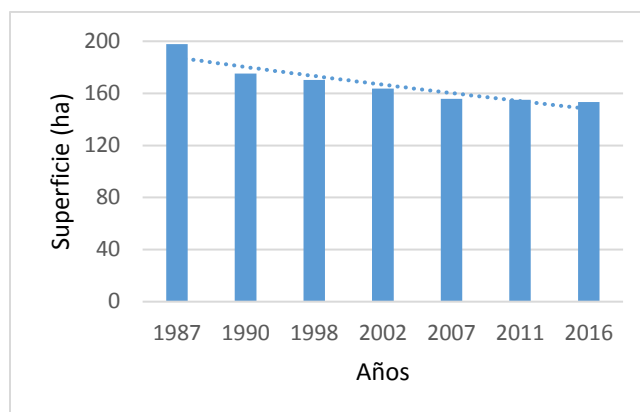


**Figura 11.** Superficie de la cobertura Área sin vegetación

La cobertura de suelo urbano en el periodo de treinta años se ha ido desplazando completamente hacia el extremo norte de la cuenca, hacia el sector este de laguna Grande (Figura 15) principalmente en sectores de pendientes moderadas, mientras que la cobertura de bosque, al contrario de esta ha ido disminuyendo su superficie (Figura 1) quedando con el 70% de la superficie desde 1987 a 2016.



**Figura 12.** Superficie de cobertura Urbano



**Figura 13.** Superficie de cobertura Bosque

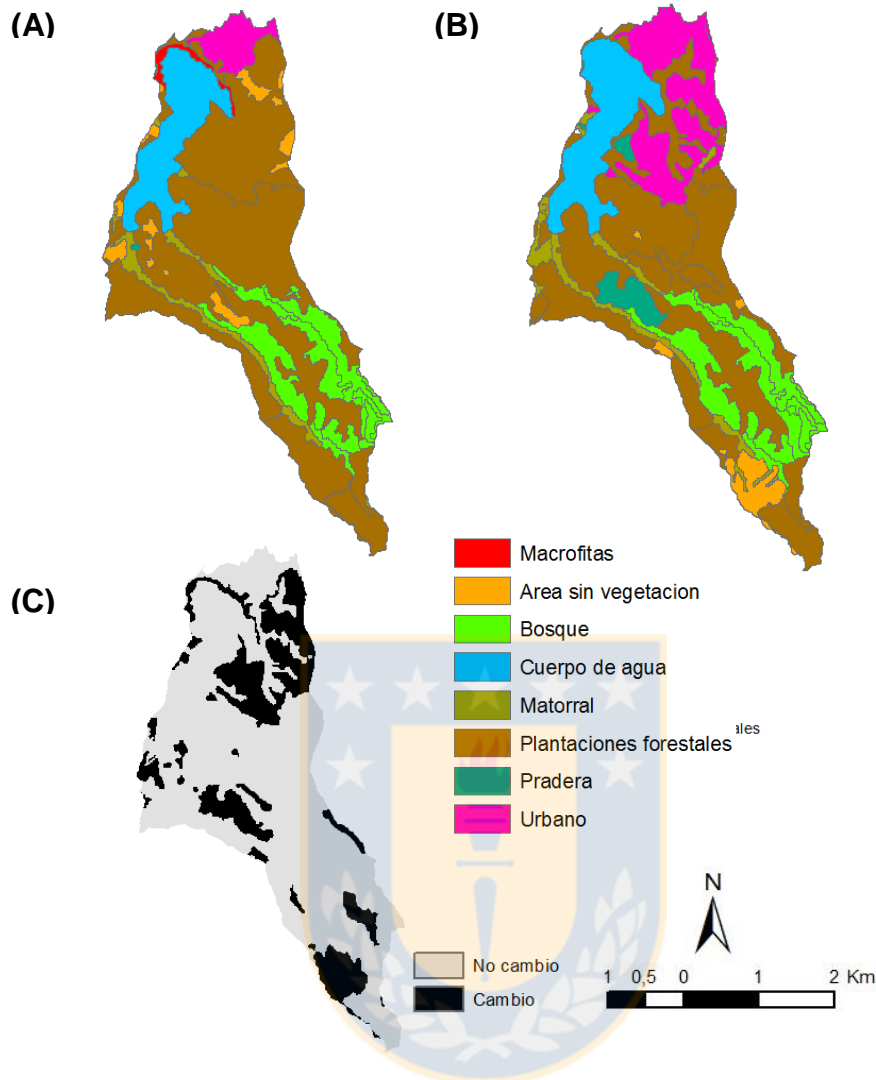
La matriz de transición (Tabla 11) muestra en la suma de las filas y columnas el área total (en hectáreas) de cada cobertura. Y cuya lectura de los valores en el sentido de las filas indica el cambio de cobertura de suelo ocurrido entre 1987 y 2016, a modo de ejemplo, para estos años, 50,01<sup>(a)</sup> hectáreas de plantaciones forestales, de un total de 866,43<sup>(b)</sup> existentes el año 1987 fueron convertidas en áreas sin vegetación. Los valores que coinciden en cobertura para cada año representan superficies que no presentaron cambios entre dichos años, por ejemplo 138,58<sup>(c)</sup> hectáreas de bosque, de un total de 197,93<sup>(d)</sup>, se mantuvieron sin modificaciones entre 1987 y 2016.

**Tabla 11.** Matriz de transición entre 1987 y 2016.

		Año 2016							Total 1987	
		Plantaciones forestales	Cuerpo de agua	Urbano	Area sin vegetación	Matorral	Pradera	Bosque		Humedal
Año 1987	Plantaciones forestales	626,68	0	129,88	50,01 <sup>(a)</sup>	11,83	35,87	11,50	0	866,43 <sup>(b)</sup>
	Cuerpo de agua	0	158,01	0	0	0	0	0	0	158,01
	Urbano	1,53	0	54,50	0	0	0	0	0	56,02
	Area sin vegetación	16,41	0	14,86	0,11	11,60	7,08	0	0,50	50,56
	Matorral	3,47	0	1,43	0	48,34	0	3,26	0	56,50
	Bosque	58,76	0	0	0	0	0	138,58 <sup>(c)</sup>	0	197,93 <sup>(d)</sup>
	Pradera	0,96	0	0	0	0	0,46	0	0	1,42
	Macrofitas	0,00	13,21	0	0	0	0	0	0	13,21
Total 2016	649,40	171,22	200,67	50,11	71,77	43,42	153,21	0,50	1399,42	

Del análisis de los datos entregados por la matriz de transición entre 1987 y 2016 se reveló que todas las coberturas han experimentado algún tipo de cambio entre estos años, prácticamente todas han cambiado porciones de superficie a las plantaciones forestales. La cobertura que presentó grandes cambios en su superficie fue la cobertura urbana (Tabla 10) la que aumentó 3.5 veces su superficie de 56 a 200 hectáreas en 2016. El 90% del incremento de esta cobertura cambió desde áreas que estaban destinadas a plantaciones forestales y el 9,7% ocupando áreas sin vegetación. Por su parte la cobertura de Bosque registró una pérdida de más de un 30% de su superficie para el año 2016, siendo reemplazadas por plantaciones forestales (Tabla 10; Figura 13). La laguna Grande ocupa una superficie de 11,3% del total delimitado en la cuenca para 1987, mientras que para el 2016 esta aumentó a 12,2%. Este aumento resultó por el traspaso de las macrófitas provenientes del año 1987.





**Figura 14.** Dinámica del uso de suelo: (A) cobertura de suelo año 1987, (B) cobertura de suelo año 2016 y (C) detección de los cambios.

### 5.1. Dinámica del cambio en el uso de suelo.

#### *Periodo 1 1987 – 1990*

El análisis de la matriz de transición reveló que cerca de un 17% del área de estudio ha sufrido modificaciones en casi todas sus coberturas de suelo identificadas para este periodo (Tabla 13). Las áreas que permanecieron sin modificaciones se concentraron, principalmente en el sector central de la cuenca y suroeste de la

cordillera de la costa (Figura 16). Por otro lado, las coberturas que experimentaron los mayores cambios para este periodo correspondieron a plantaciones forestales, área sin vegetación, pradera y macrófitas.

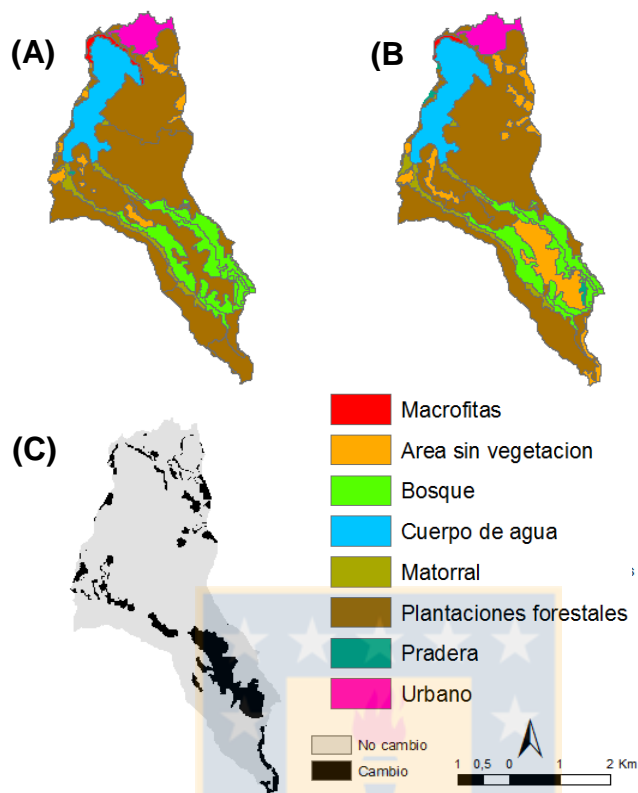
**Tabla 12.** Superficie de cambio periodo 1

Superficie (ha)	
<b>Cambio</b>	197,01
<b>No Cambio</b>	1202,41

**Tabla 13.** Matriz de transición periodo 1

		Año 1990									
		Cuerpo de agua	Urbano	Plantaciones forestales	Humedal	Pradera	Matorral	Bosque	Area sin vegetacion	A Macrofitas	1987
Año 1987	Plantaciones forestales	0	2,02	733,59	0,11	0,75	5,49	0,00	124,47	0	866,43
	Cuerpo de agua	157,44	0	0	0	0	0	0	0	1	157,96208
	Urbano	0	54,01	1,10	0	0	0	0	0,50	0	55,61
	Area sin vegetacion	0	0,03	16,32	0	2,62	1,41	0	30,07	0	50,45
	Matorral	0	0	2,84	0	0	49,42	3,26	0,99	0	56,52
	Bosque	0	0	0,36	0	3,04	0	171,60	22,53	0	197,53
	Pradera	0	0	0,91	0,33	0	0	0	0	0	1,24
	Macrofitas	7,79	0	0	0	0	0	0	0	5,44	13,23
	Total 1990	165,22	56,05	755,13	0,44	6,41	56,33	174,86	178,56	5,96	1398,96

Las plantaciones forestales revelaron que son la cobertura que más superficie ocupa la cuenca, en 1987 éstas cubrían alrededor de 866,43 hectáreas lo que representaba el 62% de la cobertura total para ese año (Tabla 13), para este periodo se obtuvo una tasa de cambio neto negativo, lo que significa que tuvo una disminución de su superficie, la mayor parte de los suelos fueron sustituidos por áreas sin vegetación, las que aumentaron 3,5 veces su superficie registrada en el año 1987 (Tabla 13), por lo que indicó un periodo de deforestación en la cuenca entre estos años, del mismo modo y en dirección contraria, la mayor parte de los suelos incorporados a plantaciones forestales para el año 1990 correspondieron a superficie de área sin vegetación.



**Figura 15.** Dinámica del uso de suelo: (A) cobertura de suelo año 1987, (B) cobertura de suelo año 1990 y (C) detección de los cambios.

En el caso de la cobertura de las Macrófitas, estas se concentraron en la rívera del sector norte de la laguna (Figura 14) en donde disminuyeron su superficie a más de la mitad (Tabla 14) las que fueron ocupadas por el cuerpo de agua para el año 1990 (Tabla 13). En tanto la cobertura de suelo Pradera, registró un aumento de seis veces su superficie en este periodo (Tabla 14).



**Tabla 14.** Tasas de cambio por cobertura periodo 1.

<b>Coberturas de suelo</b>	<b>1987 (ha)</b>	<b>(%)</b>	<b>1990 (ha)</b>	<b>(%)</b>	<b>Tasa (%)</b>
Plantaciones forestales	866,43	61,9	755,13	54,0	-4,58
Cuerpo de agua	157,96	11,3	165,22	11,8	1,50
Urbano	55,61	4,0	56,05	4,0	0,26
Área sin vegetación	50,45	3,6	178,56	12,8	42,13
Matorral	56,52	4,0	56,33	4,0	-0,11
Bosque	197,53	14,1	174,86	12,5	-4,06
Pradera	1,24	0,1	6,41	0,5	54,67
Macrófitas	13,23	0,9	5,96	0,4	-26,55
Humedal	0,00	0	0,44	0	
Total	1398,963	100	1398,96	100	

*Periodo 2 1990 – 1998*

El análisis del cambio total de superficie para este periodo mostró que, de un total de 1399 hectáreas, un 17,3 % del área de estudio ha sufrido cambios en su cobertura (Tabla 15). Las áreas que permanecieron sin modificaciones se concentraron, principalmente en el sector céntrico de la cuenca, hacia los sectores suroeste de la cordillera de la costa, los que se encontraban mayormente ocupados por plantaciones forestales (Figura 16) en donde solo disminuyeron 1,2%.

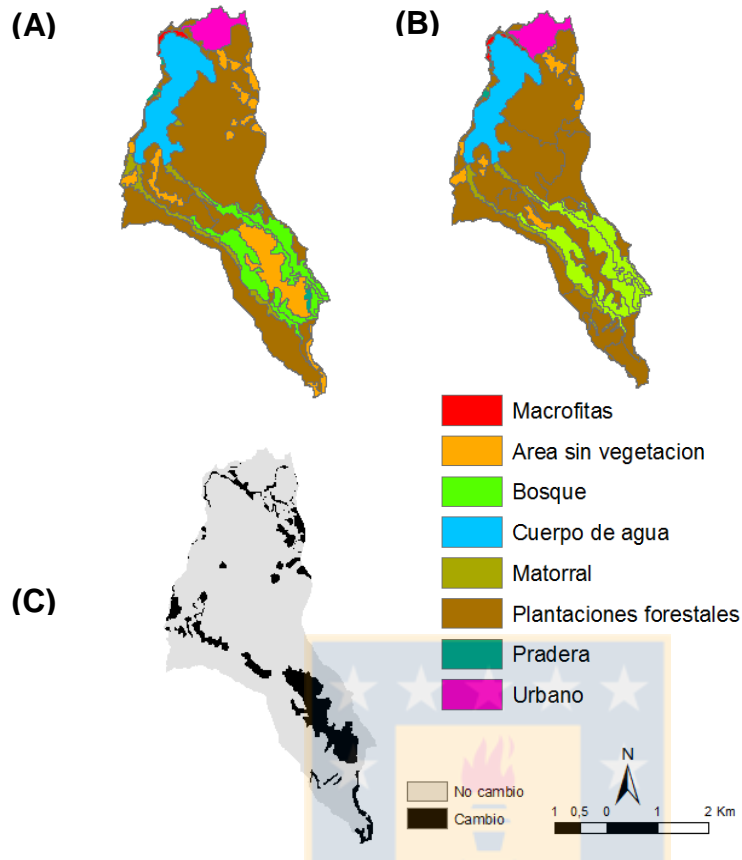
**Tabla 15.** Superficie de cambio periodo 2

	<b>Superficie (ha)</b>
<b>Cambio</b>	205,95
<b>No Cambio</b>	1193,46

**Tabla 16.** Matriz de transición periodo 2

	Año 1998									Total 1990
	Plantaciones forestales	Cuerpo de agua	Urbano	Area sin vegetacion	Pradera	Matorral	Humedal	Bosque	Macrófitas	
Año 1990										
Cuerpo de agua	0	161,91	0	0	0	0	0	0	3,31	165,22
Urbano	0,69	0	53,95	1,41	0	0	0	0	0	56,05
Plantaciones forestales	721,83	0	6,60	18,25	0,19	7,73	0,08	0,44	0	755,13
Humedal	0	0	0	0	0	0	0,44	0	0	0,44
Pradera	0,11	0	0	0	2,65	0	0	3,64	0	6,41
Matorral	10,33	0	0	1,63	0,58	43,79	0	0	0	56,33
Bosque	0	0	0	46,27	0	0	0	174,86	0	174,86
Area sin vegetacion	112,74	0	0,19	28,11	0	0,03	0	37,50	0	178,56
Macrófitas	0	1,38	0	0	0	0	0	0	4,58	5,96
Total 1998	845,69	163,29	60,74	95,67	3,42	51,55	0,52	170,20	7,90	1398,96

Los resultados entregados por la matriz de transición, mostraron que las coberturas que experimentaron mayores cambios durante este periodo corresponden a área sin vegetación, pradera, macrófitas y humedal. Por consiguiente, el área sin vegetación disminuyó dos veces su superficie desde 1990 (Tabla 17) la cual fue mayormente reemplazada por Plantaciones forestales (Tabla 16). Aun cuando el cambio de la cobertura de área sin vegetación tuvo un valor negativo en la tasa de cambio, la mayor parte de los suelos incorporados a este se le atribuye a Bosques, mientras que por su parte, la cobertura de Bosques tuvo su mayor cambio desde suelos destinados a la cobertura de área sin vegetación (Tabla 17 y 16).



**Figura 16.** Dinámica del uso de suelo: (A) cobertura de suelo año 1990, (B) cobertura de suelo año 1998 y (C) detección de los cambios.

En el caso de la cobertura Pradera, esta disminuyó a la mitad de su superficie registrada en 1990, en tanto que la cobertura de Macrófitas aumentó en un par de hectáreas principalmente hacia sectores adyacentes de donde se encontraba.

**Tabla 17.** Tasas de cambio por cobertura periodo 2

<b>Coberturas de suelo</b>	<b>1990 (ha)</b>	<b>(%)</b>	<b>1998 (ha)</b>	<b>(%)</b>	<b>Tasa (%)</b>
Cuerpo de agua	165,22	11,8	163,29	11,7	-0,15
Urbano	56,05	4,0	60,74	4,3	1,01
Plantaciones forestales	755,13	54	845,69	60,5	1,42
Humedal	0,44	0	0,52	0	2,15
Pradera	6,41	0,5	3,42	0,2	-7,83
Matorral	56,33	4,0	51,55	3,7	-1,11
Bosque	174,86	12,5	170,20	12,2	-0,34
Área sin vegetación	178,56	12,8	95,67	6,8	-7,80
Macrófitas	5,96	0,4	7,9	0,6	3,51
<b>Total</b>	<b>1398,96</b>	<b>100</b>	<b>1398,96</b>	<b>100</b>	

*Periodo 3 1998 – 2002*

Los resultados para este periodo muestran que el cambio de superficie fue de un 24,5 % (Tabla 18) los que se concentraron hacia el sector sureste de la laguna, principalmente en la parte suroeste de la cordillera de la costa (Figura 16). Prácticamente se presentaron cambios en casi toda la cuenca, las coberturas que experimentaron las mayores alteraciones fueron las áreas sin vegetación, urbano, plantaciones forestales y Pradera. La cobertura de Matorral y Humedal también experimentaron grandes cambios considerando la poca superficie que abarcan (Tabla 20).

**Tabla 18.** Superficie de cambio periodo 3

	<b>Superficie (ha)</b>
<b>Cambio</b>	343,48
<b>No Cambio</b>	1055,93

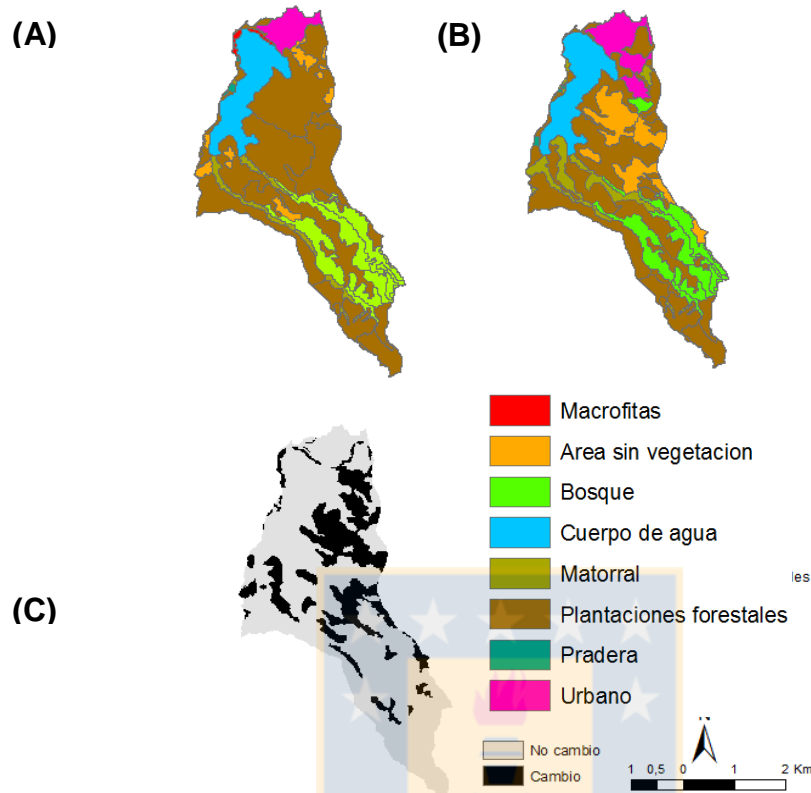
El aumento de 67 % de la superficie registrada en el año 1998 para la cobertura de Área sin vegetación en la cuenca explica, una deforestación en este periodo, ya que la totalidad de los cambios ocurridos en esta cobertura se realizaron sobre Plantaciones forestales (Tabla 19). La que obtuvo una tasa de cambio negativa que significó una disminución del 19% del total de esta para el año 1998. Por su parte las Plantaciones forestales, debido a lo mencionado anteriormente, resultaron en una disminución de al menos un quinto de su superficie, dando paso no solo a Áreas sin vegetación, sino que también un 21% de su cambio a la cobertura de Matorral y 14% Urbano (Tabla 19; Figura 16).

**Tabla 19.** Matriz de transición periodo 3

		Año 2002								
		Plantaciones forestales	Cuerpo de agua	Humedal	Pradera	Matorral	Bosque	Area sin vegetacion	Urbano	Total 1998
Año 1998	Plantaciones forestales	602,42	0	0	0,69	41,31	15,42	160,56	29,32	845,69
	Cuerpo de agua	0	163,29	0	0	0	0	0	0	163,29
	Urbano	1,21	0	0	0	0	0	0	59,53	60,74
	Area sin vegetacion	19,77	0	0	47,67	13,94	0,19	0	14,00	95,67
	Pradera	0,41	0	0	1,19	1,63	0	0	0,19	3,42
	Matorral	16,82	0	0	0,03	34,71	0	0	0	51,55
	Humedal	0,19	0	0,03	0,30	0	0	0	0	0,52
	Bosque	10,46	0	0	0	11,90	147,90	0	0	170,36
	Macrófitas	0	7,90	0	0	0	0	0	0	7,90
	Total 2002	651,29	171,19	0,03	49,88	103,49	163,57	160,56	103,04	1398,96

En el caso de la cobertura Urbana, esta aumentó más de la mitad de su superficie registrada en el año 1998, donde el 67% correspondían a Plantaciones forestales y el 32% provenían de Áreas sin vegetación (Tabla 19). Por su parte la cobertura de Pradera aumentó quince veces su superficie registrada en 1998, donde el 98% correspondían a cobertura de Área sin vegetación y el 2% se distribuyó entre las coberturas de Matorral y Humedal.





**Figura 17.** Dinámica del uso de suelo: (A) cobertura de suelo año 1998, (B) cobertura de suelo año 2002 y (C) detección de los cambios.

La cobertura de Humedal de suelo presentó una tasa de cambio negativa (Tabla 20), la cual registró una pérdida del 94% de su superficie registrada para el año 1998, donde el 61% dio paso a Pradera (Tabla 19). Los Matorrales por otro lado, aumentaron al doble su superficie, donde el 78% correspondían a Plantaciones forestales, sin embargo, el 30% de su superficie para este periodo, cambió a Plantaciones. En este periodo, las Macrófitas presentaron una pérdida del 100% de su cobertura, las que se incorporaron a la superficie ocupada por el Cuerpo de agua (Tabla 19; Figura 18).

**Tabla 20.** Tasas de cambio por cobertura periodo 3

<b>Coberturas del suelo</b>	<b>1998 (ha)</b>	<b>(%)</b>	<b>2002 (ha)</b>	<b>(%)</b>	<b>Tasa (%)</b>
Plantaciones forestales	845,69	62,5	651,29	48,0	-6,53
Cuerpo de agua	163,29	12,1	171,19	11,6	1,18
Urbano	60,74	4,5	103,04	7,6	13,21
Área sin vegetación	95,67	7,1	160,56	11,8	29,47
Pradera	3,42	0,3	49,88	3,7	32,97
Matorral	51,55	2,8	103,49	6,6	17,42
Humedal	0,52	0	0,03	0	-22,61
Bosque	170,20	12,6	163,58	12,1	-0,99
Macrófitas	7,9	0,6	0	0	-
<b>Total</b>	<b>1398,72</b>	<b>100</b>	<b>1398,72</b>	<b>100</b>	

*Periodo 4 2002 – 2007*

De un total de 1398,9 hectáreas, un 30,9% de ellas han sufrido un tipo de cambio durante este periodo (Tabla 21), distribuidos la mayoría hacia los sectores altos al interior de la cuenca (Figura 19). La mayor proporción de superficie para el año 2002 estaba ocupada por plantaciones forestales con 651,3 hectáreas (46,5%) seguido por bosques con 163,6 (11,7%) y áreas sin vegetación con 160,56 (11,5%). Lo que para el año 2007 cambiaron a plantaciones forestales con 702,8 hectáreas (50%), aparece en segundo lugar la cobertura de uso urbano con 167,7 hectáreas (11,9%) y bosques con 155,53 hectáreas (11,1%).

**Tabla 21.** Superficie de cambio periodo 4

	<b>Superficie (ha)</b>
<b>Cambio</b>	431,54
<b>No Cambio</b>	1160,42

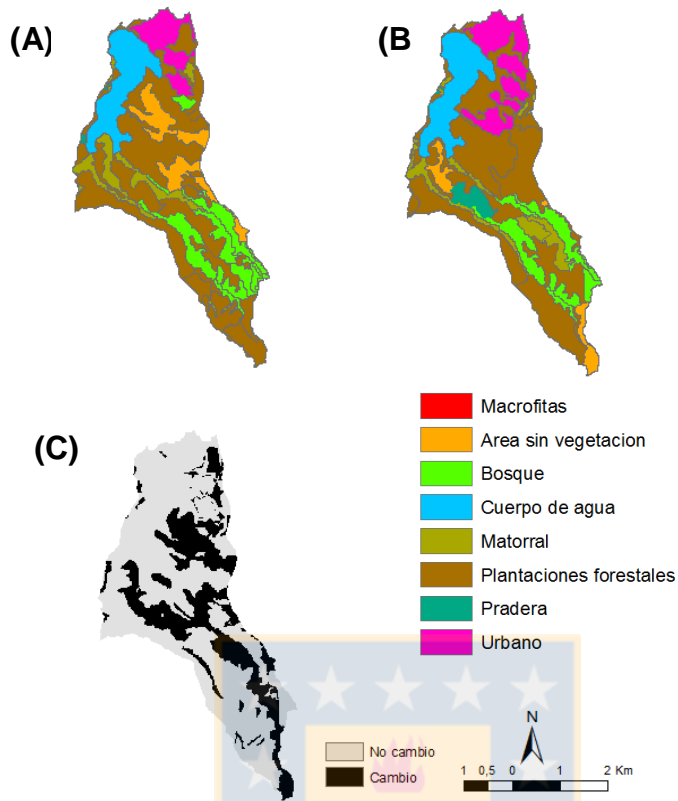
**Tabla 22.** Matriz de transición periodo 4

	Año 2007								Total 2002
	Cuerpo de agua	Urbano	Pradera	Matorral	Plantaciones forestales	Bosque	Area sin vegetacion	Humedal	
Año 2002									
Plantaciones forestales	0	22,45	32,72	34,49	522,21	3,95	35,48	0	651,29
Cuerpo de agua	171,19	0	0	0	0	0	0	0	171,19
Humedal	0	0	0,03	0	0	0	0	0	0,03
Pradera	0	0	1,19	1,99	0,22	0	0	0,30	49,88
Matorral	0	5,80	2,68	39,43	25,51	11,76	18,31	0	103,49
Bosque	0	0	0	10,45	31,39	135,85	0	0	163,58
Area sin vegetacion	0	38,16	0	0	116,77	3,98	1,66	0	160,56
Urbano	0	95,95	0	0	7,10	0	0	0	103,04
Total 2007	171,19	167,71	36,61	86,35	702,80	155,53	55,44	0,35	1398,96

Las trayectorias de cambio (Tabla 22) para las plantaciones forestales, las que aumentaron en un 8%, provienen en un 64,6% de áreas sin vegetación, 20,8% destinadas a bosques y 14% a matorral. Los bosques por su parte, obtuvieron una tasa de cambio negativa (Tabla 23), estas disminuyeron en un 5% su superficie al año 2007, cuyas transformaciones consistieron en la pérdida y traspaso de un 19% a plantaciones forestales y un 6,3% a matorral de su superficie en 2002, a pesar de esta reducción en su superficie, con la que disminuyó a 135,8 hectáreas, también recibió aportes de otras, aumentando esta en 19,7 hectáreas, de las cuales un 59,7% provino de matorral y un 20% de áreas sin vegetación y de plantaciones forestales.

Las áreas sin vegetación obtuvieron también una tasa de cambio negativa alta, con una disminución en un 65% de su superficie para el año 2007. El 72,7% de su superficie inicial pasó a plantaciones forestales, un 23,7% a áreas urbanas y un 2,4% a bosques. De su superficie resultante en 2007, el 64% correspondía a áreas sin vegetación y un 33% de matorrales.





**Figura 18.** Dinámica del uso de suelo: (A) cobertura de suelo año 2002, (B) cobertura de suelo año 2007 y (C) detección de los cambios.

La cobertura de uso urbano obtuvo un aumento del 62%, del cual, el mayor aporte proviene de áreas sin vegetación con un 53%, seguido de las plantaciones forestales que aportaron con un 31% de su superficie. En el caso de la cobertura de matorral, esta disminuyó en un 16,6% su superficie, transformando principalmente en un 24,6% de su superficie en 2002 a plantaciones forestales y un 11,3% a bosques y dividiéndose el resto a áreas sin vegetación, superficie urbana y pradera (Tabla 22).

**Tabla 23.** Tasas de cambio por cobertura periodo 4

<b>Coberturas del suelo</b>	<b>2002 (ha)</b>	<b>(%)</b>	<b>2007 (ha)</b>	<b>(%)</b>	<b>Tasa (%)</b>
Plantaciones forestales	651,29	46	703,19	50,3	1,53
Cuerpo de agua	171,19	10	171,19	12,2	0,00
Humedal	0,03	0	0,30	0	47,96
Pradera	49,88	4	36,61	3,6	-6,18
Matorral	103,49	8	86,35	7,2	-3,62
Bosque	163,58	12	155,84	11,1	-0,97
Área sin vegetación	160,56	12	55,44	4,0	-21,27
Urbano	103,04	8	167,71	12,0	9,74
<b>Total</b>	<b>1398,98</b>	<b>100</b>	<b>1398,94</b>	<b>100</b>	

*Periodo 5 2007 – 2011*

Un 17% de la superficie total de este periodo sufrió algún tipo de cambio (Tabla 24), en el 2007 se encontraba mayormente cubierto por plantaciones forestales (50%), urbano (11,9%), bosque (11,1%), matorral (6,17%) y áreas sin vegetación (4%). Para el 2011, la superficie total de la cuenca se distribuye con las plantaciones forestales aun dominando con un 56%, seguido del uso urbano cubriendo ahora un 14%, el área destinada a bosques se mantiene en 11,1%, los matorrales en 4,8% y el área sin vegetación con 5,12%.

**Tabla 24.** Superficie de cambio periodo 5

	<b>Superficie (ha)</b>
<b>Cambio</b>	238,99
<b>No Cambio</b>	1193,46

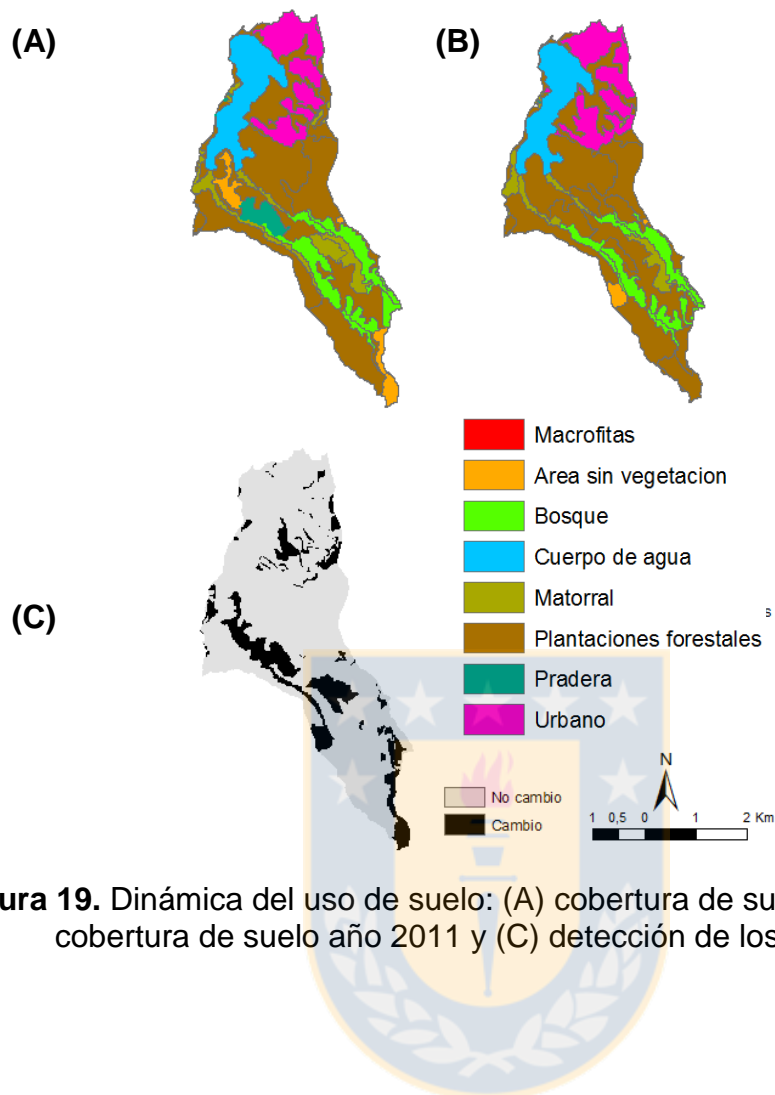
Se observa que, al contrario del periodo anterior, las principales transformaciones no ocurrieron en gran medida, en el caso de las plantaciones forestales, estas aumentaron un 11,3%, equivalente a un cambio neto de 80,1 hectáreas. De la superficie total de esta cobertura en 2011, el 6,8% proviene de áreas sin vegetación, 4,3% de praderas, 3,3% de bosques y 3,1% de matorral principalmente. La otra cobertura que tuvo un aumento en este periodo es la urbana, la cual incrementó un

16%, donde el principal uso que cedió parte de su superficie fue la de plantaciones forestales con un 18,3%, seguido por matorral con un 2,9%.

**Tabla 25.** Matriz de transición periodo 5

		Año 2011							Total 2007	
		Plantaciones forestales	Cuerpo de agua	Urbano	Matorral	Pradera	Bosque	Area sin vegetacion		Humedal
Año 2007	Cuerpo de agua	0	171,19	0	0	0	0	0	0	171,19
	Urbano	11,71	0	156,00	0	0	0	0	0	167,71
	Pradera	33,57	0	0	1,82	0,69	0	0	0,52	36,61
	Matorral	24,10	0	2,90	56,76	0	13,14	0	0	86,35
	Plantaciones forestales	634,42	0	35,78	8,28	0	10,30	14,41	0	703,19
	Bosque	25,93	0	0	0	0	129,61	0	0	155,53
	Area sin vegetacion	53,59	0	0	0,47	0	0	1,38	0	55,44
	Humedal	0	0	0	0	0,30	0	0	0	0,30
	Total 2011	783,32	171,19	194,68	67,33	0,99	155,12	15,79	0,52	1398,96

Por otro lado, la cobertura de área sin vegetación resultó con una disminución del 71%, pasando de 55,4 a 15,8 hectáreas, principalmente por el traspaso del 96% de su superficie a las plantaciones forestales, quedando con 1,4 hectáreas, las que, a la vez, recibieron también aportes de esta última, en concreto el 91% de la superficie final para 2011 de áreas sin vegetación provienen de las plantaciones. Los matorrales registraron una pérdida de 19 hectáreas, traducido en un 21,9% de su superficie del 2007 y su principal traspaso, fue con un 28% hacia áreas forestales, 15,2% a bosques y 3,4% a uso urbano.



**Figura 19.** Dinámica del uso de suelo: (A) cobertura de suelo año 2007, (B) cobertura de suelo año 2011 y (C) detección de los cambios.

**Tabla 26.** Tasas de cambio por cobertura periodo 5

<b>Coberturas de suelo</b>	<b>2007 (ha)</b>	<b>(%)</b>	<b>2011 (ha)</b>	<b>(%)</b>	<b>Tasa (%)</b>
Cuerpo de agua	171,19	12,2	171,19	12,2	0,00
Urbano	167,71	12,0	194,68	13,9	3,73
Pradera	36,61	2,6	0,99	0,1	-90,16
Matorral	86,35	7,8	67,34	5,8	-12,04
Plantaciones forestales	703,19	50,3	783,32	56,0	2,70
Bosque	155,84	11,1	154,96	11,1	-0,14
Área sin vegetación	55,44	4,0	15,79	1,1	-31,39
Humedal	0,30	0	0,52	0	13,66
<b>Total</b>	<b>1399,27</b>	<b>100</b>	<b>1399,30</b>	<b>100</b>	

Periodo 6 2011 – 2016

La superficie de cambio para este periodo fue de un 17,1%, la que se produjo en mayor medida hacia la parte media en el sector sur de la cuenca (Figura 21). La cobertura forestal es la con mayor superficie en este periodo, la que disminuyó en un 17%, resultando con una tasa negativa de cambio con 649,5 hectáreas, otra cobertura que presento una disminución en su superficie fue la de bosques, con un 1,2%. Al contrario las superficies de uso urbano, matorral y áreas sin vegetación incrementaron su superficie en comparación al año 2011, en un 3%, 6,5% y 3.5 veces respectivamente.

**Tabla 27.** Superficie de cambio periodo 6

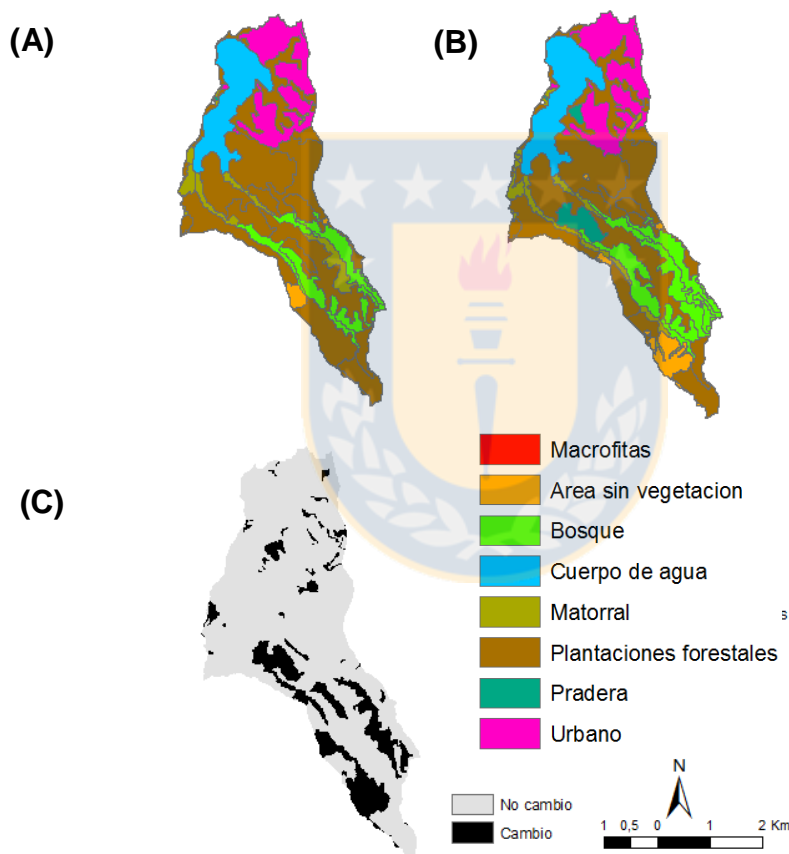
Superficie (ha)	
<b>Cambio</b>	238,95
<b>No Cambio</b>	1160,46

**Tabla 28.** Matriz de transición periodo 6

		Año 2016								
		Plantaciones forestales	Cuerpo de agua	Urbano	Area sin vegetacion	Matorral	Pradera	Bosque	Humedal	Total 2011
Año 2011	Plantaciones forestales	621,02	0	16,73	48,73	16,32	40,26	10,26	0	783,32
	Cuerpo de agua	0	171,19	0	0	0	0	0	0	171,19
	Urbano	9,28	0	184,03	0	1,38	0	0	0	194,68
	Matorral	1,50	0	0	0	40,53	1,82	21,48	0	67,34
	Pradera	0	0	0	0	0	0,99	0	0	0,99
	Bosque	17,52	0	0	0	17,39	0	120,21	0	155,12
	Area sin vegetacion	11,23	0	0	1,38	0	0	1,19	0	15,79
	Humedal	0	0	0	0	0	0	0	0,52	0,52
	<b>Total 2016</b>	<b>649,55</b>	<b>171,19</b>	<b>200,76</b>	<b>50,11</b>	<b>71,62</b>	<b>43,07</b>	<b>153,20</b>	<b>0,52</b>	<b>1398,96</b>

En efecto, las plantaciones forestales mostraron cambios en su cobertura principalmente hacia, áreas sin vegetación en un 6,21% seguido de uso de suelo de praderas, urbano y matorral con 5.1%, 2.1 y 2.1%. La cobertura, en cambio que más traspasó superficie a las plantaciones fue la de bosques con 2,7% de su superficie para el año 2016 y áreas sin vegetación con un 1,7%. La cobertura urbana resultó la segunda mayor superficie para el 2016, pero no tuvo un gran aumento en su superficie, su principal trayectoria provino únicamente desde plantaciones forestales

las cuales aportaron con 16,7 hectáreas. En el caso de los bosques, obtuvo una pérdida de su superficie, reflejado en el signo de su tasa de cambio, de su cobertura inicial 11,2% cambio a plantaciones forestales y 11,1 a matorrales. Al contrario, los matorrales y las áreas sin vegetación obtuvieron una tasa de cambio positiva durante este periodo, los que provienen, en el caso de los matorrales principalmente de bosques 24% y plantaciones forestales 22,7%. Las áreas sin vegetación por otro lado mostraron que sus cambios provienen en su totalidad de superficies forestales, indicando que el 97% de su superficie total registrada en 2016, proviene de este uso.



**Figura 20.** Dinámica del uso de suelo: (A) cobertura de suelo año 2011, (B) cobertura de suelo año 2016 y (C) detección de los cambios.

**Tabla 29.** Tasas de cambio por cobertura periodo 6

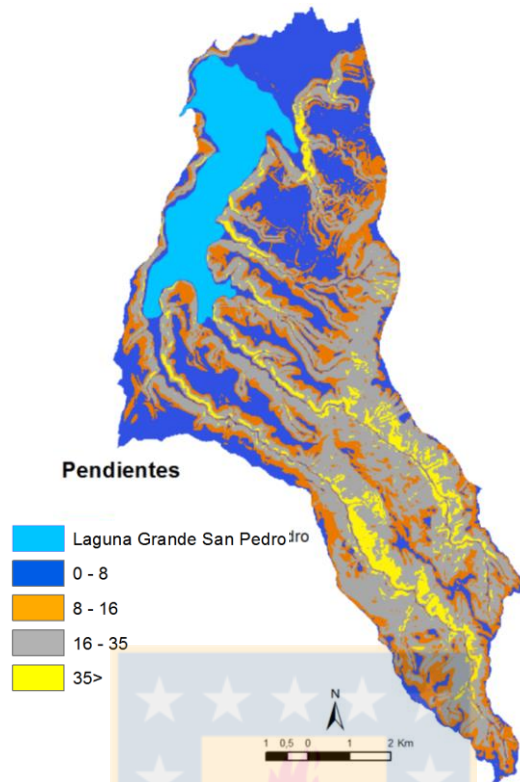
Coberturas del suelo	2011 (ha)	(%)	2016 (ha)	(%)	Tasa (%)
Plantaciones forestales	783,32	56,0	649,55	48,5	-3,75
Cuerpo de agua	171,19	12,2	171,19	12,8	0,00
Urbano	194,68	13,9	200,76	15,0	0,61
Matorral	67,34	4,8	71,62	5,3	1,23
Pradera	0,99	0,1	43,07	3,2	75,38
Bosque	155,12	11,1	153,21	11,4	-0,25
Área sin vegetación	15,79	1,1	50,11	3,7	23,09
Humedal	0,52	0	0,52	0	0
Total	1398,84	100	1398,84	100	

## 5.2. Pendientes predominantes en la superficie de cambio.

Del análisis de los resultados de la distribución de pendientes en la cuenca de laguna Grande, se muestra que el 37,3% de la superficie total se encuentra en pendientes bajas hacia los sectores bajos de la cordillera de la costa, principalmente rodeando de norte a sur por el costado este de la laguna Grande, el 36% en pendientes fuertes, las que se encuentran hacia el interior de la cuenca, en los sectores altos de la cordillera en dirección sureste, por otro lado el 20,7% se encuentra en pendientes de tipo moderada y por último sólo el 6% en pendientes muy fuertes (Tabla 30; Figura 20).

**Tabla 30.** Distribución de pendientes en la cuenca de laguna Grande.

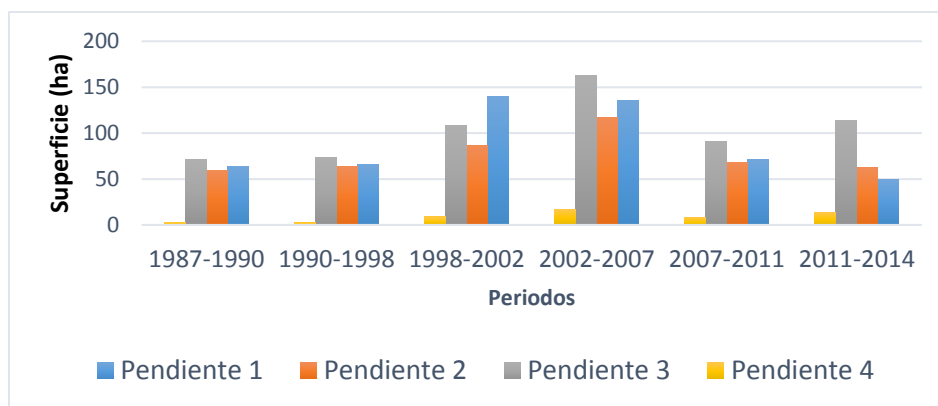
Pendiente	Tipo	Superficie (ha)
1	Baja	521,56
2	Moderada	289,52
3	Fuerte	503,45
4	Muy Fuerte	85,28
Total	-	1399,81



**Figura 21.** Distribución de pendientes en la cuenca de laguna Grande San Pedro.

Los resultados de la superficie de cambio para cada periodo y según los tipos de pendientes en la cuenca (Figura 21), indican que, durante los últimos 30 años, la superficie de cambio ha predominado en pendientes de valor 3 en cada periodo, la cual es del tipo fuerte, a excepción del periodo 1998-2002 donde predominó el cambio en pendientes de tipo baja. Además de lo anterior, se distinguen dos periodos de mayor cambio en las superficies (1998-2002; 2002-2007) y se observa que las mayores transformaciones se realizaron en las pendientes 1 y 3 respectivamente.





**Figura 22.** Superficie de cambio por tipo de pendiente en cada periodo.

### 5.3. Tasa de sedimentación de los últimos 100 años

El análisis de los datos de sedimentación obtenidos de laguna Grande, de acuerdo con la cronología  $^{210}\text{Pb}$ , que entrega resultados de años antes del presente, considerando el “presente” como el año 2014, muestra el comportamiento y los cambios que ha experimentado durante los últimos 100 años, con una tendencia positiva en este periodo (Figura 24).

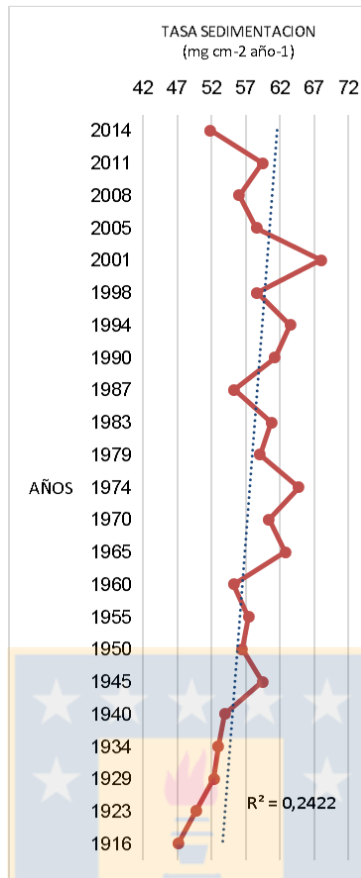
La datación está comprendida entre 1910 y 2014 con un promedio por estrato (centímetros) de 4,5 años. De los datos se observa que, la tasa de sedimentación promedio es de  $57,13 \text{ mg cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$  y que, a mayor profundidad, las tasas de sedimentación disminuyen, aumentando hacia las capas más superficiales. Se distinguen algunas variaciones en su comportamiento, el valor mínimo de esta datación se encontró en el año 1910, el cual coincide con el estrato más antiguo de esta extracción, con una tasa de sedimentación de  $45,39 \text{ mg cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$ . Por otro lado, el valor máximo ocurrió en el estrato acumulado entre 1998-2001, con un registro de  $68,04 \text{ mg cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$ , lo que indica que se acumularon 68 miligramos de sedimento por  $\text{cm}^2$  en un periodo aproximado de tres años.

De la misma forma, se observan como en 1940-1945, 1955-1960, 1970-1974, 1983-1987 y 2011-2014 existieron periodos de quiebre en la datación (Figura 22). De los primeros registros obtenidos de la datación, la tasa de sedimentación se mantuvo

en constante aumento, con un promedio de  $2,35 \text{ mg cm}^{-2}\text{año}^{-1}$ , en este sentido, no es hasta 1950, o sea 40 años después de estos registros que se produce la primera disminución. Luego de esto, los valores mínimos no disminuían de los  $55 \text{ mg cm}^{-2}\text{año}^{-1}$ , si no sólo hasta los últimos registros, fluctuando permanentemente entre los 55 y los  $68 \text{ mg cm}^{-2}\text{año}^{-1}$ . (Tabla 31; Figura 22).

**Tabla 31.** Geocronología y tasa de sedimentación para Laguna Grande de San Pedro.

Profundidad del sedimento (cm)	Datación (años)	Tasa de sedimentación ( $\text{mg cm}^{-2} \text{año}^{-1}$ )
1	2014	51,88
2	2011	59,46
3	2008	56,05
4	2005	58,59
5	2001	68,04
6	1998	58,65
7	1994	63,54
8	1990	61,25
9	1987	55,34
10	1983	60,78
11	1979	59,09
12	1974	64,78
13	1970	60,45
14	1965	62,81
15	1960	55,27
16	1955	57,43
17	1950	56,47
18	1945	59,46
19	1940	54,00
20	1934	53,06
21	1929	52,39
22	1923	49,79
23	1916	47,16
24	1910	45,39



**Figura 23.** Tasa de sedimentación de los últimos 100 años en Laguna Grande de San Pedro.

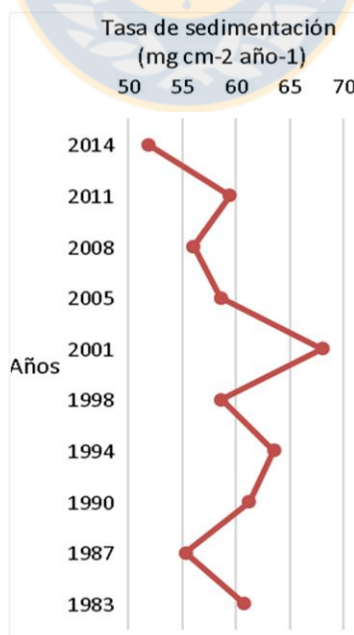
#### **5.4. Correlación entre los usos de suelo y tasas de sedimentación últimos 30 años en el área de estudio.**

Del análisis de correlaciones entre los cambios de uso de suelo en la cuenca y las tasas de sedimentación de los últimos 30 años (Tabla 32), se obtuvieron los coeficientes de correlación de *Pearson* y el coeficiente de determinación para cada relación. Para realizar estas correlaciones se utilizaron las superficies de cambio totales por periodo expresadas en hectáreas y las tasas de cambio para las coberturas: plantaciones forestales, área sin vegetación, urbano y bosque en porcentaje con las tasas de sedimentación en mg cm<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> de los últimos 30 años (Tabla 32; Figura 25). Además de estas, se relacionaron las superficies de cambio por tipo de pendiente con las tasas de sedimentación.

En la **tabla 33** se resumen las correlaciones de las tasas de sedimentación de laguna Grande asociadas tanto para la superficie de cambio por periodo como para las distintas tasas de cambio (Plantaciones forestales, Área sin vegetación, Urbano y Bosque). Se obtuvo en primera instancia que las tasas de sedimentación asociadas a las superficies de cambio presentaron una correlación positiva media con valor 0,68 además de presentar un coeficiente de determinación de 0,46 representado en el diagrama de dispersión (Figura 24). Lo que indica que el 46% de la variación de las tasas de sedimentación es influenciada por los cambios en la superficie.

**Tabla 32.** Geocronología y tasas de sedimentación de los últimos 30 años para laguna Grande San Pedro de la Paz.

Profundidad del sedimento (cm)	Datación (años)	Tasa de sedimentación ( $\text{mg cm}^{-2} \text{año}^{-1}$ )
1	2011	51,88
2	2008	59,46
3	2005	56,05
4	2001	58,59
5	1998	68,04
6	1994	58,65
7	1990	63,54
8	1987	61,25



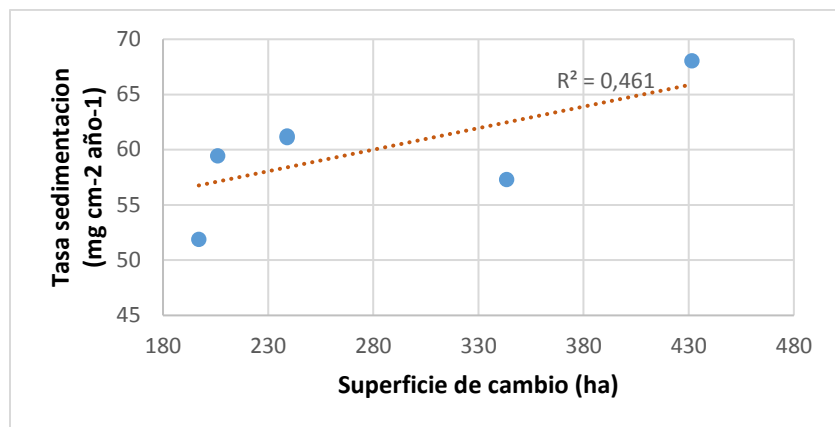
**Figura 24.** Tasas de sedimentación de los últimos 30 años para laguna Grande San Pedro de la Paz.

De los resultados de la correlación (Tabla 33), se observa que la superficie de cambio por periodo, la tasa de cambio urbano, las pendientes de valor 1 y 4 y las tasas de cambio forestal presentaron los coeficientes más altos con valores 0.68, 0.55, 0.53, 0.49 y 0.46 respectivamente. El diagrama de dispersión de la tasa de cambio urbano (Figura 29) muestra una línea de tendencia positiva, lo que indica, en este caso, que los cambios producidos en las tasas de cambio en la cobertura urbano, los que han aumentado durante los últimos 30 años, han influenciado en un 30% en el aumento en las tasas de sedimentación (Tabla 33).

De la misma manera, para el caso de las superficies de cambio distribuidas en las pendientes de valor 1 (bajas), se puede observar que al presentar una correlación positiva, se entiende que el aumento de los cambios ocurridos en estas pendientes durante los últimos 30 años, han influenciado en el aumento de las tasas de sedimentación, más bien, un 28% de los aumentos en las tasas de sedimentación producidos en la cuenca han sido influenciados por los aumentos en la superficie de las pendientes más bajas (Figura 31).

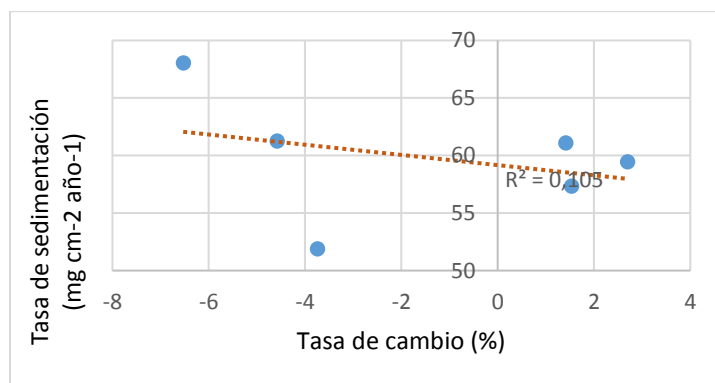
**Tabla 33.** Resultados de correlación de Pearson para las superficies de cambio, tasas de cambio y pendientes asociadas a las tasas de sedimentación de laguna Grande.

Coeficientes	Tasa de sedimentación ( $\text{mg cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$ )	
	Pearson r	Determinación $r^2$
Superficie de cambio (ha)	0,68	0,32
Tasa de cambio P. forestales (%)	0,46	0,11
Tasa de cambio A. sin vegetación (%)	0,20	0,04
Tasa de cambio Urbano (%)	0,55	0,30
Tasa de cambio Bosque (%)	0,25	0,06
Pendiente 1 (ha)	0,53	0,28
Pendiente 2 (ha)	0,09	0,01
Pendiente 3 (ha)	0,29	0,08
Pendiente 4 (ha)	0,49	0,25



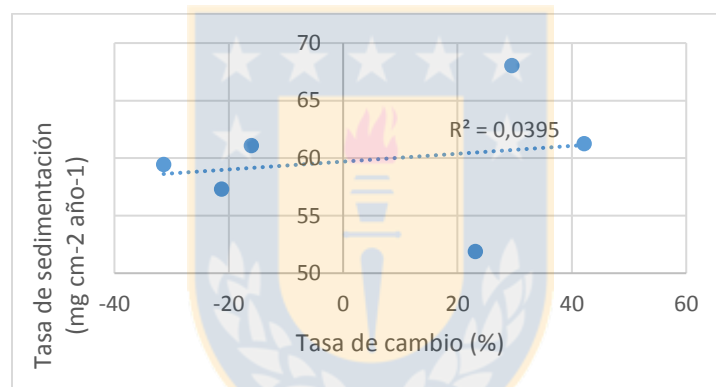
**Figura 25.** Correlación entre superficie de cambio y tasa de sedimentación de los últimos 30 años para laguna Grande San Pedro de la Paz.

Sin embargo, las dos últimas correlaciones mencionadas anteriormente resultaron negativas. Para el caso de las plantaciones forestales, se observa que obtuvo tasas de cambio tanto negativas como positivas, indica que cuando aumenta la pérdida de esta cobertura se produce más sedimentación, la que disminuye cuando su tasa de cambio es positiva, o sea cuando hay un aumento de su superficie (Figura 25). Por su parte la superficie de cambio en los periodos de estudio ubicadas en pendientes de valor 4 (muy fuertes), obtuvieron un coeficiente de determinación de 0.25, donde se predice que el 25% de los cambios de superficie ocurridos en estas pendientes durante los últimos 30 años han influenciado en las variaciones de las tasas de sedimentación. Esta variación muestra una tendencia que a medida que los cambios en estas pendientes aumentan, las tasas de sedimentación disminuyen (Figura 30).

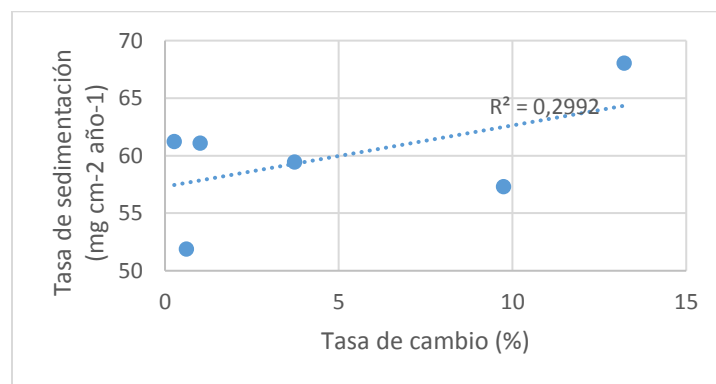


**Figura 26.** Correlación entre tasa de cambio P. forestales y tasa de sedimentación los últimos 30 años para laguna Grande San Pedro de la Paz.

Para las tasas de cambio de área sin vegetación, bosques y las superficies de cambio en las pendientes 2 y 3 con las tasas de sedimentación resultaron con coeficientes muy bajos. En efecto para el área sin vegetación, si bien resultó con una línea de tendencia positiva, su coeficiente de determinación de 0.04 indica que solo un 4% de la variación de las tasas de sedimentación está dada por las tasas de cambio de esta cobertura para el periodo de estudio (Figura 26). En dirección contraria, la correlación de las tasas de cambio de bosques con las tasas de sedimentación resultó negativa, reflejado en el diagrama de dispersión donde muestra que solo un 6% de los cambios en las tasas de cambio de esta cobertura ha influido en la variabilidad de las tasas de sedimentación (Figura 28).

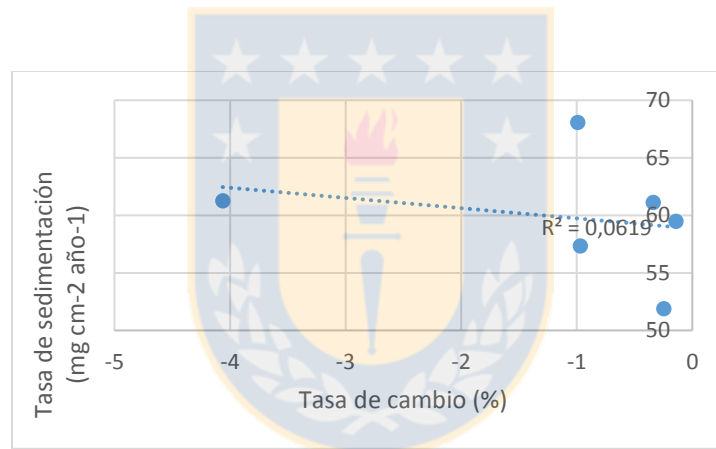


**Figura 27.** Correlación entre tasa de cambio área sin vegetación y tasa de sedimentación los últimos 30 años para laguna Grande San Pedro de la Paz.

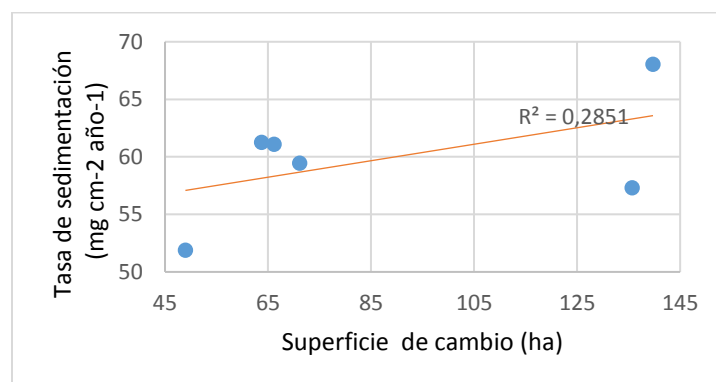


**Figura 28.** Correlación entre tasa de cambio urbana y tasa de sedimentación los últimos 30 años para laguna Grande San Pedro de la Paz.

La superficie de cambio en pendientes de valor 2, resultó con una correlación positiva muy débil, con un coeficiente de determinación de 0,009 lo que indicaría que solo un 0,9% de los cambios de superficie efectuados en este tipo de pendiente ha tenido influencia en los cambios en las tasas de sedimentación. Distinto es el caso de la correlación entre la superficie de cambio efectuada en pendientes fuertes y las tasas de sedimentación, ya que al contrario de la anterior, esta resultó con una tendencia negativa, lo que explica que a medida que han aumentado los cambios de superficie en este tipo de pendiente, las tasas de sedimentación han presentado una tendencia a disminuir, sin embargo, su coeficiente de determinación indica que 8% de la variabilidad de esta se encuentra influenciada por estas transformaciones en pendientes del tipo fuertes para los años en estudio.

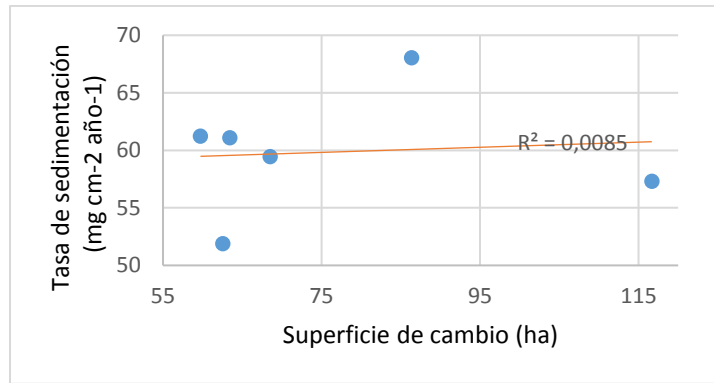


**Figura 29.** Correlación entre tasa de cambio de bosque y tasa de sedimentación los últimos 30 años para laguna Grande San Pedro de la Paz.

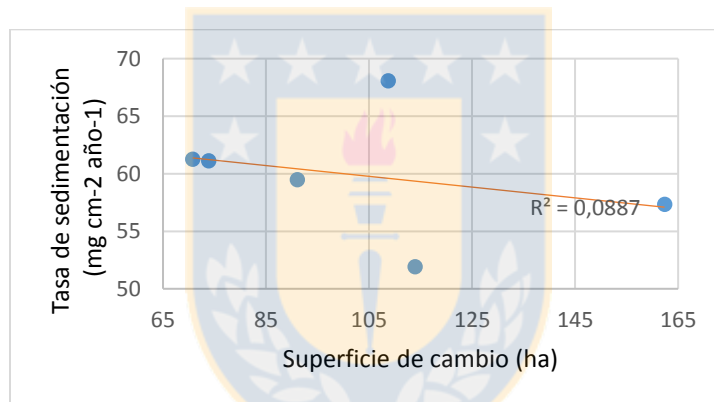


**Figura 30.** Correlación entre superficie de cambio en pendientes bajas y tasa de sedimentación los últimos 30 años para laguna Grande San Pedro de la Paz.

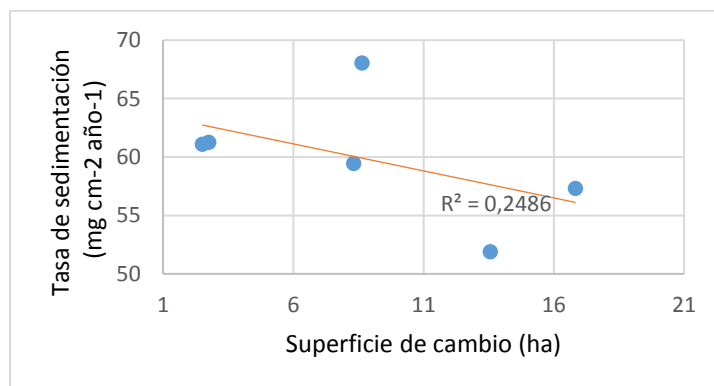




**Figura 31.** Correlación entre superficie de cambio en pendientes moderadas y tasa de sedimentación los últimos 30 años para laguna Grande San Pedro de la Paz.



**Figura 32.** Correlación entre superficie de cambio en pendientes fuertes y tasa de sedimentación los últimos 30 años para laguna Grande San Pedro de la Paz.



**Figura 33.** Correlación entre superficie de cambio en pendientes muy fuertes y tasa de sedimentación los últimos 30 años para laguna Grande San Pedro de la Paz.

## 6. DISCUSIÓN

### *Aspectos metodológicos*

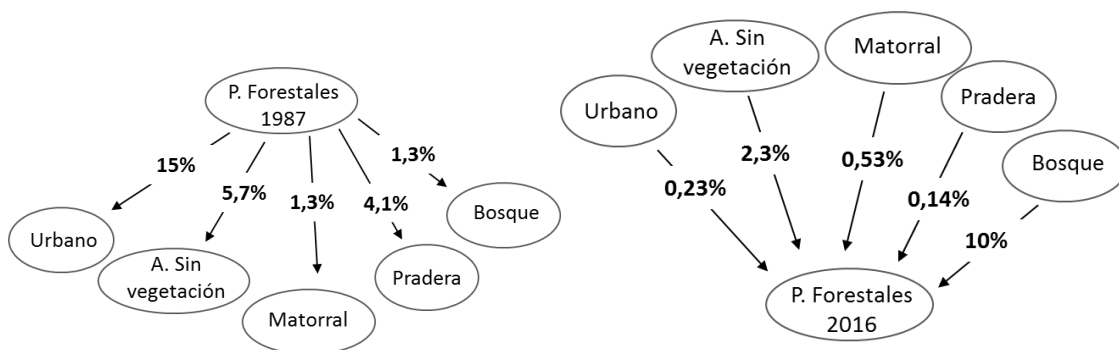
La utilización de imágenes satelitales de diferentes años como las Landsat está generando una motivación para investigaciones relacionadas con el cambio de uso de suelo tanto en Chile como en el mundo. La información proveniente de estos sensores remotos permite entregar aproximaciones bastante concretas y acercadas a la realidad, la cual debe ser de gran exactitud debido a que en base a estos análisis dependen las estimaciones que se generan (Lillesand *et al.*, 2004). Las imágenes satelitales se encuentran a libre disposición y de fácil acceso para encontrar escenas de hace más de 45 años atrás. La utilización de este tipo de imágenes se ha convertido en una gran herramienta en los estudios ambientales los que, con el fin de detectar y cuantificar las transformaciones en cuencas hidrográficas, paisajes y sistemas naturales pueden indagar en los efectos ecológicos a escala local y regional. Lo anterior da cuenta de la importancia y gran potencial en la utilización de este tipo de imágenes para el estudio de variables ambientales. Para efectos de este estudio, la disponibilidad de imágenes y la metodología de análisis espacial fue exitosa a excepción que no se encontraron escenas entre los años 1990 y 1998. Sin embargo, fueron suficientes para evaluar la dinámica de los cambios de uso de suelo en un área representativa de la octava región. Dicho esto, fue posible reconstruir la composición y transición espacial de la cobertura terrestre para los años 1987, 1990, 1998, 2002, 2007, 2011 y 2016, agrupados en periodos cada dos de estos años y así cuantificar sus cambios en el transcurso de estos 30 años.

Los sedimentos, en especial los de origen lacustre, demuestran ser una opción acertada para reconstruir el pasado, los eventos y situaciones que han sucedido en la cuenca y poder crear la historia ambiental a través del análisis de estos los que paralelamente se pueden ir comparando con los sucesos alrededor de la cuenca, de manera de entender su comportamiento. Estos análisis, para efectos de este estudio permitió conocer con bastante exactitud la cronología y con ello, el

comportamiento de las tasas de sedimento de los últimos 100 años de acuerdo con los datos provenientes del núcleo extraído desde el fondo de la laguna, considerando que los centímetros más profundos contienen las capas más antiguas mientras que los superiores los que se han depositado en los últimos años, pero estos análisis no solo entregan la edad del sedimento, sino que su composición química y biológica puede inferir en las condiciones prístinas y las diferentes transformaciones ambientales ocurridas a lo largo del tiempo.

### *Dinámica del uso de suelo*

Los resultados obtenidos muestran que el sistema lacustre ha experimentado grandes cambios entre los periodos temporales analizados. De los registros de uso de suelo, se observa que a principios del noventa la cuenca se encontraba dominada en más de la mitad de su superficie por las plantaciones forestales (Tabla 11) y en un 4% por el uso urbano, para el año 2016 las plantaciones disminuyeron en un 25% su superficie, las que ahora ocupan menos de la mitad del área de la cuenca, mientras que el uso urbano para este año ahora ocupa el 14%, la que aumentó 3.5 veces su superficie registrada en 1987. Sobre la base de los resultados, es posible identificar la dinámica de las transformaciones entre 1987 y 2016.



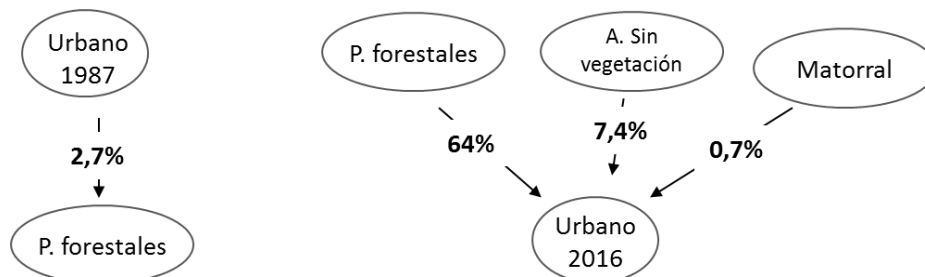
**Figura 34.** Trayectorias de cambio de la cobertura de plantaciones forestales entre 1987 y 2016.

Sin embargo, las principales transformaciones que han tenido estas coberturas en el caso de las plantaciones forestales han sido para el uso de suelo urbano y áreas sin vegetación (Figura 35), en este sentido se observa una relación entre este último y las plantaciones (Figuras 11 y 12), las que indican que la cuenca pasa por periodos de cosecha forestal, lo que se ve reflejado en el aumento de la superficie de plantaciones forestales con la consiguiente disminución de las áreas sin vegetación. Se puede deducir de esto que cada 4-5 años, se produce una deforestación en distintos sectores de la cuenca, siendo catalogada como la principal causal de cambios en la región (CONAF, 2011). Debido a lo anterior y a la revisión de la dinámica de este uso en la cuenca, este se encontraría en un proceso de explotación forestal para el 2016, el que por ende debería presentar un aumento de su superficie en las próximas actualizaciones, no obstante, la deforestación para este año abarca una superficie considerablemente pequeña en comparación a otros periodos, la que además se ubica en el extremo sur de la cuenca. Además de esto, se evidencia que extensas superficies de plantaciones reemplazaron el bosque nativo, matorrales y pradera, siendo los bosques los que resultaron ser los que más superficie traspasó a las plantaciones. Esta dinámica también se ha dado a nivel regional, donde las plantaciones forestales han sido el segundo, seguido de terrenos agrícolas en ocupar este tipo de superficies (CONAF, 2011). Este reemplazo de vegetación por especies forestales comenzó en el país en la década del treinta, con el proceso de incentivo forestal, junto con la promulgación de la Ley de Bosques, en donde el Estado manifestó su voluntad de motivar y apresurar la incorporación de especies exóticas a través de bonificaciones como forma de controlar la erosión que afectaba al país orientado al sector privado (Cisternas et al., 1999), pero no es hasta la década del setenta que comienza a masificarse la expansión de las plantaciones de especies exóticas apoyada por el Decreto 701, que subsidia este tipo de plantaciones, impulsando fuertemente el desarrollo forestal en Chile, aumentando la tasa de forestación anual de 48 mil hectáreas entre 1965-1974 a 83 mil entre 1975-1991 (Millan & Carrasco, 1993).

Para el caso de la cobertura urbana, su expansión de 144 hectáreas como se mencionó anteriormente se realizó en un 90% de este, en terrenos de plantaciones

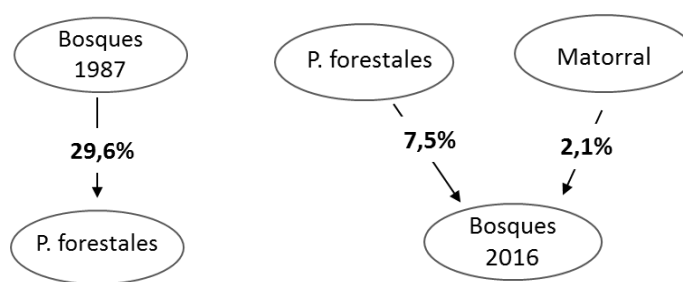
forestales. Esta cobertura, además, se encuentra en un constante aumento (Figura 13), lo que se explica por el aumento demográfico que ha presentado la comuna el último tiempo (Figura 2). Esta tendencia no es solo a nivel local, si no que regional, durante el año 1998 y 2008, en la región habrían aumentado un 38,8% su superficie, catalogando al uso “áreas urbanas e industriales” como las de mayor cambio (CONAF, 2011). En la comuna de San Pedro de la Paz, comenzó en la década del sesenta, cuando se construye la Villa San Pedro, con más de 2000 viviendas, en el sector norte de la cuenca (Parra *et al.*, 1989) y se intensificó entre los años 1965 y 1980 (Cisternas *et al.*, 2000), durante este periodo el crecimiento urbano en los alrededores de laguna Grande, ciertamente provocaron una gran presión sobre su sistema, dejando escurrir sus aguas servidas provocando la entrada de gran cantidad de nutrientes al cuerpo de agua (Cruces *et al.*, 2001).

Esta situación de expansión urbana concuerda con la situación actual para esta laguna del estudio efectuado por Leal (2015), donde se estimaron los porcentajes actuales y estimaciones de los escenarios futuros, para todas las cuencas de los afluentes directos a la laguna en base a imágenes satelitales, evidenciando una cuenca totalmente urbanizada y afirma que los niveles de nutrientes que llegan actualmente a la cuenca son altos y que a medida que se siga urbanizando, según su proyección, estas aumentarán debido al incremento de la escorrentía por falta de infiltración y retención superficial, provocando consigo el aumento de las cargas de nutrientes y solidos drásticamente, provocando que la laguna continúe eutrofizándose.



**Figura 35.** Trayectorias de cambio de la cobertura urbana entre 1987 y 2016.

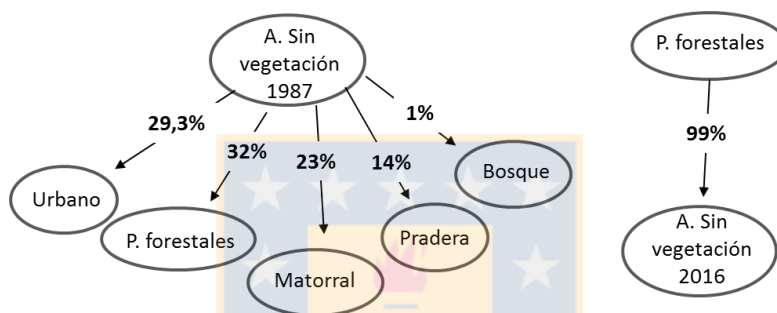
La cobertura de bosques por su parte ha perdido 44,7 hectáreas en estos 30 años, las que fueron sustituidas en su totalidad por plantaciones forestales. De la superficie resultante en 2016, un 7,5% proviene de áreas sin vegetación y 2,1% de matorrales (Figura 37). Del mismo modo en el Catastro de uso de suelo y vegetación realizado por CONAF, los resultados indicaron que los bosques nativos presentaron una disminución entre 1998 y 2008 de un 1%, indicando que su reemplazo se debió en primer lugar hacia plantaciones (CONAF, 2011). En Lara et al., (1996), indica que extensas superficies de bosques habrían sido reemplazadas por plantaciones en diversas regiones del país, convirtiéndose en una de las principales causas de la destrucción de estos ecosistemas, situación que también se explica por el crecimiento que ha tenido la industria después de la aplicación de la ley de incentivo forestal antes mencionada y, por la creciente demanda de los productos derivados de la madera y la pulpa (Lara et al., 2002). Sin embargo, hoy existen sellos de certificación como CERTFOR desde el 2003, reconocido por la PEFC (sistema de certificación forestal de reconocimiento internacional) y FSC desde 2005, que son procesos de certificación forestal, lo cual promueve mejores prácticas medioambientales, entre ellas el manejo adecuado de bosques certificando que los productos y servicios forestales proveniente de ellos, están cumpliendo estándares económicos, sociales y ambientales. Actualmente, el 70% de las plantaciones forestales del país cuentan con alguno de estos sellos (INFOR, 2015).



**Figura 36.** Trayectorias de cambio de la cobertura de bosques entre 1987 y 2016.

Esto último no elimina la existencia de un problema y no difiere con los resultados de otros estudios en cuanto a pérdidas de vegetación nativa (Echeverría *et al.*, 2006; Aguayo *et al.*, 2009; CONAF *et al.*, 1999), los que indican que esta causa continúa

siendo una de las más relevantes en la pérdida de bosque nativo en la zona centro y sur de Chile, lo que, según lo planteado, continuarán transformándose en plantaciones de tipo forestal, matorrales y praderas, generando bosques de baja calidad y en sectores de difícil acceso, considerando además que las empresas forestales como CMPC están modernizando sus plantas en la región como planta Laja y su producción en Santa Fe II y que proyectaban un aumento en 60.000 toneladas anuales; esta inversión en el sector, permitiría inferir o ayudar a explicar con más razón la ocupación de otros terrenos y el aumento de las superficies de plantaciones en la región en los últimos años (CONAF, 2011).



**Figura 37.** Trayectorias de cambio de la cobertura de áreas sin vegetación entre 1987 y 2016

A pesar de que las áreas sin vegetación resultaron entre ambos años con una superficie similar, esta se relaciona con lo dicho anteriormente con respecto a su relación con las plantaciones forestales y los procesos de cosecha. Para el año 2016 las áreas sin vegetación cubrían una superficie de 50,1 hectáreas, disminuyendo un 1% en comparación a 1987. Sin embargo, esta cobertura presentó una dinámica de transformaciones la mayor parte en distintas áreas de la cuenca, entregando en mayor cantidad a las plantaciones forestales con un 32%, seguido al área urbana, despejando terrenos para su expansión en un 29,3%. Un 23% se transformaron en matorrales, lo que puede significar crecimiento de nuevas plantaciones. Pero a pesar de que sus transformaciones fueron para cinco coberturas, solo las plantaciones forestales transformaron su superficie a las áreas sin vegetación, aportando el 99% de su superficie al año 2016 (Figura 38).



De los seis periodos estudiados, se observó que los cambios más importantes se produjeron en los periodos 3 y 4. Donde las principales transformaciones para el caso del 3 se debieron a la expansión urbana, lo que se podría deber a la independización de San Pedro de la Paz en 1960, fecha en la cual deja de pertenecer a la comuna de Coronel y comienza a tener un gran auge, por ejemplo, en 2002 se empezaba a consolidar el barrio de Andalué ubicado en el sector noreste de la laguna, este barrio además es el segundo de mayor crecimiento con 88,2% el que aumentó de 1.608 habitantes en el año 2002 a 13.600 en el año 2016 (SECPLA, 2017). Además de esto, la notable disminución de las plantaciones forestales que fueron totalmente reemplazadas por áreas sin vegetación indicaría en este periodo un proceso de deforestación. Mientras que en el periodo 4 los principales cambios reflejaron un aumento de las plantaciones forestales las que sustituyeron en gran cantidad las áreas sin vegetación, seguido de coberturas de matorral y bosque. Por otro lado, en este periodo se observa que la cobertura urbana aumentó considerablemente, la que se asentó preferentemente en áreas destinadas a plantaciones forestales y áreas sin vegetación con un desplazamiento desde la cabecera norte de la laguna hacia el este.

San Pedro de la Paz, se ha transformado, por ende, el último tiempo en una zona de desarrollo prioritario en el área metropolitana de Concepción, incrementando notablemente su superficie urbana y siendo un foco de atracción para la localización de proyectos inmobiliarios; lo que ha significado una importante movilidad de población joven hacia la comuna y una constante oferta y promoción de viviendas para diferentes grupos sociales. Por otro lado, el sector forestal da cuenta de la gran incidencia también, al poseer más del 50% de su superficie comunal.

### *Tasas de sedimentación*

En el siguiente análisis se considera que la variación en las tasas de sedimentación que ha tenido la laguna es dependiente de los cambios efectuados por el hombre



en su cuenca en el último siglo. Así lo demuestran algunos autores que han utilizado metodologías geocronológicas y que han obtenido resultados similares en sectores altamente intervenidos, Battarbee *et al.*, (1985) evaluaron el impacto del proceso de reforestación en suelos con características de turberas, mediante la comparación de las tasas de sedimentación entre cuencas lacustres reforestadas y las no perturbadas, finalmente concluyen que en aquellas cuencas no perturbadas, las tasas de erosión se mantuvieron constantes, mientras que en las reforestadas se observaron bruscas variaciones en sus tasas de sedimentación.

La tasa de sedimentación promedio en la laguna Grande fue de  $57,1 \text{ mg cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$ , la que resultó bastante mayor que la de laguna Chica ( $30 \text{ mg cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$ ) y otras tasas reportadas en algunos lagos de América del Sur y América central, calculadas también con el  $^{210}\text{Pb}$ . De los cuales, la más alta se encontró en los  $75 \text{ mg cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$  en Bolivia (Pourchet *et al.*, 1995), sin embargo, en comparación a los lagos Llyn Peris ( $270 \text{ mg cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$ ) y Erie ( $87 \text{ mg cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$ ) de Inglaterra y Estados Unidos respectivamente, la laguna Grande tendría una tasa de sedimentación lenta (Elner y Wood, 1980; Kempt *et al.*, 1974; Cisternas *et al.*, 2001).

De acuerdo con los antecedentes, las variaciones reflejadas en la laguna Grande de San Pedro, coinciden con las analizadas en Cruces *et al.*, (2001) que demuestra un aumento de las tasas de erosión en la cuenca de laguna Grande durante el periodo entre 1981 y 1995, lo cual lo atribuye a un aporte exclusivamente externo a la laguna. Posiblemente los principales impactos antrópicos que empezaron a tener incidencia sobre la cuenca laguna Grande fueron el reemplazo de la vegetación nativa y la posterior expansión urbana. Parra *et al.*, (2003) indica que, durante gran parte del presente siglo, este y otros lagos pertenecientes a los llamados “lagos Nahuelbutanos” han sufrido una de las transformaciones medio ambientales más importantes generadas desde la llegada de los españoles, el cual ha generado el incremento continuo de la exportación de sedimentos y nutrientes. Dicho esto, se pueden inferir de los resultados tres grandes eventos asociados a las variaciones en las tasas de sedimentación, el primero con la degradación del bosque nativo y la habilitación de terrenos para uso agrícola, el segundo entre los años treinta y

setenta que estaría más bien influenciado por la introducción de plantaciones forestales y el último, desde más o menos los años sesenta por el crecimiento urbano desarrollado en la cuenca.

### *Relación entre cambios de uso de suelo y tasas de sedimentación*

Durante el periodo de estudio se habrían realizado grandes cambios ecológicos, principalmente atribuidos al desarrollo forestal y urbano en la cuenca. Los cambios más drásticos se habrían presentado en los periodos 3 y 4 correspondientes entre los años 1998 y 2007. Como consecuencia de estas actividades habría aumentado la erosión de los suelos, arrastrando altas cantidades de sedimentos, provocando el aumento en su ritmo de acumulación.

Los resultados evidencian que más que la tipología de uso, el cambio total resultó ser el parámetro con mejor explicación, actuando de forma sinérgica. Dado esto es que el aumento de las tasas de sedimentación se deberían a los cambios de uso de suelo efectuados en la cuenca de laguna Grande a través del tiempo y permite establecer una alta dependencia entre estas dos variables (Figura 26). De acuerdo con esto es posible inferir que la laguna ha evolucionado desde un sistema de poca intervención antrópica, reflejada en sus bajas tasas de sedimentación hacia principios de siglo, con bajos contenidos de nutrientes característico de ambientes oligotróficos, hasta un sistema eutrófico (Cruces *et al.*, 2001). Este proceso además de estar atribuido a los cambios de uso de suelo, en Cisternas *et al.*, (2000) indica que la laguna Chica en los periodos de invierno, entrega sus aguas a laguna Grande, lo que quiere decir que además de recibir aportes de su propia cuenca, recepciona las provenientes de otro sistema.

Es difícil reconocer realmente el papel desempeñado por las plantaciones forestales, estas reemplazaron totalmente la pérdida de bosques en el periodo de estudio. Sin embargo, la remoción de vegetación implicada en las actividades forestales, generan un incremento de los nutrientes y sedimentos en suspensión en

el escurrimiento hacia los cuerpos de agua (Heathwait *et al.*, 1990). Junto con ello, el uso de maquinaria pesada y las técnicas de raleo y arrastre de troncos asociada a estas actividades, pudo haber provocado además el arrastre de grandes cantidades de sedimentos, llevando consigo minerales y nutrientes (Cruces *et al.*, 2001). Asimismo, este autor indica que, tanto las actividades forestales como la de urbanización han dejado las riveras de esta laguna sin ninguna protección, contribuyendo al deslizamiento de tierras y facilitando la entrada de contaminantes.

Las relaciones entre los cambios de uso de suelo y las tasas de sedimentación mediante el análisis de correlación indican que, la tasa de sedimentación ha tendido a aumentar con la superficie de cambio durante los últimos 30 años. (Figura 26; Tabla 33). Morgan (2005) señala que el aumento de sedimentos que llega hacia los cuerpos de agua puede deberse a distintas variables, como el clima, vegetación, tipo de suelo, topografía, hojarasca, velocidad del flujo y uso de la tierra, siendo este último considerado casi exclusivamente responsable de las concentraciones de sedimento en ríos por actividades humanas en las cuencas hidrográficas.

La variación en las tasas de sedimentación puede estar relacionada con el uso de suelo en dos casos: tiende a aumentar con la cobertura urbana (Figura 29;  $r^2=0.30$ ) y con la cobertura forestal (Figura 27;  $r^2=0,10$ ). Esta última presentó la mitad de sus tasas negativas indicando pérdida de cobertura y una tendencia negativa que se traduce en que la deforestación de cobertura forestal provoca un aumento en las tasas de sedimentación, esta relación puede deberse a que aumentan las áreas sin vegetación debido al corte y despeje para el transporte de vehículos pesados y la habilitación de terrenos. Sin embargo, las tasas de sedimentación demostraron poca relación con las tasas de las coberturas de áreas sin vegetación (Figura 28), esto puede explicarse debido a que las tasas forestales, no solo están relacionadas con las áreas sin vegetación que posteriormente se espera sean reforestadas, si no que a la pérdida de superficies para uso urbano. La tendencia al incremento de la correlación de cobertura urbana viene a ratificar lo que ya se ha mencionado anteriormente, que los aumentos de las tasas de sedimentación están estrechamente relacionados a la influencia del desarrollo urbano alrededor de la

cuenca. Reflexiones como las que plantean Gómez, Marcano, Poggy, Castellanos y Miranda (2006), con respecto al estudio de dos bahías cubanas y una venezolana de Unare: “Estos sistemas cerrados o semi-cerrados son especialmente vulnerables por tener un área limitada y aguas poco profundas, largos períodos de recambio hídrico y una considerable población cuyo sustento proviene de sus recursos” dejan en evidencia la gran vulnerabilidad que presentan las lagunas a los fuertes cambios en su entorno. Por otra parte, añaden: “Están sujetos a una presión importante entregada por las actividades humanas, así como los procesos y fenómenos naturales que ocurren en el lugar. En consecuencia, la contaminación constituye un problema que se agudiza en la medida que las actividades humanas traspasan el umbral del sistema”.

Los resultados adicionalmente indican que, de la superficie de cambio según el tipo de pendientes en la cuenca, el uso urbano evidenció estar emplazado mayormente en los sectores de pendientes bajas, las cuales resultaron ser las que más influencia tienen sobre las tasas de sedimentación (Figura 31; Tabla 33). En el periodo de mayor cambio de superficie, no se presentaron variaciones considerables en las tasas de sedimentación, puesto que los mayores cambios se produjeron en las pendientes fuertes, las que no presentaron una clara correlación, sin embargo, resultó con una tendencia levemente negativa, indicando su poca incidencia sobre las tasas de sedimentación, no obstante para este periodo se produjo un aumento de las plantaciones forestales, que por lo mencionado anteriormente, las tasas de sedimentación estarían más relacionadas con la deforestación que con la forestación, lo que en el periodo anterior si se ve reflejado, incluso alcanzando la tasa de sedimentación más alta registrada, esto se podría deber a que en ese periodo (1998-2002), predomina tanto el aumento de cambios en las superficies urbanas y de las áreas sin vegetación, sumado a esto, estos cambios se produjeron predominantemente en pendientes bajas, lo que explicaría de mejor manera el aumento drástico en las tasas de sedimentación, incluso sobre el promedio total. Esta predominancia se reflejó solo para este periodo, en todos los demás predominaron los cambios de superficie en pendientes fuertes. Las tasas de sedimentación presentaron un aumento de  $3 \text{ mg cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$  durante el periodo 5,

esto se deduce que se debe al aumento de la superficie urbana, ya que los cambios se produjeron en su mayoría en pendientes fuertes, las plantaciones por otro lado continuaron incrementando desde el periodo anterior. Finalmente, para el último periodo, se observa que las áreas sin vegetación aumentan, pero en sectores alejados de la laguna, en sectores altos de pendientes fuertes, las que presentaron la segunda correlación más alta, pero al contrario de la anterior, esta es de tendencia negativa, por lo que el aumento de cambio de superficie en este tipo de terrenos, responde a un bajo (o más lento) ritmo de acumulación en las tasas de sedimentación que se presenta para este último periodo, las plantaciones por otro lado, presentaron una disminución de su superficie principalmente para la expansión urbana hacia la ribera de la laguna.

Estas correlaciones, por tanto, demuestran lo que otros autores ya han podido identificar en esta cuenca, el alto grado de intervención que ha tenido desde aproximadamente setenta años, lo que ha provocado la degradación del cuerpo de agua, siendo considerado como un lago en proceso de eutrofización (Parra *et al.*, 2003) y requieren una especial atención de la comunidad científica. A la fecha, se pretende declarar Santuario de la Naturaleza el Humedal Los Batros y laguna Grande de San Pedro, con el fin de generar una protección oficial al patrimonio ambiental sampedrino, considerando que no poseen normativa alguna que los proteja.

Es necesario destacar la utilidad de estas metodologías para los estudios ambientales en nuestro país, considerando que, en Chile, los impactos antrópicos, a diferencia de Europa, son sumamente recientes, es por esto que se hace necesario que se realicen estas evaluaciones antes de planificar el manejo de la cuenca, incluyéndolas en estudios medio ambientales para poder evaluar y gestionar desde su estado natural, hasta su estado actual. Sin perjuicio de lo anterior, cabe mencionar que el pequeño tamaño de la muestra (siete imágenes) hace que incluso estas tendencias sean estadísticamente insignificantes. Esto pues, según los estudios en relación a sedimentos y cambios de uso de suelo, estos analizan una escala temporal de aproximadamente 100 años atrás para evaluar sus

cambios y estimar sus resultados con mayor certeza. Además, se debe considerar que la extracción de la columna de sedimento se realizó en un sector céntrico de la laguna, ubicado en el sector de más profundidad, suponiendo que los sedimentos llegan de igual manera a la laguna, por lo que los resultados podrían diferir de los entregados por el análisis de las imágenes. Se debe tener en cuenta que no todos los sedimentos pueden provenir de origen antrópico, sino que de manera natural como son las catástrofes naturales.



## 7. CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio son consistentes con la hipótesis que señala que los cambios de uso de suelo efectuados en la cuenca han tenido efectos en las tasas de sedimentación de la laguna Grande, estos efectos se ven reflejados en el aumento en el ritmo de acumulación de estos. Los cuales se consideran significativos, debido a que existen importantes impactos ambientales asociados a ellos, tales como el aumento del proceso de eutroficación, acortando de milenios a décadas o menos (Vollenweider, 1968), reduciendo su profundidad hasta un estanque de aguas someras o incluso su desaparición.

Se establece que las variaciones evidenciadas de las tasas de sedimentación son producto de los cambios históricos en los usos de la cuenca de drenaje y, se deben al uso de suelo forestal y urbano principalmente, los cuales demostraron tener una alta relación con estas durante los últimos 30 años.

La expansión urbana en pendientes bajas es la cobertura que ha provocado más aumento en las tasas de sedimentación durante el periodo de estudio, la que tuvo su mayor auge entre los años 2002 y 2007. Mientras que al contrario los cambios de superficie efectuadas en terrenos de pendientes muy fuertes demostraron tener menos incidencia en el ritmo de acumulación de sedimentos en la laguna.

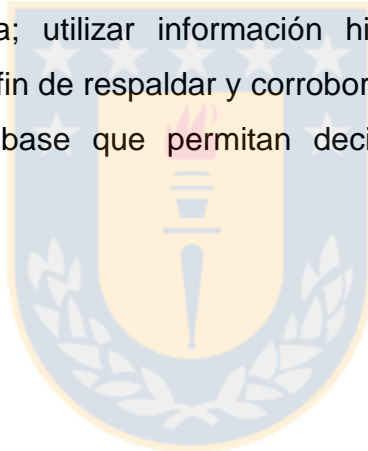
Las plantaciones forestales son la cobertura que domina en cantidad en la cuenca, sin embargo, ha disminuido las áreas destinadas a éstas desde los primeros años de análisis presentado diversas transformaciones, las cuales no necesariamente resultan en periodos de explotación, si no que en el reemplazo definitivo y permanente de su superficie hacia áreas urbanas.

Se puede afirmar que el aumento de la carga de sedimento en lagos y lagunas, resultante de los cambios en el uso de la tierra, aceleran la evolución natural del sistema fluvial y, que al hacerlo plantea varios problemas, como cambios en la calidad del agua por la carga excesiva de substancias orgánicas e inorgánicas que se transportan y que enriquecen y estimulan el crecimiento y producción de

organismos desfavorables de tal manera que pasa a ser eutrofizado (Welcomme, 1980).

Se interpreta que los verdaderos procesos de degradación se dan a nivel de la urbanización creciente y a la deforestación en distintos lugares de la cuenca, por lo tanto, las políticas de ordenamiento territorial deben ir encaminadas a transformar la dinámica de cambio de los procesos de deforestación y urbanización y disminuir el deterioro de bosques. Además, de promover los cambios relacionados con la matorralización y reforestación de la cuenca, mediante una política de restauración que revierta la degradación ambiental; y políticas de conservación de las áreas estratégicas que sustentan los bienes y servicios ambientales de la cuenca.

Finalmente, se concluye que es necesario, junto con la utilización de métodos como de geocronología isotópica; utilizar información histórica como fotografías o imágenes satelitales con el fin de respaldar y corroborar los resultados obtenidos y generar conocimiento de base que permitan decidir acciones ante posibles problemas ambientales.





## RECOMENDACIONES

En resumen, los efectos ambientales asociados al proceso de urbanización requieren de un análisis crítico, más profundo y comprometido, ya que estos recursos podrían verse eliminados o reducidos por los distintos proyectos de urbanización. Debemos conciliar el progreso y desarrollo económico con la sustentabilidad. Muchos de los recursos disponibles en las ciudades tales como ríos, lagos o humedales brindan protección ante eventos naturales y hábitat para una gran cantidad de fauna y proveen de servicios ecosistémicos relevantes para la zona, lo que la hace diferente del resto, atractiva y única.

Por tanto, la promoción de manera equilibrada del desarrollo socioeconómico, paralelamente con espacios geográficos, deben estar enlazados para proteger los bienes y servicios ambientales que además sustentan las actividades productivas, y que garantizan el desarrollo sustentable de la región. Dicho desarrollo se basa en la delimitación de políticas territoriales que reflejen el potencial y las limitantes naturales de los ecosistemas. Los resultados anteriores permiten sugerir que las políticas de ordenamiento territorial deben ir encaminadas a disminuir la dinámica que presentan los cambios de los procesos de deforestación, deterioro de boques y urbanización o de forma contraria su modificación. Es necesario impulsar las políticas de restauración de cuencas, promoviendo los cambios relacionados con la matorralización y reforestación que revierta la degradación ambiental de los sitios definidos por el análisis; también de promover las políticas de conservación de las áreas estratégicas que son las que sustentan los bienes y servicios ambientales de esta cuenca.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguayo, M., Wiegand, T., Azócar, G., Wiegand, K., & Vega, C. (2007) Revealing the driving forces of mid-cities urban growth patterns using spatial modeling: a case study of Los Ángeles, Chile. *Ecology and Society* 12: 13.

Aguayo, M., Pauchard, A., Azócar, G., & Parra, O. (2009). Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX: Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Revista chilena de historia natural*, 82(3), 361-374.

Appleby, P., G. (2000), Radiometric dating of sediment records in European mountain lakes», en *J. Limnol.* 59: 1-14.

Appleby, P., Flower, G., Mackay, J., & Rose, N. (1998), Paleolimnological assessment of recent environmental change in Lake Baikal: sediment chronology, en *J. Paleolimnol.* 20: 119-133.

Astorquiza., O. (1929) Lota, Compañía Minera e Industrial de Chile. Sociedad Imprenta y Litografía. Concepción. 44pp.

Auer., M, Johnson., A, Penn., M & Effler., S. (1996). Pollutant sources, depositional environment, and surficial sediments of Onongada lake, NY. *Journal of Environmental Quality* 25: 46-55.

Azócar., G, Sanhueza., R. & Henríquez., C. (2003). Cambio en los patrones de crecimiento en una ciudad intermedia: el caso de Chillán en Chile Central. *EURE*, Vol. 29, N° 87, p. 79-92.

Barral., R, Pozo., K, Urrutia., R, Cisternas., M, Pacheco., P, & Focardi., S. (2001). Plaguicidas organoclorados persistentes en sedimentos de tres lagos costeros y un lago andino de Chile central. *Boletín de la Sociedad Chilena de Química*, 46(2), 149-159.

Barragán, J.M., & De Andrés, M. (2015). Analysis and trends of the world coastal cities and agglomerations. *Ocean & Coastal Management*, N° 114, p. 11-20.

Battarbee., RW, Appleby., PG, Odell., K, Flower., RJ. (1985). 210Pb dating of Scottish lakes sediments, afforestation and accelerated soil erosion. *Earth Surface Processes and Landforms* 10: 137–142.

Bhatta., B, Saraswati., S, & Bandyopadhyay., D. (2010). Quantifying the degree-of-freedom, degree-of-sprawl, and degree-of-goodness of urban growth from remote sensing data. *Applied Geography*, Vol. 30, N° 1, p. 96-111.

Blaschke., T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 65, N° 1, p. 2-16.

Bocco., G, Mendoza., M. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación (Parte 1). INTETNET: <http://www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/boletin/bol44/b44art2.pdf> (fecha de consulta: 16 de Abril de 2018)

Brenner., M, Whitmore., T, Lasi., M, Cable., J, & Cable., P. (1999). A multi-proxy trophic state reconstruction for shallow Orange Lake, Florida, USA: possible influence of macrophytes on limnetic nutrient concentrations. *Journal of Paleolimnology* 21: 215-233.

Campos-Harriet., F. (1980) *Historia de Concepción*. Editorial Jurídica de Chile. Santiago. Chile. 332 pp.

CEDEX. (2002). Informe Técnico para Puertos del Estado: estudio sobre los ensayos biológicos para determinar la nocividad de los sedimentos contaminados. CEDEX; 23-496-9-136.

Cervigón., F. (1982). La ictiofauna estuarina del Caño Manamo y áreas adyacentes: 205-260 En: D. Novoa (De.). *Los recursos pesqueros del Río Orinoco y su explotación*. Corp. Venezol. Guayana, Caracas, 386 p.

Chuvioco., E. (1996) *Fundamentos de teledetección espacial*. Tercera edición. Ediciones RIALP S.A., Madrid. 568 pp.

Comisión Económica Para América Latina Y El Caribe (CEPAL). (2014). *América Latina y el Caribe: Evolución del sistema portuario, 1997-2013*. Santiago de Chile: CEPAL, N° 330.

Conaf, Conama, Birf, Universidad Austral De Chile, Pontificia Universidad Católica De Chile *et al.*, (1999a). *Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile*. Informe nacional con variables ambientales. Santiago, Chile. 88 pp

Conaf, Conama, Birf, Universidad Austral De Chile & Universidad De Concepción (1999b) *Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile*. Monitoreo de cambios. Santiago, Chile. 12 pp.

Conaf, (2011). *Monitoreo y actualización catastro de uso del suelo y vegetación, Región del Biobío*. 22 p.

Contreras., M. (2009) "Análisis de la estructura socio-territorial de la ciudad de Valdivia: efectos de la globalización en una ciudad intermedia del sector urbano chileno". Tesis para optar al grado académico de Magíster en Geografía.

Costanza., R, Darge., R, de Groot., R, Farber., S, Grasso., M, Hannon., B, Limburg., K, Naeem., S, Oneill., R.V, Paruelo., J, Raskin., R.G, Sutton., P, van den Belt., M, (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253–260.

Crawford., T.W. (2007). Where does the coast sprawl the most? Trajectories of residential development and sprawl in coastal North Carolina, 1971-2000. *Landscape and Urban Planning*, Vol. 83, N° 4, p. 294-307.

Crickmore., M.J, Tazioli., P.G, Appleby., P.G. & Oldfield., F. (1990). The use of nuclear techniques in sediment transport and sedimentation problems. Technical Documents in Hidrology. International Hydrological Programme IHP-111-5, UNESCO, París. 170 pp.

Cruces., F, Urrutia., R, Araneda., A, Torres., L, Cisternas., M, & Vyverman., W. (2001). Evolución trófica de Laguna Grande de San Pedro (VIII Región, Chile) durante el último siglo, mediante el análisis de registros sedimentarios. *Revista chilena de historia natural*, 74(2), 407-418.

Cisternas., M. (1999). Evidencias sedimentarias de intervención antrópica en los suelos de una pequeña cuenca lacustre durante los últimos 50 años (San Pedro de la Paz, VIII Región, Chile). Tesis de Doctorado. Escuela de Graduados, Universidad de Concepción, Concepción. 130 pp.

Cisternas., M, Martínez., P, Oyarzún., C. y Debels., P. (1999) Caracterización del proceso de reemplazo de vegetación nativa por plantaciones forestales en una cuenca lacustre de la Cordillera de Nahuelbuta, VIII Región, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 72. 541-556.

Cisternas., M, Torres., L, Urrutia., R, Araneda., A. & Parra., O. (2000). Comparación ambiental, mediante registros sedimentarios, entre las condiciones prehispánicas y actuales de un sistema lacustre. *Revista Chilena de Historia Natural* 73:151-162.

Cisternas., M, Araneda, A., Martinez, P., Perez, S. (2001). Effects of historical land use on sediment yield from a lacustrine watershed in central Chile. *Earth Surfaces Proc. Landforms*, n. 26, p.63-76.

CONAF, (2011). Conaf, por un Chile forestal sustentable. 21pp

Contesse, D. (1987) Apuntes y consideraciones para la historia del Pino radiata en Chile. *Boletín de la Academia Chilena de la Historia*. 97. 351-373.

Day, J.; C. Hall, Kemp., M, & Yáñez-Arancibia., A. (1989). *Estuarine Ecology*. John Wiley and Sons, Inc., New York, USA, 558 p.

Dellarossa, V. & O. Parra. (1985). Estado Ambiental de la laguna Grande de San Pedro y del lago Lanalhue. Red Mínima de Control de Lagos. Convenio Dirección General de Aguas y Universidad de Concepción, Chile. Informe Final, 209 pp.

Dellarossa, V., Ugarte, E. & Parra., O. (1976). "Estudios limnológicos de las lagunas Chica de San Pedro, La Posada y Lo Mendez. Aspectos cuantitativos del Fitoplancton invernal y su relación con algunas características físicas y químicas del ambiente. *Bol. Soc. Bio1*. Concepción, 50:87-101.

Díaz, H., y Zelwer, M. (1985). ¿Inconsciencia, ignorancia o indolencia? Réquiem para una laguna. *Acta Científica Venezolana*, 36 (2), 123-130.

Dirección General de Aguas (DGA) y POCH Ambiental S.A. (2009). Redefinición de la Red Mínima de Lagos. 184 pp.

DGA-DCPRH, (2014). Modificación del monitoreo de calidad de aguas realizado por la DGA en laguna Grande de San Pedro, región del Bío-Bío. 18pp

Eakins, J.D. (1983). The  $^{210}\text{Pb}$  technique for dating sediments, and some applications. United Kingdom Atomic Energy Agency". AERE (R 10821) Harwell, Oxfordshire, England. 22 pp.

EULA, (1999). Estudio de Impacto Ambiental del Plan Regulador Comunal de San Pedro de La Paz. Unidad de Planificación Territorial Centro EULA-Chile. Documento de Trabajo Sistema Natural.

EULA (2011). Diagnóstico y propuesta para la conservación y uso Sustentable de los humedales lacustres y urbanos. Principales de la región del Biobío. Propuesta Metodológica para el Manejo y Gestión para Humedales de la Región del Biobío. Concepción: Centro de Ciencias Ambientales, Universidad de Concepción.

Echeverría, *et al.*, (2006). Rapid deforestation and fragmentation of Chilean Temperate Forests. INTERNET: <http://stop-celco.org/rapiddeforestation.pdf> (fecha de consulta: 20 de Marzo de 2018)

Elnor., S, Wood., C. (1980). The history of two linked but contrasting lakes in N. Wales from a study of pollen, diatoms and chemistry in sediment cores. *Journal of Ecology* 68: 95–121.

Environment Canada. (2005). Water – The Transporter ([www.atl.ec.gc.ca/udo/mem.html](http://www.atl.ec.gc.ca/udo/mem.html) lvOct05). (fecha de consulta: 3 de Abril de 2018)

ESRI., (2009). Landsat 7ETM+. INTERNET: <http://www.esrichile.com/productosSubCat.php?cat=19&subcat=24>(fecha de consulta: 22 de Marzo de 2018)

FAO. (1968). Trabajo de la FAO y organizaciones afines sobre ciencias marinas y sus aplicaciones. FAO, Roma, 25p.

FAO. (1996). Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study change process. Rome N° 26. 152 pp.

FAO. 2006. Tendencias y perspectivas del sector forestal en américa latina y el caribe. FAO, Roma.

Foley., J, Defries., R, Asner, G, Bardford., G, Bonan *et al.*, (2005). Global consequences of land use. *Science* 309: 570-574.

Frey., D. (1988) ¿What is paleolimnology? *Journal of Paleolimnology* 1: 5-8.

Fuentes., E. (1988) Sinopsis de paisajes de Chile central. En: Fuentes E & S Prenafeta (eds) Ecología del paisaje en Chile central. Estudios sobre sus espacios montañosos: 17-27. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

Fuentes., E, & Carrasco., M. (1984). Problems of resource management and land use in two mountain regions of Chile. En: Di Castri F, FWG Baker & M Hadley (eds) Ecology in practice: 315-330. Tycooly international, Dublin, Irlanda.

Fuentes., E, & Hajek., E. (1979) Patterns or landscape modification in relation to agricultural practice in central Chile. Environmental Conservation 6: 265- 271.

García-Rodríguez F., L. del Puerto, R. Bracco, D. Panario, C. Castiñeira, D. Mourelle, H. Inda, N. Gordon, J. Adams, (2011). Paleolimnología de las lagunas costeras del sudeste del Uruguay, y comparación paleogeográfica entre América y Africa del Sur. En: EL Holoceno en la zona costera del Uruguay. Felipe García-Rodríguez (Ed.). CSIC-UdelaR, Facultad de Ciencias, Montevideo.

Gómez, L., Marcano, L., Poggio, Z., Castellanos, M., y Miranda, C. (2006). Movilización y educación de la comunidad en ecosistemas costeros contaminados (Cuba y Venezuela). En: Y. Breton, D. Brown, B. Davy, M. Haughton y L. Ovaes (Comps.), Manejo de recursos costeros en el Gran Caribe: Resiliencia, adaptación y diversidad comunitaria (pp. 133-167).

GORE BÍO BÍO y GTZ (2000). "Glosario para el ordenamiento territorial".

Grimm., N. Faeth., S. Golubiewski., N, Redman, C. WU, J, Bai, X. & Briggs, J. (2008). Global change and the ecology of cities. *Science*, Vol. 319, p. 756-760.

Hakson., L, & Jansson., M, (1983). Principles Of Lake Sedimentology, Springer- y Verlag, Berlin Heidelberg New York Tokyo.

Heathwaite., A, Burt., T. & Trudgill., S. (1990) The effect of land use on nitrogen, phosphorus and suspended sediment delivery to streams in a small catchment in southwest England. In: Thornes JW (ed) Vegetation and erosion. Processes and environments: 161-177. John Wiley & Sons Ltd.

Hidalgo, R., Borsdorf, A., Zunino, H., y Álvarez, L. (2008). "Tipologías de expansión metropolitana en Santiago de Chile: Precariópolis estatal y privatópolis inmobiliaria". X Coloquio internacional de Geocrítica. Barcelona, España.

Horner., R. (1994). Fundamentals of urban runoff management: technical and institutional issues.

Ilabaca, P. (1989). Evolución de la costa de Concepción: el caso de las bahías de Concepción y San Vicente. *Biología Pesquera*, 18, 29-35.



Instituto Nacional De Estadísticas (INE). (2002). *Censo de Población y Vivienda 2002*. Santiago de Chile: INE.

Instituto Nacional De Estadísticas (INE). (2012). *Censo de Población y Vivienda 2012*. Santiago de Chile: INE.

Instituto Forestal (INFOR). (2015). Anuario Forestal 2015. Santiago, Chile. INFOR. 174 p. (Boletín Estadístico N° 150).

Isla, F., Quezada, J., Martínez, C., Fernández, A. & Jaque, E. (2012). The evolution of the Bío Bío delta and the coastal plains of the Arauco Gulf, Bío Bío Region: the Holocene sea-level curve of Chile. *Journal of Coastal Research*, N° 28, p. 102-111.

Kempton, AL., Anderson, TW., Thomas, RL., Mudrochova, A. (1974). Sedimentation rates and recent sediment history of lakes Ontario, Erie and Huron. *Journal of Sedimentary Petrology* 44: 207–218.

Kjerfve, B. (1994). Coastal lagoon processes. Elsevier Oceanogr. Ser. 60, Amsterdam, 577 p.

Kühn, I., Brandl, R. & Klotz, S. (2004). The flora of German cities is naturally species rich. *Evolutionary Ecology Research*, Vol. 6, p. 749-764.

Lara, A., Araya, L., Capella, J., Fierro, M. & Cavieres, A. (1989) Evaluación de la destrucción y disponibilidad de los recursos forestales nativos en la VII y VIII Región. *Informe Técnico, Comité Pro Defensa Fauna y Flora*, Santiago, Chile. 22 pp.

Lara, A., Donoso, C. & Aravena, J.C. (1996) La conservación del bosque nativo en Chile: Problemas y desafíos. En: Armesto JJ, C Villagrán & MK Arroyo (eds) *Ecología de los bosques nativos de Chile*: 335-362. *Editorial Universitaria*, Santiago, Chile.

Lara, A., Echeverría, C., Reyes, R. (2002). Bosques Nativos. In Instituto de Asuntos Públicos, Universidad de Chile eds. *Informe País. Estado del Medioambiente en Chile*. Santiago, Chile. p. 127-160

Lasserre, P. (1979). Las lagunas costeras: ecosistemas de refugio, focos de cultivo y objetivos de expansión económica. *La Naturaleza y Sus Recursos*, 15(4): 3-21.

Leal, C. (2015) Impactos del desarrollo urbano sobre la calidad del agua de la Laguna Grande de San Pedro de la Paz. Memoria de Título Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Concepción.

Lillesand T, Kiefer, R., Chipman. J. (2004). Remote Sensing and image interpretation. *New York, USA*. John Wiley & Sons, *Fifth edition*. 763 p.

López, E., Bocco, G., Mendoza, M. & Duhau, E. (2001). Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe. A case in Morelia city, Mexico. *Landscape and Urban Planning*, Vol. 55, N° 4, p. 271-285.

Margalef, R. (1983). *Límnología*. Omega. Barcelona. 1010p.

Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: A framework for assessment*. Island Press, Washington, D.C.

Millán, J. & Carrasco, P. (1993) La forestación en la VIII Región. Serie EULA Elementos cognoscitivos sobre el recurso suelo y consideraciones generales sobre el ordenamiento agroforestal. *Editorial Universidad de Concepción*, Concepción, Chile. 105 pp.

MOPT, DGMA (1989). "Medio ambiente en España". Monografías de la Dirección General de Medio Ambiente. M° de Obras Públicas y Transportes.

Mora, R., Chávez, J. & Vásquez, M., (2002): Zonificación de la susceptibilidad al deslizamiento: Resultados obtenidos para la Península de Papagayo mediante la modificación del método Mora & Vahrson (Mora et al., 1992). *Memoria del tercer curso internacional sobre microzonificación y su aplicación en la mitigación de desastres*. Lima, Perú. 38-46.

Morales, J. (1989) El desarrollo forestal de Concepción. Universidad Academia de Humanismo Cristiano. Serie: Abriendo Caminos. Grupo de estudios Agro-Regionales (eds). 341 pp.

Morgan, R. (2005). *Soil erosion and conservation*. National Soil Resources Institute. Cranfield University. Blackwell Science Ltd. Oxford, UK. 304 p.

Mukaka, M. (2012). A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. 24.

Municipalidad De San Pedro De La Paz. (2012) *Plan de desarrollo Comunal (PLADECO) 2012- 2016*. San Pedro de la Paz, Chile.

Nasarre Vázquez, M.E. Y Badia Perpinya, A. (2006). Una aproximación al crecimiento de áreas urbanas a través de fotografía aérea y de Sistemas de Información Geográfica. La ciudad de Tarrassa como caso de estudio. *Cuadernos Geográficos*, N° 39, p. 185- 201.

Naumann, E. (1930). *Einführung in die Bodenkunde der Seen. Die Binnengewässer IX*. E. Schweizerbart, Stuttgart. Págs. 129-138.

Nichols, F., Cloern, J., Luoma, S. and Peterson, D. (1986). The modification of an estuary. *Science*, 231:567-573.



Niemelä, Jari, Sanna-Riikka Saarela, Tarja Söderman, Leena Kopperoine, VesaYli-Pelkonen, SeijaVäre y Johan Kotze. (2010). "Using the Ecosystem Services Approach for Better Planning and Conservation of Urban Green Spaces: A Finland Case Study". *Biodiversity Conservation* 19:3225-3243.

Olier, J. (1996). *El Lago de Maracaibo y su cuenca*. Maracaibo, Venezuela: J & Eme Editores S. A.

Oliver, C. y Zapata, F. (1950) *Libro de oro de la historia de Concepción*. Litografía Concepción. Vol. 1 y 2. 639 pp.

OSMAN (2015). Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía. *Informe Urbanismo, Medio Ambiente y Salud*. 61p. Consultado el 17 de noviembre de 2017. [www.diba.cat](http://www.diba.cat)

Parra, O. (1989). La eutroficación de la Laguna Grande de San Pedro: Un caso de estudio. *Ambiente y Desarrollo*, 5(1): 117-136.

Parra, O., Valdovinos, C., Urrutia, R., Cisternas, M., Habit, E. & Mardones, M. (2003) Caracterización y tendencias tróficas de cinco lagos costeros de Chile Central. *Limnetica* 22: 51–83.

Pascual Aguilar, J.A.; Añó, C., Valera, A. & Sánchez, J. (2006) Urban growth dynamics (1956-1998) in mediterranean coastal regions: the case of Alicante, Spain. In: KEPNER, W.G.; RUBIO, J.L.; MOUAT, D.A. & PEDRAZZINI, F. (Editors). *Desertification in the Mediterranean Region: a Security Issue*. Dordrecht: Springer, 2006, p. 325-340.

Pauchard, A., Aguayo, M., Peña, E. & Urrutia, R. (2006) Multiple effects of urbanization on the biodiversity of developing countries: The case of a fast-growing metropolitan área (Concepción, Chile). *Biological Conservation* 127: 272-281.

Piccolo, María Cintia. (2011). Consecuencias de la ocupación urbana en el ambiente costero de las ciudades de Necochea y Quequén, provincia de Buenos Aires. *Revista Universitaria de Geografía*, 20(1), 00.

Pourchet, M., Mourguiart, P., Pinglot, JF., Preiss, N., Argollo, J., Wirrmann, D. (1995). Evaluation des vitesses de sédimentation récente dans les hautes vallées des Andes boliviennes. Son intérêt dans l'estimation des paléo-pollutions atmosphériques. *Comptes Rendus Academie des Sciences*, Paris 320: 477–482.

Ramankutty, N.& J.A. Foley (1999). Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992. *Global Biogeochemical Cycles*. 13: 997-1027.

Rojas, Carolina et al. (2015). Patrones de urbanización en la biodiversidad de humedales urbanos en Concepción metropolitano. *Revista de geografía Norte Grande*, (61), 181-204.

Romero, H., Vásquez, A., Riveros, S. (2005). "Sustentabilidad del desarrollo urbano del Gran Concepción: Efectos ambientales del crecimiento urbano 1975 – 2001". Ponencia XXVI Congreso Nacional y XVI *Congreso Internacional de Geografía, Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas*. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

Romero, H., Molina, M., Moscoso, C., Sarricolea, P. & Smith, P. (2007). "Caracterización de los cambios de usos y coberturas de suelos causados por la expansión urbana de Santiago, análisis estadístico de sus factores explicativos e inferencias ambientales". En: De Mattos, C. e Hidalgo, R. (Eds.). *Reconfiguración Metropolitana y Movilidad Espacial en Santiago. Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales e Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile*, Santiago (en prensas).

Ruiz-Fernández A.C., Frignani M., Hillaire-Marcel C., Ghaleb B., Arvizu M.D., Raygoza-Viera J.R., Páez-Osuna F. (2009) Trace metals (Cd, Cu, Hg and Pb) accumulation recorded in the intertidal mudflat sediments of three coastal lagoons in the Gulf of California, Mexico. *Estuaries and Coasts* 32. 551–564.

Sala, O., Chapin, I., Armesto, J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber Sanwald, E., Huenneke, L., Jackson, R., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D., Mooney, H., Oesterheld, M., Leroy Poff, N., Sykes, M., Walker, B., Walker, M., Wall, D., (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287 (5459), 1770–1774.

Sanchez, M.A., (1989). La presencia del recurso natural en el proceso de desarrollo regional de la región del. Bío-Bío, 47–53

Sanhueza, R., Azócar, G., (2000). Transformaciones ambientales provocadas por los cambios económicos de la segunda mitad del siglo XIX; Universidad de Concepción. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis* 45, 181–194.

Secretaria Comunal de Planificación - Municipalidad de San Pedro de la Paz (SECPLA). (2017).

Smith, V.H., G.D Tilman, J.C Nekola. (1999). Eutrophication: Impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*.

Smol, J.P. (2002). *Pollution of lakes and rivers: A paleoenvironmental perspective*, London, England. Pp 280.

UNCHS (United Nations Commission on Human Settlements) (2002). *The State of the World Cities Report 2001*. United Nations Publications, New York, NY.

UNESCO, (2010). *Procesos de erosión – sedimentación en cauces y cuencas*. Daniel Brea, Francisco Balocchi Documentos Técnicos del PHI-LAC, N° 22

UN-HABITAT. (2012) Estado de las Ciudades de América Latina y el Caribe 2012. *Rumbo a una nueva transición urbana*. México: UN-HABITAT.

Urrutia, R., K. Sabbe, F. Cruces, K. Pozo, J. Becerra, A. Araneda, W. Vyverman y O. Parra (2000) Paleolimnological studies of Laguna Chica of San Pedro (VIII Region): Diatoms, hydrocarbons and fatty acid. *Revista Chilena de Historia Natural*. 73. 717-728.

U.S. Department of the Interior, U.S. (2016) Geological Survey. LANDSAT 8 Data users handbook p. 106. Consultado el 14 de marzo de 2018.

Valdovinos, C & R, Figueroa (2000) Benthic community metabolism and trophic conditions of four South American lakes. *Hydrobiologia* 429: 151–156.

Van Zuidam, R. A., (1986): Aerial photointerpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping. 442 p. Smits Publishers, The Hague.

Verstraeten, G. y Poesen, J. (2000) Estimating trap efficiency of small reservoirs and ponds: methods and implication for the assessment of sediment yield. *Progress in Physical Geography* 24,2. Pp.219-251.

Vitousek, P., Aber, J., Likens, G., Matson, P., Schindler, D., Schlesinger, W y Tilman, D. (1997). "Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Sources And Consequences". *Ecological Applications* 7:737-750.

Vollenweider, R.A. (1968) Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Organization for Economic Cooperation and Development. OECD/DAS/CSI/68, Paris.

Ward, D.; Phinn, S.R. & Murray, A.T. (2000) Monitoring growth in rapidly urbanizing areas using remotely sensed data. *Professional Geographer*, Vol. 52, N° 3, p. 371-386.

Woodroffe, C. (2003) *Coasts: form process and evolution*. Cambridge: University Press.

Yáñez-Arancibia, A. (1986). *Ecología de la zona costera. Análisis de siete tópicos*. AGT Editor, S.A., México, 189 p.

## 9. ANEXOS

### ANEXO 1.

#### Servicios ecosistémicos, beneficios que brindan a las poblaciones humanas y procesos ecosistémicos asociados a estos servicios

Servicio	Importancia para el bienestar humano	Tipo de ecosistema que brinda el servicio	Procesos ecosistémicos involucrados en el servicio	Actividades humanas involucradas en la obtención del servicio
Alimentos derivados de la agricultura	Sustento básico y recursos económicos	Campo agrícola	Productividad primaria: transformación de luz solar en tejido vegetal por medio de la fotosíntesis	Evolución a lo largo del tiempo y del espacio de la interacción entre los humanos y los ecosistemas
Alimentos derivados de la ganadería		Pastizal, encierros, campo agrícola (complementos alimenticios), matorrales, selvas y bosques	Productividad secundaria/ terciaria: transferencia de energía desde los productores primarios (que realizan la fotosíntesis) hacia niveles tróficos superiores	Cría de ganado en pastizales, encierros o zonas con cobertura vegetal, suplementación alimenticia, introducción de especies, selección o mejoramiento genético
Alimentos derivados de la pesca		Océanos, ecosistemas costeros (e.g. lagunas) y ecosistemas acuáticos continentales		Extracción de productos marinos silvestres, manejo del ecosistema
Alimentos derivados de la acuicultura		Cuerpos de agua naturales y artificiales		Introducción de especies, construcción de estanques, establecimiento de granjas, suplementación alimenticia
Madera	Material de construcción y bienestar económico	Bosques y selvas	Productividad primaria	Extracción de individuos de talla y especies comerciales, manejo forestal
Leña	Fuente de energía	Bosques, selvas, matorrales, manglares, desiertos	Productividad primaria	Extracción
Recursos diversos	Usos múltiples (e.g. alimentos, medicinas, materiales de construcción), recursos económicos,	Todos los ecosistemas del país	Mantenimiento de la biodiversidad y de las poblaciones de especies útiles	Extracción, manejo de especies, manejo de ecosistema

	importancia cultural (presente o futura)			
Agua (cantidad)	Sustento básico, actividades productivas (agricultura, industria), funcionamiento de los ecosistemas	Ecosistemas terrestres y acuáticos continentales, océanos y atmósfera	Interacción entre patrones climáticos, vegetación, suelo y procesos del ciclo hidrológico	Construcción de presas, sistema de riego/alcantarillado, manejo de cuencas
Agua (calidad)	Regulación de concentraciones de contaminantes y organismos nocivos para la salud humana y la del ecosistema	Ecosistemas terrestres y acuáticos continentales, océanos y atmósfera	Interacciones químicas, físicas y biológicas de ecosistemas acuáticos y terrestres	Reducción en la liberación de contaminantes, mantenimiento de ecosistemas y procesos
Regulación de la biodiversidad	Regulación de casi todos los servicios ecosistémicos	Todos los ecosistemas del país	Interacciones biológicas entre organismos y con los componentes abióticos de los ecosistemas	Mantenimiento de la biodiversidad, manejo de especies individuales, manejo de ecosistemas, introducción de especies
Regulación de plagas, de vectores de enfermedades y de la polinización	Regulación de los polinizadores: producción de algunos cultivos comerciales; regulación de plagas y vectores de enfermedades: control biológico de organismos nocivos	Todos los ecosistemas del país	Interacciones biológicas entre organismos y con los componentes abióticos de los ecosistemas: mutualismo (polinización), competencia, depredación, mantenimiento	Mantenimiento de la biodiversidad, manejo de especies individuales, manejo de ecosistemas, introducción de especies
Regulación de la erosión	Mantenimiento del suelo y sus servicios de moderación del ciclo hidrológico, soporte físico para las plantas, retención y disponibilidad de nutrientes, procesamiento de desechos y materia orgánica muerta, mantenimiento de la fertilidad del suelo y regulación de los ciclos de nutrientes	Ecosistemas terrestres del país	Interacciones entre la vegetación y los macro y microorganismos del suelo, que mantienen a este y sus funciones	Mantenimiento de biodiversidad del suelo, de cobertura vegetal y de procesos
Regulación del clima	Mantenimiento de condiciones climáticas adecuadas para la vida humana,	Atmósfera y todos los ecosistemas terrestres,	Interacciones entre la atmósfera y sus componentes, y	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y

	sus actividades productivas y la vida en general	acuáticos y marinos	con la tierra y su tipo de cobertura	conservación/manejo de cobertura vegetal
Regulación de la calidad del aire	Regulación de concentraciones de contaminantes nocivos para la salud y para la visibilidad	Atmósfera y todos los ecosistemas terrestres, acuáticos y marinos	Interacciones entre la atmósfera y sus componentes, la tierra y su tipo de cobertura, y las actividades productivas	Reducción de emisiones de contaminantes y manejo de cobertura vegetal
Regulación de la respuesta a eventos naturales extremos	Regulación de la respuesta de los sistemas naturales al embate de eventos naturales extremos y sus consecuencias sobre la población humana	Atmósfera y todos los ecosistemas terrestres	Interacciones entre los componentes físicos y bióticos de los ecosistemas y los patrones climáticos	Conservación/manejo de ecosistemas terrestres
Servicios culturales	Seguridad, belleza, espiritualidad, recreación cultural y social para las poblaciones	Todos los ecosistemas del país	Evolución a lo largo del tiempo y del espacio de la interacción entre los humanos y los ecosistemas	Mantenimiento de la biodiversidad y de los ecosistemas del país, mantenimiento del conocimiento y percepciones

## ANEXO 2.

### Límites para determinación del estado trófico en cuerpos de agua.

Tipo de cuerpo de agua	Estado trófico	Nitrógeno total (µg/L)	Fósforo total (µg/L)	Clorofila a (µg/L)
Lagos y embalses (Nürnberg)	Oligotrófico	<350	<10	<3,5
	Mesotrófico	350-650	10-30	3,5 – 9
	Eutrófico	650-1200	30-100	9 – 25
	Hipereutrófico	> 1200	>100	> 25
Ríos (Dodds y col.)	Oligotrófico	<700	<25	<10
	Mesotrófico	700-1.500	25-75	10- 30
	Eutrófico	>1.500	>75	>30



### ANEXO 3.

#### Superficies de uso de suelo para cada año de estudio.

<b>USO 1987</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>USO 1990</b>	<b>Superficie (ha)</b>
Macrófitas	13,2263	Área sin vegetación	177,6288
Área sin vegetación	50,6084	Bosque	175,1323
Bosque	197,8161	Cuerpo de agua	165,2880
Cuerpo de agua	158,0350	Macrófitas	5,9739
Matorral	56,4662	Humedal	0,5364
Plantaciones forestales	865,8283	Matorral	56,5241
Pradera	1,3860	Plantaciones forestales	755,4077
Urbano	55,8517	Pradera	6,5425
		Urbano	56,1850
<b>USO 1998</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>USO 2002</b>	<b>Superficie (ha)</b>
Área sin vegetación	49,0284	Área sin vegetación	160,1190
Bosque	170,2014	Bosque	163,5789
Cuerpo de agua	163,3340	Cuerpo de agua	171,2620
Macrófitas	7,9283	Humedal	0,0771
Humedal	0,6112	Matorral	103,7472
Matorral	51,4924	Plantaciones forestales	651,6169
Plantaciones forestales	846,1856	Pradera	3,7668
Pradera	3,5160	Urbano	103,1762
Urbano	60,6424		
<b>USO 2007</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>USO 2011</b>	<b>Superficie (ha)</b>
Área sin vegetación	55,4126	Área sin vegetación	15,6568

Bosque	155,8433	Bosque	154,9583
Cuerpo de agua	171,2620	Cuerpo de agua	171,2620
Humedal	0,3574	Humedal	0,5198
Matorral	108,9236	Matorral	77,8158
Plantaciones forestales	702,8691	Plantaciones forestales	783,4536
Pradera	36,9616	Pradera	1,0942
Urbano	167,5897	Urbano	194,4578
<b>USO 2016</b>	<b>Superficie (ha)</b>		
Área sin vegetación	50,1881		
Bosque	153,2078		
Cuerpo de agua	171,2620		
Humedal	0,5198		
Matorral	71,7343		
Plantaciones forestales	649,4167		
Pradera	43,4009		
Urbano	200,4889		