



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA
TIERRA**



Emisiones de CO₂ en la respiración de suelos de bosques nativos y plantaciones forestales en el Parque Nacional Nonguén, Región del Biobío

Memoria para optar al Título de Geólogo

Claudio Francisco Muñoz Rubilar

Profesora Patrocinante:	Dra. Fernanda Carolina Álvarez Amado
Profesional Guía:	Dra. Pamela Ivonne Carolina Castillo Lagos
Profesoras Comisión:	Dra. Javiera Paz Gerding González MsC. Liubow Nikolaivna González Martínez

CONCEPCIÓN, 2023

“Ignoramos, al menos yo lo ignoro, si los males y perversidades de la realidad tienen algún sentido oculto que escapa a nuestra torpe visión humana. Pero nuestro instinto de vida nos incita a luchar a pesar de todo, y esto es bastante, por lo menos para mí.”

Ernesto Sabato, 1951

ÍNDICE

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos.....	4
1.1.1. Objetivo General.....	4
1.1.2. Objetivos Específicos.....	4
1.2. Ubicación y Accesos	5
1.3. Agradecimientos	6
2. MARCO GEOLÓGICO	7
2.1. Geomorfología.....	7
2.1.1. Geomorfología Regional.....	7
2.1.2. Geomorfología Local	9
2.2 Unidades litológicas	9
2.2.1. Basamento Metamórfico	10
2.2.1.1. Serie Occidental	10
2.2.1.2. Serie Oriental	11
2.2.2. Rocas Intrusivas	12
2.2.2.1. Batolito Costero del Sur.....	12
2.2.3. Depósitos recientes	13
2.3 Geología Estructural	15
3. METODOLOGÍA.....	17
3.1. Trabajo de pre terreno.....	17
3.2. Trabajo de terreno.....	18
3.2.1 Medición de flujo de CO ₂	18
3.2.2 Obtención de datos.....	22
3.3. Trabajo post terreno.....	23
3.3.1. Manejo datos del flujo de CO ₂	23
3.3.2. Análisis estadísticos	24
4. RESULTADOS	25
4.1 Análisis de la cuenca	25
4.1.1. Análisis de Redes de Drenaje.....	25
4.1.2. Análisis de elevación	26
4.1.3. Análisis de pendientes.....	28
4.2. Análisis estadístico de las mediciones	30
4.3. Flujos de CO ₂ en suelos.....	35
4.4. Emisiones de CO ₂ bimensuales y anual	37
4.5 Temperaturas	38
5. DISCUSIÓN	41
5.1. Actividad microbiana y su efecto en el flujo de CO ₂	41
5.2. Variación en las temperaturas.....	41
5.3. Problemas en la metodología.....	43

5.4. Estandarización de los resultados	44
5.5. Influencia antropogénica	44
5.6. Comparación con trabajos de otros autores	45
6. CONCLUSIONES	50
7. REFERENCIAS	51
ANEXOS.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1. Mapa de ubicación del área de estudio.....	5
2.1. Unidades geomorfológicas de la región del Biobío.....	8
2.2. Mapa Geológico Parque Nacional Nonguén.....	15
3.1. Mapa de la distribución de los sitios de estudio.....	18
3.2. Dispositivo LI-COR 8100A durante el trabajo en terreno	20
3.3. Representación de cómo se mezcla el aire dentro de la cámara del LI-COR 8100A.....	21
4.1. Mapa de la red de drenaje, Parque Nacional Nonguén	26
4.2. Mapa de elevación, Parque Nacional Nonguén.....	27
4.3. Mapa de elevación y de la red de drenaje del área de estudio.....	28
4.4. Mapa de pendientes, Parque Nacional Nonguén.....	29
4.5. Mapa de pendientes y de la red de drenaje del área de estudio.....	30
4.6. Matriz de comparación con los resultados prueba de Dunn.....	34
4.7. Box plot que muestra la distribución estadística de las mediciones del flujo bimensual de dióxido de carbono durante un año en los 8 sitios de estudio.....	36
4.8. Gráfico de barras que representa el flujo promedio de CO ₂ en los sitios de estudio.....	37
4.9. Variación bimensual de CO ₂ durante el año de investigación.....	38
4.10. Variación bimensual de la temperatura (C°) durante el año de investigación.....	39
4.11. Variación bimensual de temperatura (C°) a lo largo de un año. Datos extraídos de explorador.cr2.cl.....	40

5.1.	Temperatura media global del aire en la superficie, de julio 1940 hasta 2023.....	43
------	---	----

ÍNDICE DE TABLAS

3.1.	Coordenadas espaciales de los sitios de estudio.....	13
3.2.	Fechas de medición en terreno.....	23
4.1.	Clasificación del ángulo de pendiente para mapas geomorfológico.....	29
4.2.	Resultados de la prueba de Levene.....	31
4.3.	Resultados de la prueba de Shapiro – Wilk.....	31
4.4.	Resultados de la prueba de Anderson -Darling.....	32
4.5.	Resultados de la prueba de Mann – Whitney.....	33
4.6.	Pares de sitios más semejantes y más diferentes a partir de los resultados la prueba de Dunn.....	35
4.7.	Datos promedio por mes de CO ₂ (gCO ₂ * m ² * día ⁻¹).....	37
4.8.	Promedio bimensual de las temperaturas por sitio de estudio.....	39
5.1.	Comparación de las emisiones de CO ₂ de los sitios de estudio con lo que emite un bus de transporte que utiliza gasolina como combustible.....	44

ÍNDICE DE ANEXOS

1.	Datos procesados de la emisión de CO ₂ (gCO ₂ * m ² * día ⁻¹).....	60
2.	Temperaturas (°C) obtenidas durante la campaña de terreno.....	62

RESUMEN

En la Zona Centro y Sur de Chile, se ha observado un crecimiento constante en la sustitución de bosques nativos por plantaciones forestales, una tendencia que se espera que continúe en el futuro. Las regiones del Biobío y Ñuble han sido particularmente afectadas por este fenómeno. En la Cordillera de la Costa, los parques nacionales y reservas son de los pocos lugares que aún conservan la vegetación nativa. Este estudio se enfocó en el análisis de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) de los suelos graníticos ubicados en el Parque Nacional Nonguén, en la región del Biobío, en respuesta al cambio en el uso de los suelos, específicamente en plantaciones forestales de *Pinus radiata* y áreas con bosque nativo caducifolio.

La investigación se llevó a cabo en ocho sitios de estudio dentro del parque, divididos en cuatro sitios con bosque nativo (NOBN) y cuatro en plantaciones forestales (NOPL). Estos suelos comparten condiciones similares de temperatura y precipitación, ya que se encuentran próximos dentro del parque, estando en algunos lugares a menos de 50 m de distancia entre sí. Para el desarrollo de este estudio se utilizaron mediciones provenientes de la emisión de CO₂ de los suelos, estos datos se obtuvieron a través del dispositivo LI-COR 8100A. Esta metodología permitió la obtención de 778 mediciones, a las cuales posteriormente les fueron aplicadas técnicas estadísticas para comparar los niveles de emisión entre los suelos con bosque nativo y los suelos de plantaciones forestales.

Los resultados indican diferencias significativas en las emisiones de CO₂ entre los suelos con bosque nativo y los suelos asociados a plantaciones forestales. Los primeros emitieron en promedio $19,68 \text{ gCO}_2 * \text{m}^{-2}$ por día, mientras que los suelos de plantaciones forestales emitieron $16,06 \text{ gCO}_2 * \text{m}^{-2}$ por día, con una diferencia de $3,62 \text{ gCO}_2 * \text{m}^{-2}$. Además, se observó una correlación estrecha entre las temperaturas y las emisiones de CO₂, ya que los sitios con bosque nativo presentaron una temperatura promedio anual de $15,32^\circ\text{C}$ y emitieron más CO₂ que los sitios con *Pinus radiata*, que registraron emisiones y temperaturas más bajas, $14,87^\circ\text{C}$ en promedio al año.

Este estudio revela que las emisiones de CO₂ son significativamente mayores en los suelos con bosque nativo en comparación con los suelos de plantaciones forestales en el Parque Nacional Nonguén. Las diferencias en las tasas de emisión están relacionadas con las temperaturas, lo que sugiere la influencia de esta en la respiración de los seres vivos del suelo. La disminución de la tasa de respiración en las plantaciones forestales podría indicar una reducción en la biodiversidad y cantidad de organismos del suelo, lo que se considera el principal impacto en los ecosistemas afectados por la sustitución de bosques nativos por monocultivos de *Pinus radiata*. Aunque un aumento en las emisiones de CO₂ podría parecer perjudicial para el cambio climático, se señala que, en este contexto, tiene implicaciones particulares que merecen una consideración más profunda.

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es la capa superior de la corteza terrestre formada por la alteración física y química de las rocas, la actividad biológica y la interacción con la atmósfera y el agua (Brevik y otros, 2015). El almacenamiento de carbono en los suelos depende del equilibrio entre la producción primaria y la descomposición (Schlesinger & Bernhardt, 2013). La producción primaria corresponde a habilidad de los organismos fotosintéticos, como las plantas, algas y algunas bacterias, para transformar la energía solar en materia orgánica a través de la fotosíntesis. Mientras que la descomposición es el proceso en el cual algunos organismos como bacterias, hongos, lombrices de tierras, entre otros, descomponen la materia orgánica muerta y la convierten en nutrientes inorgánicos (Lefèvre y otros 2017).

Los bosques alrededor del mundo contienen cerca de 1240 Pg de carbono (Dixon, 1994), donde más de dos tercios de este carbono está contenido en los suelos, además es el mayor depósito terrestre de carbono, por lo tanto, el carbono en los suelos juega un papel significativo en los ciclos biogeoquímicos globales (Bockheim & Gennadiyev, 2010). Las condiciones climáticas como la temperatura y la precipitación son los principales elementos que modulan el secuestro neto de carbono biótico y la acumulación de carbono orgánico del suelo (SOC), mientras que diferentes factores de origen antrópico pueden promover una disminución general del mismo (Crovo y otros 2021).

La cobertura del suelo se define en función de características físicas y biológicas, así como de las fuentes de agua presentes en la superficie y subsuelo (Lambin y otros, 2006). Proporciona información relevante sobre la relación entre el terreno, el clima y los suelos, lo que permite comprender su función, ya sea como la protección contra la erosión, la conservación de la humedad, la mejora de la estructura del suelo, la promoción de la biodiversidad, entre otros (DeFries y otros, 2002 en Wulder, 2018). Por otro lado, el uso del suelo corresponde al propósito o función para el cual se emplea y explota una determinada cobertura de suelo (Lambin y otros, 2006). Implica la manipulación de los atributos biofísicos de la tierra y refleja la intención con la que se utiliza, es decir, se relaciona con las actividades llevadas a cabo en una determinada cobertura. Estos conceptos se relacionan estrechamente (Fisher & Unwin, 2005). En Chile se está llevando a cabo sistemáticamente en las regiones de la zona centro y sur, un cambio en los usos del suelo, por lo cual cobertura también se ha ido modificando paulatinamente.

El almacenamiento y estabilización del carbono a largo plazo ha sido influenciada por actividades humanas como la deforestación y la modificación del uso del suelo. Estos elementos han causado un desequilibrio y una disminución en las reservas totales de carbono en el suelo (Lal, 2005). Por ejemplo, la conversión de bosques en terrenos agrícolas ha llevado a una disminución de hasta el 50% en las reservas de carbono en el suelo (Guo & Gifford, 2002). Esta reducción se atribuye en gran medida a la disminución en la producción de biomasa aérea y subterránea y su posterior descomposición (Lal, 2005). A la vez se ha investigado el efecto inverso, donde el abandono de terrenos agrícolas y su reforestación posterior, con plantaciones exóticas (o comerciales), han llevado a un aumento en las reservas de carbono en el suelo de hasta un 20% en el primer caso y un 50% en el secundario (Guo & Gifford, 2002). Esto resalta la importancia de la gestión de la captura de carbono atmosférico por parte de los bosques y su posterior estabilización en los suelos forestales (Lal, 2005).

El impacto de la sustitución de bosques nativos por plantaciones forestales en el carbono orgánico del suelo sigue siendo un tema de debate. Algunos estudios sugieren incrementos en las reservas de carbono en el suelo después de reemplazar los bosques nativos por plantaciones productivas (Jobbágy y Jackson, 2000; Chen y otros, 2005; Fialho y Zinn, 2012), mientras que investigaciones más recientes sugieren lo contrario (Crovo y otros 2021; Guo & Gifford, 2002; Liao y otros, 2012; Chen y otros, 2016; Cao y Chen, 2017). Esta discrepancia en cuanto a la influencia del reemplazo forestal en las reservas de carbono en el suelo ha abierto la puerta a nuevas investigaciones para ampliar las bases de datos existentes, así como para promover una estandarización en la medición y cuantificación de las reservas totales de carbono en el suelo a nivel mundial (Eclesia y otros, 2012; Liu y otros, 2016; Chen y otros, 2016).

En Chile, los bosques de tipo templado son predominantes y se caracterizan por su alta diversidad de flora y fauna. Sin embargo, en los últimos años han experimentado múltiples impactos, los que ha provocado pérdidas de la biodiversidad de los mismos. Durante el periodo comprendido entre los años 1977 y 2000, se ha documentado una rápida disminución del bosque nativo, principalmente debido a la expansión de plantaciones forestales con fines comerciales (Contreras, 2022). Estas plantaciones habrían provocado cambios significativos en la configuración de los bosques nativos (Echeverría y otros, 2006). Según León-Muñoz y otros (2017), la deforestación y reemplazo de bosques nativos por plantaciones forestales ha aumentado

en la Cordillera de la Costa en la zona centro-sur de Chile, con una tasa anual de pérdida de bosques nativos del $2,4\% \pm 1,6$.

El cambio climático y la preocupación por la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero han provocado un creciente interés en comprender el papel de los suelos en el ciclo del carbono y su contribución a la captura y almacenamiento de CO₂ atmosférico. En este contexto, el estudio de los suelos asociados a diferentes tipos de coberturas vegetales se vuelve fundamental para evaluar su capacidad de capturar y retener el CO₂.

Para tener una idea, en la región del Biobío se emitieron durante el año 2021, más de 18 millones de toneladas de CO₂ provenientes principalmente de la industria manufacturera con 8.750.875 (48%) y el rubro de termoeléctricas con 4.415.341 (24%) (Ministerio del Medio Ambiente, 2022). Por otra parte, las plantaciones suelen estar implicadas en los incendios forestales, lo que resulta en la liberación de grandes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera. Estudiar el impacto de estos es de sumo interés, dado que son eventos frecuentes en la región del Biobío.

En este trabajo, se llevó a cabo un estudio comparativo en un mismo tipo de suelo dentro de un área específica pero destinados dos usos diferentes: suelos desarrollados a bosques nativos secundarios de *Nothofagus* sp y suelos bajo plantaciones forestales de *Pinus radiata*. Esto en el interior del Parque Nacional Nonguén, dentro de la región del Biobío. Dichos suelos presentan características distintas debido a la diversidad de especies que albergan y a los diferentes manejos que reciben. El bosque nativo se caracteriza por su biodiversidad, estructura (forma en que están organizados y distribuidos los diferentes elementos del bosque) y composición arbórea, mientras que las plantaciones forestales están compuestas por especies de crecimiento rápido y manejo intensivo.

Crovo y otros (2021) describe que en el Parque Nacional Nonguén en Chile, se caracteriza por la presencia de suelos que se originan a partir de granito y se encuentran en la ladera de los cerros dentro del parque, con un ángulo que fluctúan entre los 15° y 25°. Según la clasificación de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) estos corresponden a los Alfisoles, que son parte de un grupo de suelos ricos en materia orgánica con una alta capacidad para retener nutrientes y agua. Estos suelos son comunes en varias regiones del mundo y se utilizan con frecuencia para la agricultura y la producción de alimentos (Baillie, 2001). Según Crovo y otros (2021) estos suelos se clasifican como Mollic Palexeralfs (perteneciente al orden de los

Alfisoles), que son suelos de mineralogía cristalina con baja actividad, es decir, poseen una capacidad limitada para el intercambio de cationes y una menor capacidad para retener nutrientes esenciales para las plantas (Brady y Weil, 2010).

El Parque Nacional Nonguen protege el último remanente importante del bosque caducifolio de Concepción, que antes cubría la Cordillera de la Costa en la región y que fue remplazado casi en su totalidad por cultivos agrícolas y plantaciones forestales (CONAF, 2023). La especie nativa dominante en esta área es *Nothofagus obliqua*, también conocido como roble pellín o hualle, es un tipo de haya del sur del país, aunque también existen otras especies tales como el raulí, el tino y la huillipatagua, además, se encuentra el michay de neger, planta arbustiva en peligro de extinción y endémica de esta región (CONAF, 2023). El clima del parque se caracteriza por una precipitación media anual de 984,3 mm y una temperatura media anual de 13°C (información extraída de Dirección Meteorológica de Chile para el año 2021).

La importancia de este estudio radica en comprender cómo diferentes coberturas vegetales influyen en el flujo de CO₂ gaseoso de los suelos. Además, esta investigación proporciona información relevante que puede contribuir para la toma de decisiones en términos de manejo forestal y conservación de los recursos naturales, ya que el conocimiento de las diferencias entre los suelos asociados a bosque nativo y plantaciones forestales puede contribuir a la implementación de prácticas más efectivas para la captura y almacenamiento de CO₂.

1.1 Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Establecer las potenciales modificaciones en las emisiones del carbono por la conversión del uso de suelo desde bosques nativos a plantaciones forestales en el Parque Nacional Nonguén.

1.1.2. Objetivos Específicos

1. Determinar el carbono liberado como respiración total del suelo (flujo de CO₂ gaseoso).
2. Evaluar el rol de la temperatura como factor natural en la emisión de CO₂ en bosques nativos y plantaciones forestales.
3. Evaluar la influencia del cambio de uso de suelo en el flujo de CO₂.

1.2. Ubicación y Accesos

El área de estudio se encuentra dentro del Parque Nacional Nonguén (Figura 1.1), el cual está ubicado en la provincia de Concepción, región del Biobío, Chile. Comprende parte de las comunas de Hualqui, Chiguayante y Concepción, con una superficie que abarca las 3.037 hectáreas. Se accede al parque por la ruta 146 que une Concepción con Cabrero, se debe tomar la salida hacia Nonguén a la altura del km 6 aproximadamente y luego seguir la calle “Camino Nonguén”. Una vez en la recepción del parque, se accede a él por una serie de senderos y caminos que permiten explorar la rica biodiversidad del lugar. En particular los sitios de estudio se encuentran próximos al sendero Los Canelos, que corresponde al sendero más extenso dentro del parque, con 11 km de largo, logrando internarse hacia el centro del Parque.

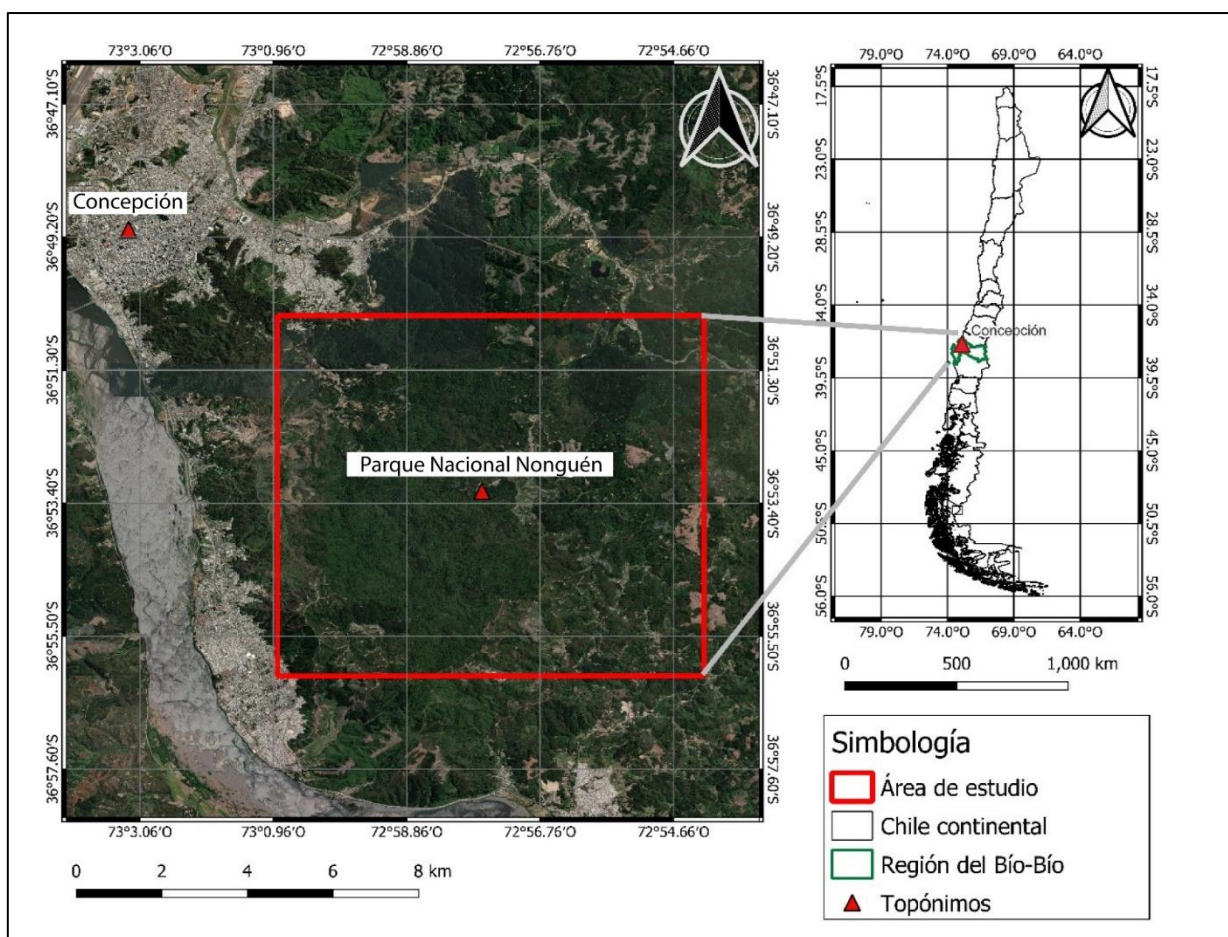


Figura 1.1. Mapa de ubicación del área de estudio. Elaboración propia.

1.3. Agradecimientos

En primer lugar, deseo expresar mi gratitud por el financiamiento proporcionado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) y el Max Planck Institute for Biogeochemistry, a través del proyecto de cooperación internacional MPG 190022, titulado "Forest Carbon Associative Research: Quantifying the effect of forest use intensification on soil carbon stabilization processes", dirigido por el Dr. Felipe Aburto. También, quiero agradecer a la Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo de la Universidad de Concepción, VRID InvestigadorAS - N°2022000571, bajo la dirección de la Dra. Fernanda Álvarez Amado, por los recursos proporcionados.

A mi alma mater, la Universidad de Concepción, le agradezco por brindarme una sólida base de conocimientos y las herramientas necesarias para enriquecer mis estudios. Específicamente, agradezco a la Facultad de Ciencias Químicas y al Departamento de Ciencias de la Tierra por su valiosa contribución a mi formación. Reconozco también a la Facultad de Ciencias Forestales por permitirme acceder a sus equipos e instalaciones, así como al Parque Nacional Nonguén por su colaboración y disposición para llevar a cabo este proyecto.

No puedo dejar pasar esta oportunidad para agradecer a la Dra. Pamela Castillo Lagos por invitarme a formar parte de este proyecto y por brindarme orientación en un área desconocida para mí.

Finalmente, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia. Su constante apoyo y aliento han sido un faro en mi camino a lo largo de esta travesía académica. Agradezco a mis amigos por su aliento incondicional y su apoyo a lo largo de este período, que ha tenido sus altibajos hasta culminar en esta memoria de título. Sus experiencias compartidas y sus ánimos han sido invaluable.

2. MARCO GEOLÓGICO

2.1. Geomorfología

En el libro “Geografía Económica de Chile” por la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO, 1950), en particular en el capítulo Orografía, se proponen tres geoformas dominantes dentro del relieve del país, estas de este a oeste son: Cordillera de la Costa, valle longitudinal y Cordillera de los Andes. Posteriormente en el libro “Geografía de Chile” (Börgel, 1983) se reclasifica el relieve en las siguientes unidades fisiográficas, de oeste a este: planicies litorales (marinas y/o fluvio-marinas), Cordillera de la Costa, llanos de sedimentación fluvial y/o aluvional, Depresión Central, Precordillera y Cordillera de los Andes.

2.1.1. Geomorfología Regional

Dentro de la región del Biobío la distribución de las diferentes unidades fisiográficas está representada en la Figura 3.1. y se definen de la siguiente manera:

- Planicies litorales: se trata de la parte más occidental de la región, que se presenta en forma de una franja costera. Se caracteriza por una sucesión de formaciones homogéneas, con extensas playas de arena acumulada y sectores de acantilados, a altitudes que varían entre 60 y 250 metros sobre el nivel del mar. Los terrenos llanos se conectan a través de amplias áreas de dunas, estuarios y escarpados acantilados que emergen de la roca metamórfica que conforma la zona costera (Börgel, 1983).
- Cordillera de la Costa: este territorio se compone principalmente de rocas graníticas y metamórficas de la época Paleoceno, con altitudes medias de 350-450 metros y una topografía serrana con lomajes suaves y vegas en los valles. Según su altura, se pueden distinguir tres áreas principales: sectores de cordones montañosos y escarpes de fallas formados por rocas pizarras del Paleozoico, cordones montañosos de baja altura formados por rocas sedimentarias del Triásico, y cordones montañosos de media altura con restos de antiguas superficies de erosión sobre rocas graníticas del Paleozoico (Börgel, 1983).
- Llanos de sedimentación fluvial y/o aluvional: unidad ubicada en los alrededores del extremo final del río Biobío, cercana a su desembocadura, y se compone de llanuras que están cubiertas de arenas negras que provienen de la actividad del volcán Antuco. Estas arenas se depositaron en las playas al norte del río a través de la deriva litoral. Por otro lado,

al sur de la desembocadura del río Biobío, las arenas son blancas debido a la alteración del granito intrusivo de la costa. (Börgel, 1983).

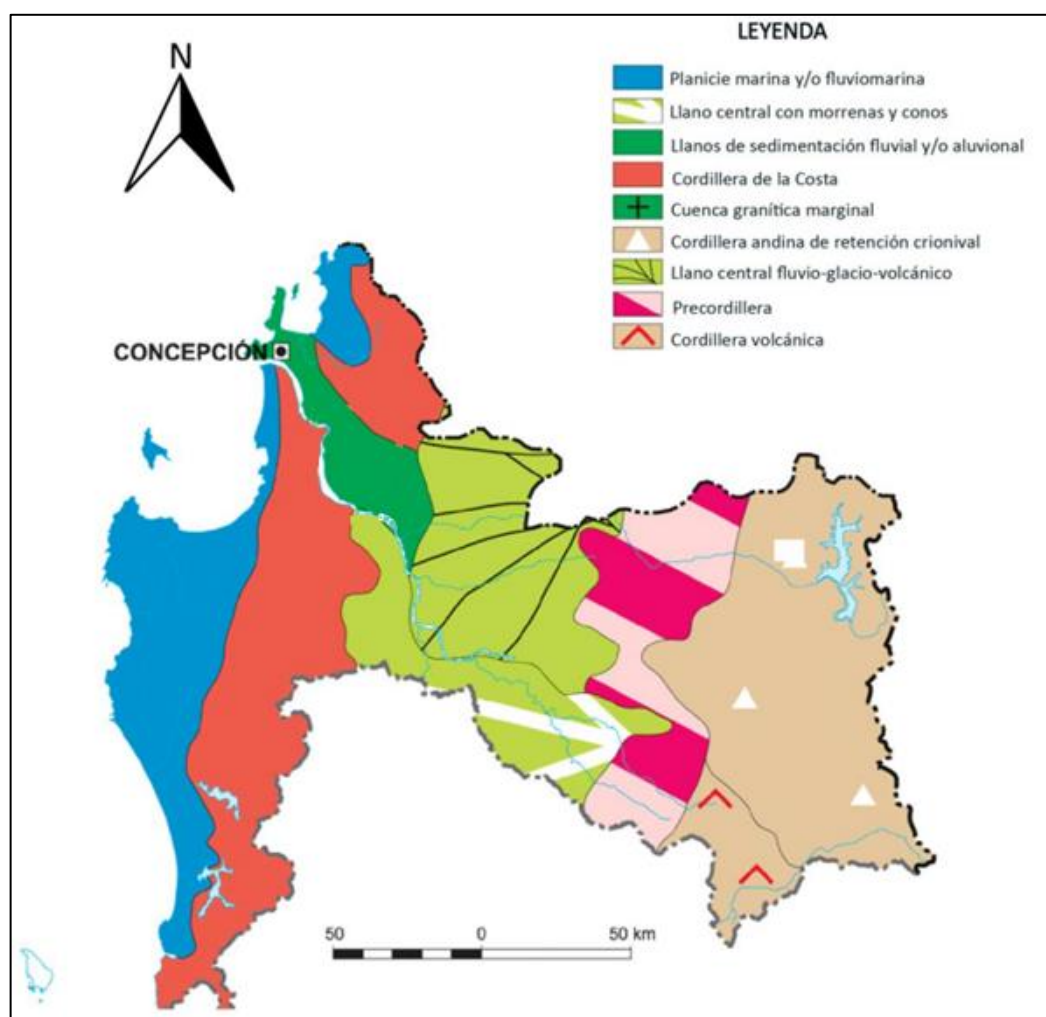


Figura 3.1. Unidades geomorfológicas de la región del Biobío. Modificado de Börgel (1983).

- Depresión intermedia: se localiza una zona baja que se extiende en dirección norte-sur y se encuentra entre la Cordillera de la Costa y la Cordillera de los Andes. Esta región es una fosa tectónica y se caracteriza por ser un llano con altitudes promedio de 125 m, con pendientes suaves y una gran cantidad de sedimentos depositados. En esta zona se puede identificar la presencia de un antiguo sistema lacustre que se mezcla con el cono del río Ñuble, y los sedimentos predominantes son de origen aluvial, según Gajardo (1981) y Börgel (1983).

- Precordillera: de acuerdo con Börgel (1983), la zona de transición entre la Depresión Central y la Cordillera de los Andes es de origen sedimentario y está compuesta por una acumulación desordenada de materiales glaciales, volcánicos y fluviales dispuestos al pie de la cordillera. Esta zona se encuentra a alturas que varían entre los 300 y 800 m s.n.m. y se caracteriza por la presencia de serranías adosadas al pie del macizo, con laderas abruptas y ríos encajonados.
- Cordillera de los Andes: corresponde a la región más oriental de esta área se caracteriza por un relieve abrupto de media montaña, con altitudes promedio de 2.000 m s.n.m. y picos que superan los 3.200 m s.n.m. Este relieve está estrechamente relacionado con la actividad volcánica y tectónica, como se puede ver en la presencia de estructuras como estratovolcanes, conos piroclásticos, coladas de lava y domos, según Börgel (1983).

2.1.2. Geomorfología Local

El Parque Nacional Nonguén se caracteriza por una topografía de media montaña con alturas entre 200 y 1.000 m s.n.m. Cuenta con laderas, cerros, quebradas, y ríos encajonados, además, cuenta con lagunas y humedales que aportan riqueza ecológica al parque, el cual está dentro de la unidad fisiográfica que Börgel (1983) define como Cordillera de la Costa.

2.2 Unidades litológicas

En la región del Biobío, específicamente en Concepción y sus alrededores, se identifican diferentes tipos de rocas y sedimentos, que abarcan desde rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias hasta sedimentos semi y no consolidados. Estos materiales tienen diferentes edades, desde el Paleozoico superior para el Basamento Metamórfico hasta el Cuaternario para depósitos más recientes (Inostroza, 2018).

El Basamento Metamórfico está compuesto por dos series, la Serie Occidental y la Serie Oriental. La Serie Oriental se encuentra por debajo de la Unidad Patagual-El Venado, que se formó durante el Pérmico inferior-Triásico Medio, en una zona de inconformidad (Mardónez y otros, 2012). En el Triásico Superior, la Serie Occidental fue intruida por el Plutón Hualpén (Creixell, 2001). El Basamento Metamórfico esta intruido por granitoides que se formaron durante el Carbonífero-Pérmico, dicha unidad se conoce como el Batolito Costero del Sur, y se divide en tres unidades principales: los Granitoides de Concepción, las Tonalitas de Santa Juana y los Granitoides de Nahuelbuta (Creixell, 2001).

Según Pineda (1983) las unidades sedimentarias que se reconocen en la región, corresponden a la Formación Santa Juana, que data del Triásico Superior, es una secuencia de rocas estratificadas que presenta una alternancia entre ambiente marino poco profundo y ambiente continental. Por su parte, la Formación Quiriquina se depositó durante el Cretácico Superior en un ambiente marino-costero. Ambas formaciones se encuentran en inconformidad sobre el Basamento Metamórfico y el Batolito Costero del Sur.

Por último, durante el Paleógeno se depositaron en paraconformidad sobre la Formación Quiriquina las formaciones Pilpilco, Curanilahue, Boca Lebu, Trihueco y Millongue, que son concordantes entre sí. Durante el Neógeno-Cuaternario, las formaciones Ranquil, Tubul, Andalién, Huachipato y Estratos Molino El Sol, además de depósitos no consolidados, se depositaron en discordancia angular sobre las formaciones del Paleógeno (Pineda, 1983; Geología de Campo II, 2020).

2.2.1. Basamento Metamórfico

Los primeros estudios realizados al Basamento Metamórfico en la zona centro-sur de Chile fueron obra de González-Bonorino y Aguirre (1970). Posteriormente, Aguirre y otros (1972) dividió el complejo metamórfico en Serie Oriental y Serie Occidental. Dicho basamento se emplaza mayormente en la Cordillera de la Costa y abarca desde los 32°S hasta los 42°S aproximadamente (Gianni, 2021). El Basamento Metamórfico es intruido por el Batolito Costero del Sur y sobreyacido en inconformidad por la Formación Santa Juana, en la localidad homónima, en las cercanías del río Biobío (Hervé y otros, 1988). Ferraris (1981) también menciona que el basamento infrayace a la Formación Santa Juana mediante contacto por falla.

2.2.1.1. Serie Occidental

La Serie Occidental según Hervé y otros (1977) está compuesta de esquistos psamopelíticos, metabasitas, metacherts y pequeños cuerpos intrusivos serpentinizados. Los esquistos psamopelíticos representan la mayor proporción de la serie y corresponden a esquistos de mica. Luego le siguen los metacherts y las metabasitas, donde estas últimas se concentran en los márgenes occidentales de los afloramientos de la serie. Petrológicamente, a nivel microscópico los esquistos de mica son de grano grueso y están compuestos por bandas abundantes de clorita y mica blanca, las que son paralelas a los planos de foliación.

El protolito de la Serie Occidental, correspondería a secuencias pelíticas, psamopelíticas o grauvacas, cherts y rocas volcánicas básicas (Hervé y otros, 1977). A estas últimas se les realizaron análisis geoquímicos de óxidos totales, los cuales arrojaron afinidad toleítica, por lo que, se puede concluir que provienen de dos posibles zonas: dorsal oceánica o arco de isla. González-Bonorino (1971) plantea que la serie Curepto, que es correlacionable con la Serie Occidental en base a las condiciones de metamorfismo similares, tendría protolitos sedimentarios y volcánicos provenientes de ambiente abisal y de la fosa.

2.2.1.2. Serie Oriental

Hervé y otros (1977) plantea que la Serie Oriental está compuesta por metagrauvacas, filitas, gneises y rocas córneas asociados con granitoides de dimensiones batolíticas. En base al grado de metamorfismo de contacto puede dividirse la serie, desde menor a mayor grado de metamorfismo, conforme se aproxima al área de contacto entre el Basamento Metamórfico y el batolito, en tres zonas:

- Zona de biotita: alternancia de metagrauvacas y filitas. Los minerales formadores de matriz son cuarzo, albita, mica blanca, clorita y biotita. Las metagrauvacas consisten en los mismos minerales que componen a la filita, pero con menores cantidades de mica.
- Zona de andalucita: la aparición de andalucita al aproximarse al granitoide desde el oeste es una característica resaltante en terreno. En las proximidades con la zona de sillimanita, cristales prismáticos de quistolita coexisten con la sillimanita. En este proceso se oblitera de manera progresiva la estratificación.
- Zona de sillimanita: corresponden mayormente a gneises ricos en mica. La roca tiende hacia agregados homeoblásticos de cuarzo, oligoclasa, feldespato potásico, biotita y mica blanca, además de los cristales de sillimanita.

Vásquez (2001) menciona que un metamorfismo de tipo Barroviano habría antecedido al metamorfismo de contacto recién descrito. Específicamente, el metamorfismo Barroviano fue observado en el área de Laraquete-Colcura, donde las metapelitas que afloran allí presentan asociaciones pre-tectónicas de estaurolita, granate y biotita, donde los picos de este metamorfismo indican profundidades máximas de 35 km, las cuales son mayores a las profundidades calculadas para el metamorfismo de contacto sobrepuesto, por lo que esto sería indicativo que antes de la intrusión la serie se habrían exhumado.

El ambiente de depositación del protolito de la Serie Oriental según Hervé y otros (1977) representa un complejo sedimentario de plataforma producido bajo un régimen flyschoides de sedimentación. Hervé y otros (1988) concluyen, en base a la composición principalmente turbidítica de la serie, que el área madre del protolito fue un margen continental pasivo que entregó material detrítico a la plataforma continental.

Dentro del área de estudio, según Ramírez (2004) las rocas que afloran corresponden a la Serie Oriental, localizadas en cordones montañosos con alturas que superan los 200 m s.n.m.

2.2.2. Rocas Intrusivas

2.2.2.1. Batolito Costero del Sur

El Batolito Costero del Sur es una unidad definida por Hervé y otros (1987) y se compone de cuerpos intrusivos que se extienden en una franja NNE-SSW continua entre los 32°30'-38°S, al oriente del Basamento Metamórfico en la cordillera de la Costa. Al sur de los 38°S, las rocas intrusivas paleozoicas afloran de manera discontinua en la región de Los Lagos, entre los 39°-41°S y en el territorio norpatagónico argentino.

Intruye a rocas del Basamento Metamórfico (Serie Oriental) y causa en ellas un metamorfismo de contacto, lo que se superpone al metamorfismo regional. Esta relación de intrusión es observada en Caramávida y Curanilahue, aproximadamente a 15 km al E de las localidades homónimas, en el margen occidental de las rocas intrusivas (Creixell, 2001). Además, en el sector de Santa Juana, el Batolito Costero del Sur infrayace en inconformidad a rocas sedimentarias del Triásico Superior de la Formación Santa Juana (Cucurella, 1978 en Creixell, 2001) y, entre los 36°-37°S, en el flanco occidental de la cordillera de la Costa, infrayace de la misma forma a rocas sedimentarias del Cretácico Superior y Cenozoico inferior, correspondientes a la Formación Quiriquina y Formación Curanilahue, respectivamente (Quezada, 1996).

El Batolito Costero del Sur está compuesto principalmente de granodioritas y tonalitas de biotita y hornblenda (Parada, 1990 en Creixell, 2001), y en menor proporción dioritas y granitos (Hervé, 1977). Texturalmente, las rocas de esta unidad son de grano grueso y, en menor cantidad, de grano medio (Creixell, 2001). Las rocas del Batolito Costero del Sur en la zona de la región del Biobío pueden ser agrupadas en tres sub-unidades: Tonalitas de Santa Juana, Granitoides de Nahuelbuta y Granitoides de Concepción (Creixell, 2001). Las dos primeras conforman el Plutón Central de Nahuelbuta (Hervé, 1977), donde los Granitoides de Nahuelbuta corresponde a las facies centrales y las Tonalitas de Santa Juana a sus facies marginales orientales. Los Granitoides de

Concepción representan otro plutón más diferenciado de la misma unidad intrusiva, que aflora al norte del río Biobío (Creixell, 2001).

A continuación, se describen brevemente las tres sub-unidades:

- Los Granitoides de Nahuelbuta son rocas ígneas que consisten en granodioritas y tonalitas de biotita y hornblenda con una textura de grano grueso a medio. Según Creixell (2001), estas rocas se localizan en la parte central de la cordillera de Nahuelbuta y en su margen occidental. La mineralogía principal de estos granitoides incluye plagioclasa, microclina, cuarzo, biotita y anfíbola cálcica, así como minerales accesorios como circón y apatito. Además, están intruidos por diques leucograníticos de grano medio y presentan una foliación leve, que se observa por la orientación débil de los minerales máficos y de xenolitos de anfíbolita (Creixell, 2001).
- Tonalitas Santa Juana, según lo descrito por Creixell en 2001, esta sub-unidad geológica se encuentra en las cercanías de Santa Juana, al norte de los Granitoides de Nahuelbuta y es parte del margen oriental del Batolito Costero del Sur. Esta sub-unidad se compone de tonalitas de anfíbol cálcico y ferromagnesiano, así como de dioritas cuarcíferas en menor medida, y contiene xenolitos de anfíbolita. Además, se observa la presencia de diques y vetillas de composición félsica con una potencia máxima de 20 cm. (Creixell, 2001).
- Granitoides Concepción es una unidad geológica que se encuentra principalmente en el área urbana de la ciudad de Concepción. Según lo descrito por Mardones y otros (2017), estos granitoides están formados por monzogranitos de biotita de grano medio a grueso, a veces con xenolitos pelíticos. Su mineralogía principal está compuesta por plagioclasa, microclina, cuarzo, biotita, muscovita y fases accesorias como circón y apatito. Aunque se han descrito litologías menos abundantes, como tonalitas de biotita y mica blanca, estas solo se pueden encontrar en el sector norte de Concepción (Cantera Giacaman), y rocas hipabisales de composición tonalítica que se pueden encontrar únicamente en la cantera de la Universidad de Concepción.

2.2.3. Depósitos recientes

Los sedimentos actuales de tipo fluvial, marino litoral, coluvial y aluvial se encuentran en una zona paralela a la costa y asociados con los cauces de ríos, esteros y pequeñas corrientes (Veyl, 1961 en García, 2004). Estos depósitos se originan a partir de la erosión de rocas más antiguas

durante el Pleistoceno (Inostroza, 2018). Se han identificado en discordancia angular (erosiva) sobre la Formación Quiriquina y la Formación Cosmito, en paraconformidad con las secuencias fluviales de la Formación Andalién (Geología de Campo II, 2020), en concordancia con la Formación Huachipato en inconformidad con el Basamento Paleozoico (Galli, 1967 en García, 2004).

Para efectos del área de estudio donde se desarrolla la presente memoria, se reconocen depósitos coluviales distribuidos en zonas cercanas a cuerpos de agua, como ríos y esteros, y en áreas inundables (Geología de Campo II, 2020). Están compuestos mayoritariamente por granos de cuarzo, seguidos de feldespatos potásico, plagioclasa, líticos terrígenos de composición ígnea y metamórfica, ferromagnesianos y micas, y presentan granos angulosos a subredondeados con esfericidad que varía de subprismoidal a subdiscoidal (Geología de Campo II, 2020).

Además, en el área se reconoce la existencia de Depósitos Coluviales los cuales se encuentran principalmente en zonas de pendiente alta a moderada en quebradas y taludes de caminos y carreteras, generando flujos de material que pueden alcanzar varios metros de distancia (Geología de Campo II, 2009). Estos depósitos están asociados a fracturas, diaclasas y sobrecarga en taludes debido a la presencia de agua o sedimentos, lo que provoca inestabilidad en la roca (Geología de Campo II, 2016). Según Galli (1967), estos depósitos se caracterizan por tener fragmentos de roca angulosos y una mala selección, mientras que Geología de Campo II (2016) indica que son caóticos y producto de un transporte escaso y rápido.

En la Figura 2.2. se visualiza la geología del parque (modificada de Ramírez, 2004), además se muestra la distribución de los sitios de donde fueron obtenidos los datos para el desarrollo del presente informe. Si bien Ramírez (2004) menciona que la zona donde se efectuaron las mediciones corresponde a rocas metamórficas, según lo visto en terreno la unidad corresponde a un coluvio monomítico proveniente de un granitoide residual, el cual se puede atribuir al Batolito Costero del Sur, en específico a la unidad Granitoides Concepción.

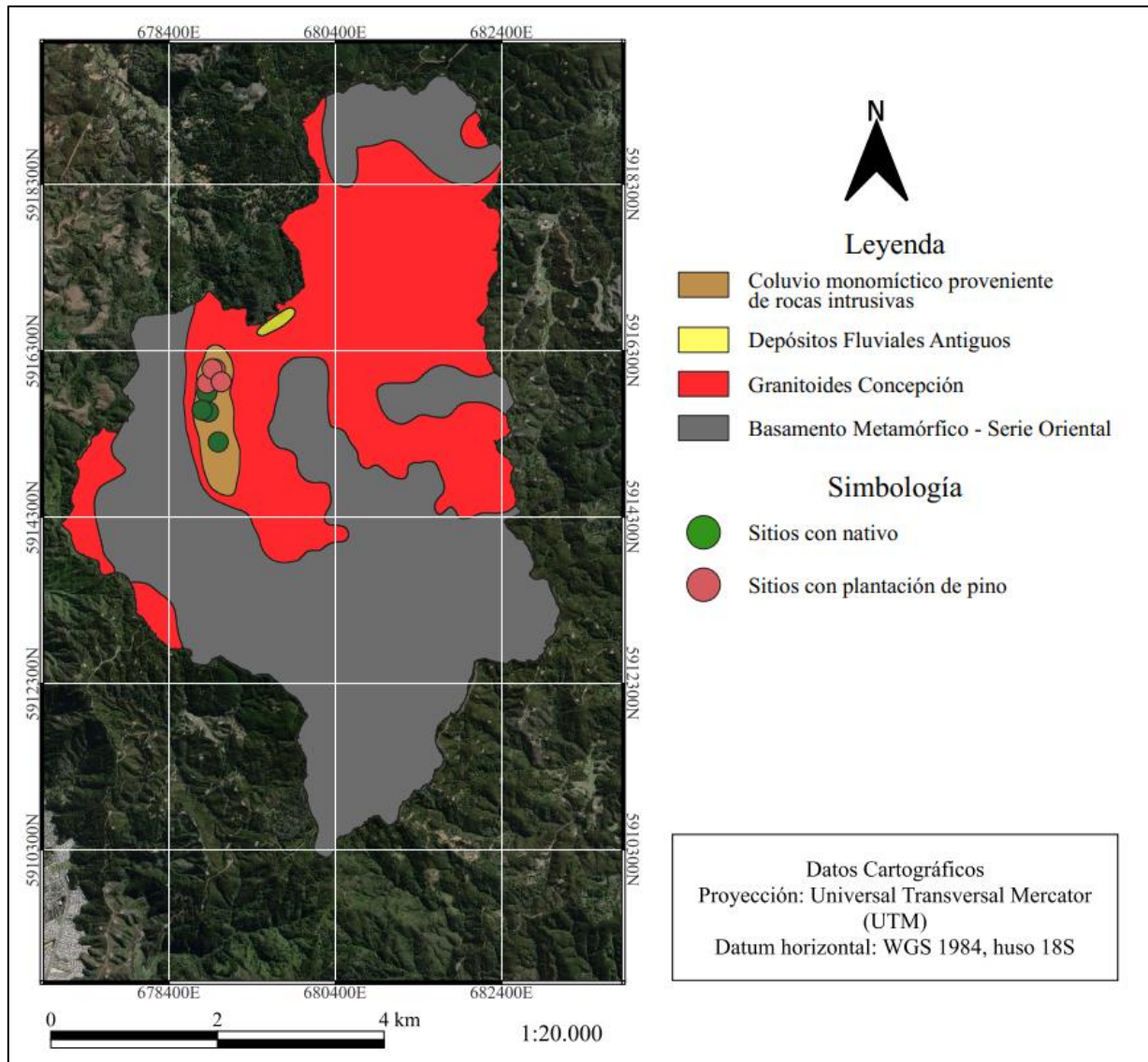


Figura 2.2. Mapa Geológico Parque Nacional Nonguén. Modificado de Ramírez (2004).

2.3 Geología Estructural

Las características estructurales presentes en la zona de estudio son el resultado de la interacción en un margen convergente en el borde occidental de Sudamérica, donde la placa continental de Sudamérica es subducida por la placa oceánica Nazca. Esta relación ha estado vigente desde al menos el Jurásico Inferior, marcando así el inicio del Ciclo Andino (Charrier y otros, 2007).

En la región del Biobío, se observa el impacto del desarrollo de megaestructuras que influyen en la tectónica y dinámica de esta área. Estas zonas de falla regionales se han interpretado como

sectores de debilidad en una tectónica preandina, y han tenido un papel directo en la segmentación del antearco en estas latitudes. Las referencias a estudios específicos respaldan estas observaciones (Moreno, 2004; Echtler y otros, 2003 en Moreno, 2004).

En la zona que corresponde al Parque Nacional no hay evidencia de lineamientos, fallas ni pliegues de gran envergadura, en terreno tampoco se vieron estructuras menores durante la campaña de terreno.

3. METODOLOGÍA

El trabajo e investigación se llevó a cabo en 3 etapas de trabajo.

3.1. Trabajo de pre terreno

Esta etapa involucró la recopilación bibliográfica detallada para obtener información topográfica, geológica y geomorfológica. Estos datos proporcionaron una base sólida para el diseño y la implementación de las actividades subsiguientes del estudio, permitiendo una comprensión profunda de las características del área y sentando las bases para el análisis que se llevará a cabo en las etapas posteriores de la investigación, como por ejemplo familiarizarse con el dispositivo empleado en las mediciones.

Los sitios de medición fueron 8 y se agrupaban en dos categorías: NOBN y NOPL, la primera quiere decir Nonguén Bosque Nativo y la segunda Nonguén Plantación haciendo referencias a *Pinus radiata*. Ambos grupos se enumeraron del 1 al 4 (Figura 3.1.).

Dichos sitios fueron definidos con anterioridad en el marco del Proyecto de Cooperación Internacional MPG-190022. En base a lo anterior se obtuvieron las siguientes coordenadas espaciales (Tabla 3.1.).

Tabla 3.1. Coordenadas espaciales de los sitios de estudio

Sitios	E	N	Altura (m)
NOBN1	678854	5915798	259
NOBN2	678874	5915565	251
NOBN3	678798	5915587	290
NOBN4	678991	5915203	248
NOPL1	678855	5915909	250
NOPL2	678955	5916078	239
NOPL3	678919	5916080	249
NOPL4	679027	5915926	223

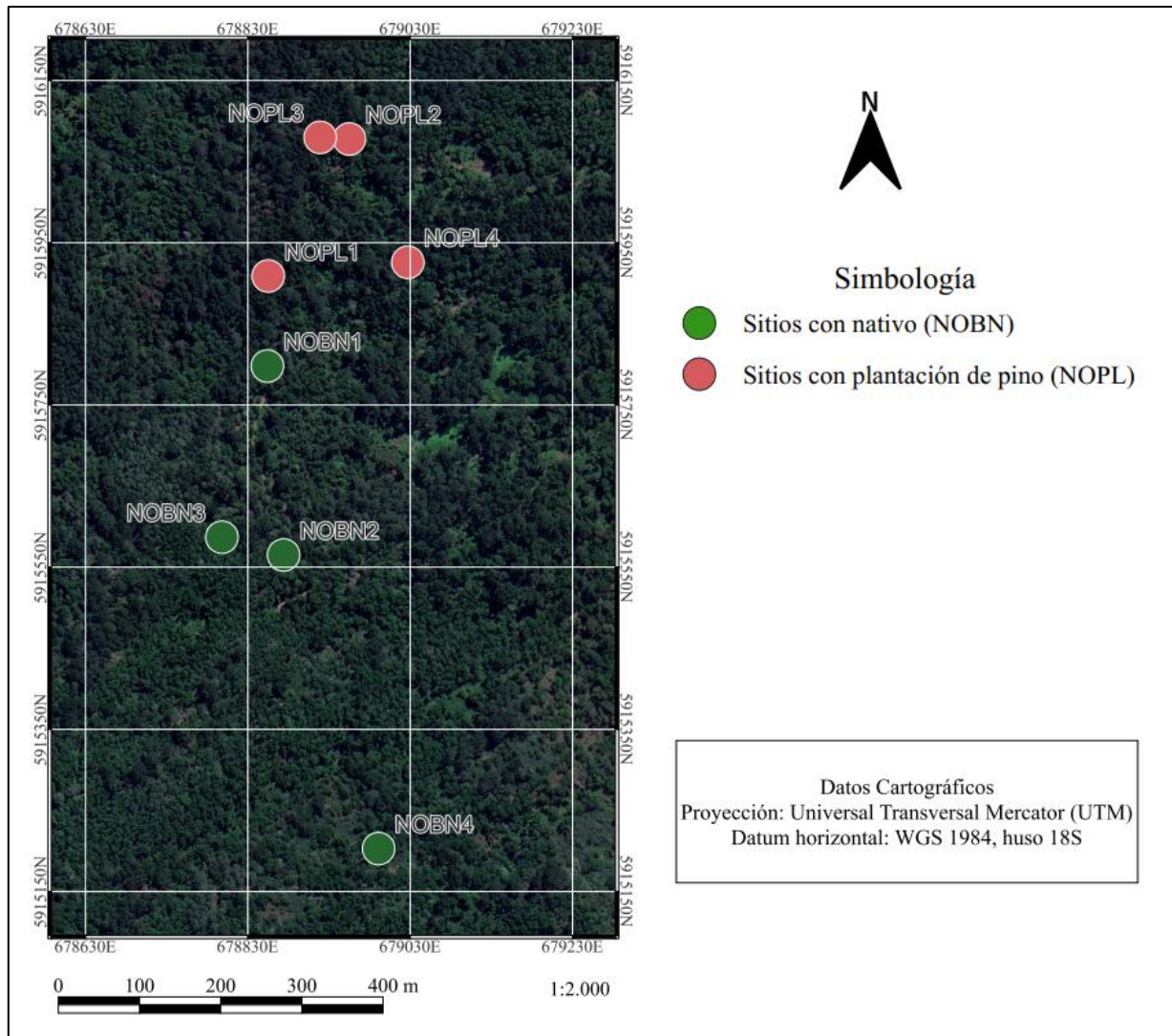


Figura 3.1. Mapa de la distribución de los sitios de estudio.

3.2. Trabajo de terreno

3.2.1 Medición de flujo de CO₂

La concentración de un gas corresponde a la cantidad del mismo que hay en un lugar en un momento dado, mientras que el flujo de un gas indica la cantidad de este que se emite o absorbe en una zona durante un tiempo determinado. La medición del intercambio de gases en el suelo se realiza típicamente con sistemas cerrados de cámaras que se colocan temporalmente sobre la superficie del suelo, y un analizador de gases que mide las concentraciones de gases dentro de la cámara cerrada.

El dispositivo empleado para obtener los datos del flujo de dióxido de carbono fue el LI-COR 8100A, el cual es un sistema automatizado de medición del flujo de gases del suelo como el

CO₂. Este dispositivo se utiliza comúnmente en estudios de ciclos de carbono y nitrógeno, biogeoquímica del suelo, ecología y cambio climático (LI-COR BIOSCIENCES, 2016).

El sistema consiste en una cámara cerrada que se coloca sobre el suelo (Figura 3.2.), permitiendo la medición precisa de los gases emitidos o absorbidos por el suelo. La LI-8100A cuenta con un analizador de gases de trazas que puede medir la concentración de CO₂ y otros gases como N₂O, H₂, CH₄ y C, lo que permite medir con precisión la tasa de emisión o absorción de gases del suelo.

El flujo es medido a partir de la velocidad a la que las concentraciones del gas cambian dentro de la cámara, para ello el sistema también incluye el programa Soil Flux Pro, que es utilizado para calcular la tasa de flujo de gases del suelo a partir de las concentraciones de gas medidas en las cámaras cerradas. Además, el LI-8100A es un sistema modular que permite realizar mediciones a largo plazo con hasta 16 cámaras, lo que permite realizar mediciones continuas en el tiempo y a través de una amplia variedad de condiciones ambientales. También se pueden realizar mediciones rápidas y precisas de emisiones de gases del suelo desde numerosas ubicaciones en un sitio de estudio utilizando múltiples cámaras. En este caso solo se utilizó una cámara cerrada con un respectivo analizador de gases.

Durante la medición en la cámara de gas del LI-8100A, el aire debe estar bien mezclado, ya que solo una pequeña porción del aire de la cámara se bombea al analizador de gases para medir la concentración de gases. Para lograr una mezcla adecuada del aire, las cámaras LI-8100A utilizan una combinación de la forma hemisférica de la cámara y la posición de la entrada y salida de aire (Figura 3.3.), en lugar de utilizar un ventilador de mezcla que podría perturbar artificialmente la presión de la cámara (Hanson y otros, 2000). Además, las cámaras están diseñadas con características que mitigan los efectos adversos de la colocación de la cámara en el suelo, como la perturbación que ocurre cuando la cámara se cierra, el aire mal mezclado en la cámara y las emisiones inducidas por la presión del aire que resultan de las condiciones ventosas durante las mediciones.



Figura 3.2. Dispositivo LI-COR 8100A durante el trabajo en terreno.

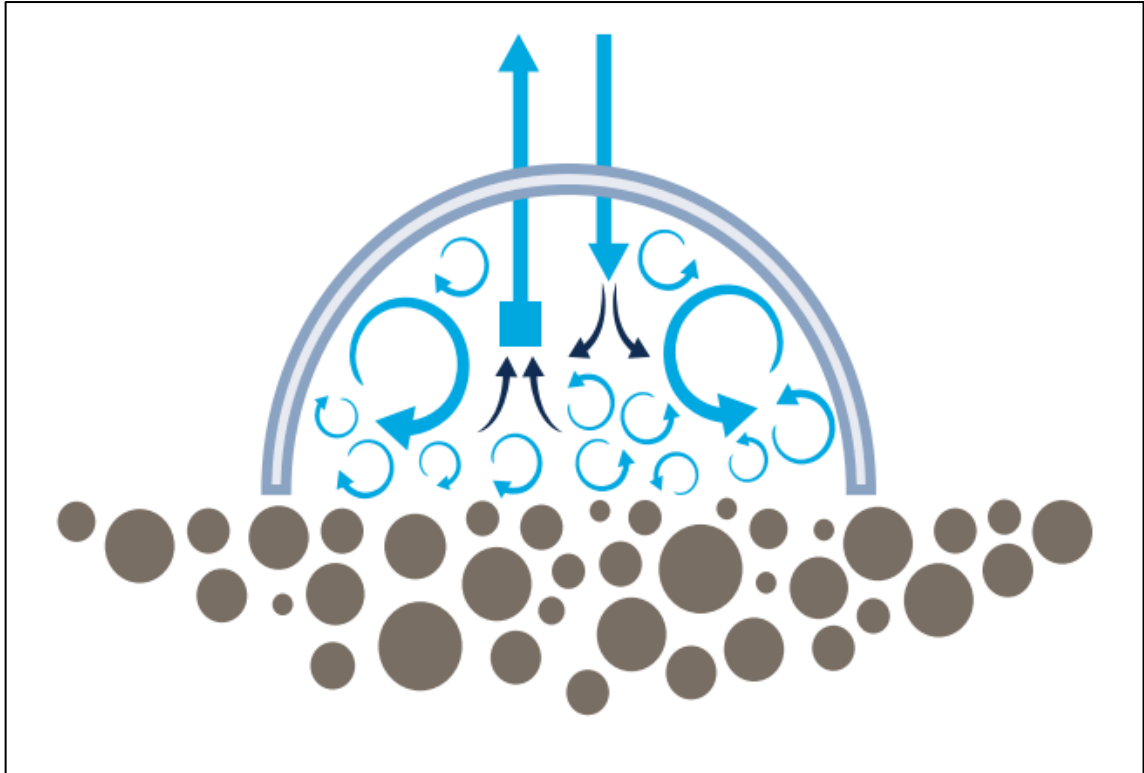


Figura 3.3. Representación de cómo se mezcla el aire dentro de la cámara del LI-COR 8100A. Obtenida de LI-COR BIOSCIENCES, 2016.

El flujo de CO_2 del suelo es impulsado tanto por la difusión como por el flujo de masa, siendo la difusión controlada por el gradiente de concentración de CO_2 y el flujo de masa por las fluctuaciones de presión en la superficie del suelo. Las cámaras deben ser ventiladas hacia el aire ambiente para garantizar que la presión dentro de la cámara sea igual a la presión ambiente durante una medición. Cuando las ráfagas de viento pasan por una ventilación tradicional, la presión en la cámara disminuye debido al efecto Venturi. Esto causa un flujo de masa de aire rico en CO_2 desde el suelo hacia la cámara, lo que lleva a una sobreestimación significativa del flujo (Bain y otros, 2005; Xu y otros, 2006). Para evitar lo anterior, las cámaras cuentan con un sistema de ventilación que mantiene la presión ambiental dentro de la cámara, tanto en condiciones de calma como de viento. Esta característica garantiza que el flujo medido sea representativo del flujo que ocurrió fuera de la cámara en condiciones naturales. La ventilación es radialmente simétrica, lo que elimina la sensibilidad a la dirección del viento y al bajar la cámara suavemente, también se evita la posibilidad de introducir aire fresco en el suelo al cerrar la cámara. Esta característica evita que la cámara de cierre altere el gradiente de difusión antes de cada medición.

El tiempo durante el cual el dispositivo realiza las mediciones, es programable de acuerdo con los requerimientos del usuario, en este caso se estableció en dos minutos siguiendo la metodología aplicada por Crovo y otros (2021).

3.2.2 Obtención de datos

El procedimiento en terreno fue el siguiente:

1. Selección de parcelas de estudio:

Durante el invierno del año 2021 se seleccionaron tres nuevas parcelas de bosque nativo (NOBN2, NOBN3, NOBN4) y tres nuevas parcelas de plantación (NOPL2, NOPL3, NOPL4), las cuales se sumaron a las dos parcelas originales que ya habían sido estudiadas previamente (NOBN1 y NOPL1) en el estudio FONDECYT Iniciación Project 11160372, funded by the National Agency of Research and Innovation of Chile, dirigido por Felipe Aburto.

Los puntos de medición correspondían a tubos de policloruro de vinilo (PVC) de 20 cm de diámetro, los que fueron enterrados a profundidades de 5 y 40 cm de profundidad con el fin de medir la respiración total y heterotrófica, respectivamente. La respiración total es la que realizan todos los organismos del suelo y las raíces de las plantas, mientras que la respiración heterotrófica es la que realizan exclusivamente los microorganismos y otros seres vivos del suelo; por este motivo, tratando de evitar medir la respiración de las raíces, se utilizan tubos que lleguen a una profundidad mayor de la que distribuyen la mayor cantidad de raíces, por esto se diseñó utilizar tubos a 40 cm de profundidad (Crovo y otros, 2021). En superficie se dejó un anillo de PVC visible para tomar las mediciones con el LI-COR. En cada sitio los puntos fueron definidos al dividir cada parcela en cuadrantes (uno en cada cuadrante y dos en el centro de la parcela).

Los sitios originales (NOPL1 y NOBN1) de estudio del proyecto FONDECYT dirigido por Felipe Aburto contaban con 10 puntos de medición, siendo 5 heterótrofos y 5 totales, mientras que el resto de los sitios presentaba 6 puntos donde uno era heterotrófico y el resto de medición total.

Pese a que los sitios en un inicio fueron diferenciados en heterótrofos y totales, los resultados no variaron lo suficiente para diferenciarlos en dos grupos de mediciones por sitio, por ello se optó por considerar todas las mediciones como totales.

2. Mediciones y muestreos bimensuales

Entre los meses de marzo del año 2022 a marzo de 2023, se realizaron mediciones bimensuales (Tabla 3.2.), obteniendo un total 778 mediciones de respiración de suelo (CO_2) en dos mediciones al día (mañana y tarde).

Tabla 3.2. Fechas de medición.

Ciclo de medición	Fecha
1ero	15-Mar-2022
2do	26-May-2022
3ero	03-Ago-2022
4to	11-Oct-2022
5to	07-Dic-2022
6to	31-Ene-2023
7mo	29-Mar-2023

Posterior al año de medición los tubos fueron extraídos de las 8 parcelas de estudio.

3.3. Trabajo post terreno

3.3.1. Manejo datos del flujo de CO_2

El programa Soil Flux Pro permite visualizar los datos en μmol de CO_2 emitido en metros cuadrados por cada segundo ($\mu\text{mol} * \text{m}^{-2} * \text{s}^{-1}$), además en él se pueden hacer ciertas correcciones a los datos para posteriormente exportarlos en formato .csv con lo cual se procedió a hacer los cálculos correspondientes.

Para efectos de este estudio los valores fueron convertidos a gramos de CO_2 emitido por metro cuadrado por día ($\text{gCO}_2 * \text{m}^{-2} * \text{d}^{-1}$). Esta conversión tiene por objetivo facilitar el análisis y hacer más intuitivos los resultados. Los pasos a seguir fueron:

- Conversión de μmol CO_2 a moles de CO_2 : Dado que 1 μmol equivale a $1 * 10^{-6}$ moles, es necesario multiplicar los valores de μmol por este factor de conversión.
- Cálculo del flujo molar: Luego, se realiza el cálculo del flujo molar multiplicando la cantidad en moles por la masa molar del dióxido de carbono (CO_2), que es de 44,01 g/mol.
- Ajuste de tiempo: Primero, para representar un día completo de emisión de flujo, que equivale a 24 horas, se multiplicaron las mediciones por 17 si correspondían a la mañana (AM) o por 7 si eran de tarde (PM). Los valores 17 y 7 se eligieron porque se sabía que entre las mediciones de la mañana y de la tarde habrían transcurrido aproximadamente 7

horas, por lo que para alcanzar las 24 horas totales se utilizan estos factores. Luego, se multiplican los valores obtenidos en el paso anterior por 3.600, que es el factor de conversión de segundos a horas.

De esta manera, se logra una conversión adecuada de $\mu\text{mol} * \text{CO}_2 * \text{m}^{-2} * \text{s}^{-1}$ a $\text{gCO}_2 * \text{m}^{-2} * \text{d}^{-1}$, considerando la duración y variación del flujo a lo largo del día. Esta metodología es análoga, pero con algunas modificaciones a las utilizadas en (Crovo y otros, 2021; Olmos de Aguilera, 2023)

3.3.2. Análisis estadísticos

La metodología seguida para desarrollar el análisis estadístico fue extraída del libro “Estadística” (Triola, 2009), mientras que para llevar a cabo los cálculos se utilizaron los programas Visual Studio Code y Pycharm, mediante el lenguaje de programación Python 3.11, en conjunto con Microsoft Excel.

4. RESULTADOS

A continuación, se muestran los análisis de la cuenca y lo fue obtenido a partir del tratamiento de la información GIS recopilada. Además, se muestran valores del flujo de CO₂ ($gCO_2 * m^{-2} * d^{-1}$) y los valores de temperatura (C°) para los ocho sitios en estudio, sumado a lo último se tienen las temperaturas medidas por la estación meteorológica más cercana al parque.

La totalidad de los datos están en el aparatado de ANEXOS (Tabla 1).

4.1 Análisis de la cuenca

4.1.1. Análisis de Redes de Drenaje

Las redes se componen de una intrincada red de ríos, afluentes y quebradas que se extienden a lo largo del paisaje. Su configuración y evolución son resultado de la interacción de múltiples factores, como la topografía del terreno, las condiciones climáticas, las características geológicas y la vegetación presente en la zona.

El Parque Nacional Nonguén alberga varios esteros como el Compuy, Los Lirios, San Francisco, Rodolmo y Manquimavida, siendo este último el más próximo a los sitios de estudio. El río Biobío es el curso de agua más importante de la región homónima y se ubica 4 km al W-SW del parque.

En la zona occidental del parque se encuentran los sitios, que varían en altura, oscilando entre los 125 y 350 metros sobre el nivel del mar. Los sitios nativos se ubican en cotas más altas, destacándose los NOBN3 y NOBN4. En la zona suroeste la altitud alcanza los 350 metros, mientras que, en la zona este las alturas son las más bajas dentro del área de estudio acotada, debido a la presencia de un valle asociado a la acción de cursos. Tanto la red de drenaje principal como la secundaria están muy cercanas a los sitios, como ocurre en NOPL4 y los NOBN2 y NOBN4. Sin embargo, durante la campaña de terreno no se puede observar un curso de agua (Figura 4.1.).

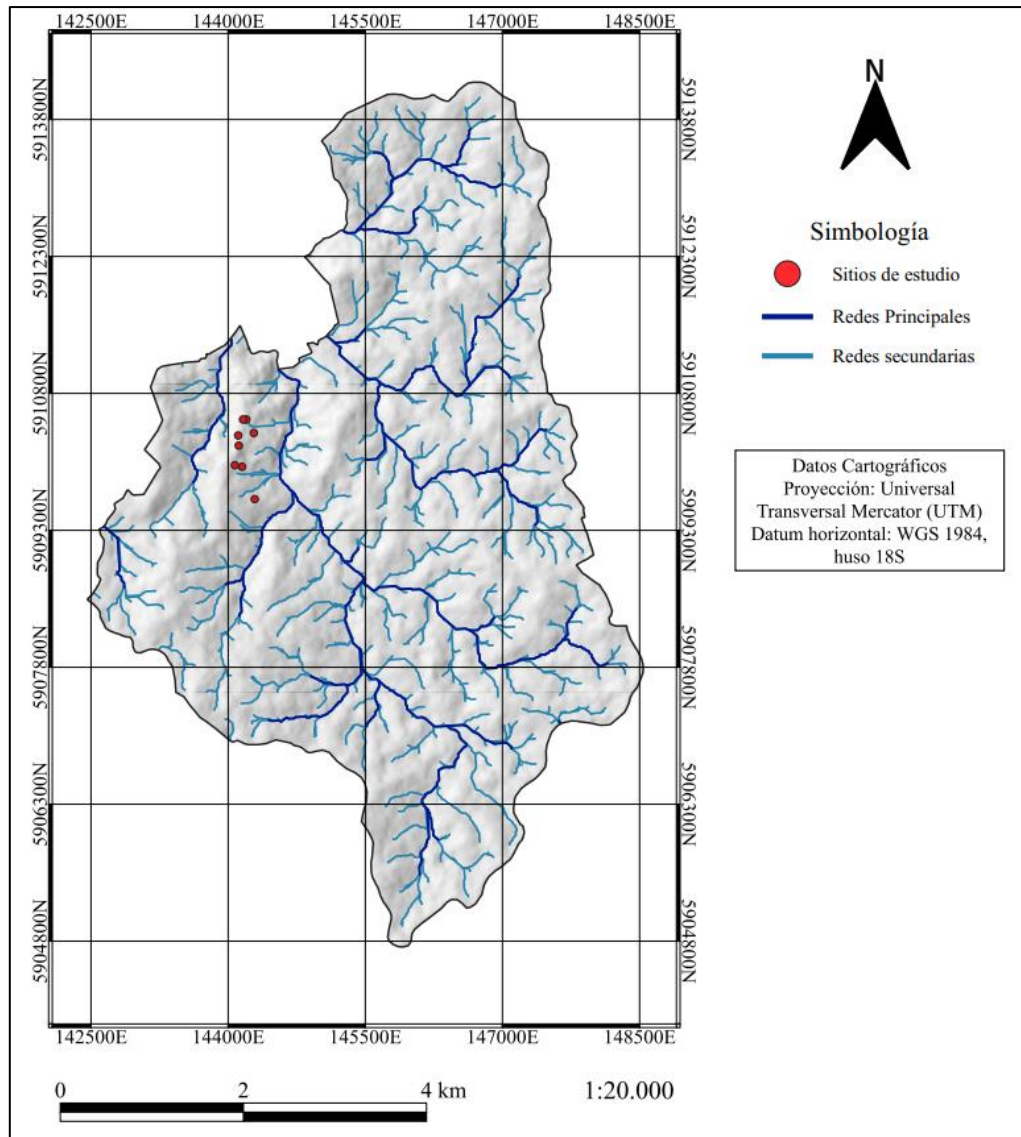


Figura 4.1. Mapa de la red de drenaje, Parque Nacional Nonguén. Elaboración propia.

4.1.2. Análisis de elevación

La altitud dentro del parque varía desde 72 hasta los 458 m s.n.m., como se muestra en la Figura 4.2. Se observa que en la zona norte del parque se encuentran las altitudes más bajas, mientras que en la zona suroeste las cumbres son mucho más altas. Específicamente, la zona de estudio dentro del parque se encuentra en alturas que fluctúan entre 227 y 280 m.s.n.m.

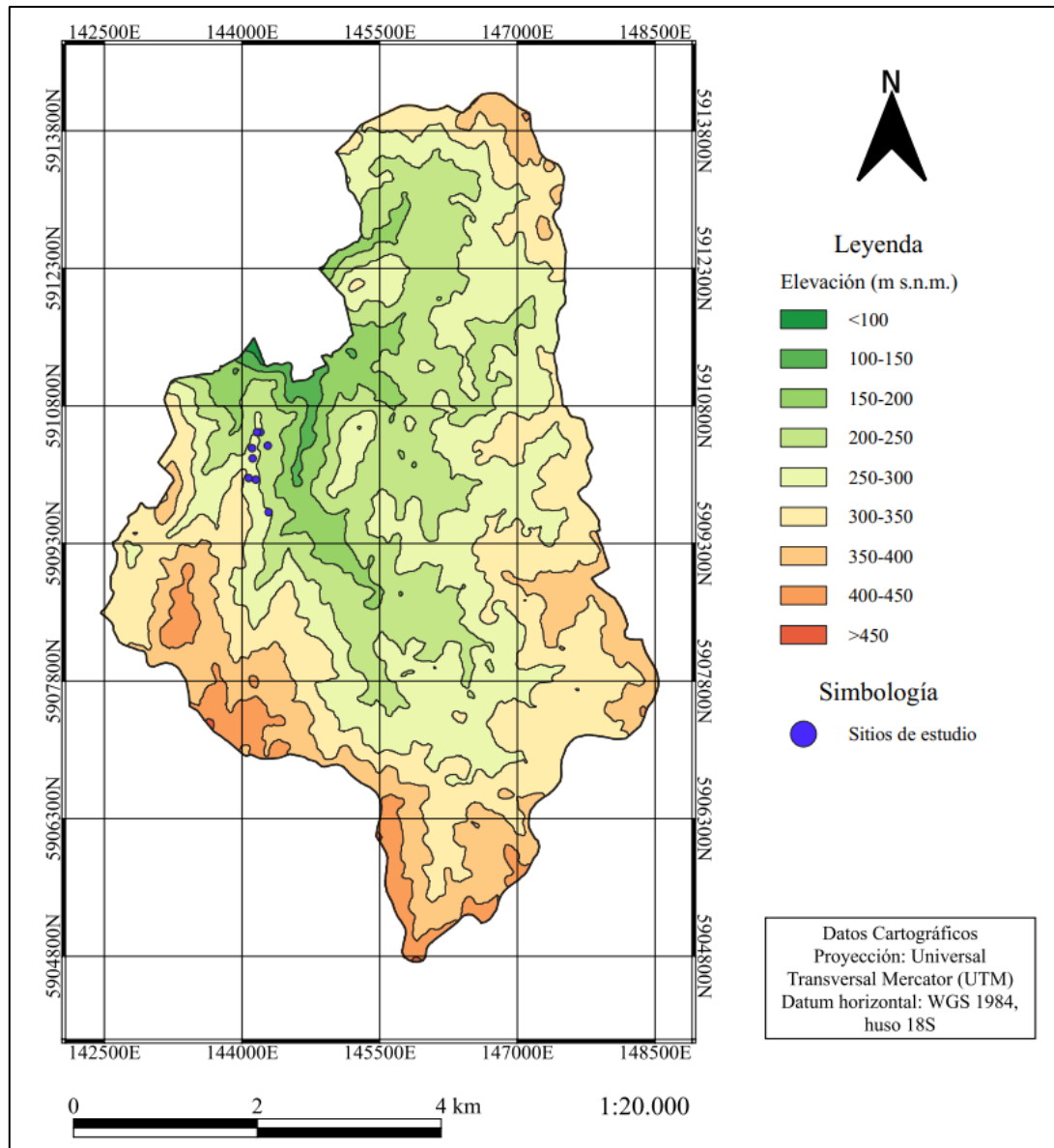


Figura 4.2. Mapa de elevación, Parque Nacional Nonguén. Elaboración propia.

En la Figura 4.3. está representada la elevación a una escala mayor que la vista anteriormente, lo cual facilita ver la distribución de los diferentes sitios de estudio. Los sitios de nativo como se ve, están a una cota más alta que las plantaciones, destacando NOBN3 que está por sobre los 290 m s.n.m. En la Tabla 3.1. está el resto de las alturas para los diferentes sitios. También en la Figura 4.3. se observa la red de drenaje, la cual fluye hacia las cotas más bajas, en este caso hacia el este y hacia el noroeste.

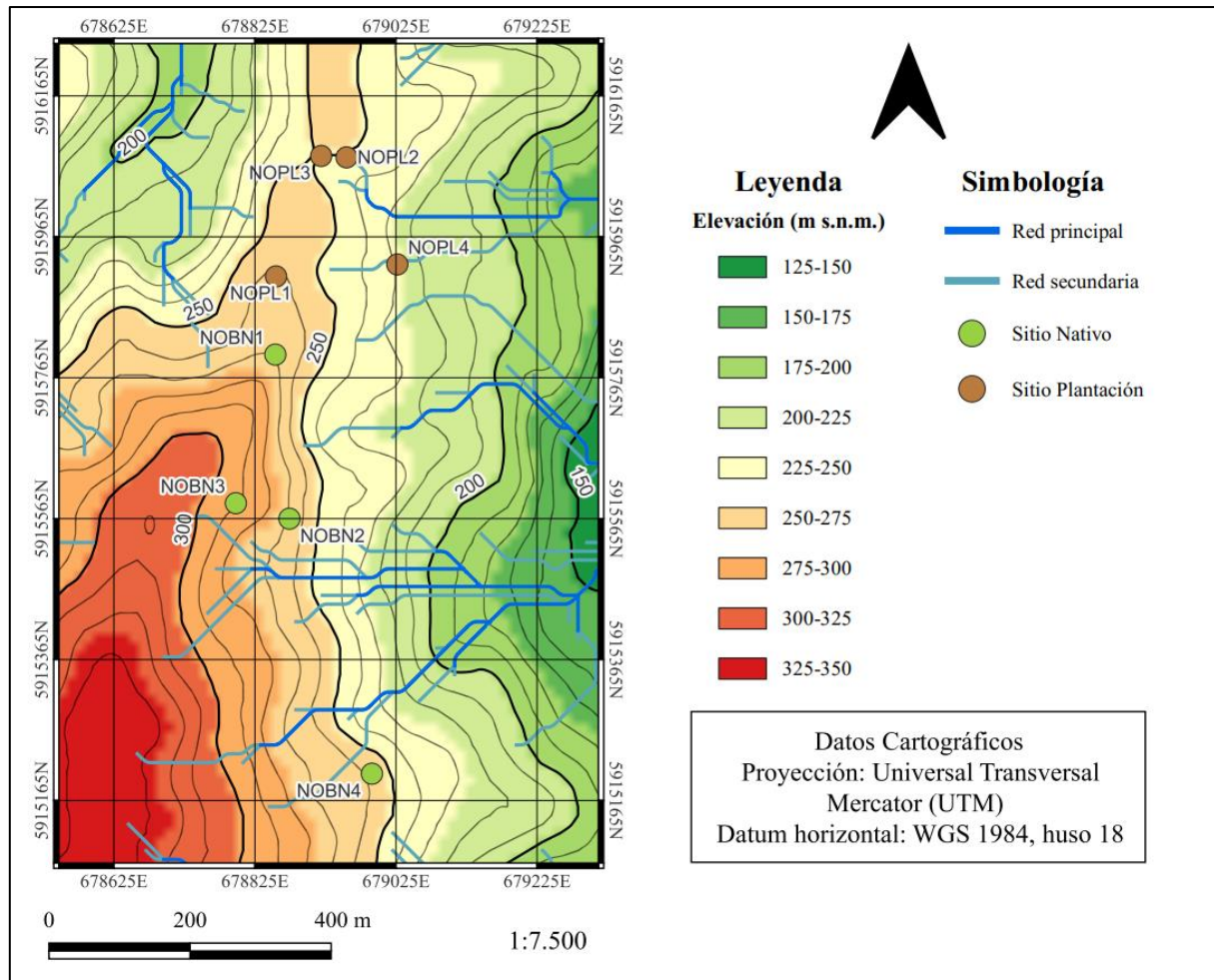


Figura 4.3. Mapa de elevación y de la red de drenaje del área de estudio. Elaboración propia.

4.1.3. Análisis de pendientes

A partir de un modelo de elevación digital y su posterior análisis y procesamiento, se puede obtener el mapa de pendientes (Figura 4.4.), en el cual se pueden observar las pendientes más pronunciadas dentro del parque en la zona noroeste. Estas pendientes alcanzan aproximadamente los 15° .

Para la evaluación de las pendientes se utilizó la metodología de Demek (1972). Dicha clasificación del ángulo de pendiente brinda una manera de categorizar y describir las características del terreno según su inclinación (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Modificado de Clasificación del ángulo de pendiente para mapas geomorfológicos.
Modificado de Demek (1972).

Categoría	Término de Pendiente
$<2^\circ$	Plano
$2^\circ-5^\circ$	Ligeramente inclinado
$5^\circ-15^\circ$	Fuertemente inclinado
$15^\circ-35^\circ$	Muy inclinado
$35^\circ-55^\circ$	Empinado
$>55^\circ$	Vertical

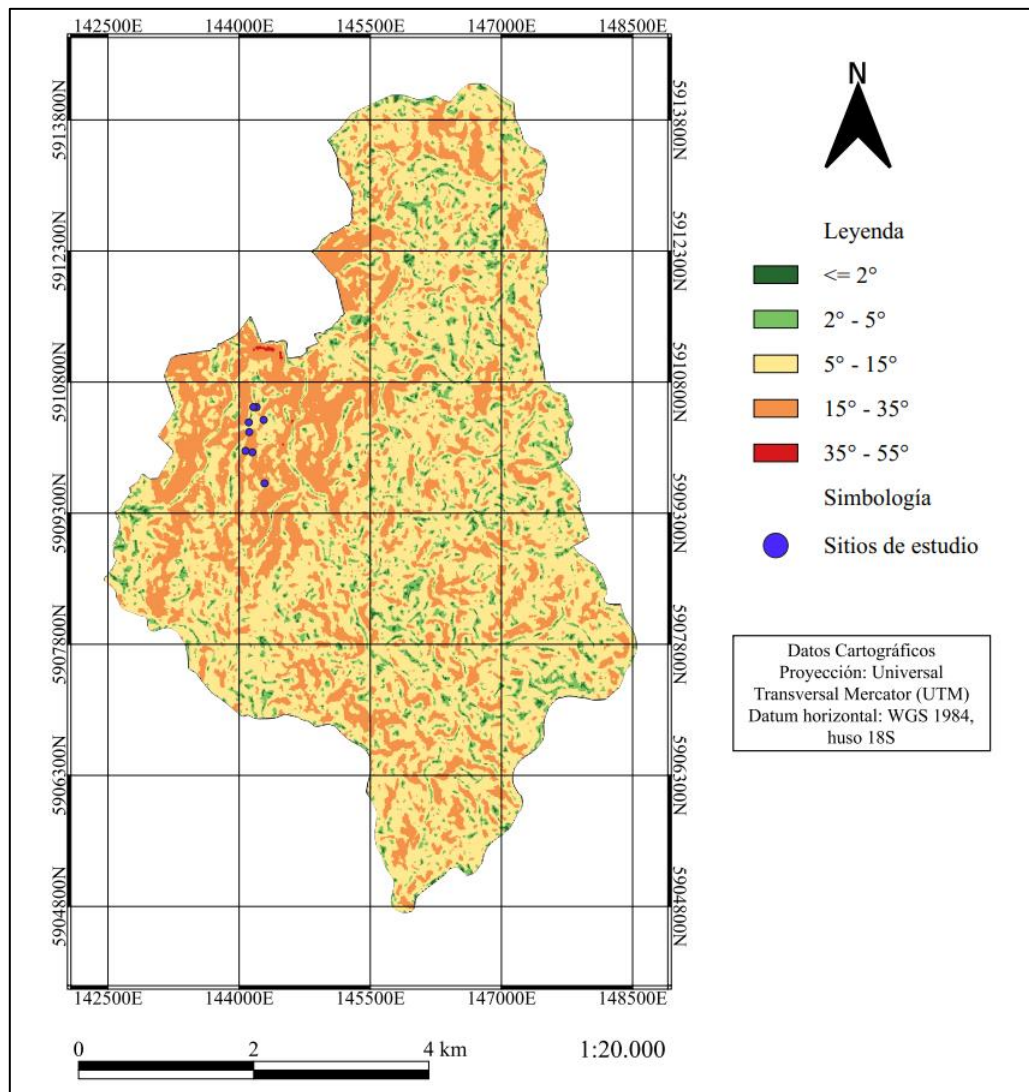


Figura 4.4. Mapa de pendientes, Parque Nacional Nonguén. Elaboración propia.

En la Figura 4.5. se ve con mayor detalle las pendientes dentro del área de estudio, las cuales en promedio rondan los $15-35^\circ$, siendo los sitios correspondientes a plantación nativa los que están en condiciones de mayor pendiente, lo anterior se condice con lo visto en terreno.

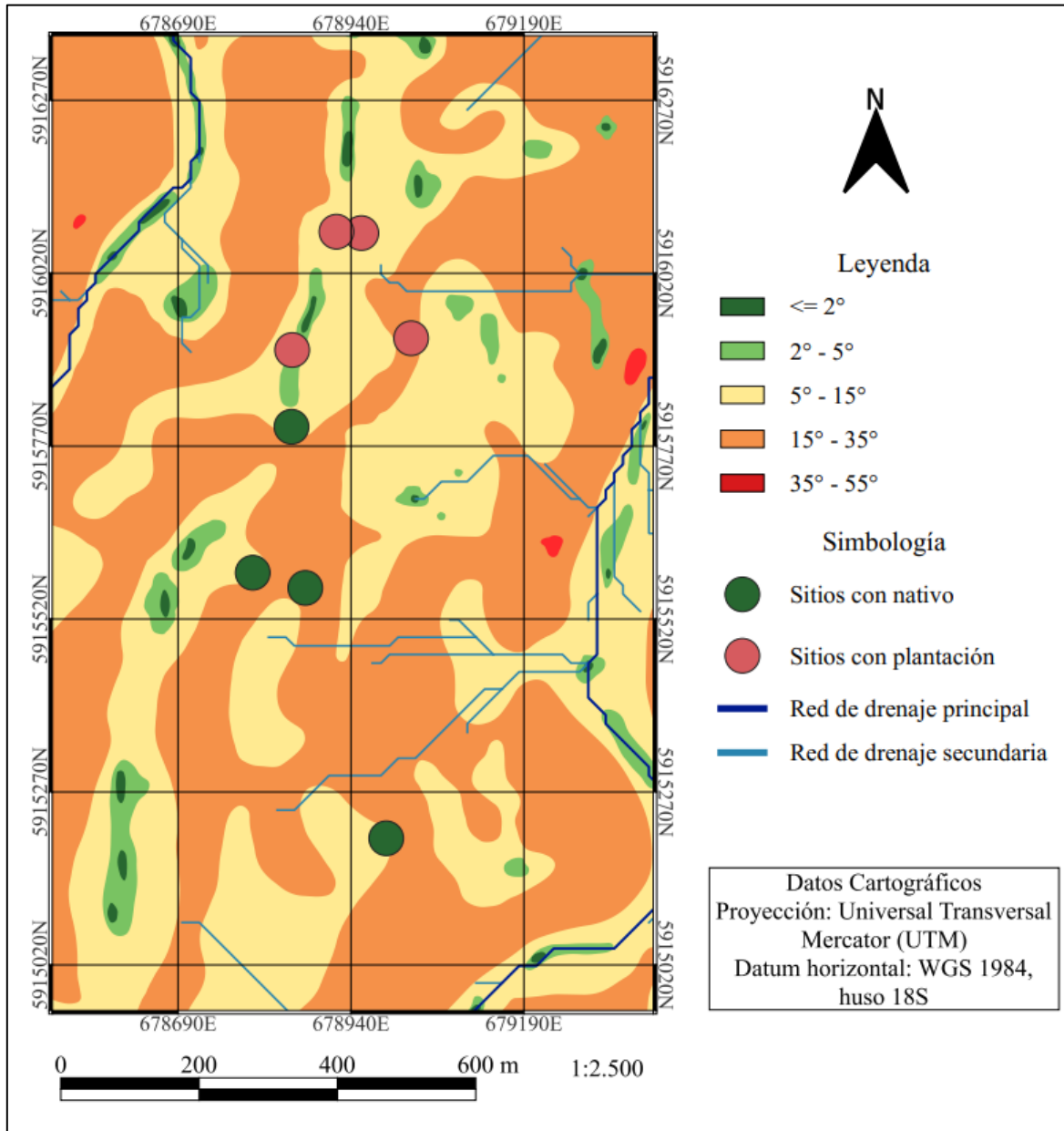


Figura 4.5. Mapa de pendientes y de la red de drenaje del área de estudio. Elaboración propia.

4.2. Análisis estadístico de las mediciones

La metodología aplicada para el análisis estadístico de los datos fue extraída del libro “Estadística” (Triola, 2009). Para comparar a los grupos y establecer que son estadísticamente diferentes se buscó aplicar un análisis de la varianza (ANOVA) el cual compara las medias de dos

o más grupos y determina si existen diferencias significativas entre ellos, dicho método requiere verificar dos supuestos estadísticos; la homogeneidad de varianza (homocedasticidad) y la normalidad de los datos. La homogeneidad de varianza se evalúa mediante la prueba de Levene, mientras que la normalidad se examina con las pruebas de Shapiro-Wilk, para tener otra base se aplicó la prueba de Anderson-Darling.

El análisis de la homogeneidad de la varianza mediante la prueba de Levene (Tabla 4.2.), arrojó un estadístico de prueba de 2,9458 y un valor p de 0,0053. Al tener un valor p menor que el nivel de significancia (0,05), se rechaza la hipótesis nula de homogeneidad de varianza, es decir, no se cumple el primer supuesto de la homocedasticidad de la varianza.

Tabla 4.2. Resultados de la prueba de Levene.

Estadístico de prueba	2,946
Valor p	0,005

Ahora, al evaluar la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk (Tabla 4.3.), los grupos NOBN1 a NOPL2 tienen valores de p inferiores a 0,05, lo que lleva al rechazo de la hipótesis nula de normalidad para estos grupos. En cambio, los grupos NOPL3 y NOPL4 tienen valores de p mayores que 0,05, lo que sugiere que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de normalidad en estos casos, es decir, solo en estos últimos sitios los datos cumplen con la normalidad.

Tabla 4.3. Resultados de la prueba de Shapiro-Wilk.

Sitios	Estadístico de Prueba	Valor p	Sitios	Estadístico de Prueba	Valor p
NOBN1	0,926	0,0102	NOPL1	0,908	0,0026
NOBN2	0,876	0,0002	NOPL2	0,899	0,0013
NOBN3	0,749	$4,44837 \times 10^{-7}$	NOPL3	0,967	0,2788
NOBN4	0,910	0,0030	NOPL4	0,960	0,1554

Para una evaluación adicional de la normalidad, se utilizó la prueba de Anderson-Darling (Tabla 4.4.). En cuanto a los resultados de la prueba, se evalúan a diferentes niveles de significancia, generalmente establecidos en 15%, 10%, 5%, 2,5% y 1%. Estos niveles representan el umbral para rechazar o aceptar la hipótesis nula de normalidad. Si el valor del estadístico de prueba es menor que el valor crítico correspondiente al nivel de significancia dado, entonces no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula, y se puede concluir que los datos siguen una distribución normal, en ese nivel de significancia. En base a lo anterior los resultados indican

que los grupos NOBN1 a NOBN6 se rechazan como muestras de una distribución normal en todos los niveles de significancia probados, excepto en el nivel del 1, 2,5 y 5% para NOBN1. Por el contrario, los grupos NOPL3 y NOPL4 son aceptados como muestras de una distribución normal en todos los niveles de significancia.

Tabla 4.4. Resultados de la prueba de Anderson-Darling.

Sitios	Estadístico de prueba	Nivel de significancia				
		15%	10%	5%	2,5%	1%
NOBN1	0,640	Rechazada	Rechazada	Aceptada	Aceptada	Aceptada
NOBN2	1,044	Rechazada	Rechazada	Rechazada	Rechazada	Rechazada
NOBN3	3,015	Rechazada	Rechazada	Rechazada	Rechazada	Rechazada
NOBN4	1,064	Rechazada	Rechazada	Rechazada	Rechazada	Rechazada
NOPL1	1,446	Rechazada	Rechazada	Rechazada	Rechazada	Rechazada
NOPL2	1,333	Rechazada	Rechazada	Rechazada	Rechazada	Rechazada
NOPL3	0,386	Aceptada	Aceptada	Aceptada	Aceptada	Aceptada
NOPL4	0,474	Aceptada	Aceptada	Aceptada	Aceptada	Aceptada

Ya que ambos supuestos no se cumplen a cabalidad se debe tener precaución ya que no es viable aplicar un ANOVA, por lo cual se buscó un enfoque adecuado en los análisis posteriores. En este caso es necesario utilizar métodos estadísticos no paramétricos o transformaciones de datos para obtener conclusiones válidas y robustas. Asimismo, es importante reconocer que los grupos NOPL3 y NOPL4 parecen cumplir con el supuesto de normalidad, lo que podría permitir el uso de pruebas paramétricas para estos grupos específicos pero el objetivo es analizar la totalidad de los grupos. Una opción es utilizar pruebas estadísticas no paramétricas, como la prueba de Kruskal-Wallis, que no asume normalidad ni homogeneidad de varianza, a diferencia de un ANOVA.

La prueba de Kruskal-Wallis es una técnica no paramétrica empleada para evaluar si existen diferencias significativas entre las medianas de varios grupos independientes. Los resultados de la prueba entregaron un estadístico de prueba (H) de 19,16, indicando diferencias significativas entre al menos uno de los grupos (sitios). El valor p asociado fue aproximadamente 0,0077, sugiriendo que la probabilidad de que la diferencia observada sea aleatoria es baja, respaldando la hipótesis de que si existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos estudiados. Es importante destacar que la prueba de Kruskal-Wallis por sí sola no proporciona información sobre qué grupos específicos difieren entre sí.

Para visualizar las diferencias entre los datos de manera preliminar, se aplica la prueba de Mann-Whitney, la cual es una prueba no paramétrica que es adecuada cuando se tienen dos grupos

independientes y se desea comparar si las medianas de las dos muestras son iguales o diferentes. Cuando las muestras no cumplen con el supuesto de homocedasticidad de la varianza o la normalidad requerida para otras pruebas paramétricas como la prueba t.

El valor de p indica si los sitios de estudio tienen diferencias estadísticamente significativas. Si el valor de p es menor o igual a un nivel predefinido, como 0,05, se concluye que las medianas de los grupos son diferentes. Si el valor de p es mayor que el nivel predefinido (0,05), no hay suficiente evidencia para afirmar que las medianas son diferentes. En la Tabla 4.5., los valores de p están ordenados de mayor a menor, lo que significa que las primeras filas de lado izquierdo de la tabla representan las comparaciones con mayor evidencia para rechazar la hipótesis nula (menor probabilidad de que las medianas sean iguales), mientras que las últimas filas de la parte derecha de la tabla representan las comparaciones con menor evidencia para rechazar la hipótesis nula (menor probabilidad de que las medianas sean diferentes).

Tabla 4.5. Resultados de la prueba de Mann-Whitney

Comparación	p	Comparación	p
NOPL2 vs NOPL4	0,925	NOPL1 vs NOPL3	0,116
NOBN2 vs NOBN4	0,820	NOBN4 vs NOPL3	0,096
NOBN1 vs NOPL2	0,820	NOBN3 vs NOPL4	0,088
NOBN1 vs NOPL4	0,771	NOBN3 vs NOPL2	0,077
NOBN2 vs NOBN3	0,764	NOBN2 vs NOPL3	0,068
NOPL3 vs NOPL4	0,679	NOBN1 vs NOBN2	0,062
NOBN3 vs NOBN4	0,632	NOBN4 vs NOPL2	0,058
NOBN1 vs NOPL3	0,582	NOBN4 vs NOPL4	0,051
NOPL2 vs NOPL3	0,569	NOBN1 vs NOBN4	0,050
NOPL1 vs NOPL2	0,494	NOBN2 vs NOPL2	0,034
NOBN1 vs NOPL1	0,477	NOBN2 vs NOPL4	0,031
NOPL1 vs NOPL4	0,373	NOBN4 vs NOPL1	0,009
NOBN3 vs NOPL3	0,235	NOBN3 vs NOPL1	0,001
NOBN1 vs NOBN3	0,134	NOBN2 vs NOPL1	0,000

Posteriormente se aplicó la prueba de Dunn, la cual es una prueba post hoc que se utiliza después de realizar un análisis de rangos múltiples, como el Kruskal-Wallis. Por ello permite realizar comparaciones múltiples entre los grupos para identificar cuáles de ellos presentan diferencias significativas en sus medianas. Es útil cuando se tienen más de dos grupos y se desea identificar patrones de diferencias en todas las combinaciones posibles de grupos, como en este caso.

La Figura 4.6. proporciona una visión general de las diferencias significativas entre todos los pares de grupos comparados, mediante la prueba de Dunn. Cada valor representa el resultado de la comparación entre dos grupos específicos, y su interpretación se basa en el valor numérico del mismo. Valores cercanos a 1 indican que no hay una diferencia significativa entre los grupos comparados en términos de sus medianas o rangos. Esto sugiere que los grupos son similares y no se pueden distinguir estadísticamente, como ocurre entre NOBN1 y NOPL4, por ejemplo. Mientras que valores cercanos a 0, indican que hay una diferencia significativa entre los grupos, esto sugiere que son diferentes y se pueden distinguir estadísticamente entre sí, como es el caso de NOBN2 y NOPL1.

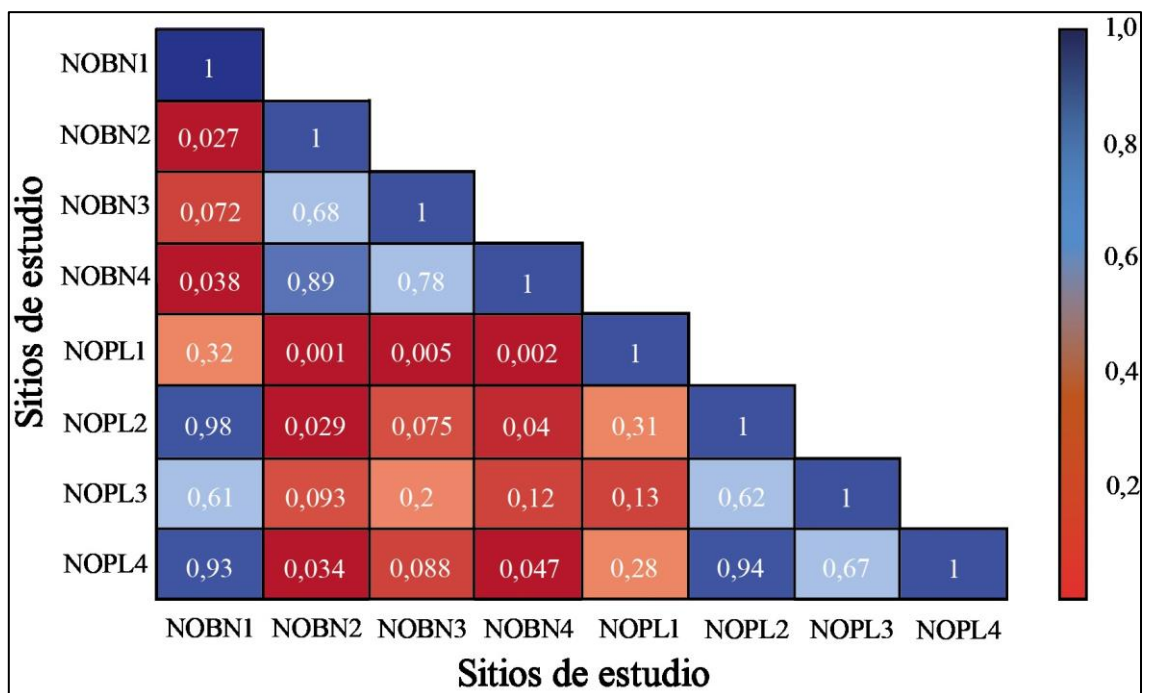


Figura 4.6. Matriz de comparación con los resultados prueba de Dunn.

Finalmente, después el análisis es posible establecer que en líneas generales las comparaciones dentro de los grupos NOBN y NOPL indican que, hay diferencias estadísticamente significativas entre estos grupos, lo cual implica que es poco probable que estas diferencias se deban al azar, por lo que existe una verdadera diferencia entre los sitios en estudio que se están comparando.

En resumen, la Tabla 4.6. muestra pares de sitios con emisiones de CO₂, destacando tanto las similitudes (valores de p más altos) como las diferencias significativas (valores de p más bajos) entre ellos.

Tabla 4.6. Pares de sitios más semejantes y más diferentes a partir de los resultados la prueba de Dunn.

Pares Semejantes	Valor de p	Pares Diferentes	Valor de p
NOBN1 – NOPL2	0,98	NOBN2 – NOPL1	0,001
NOPL2 – NOPL4	0,94	NOBN4 – NOPL1	0,002
NOBN1 – NOPL4	0,93	NOBN3 – NOPL1	0,005
NOBN2 – NOBN4	0,89	NOBN2 – NOPL2	0,029
NOBN3 – NOBN4	0,78	NOBN2 – NOPL4	0,034

En términos de similitudes, se observa que NOBN1 se asemeja principalmente a NOPL2, NOPL3 y NOPL4, aunque se diferencia más notoriamente de NOPL1. Por otro lado, NOBN2, NOBN3 y NOBN4 exhiben similitudes notables entre sí, pero presentan diferencias estadísticamente significativas tanto con los sitios de plantaciones (NOPL1 - NOPL4) como con NOBN1. En cuanto a los sitios de plantaciones, NOPL2, NOPL3 y NOPL4 muestran una similitud significativa entre ellos, aunque presentan diferencias más notables en comparación con NOPL1.

4.3. Flujos de CO₂ en suelos

En la sección 3.2.2, se mencionó que inicialmente se clasificó a los puntos de medición en 'totales' y 'heterogéneos'. Sin embargo, al analizar los valores obtenidos, no se observaron diferencias significativas que justificaran tratamientos especiales para dichos datos. Además, para evitar disparidades en la cantidad de mediciones por sitio, se optó por promediar los valores de respiración heterogénea en NOBN1 y NOPL1. Esto permitió reducir los cinco valores originales a uno solo (por sitio), asegurando así que todos los sitios tuvieran la misma cantidad de datos.

La Figura 4.7. exhibe de manera visual la distribución de las concentraciones de CO₂ medidas en los sitios NOBN1, NOBN2, NOBN3, NOBN4, NOPL1, NOPL2, NOPL3 y NOPL4. Dentro de estos, el conjunto NOBN4 es quien presenta la mayor variabilidad en los flujos de CO₂, debido a la presencia de valores atípicos superiores que contribuyen a esta dispersión, es decir, los datos se extienden sobre un rango más amplio. En contraste, el sitio NOPL1 muestra una distribución menos dispersa en sus datos de flujo de CO₂. Es relevante notar que los demás sitios de plantaciones

(NOPL2, NOPL3 y NOPL4) exhiben distribuciones similares, señalando una consistencia en la variabilidad de los flujos de CO₂ en estos sitios.

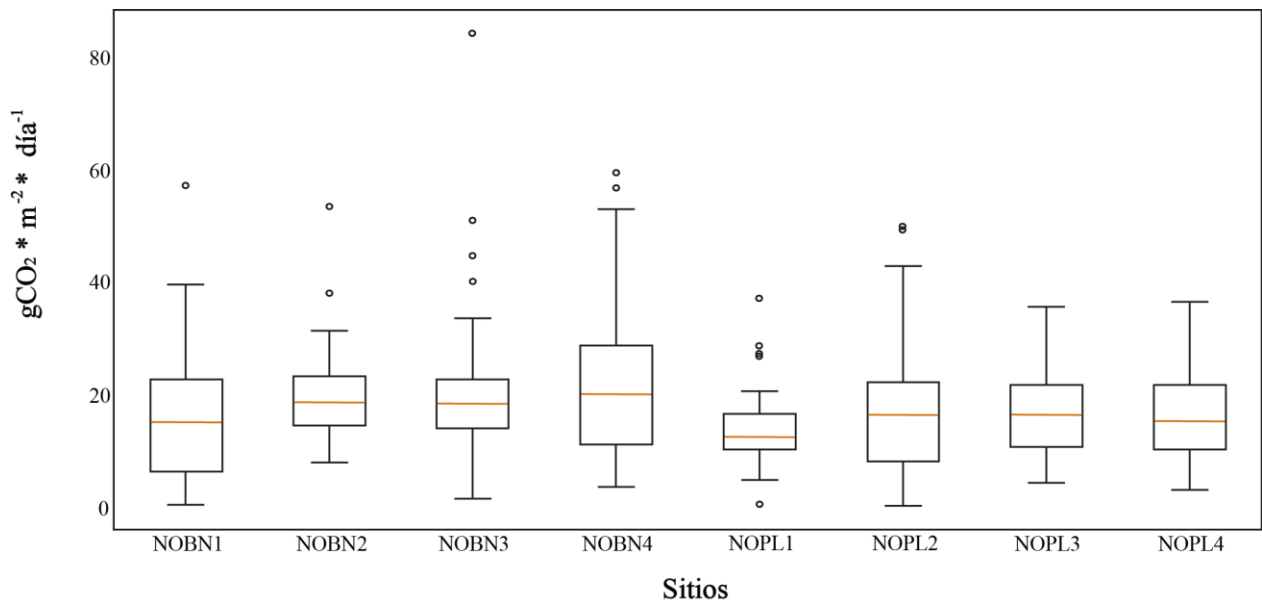


Figura 4.7. Box plot que muestra la distribución estadística de las mediciones del flujo bimensual de dióxido de carbono durante un año en los 8 sitios de estudio.

El gráfico de barras (Figura 4.8.) proporciona una representación de los promedios de los flujos de CO₂ en los ocho sitios, medidos en $gCO_2 * m^{-2} * d^{-1}$. Entre estos, sobresale el hecho de que el sitio NOBN4 exhibe el valor más alto, con un flujo de CO₂ promedio de aproximadamente $22,5 gCO_2 * m^{-2} * d^{-1}$. En contraste, el sitio NOPL1 presenta el promedio más bajo, con una barra que llega a alrededor de $14 gCO_2 * m^{-2} * d^{-1}$. La disposición de las barras resalta la disparidad significativa en los flujos de CO₂ entre estos dos sitios (NOBN4 y NOPL1). Los sitios NOPL2, NOPL3 y NOPL4 presentan valores promedios intermedios, reforzando la idea de una coherencia en los flujos de CO₂ en estos sitios de plantación de *Pino radiata*.

Finalmente se puede establecer que los sitios de bosque nativo (NOBN) presentan emisiones promedios superiores con respecto a los sitios asociados a plantaciones de *Pinus radiata* (NOPL).

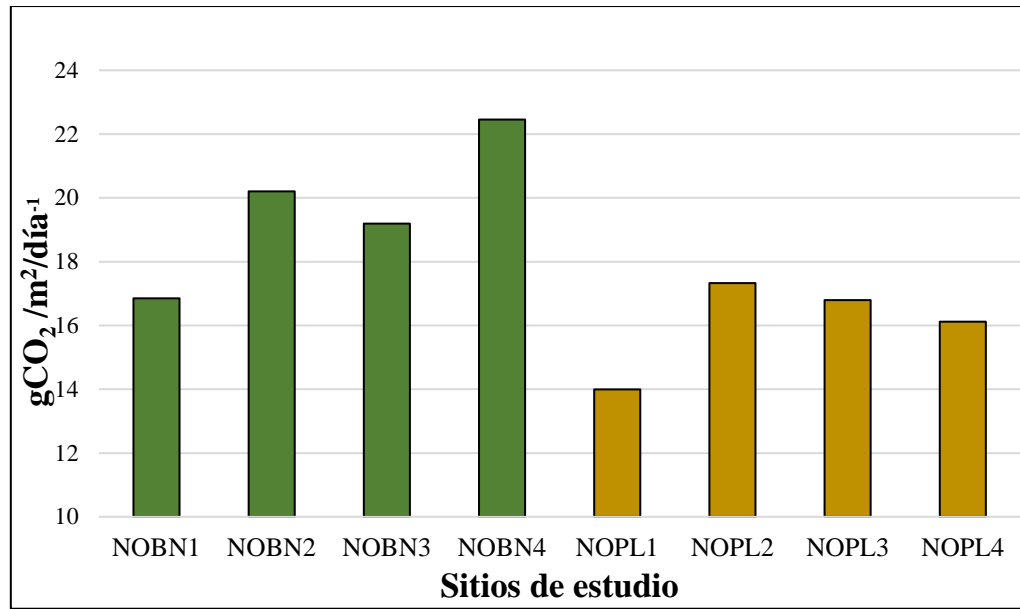


Figura 4.8. Gráfico de barras que representa el flujo promedio de CO₂ en los sitios de estudio.

4.4. Emisiones de CO₂ bimensuales y anual

En la Tabla 4.7. están tabulados los promedios diarios del flujo de CO₂ de cada sitio para cada mes medido, en la penúltima fila se muestra la sumatoria del promedio de los meses y finalmente la sumatoria total del flujo de CO₂ extrapolado al año completo de medición (anual), es decir, que durante todo el año de emisión se emitió dicha cantidad de CO₂ en cada uno de los sitios.

Tabla 4.7. Datos promedio por mes de CO₂. (gCO₂ * m² * día⁻¹).

Meses	NOBN1	NOBN2	NOBN3	NOBN4	NOPL1	NOPL2	NOPL3	NOPL4
mar-22	23,233	23,993	18,548	27,122	12,422	25,402	20,011	26,390
may-22	13,852	18,201	23,560	23,656	13,521	17,964	15,015	10,298
jul-22	5,799	18,477	19,906	22,568	10,865	11,717	12,800	10,335
sept-22	20,449	21,702	17,261	23,082	13,761	14,704	18,774	15,754
nov-22	27,575	25,168	18,719	30,285	20,264	29,130	27,307	23,679
ene-23	25,315	19,244	20,914	23,180	14,079	12,881	14,919	18,750
mar-23	1,731	14,643	15,445	7,295	13,050	9,497	8,739	7,623
Promedio	16,850	20,204	19,193	22,456	13,995	17,328	16,795	16,118
∑ promedio	117,954	141,428	134,354	157,190	97,962	121,295	117,565	112,829
∑ anual	7025,346	8046,40	7679,20	9212,54	5486,19	6992,81	6791,71	5769,06

A partir de lo anterior es posible evaluar la variación del CO₂ durante el año. En la Figura 4.9. se observa que durante la temporada estival el flujo de CO₂ aumenta en los suelos atribuidos a bosque nativo. Por otro lado, durante las estaciones más frías del año, este flujo disminuye. Sin embargo, es importante destacar que, en el caso de los suelos de bosque nativo, el comportamiento de la curva no es tan pronunciado como en las plantaciones, salvo en NOBN1.

Estas variaciones pueden estar relacionadas a diversos factores, tales como la temperatura y las precipitaciones.

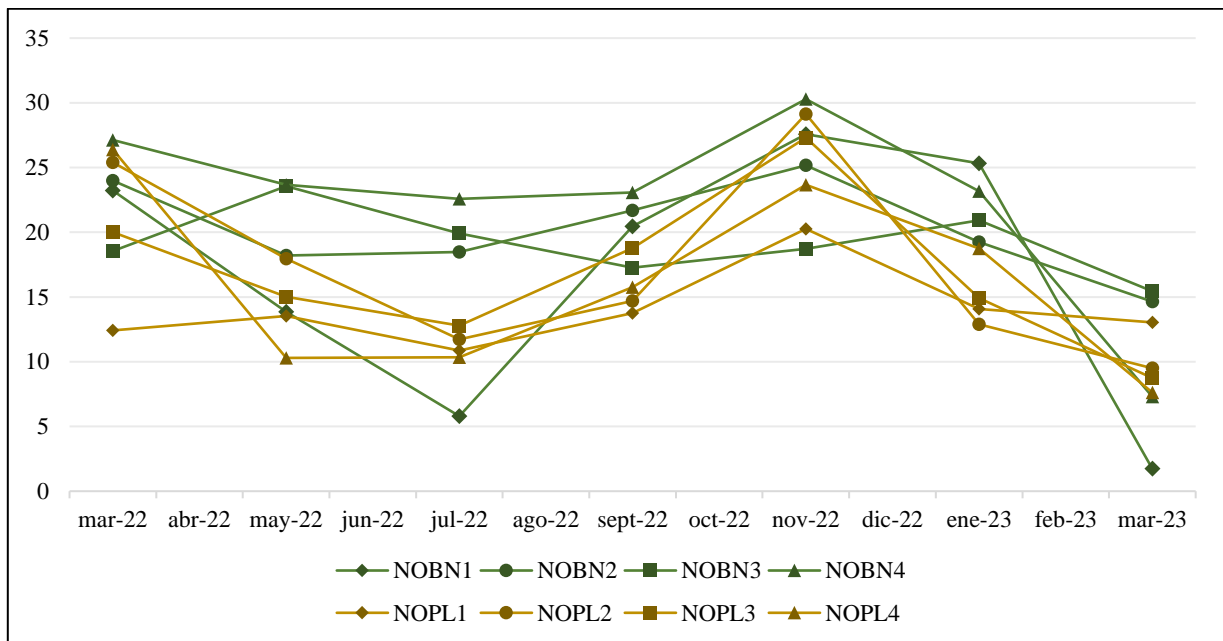


Figura 4.9. Variación bimensual de CO₂ durante el año de investigación.

4.5 Temperaturas

En la Tabla 4.8. se presentan los promedios de los datos que registró el dispositivo LI-COR 8100A durante las campañas de terreno para las temperaturas. El comportamiento es idéntico al visto para el flujo de CO₂ de la Tabla 4.7., es decir, que la temperatura tiene una relación directamente proporcional al flujo de CO₂.

En la Figura 4.10., se observa la fluctuación de la temperatura a lo largo del año, siguiendo el patrón esperado: con picos en los meses de verano y valores más bajos durante el invierno. No obstante, es importante considerar ciertas particularidades en los datos. Dicha diferencia se alinea con los datos proporcionados por explorador.cr2.cl, un sitio que recopila información

meteorológica de diversas estaciones en Chile. Según este sitio, la temperatura experimentó una disminución de aproximadamente 4°C en los últimos días del mes en el presente año. Cabe señalar que las mediciones se evalúan considerando la media de las temperaturas tanto antes como después del mediodía (AM y PM).

Tabla 4.8. Temperaturas promedio bimensual por sitio de estudio.

Meses	NOBN1	NOBN2	NOBN3	NOBN4	NOPL1	NOPL2	NOPL3	NOPL4
mar-22	15,034	17,303	17,442	20,958	14,775	14,356	13,807	14,539
may-22	8,098	10,871	10,843	10,843	7,637	9,091	9,001	8,621
jul-22	7,860	10,683	10,655	12,373	7,881	8,989	9,028	9,142
sept-22	12,365	11,958	11,877	13,299	14,930	14,894	14,269	13,200
nov-22	18,514	17,579	18,031	18,775	20,386	22,366	21,367	22,024
ene-23	22,800	22,095	24,528	23,433	20,703	23,422	24,121	22,223
mar-23	15,364	14,284	14,895	16,329	13,400	14,280	15,093	12,807
Promedio	14,291	14,968	15,467	16,573	14,245	15,343	15,241	14,651

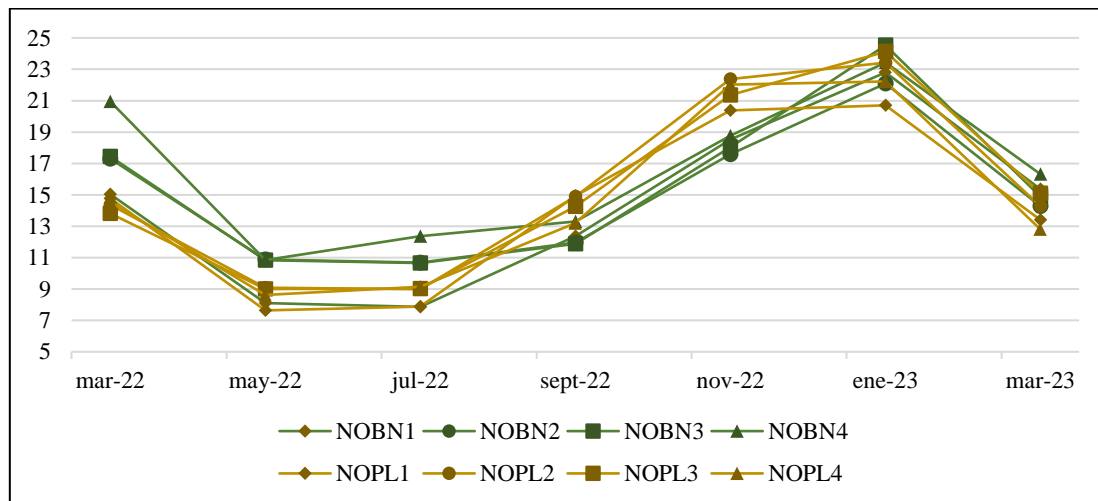


Figura 4.10. Variación bimensual de la temperatura (C°) durante el año de investigación

En la Figura 4.11. se observa la misma tendencia de temperatura medidas en el Parque Nacional Nonguén que en los datos obtenidos desde explorador.cr2.cl.

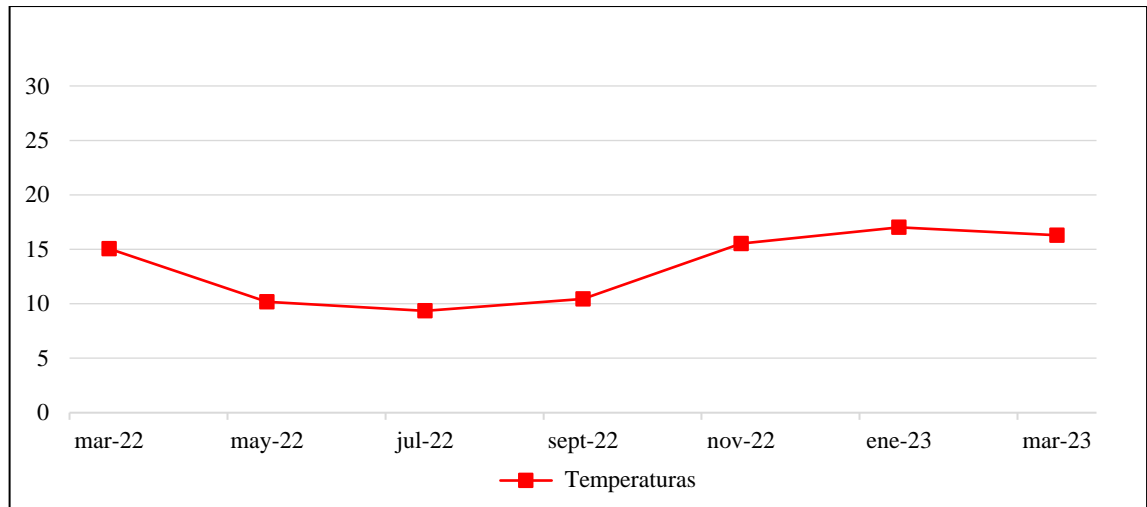


Figura 4.11. Variación bimensual de temperatura (C°) a lo largo de un año. Datos extraídos de explorador.cr2.cl.

5. DISCUSIÓN

5.1. Actividad microbiana y su efecto en el flujo de CO₂

Dentro de los resultados es posible dilucidar como los mayores flujos de CO₂ ($gCO_2 * m^{-2} * d^{-1}$) se dan en los sitios de bosque nativo (NOBN), esto indica que liberan una mayor cantidad de CO₂. Es importante tener en cuenta que el uso que se les otorga a los suelos va de la mano con la disponibilidad de nutrientes, la cantidad y diversidad de organismos residentes, retención de humedad y el pH (López, 2006), aunque estos cambios no ocurrirán necesariamente en dicho orden y en escalas de tiempo iguales. Si al cambio en el uso de suelos se le añaden variaciones en temperatura y humedad (debido al cambio climático, por ejemplo), la tasa de emisión de CO₂ se verá afectada de manera inevitable (Ramírez y Calderón, 2011).

Los microorganismos residentes en los suelos realizan respiración heterótrofa, es decir, descomponen materia orgánica en presencia de oxígeno liberando agua y CO₂ (Cueva y otros, 2016). La respiración es un proceso natural y es parte del ciclo global del carbono (Pérez-Batallón y otros, 1998), por ello, si existe una mayor cantidad de individuos que respiran, aumentarán las emisiones de CO₂. Según Ramos y Zúñiga (2008) la proliferación de estos variará según diversos elementos como, por ejemplo, una mayor disponibilidad de materia orgánica, un aumento en la temperatura y la humedad y si se alcanzan ciertas condiciones de pH idóneas (cercano a 7,8 según los autores).

La actividad microbiana también está involucrada en la mejora de la capacidad de retención de agua del suelo, los microorganismos producen sustancias extracelulares, como los polisacáridos, que actúan como agentes aglutinantes y ayudan a estabilizar los agregados del suelo, lo que permite retener más agua y evitar la erosión (Rodríguez, 2017). Con la descomposición de la materia orgánica los microorganismos contribuyen a su mineralización y transformación en nutrientes disponibles para las plantas. Además, los microorganismos interactúan con las partículas del suelo y participan en la formación de agregados, mejorando su estructura y porosidad (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2022).

5.2. Variación en las temperaturas

Como se señala en el estudio de Cavicchioli y otros (2019), las temperaturas ejercen influencia en la emisión de CO₂, otros autores como Billings y otros (1982) y Van Cleve y otros

(1990) sostienen que la respiración del suelo y aumenta en conjunto con las temperaturas del mismo.

En las mediciones efectuadas mediante el equipo LI-COR 8100A, se observa una tendencia similar a la propuesta por Van Cleve y otros (2019), aunque es crucial tener en cuenta que se presentan cambios significativos. En los sitios de flora nativa las temperaturas se oscilan dentro de un promedio más amplio (14,3 – 16,6C°) en comparación con las plantaciones (14,2 – 15,3C°). Los valores más bajos que fueron registrados, datan del periodo comprendido entre mayo y junio y pertenecen a las plantaciones (Figura 4.10.), a partir de septiembre el aumento es más acelerado que en los nativos, pero el flujo de CO₂ siguió siendo menor (Figura 4.9.). En la Figura 4.10. se ve que las temperaturas para marzo del año 2022 son considerablemente más altas en comparación con el mismo mes en el año 2023. En marzo de 2022 las mediciones se llevaron a cabo durante la primera quincena, mientras que, al año siguiente, las mediciones corresponden a los últimos días del mes, esto podría contribuir a la explicación del porque ocurre la discrepancia en los valores registrados

Las temperaturas medidas en la estación meteorológica ubicada en Carriel Sur (comuna de Talcahuano) desde marzo del año 2022 a marzo del año 2023_evidencian una variación menor en comparación con lo registrado en el Parque Nacional Nonguén mediante el uso del LI-COR 8100A, esto se debe a la ubicación de la estación meteorológica, próxima a la costa. Puesto que la corriente de Humboldt transporta aguas frías desde el sur hacia el norte a lo largo de la costa occidental de Sudamérica lo que provoca un enfriamiento del aire cercano a la costa, lo que resulta en temperaturas más frescas en comparación con las áreas del interior (Pourrut, 1983).

Según las Naciones Unidas (2021), a nivel mundial, se ha observado un aumento de las temperaturas (Figura 5.1). Este incremento no solo afecta las temperaturas en los bosques, sino que también puede influir en otros factores como la humedad y el pH. Cuando estos factores se combinan, las emisiones de CO₂ por parte de los suelos tienden a aumentar considerablemente, lo que podría desequilibrar el ciclo del carbono. Esto es preocupante ya que los sumideros de carbono se verían gravemente afectados. Además, el aumento de la temperatura puede reducir la capacidad de los océanos para absorber y retener CO₂ (Naciones Unidas, 2021). Es importante destacar que este aumento en la temperatura puede tener un impacto negativo en la capacidad de los suelos y las plantas para retener carbono, lo que a su vez podría disminuir la capacidad de los ecosistemas terrestres para actuar como sumideros de carbono (Davidson y Janssens, 2006).

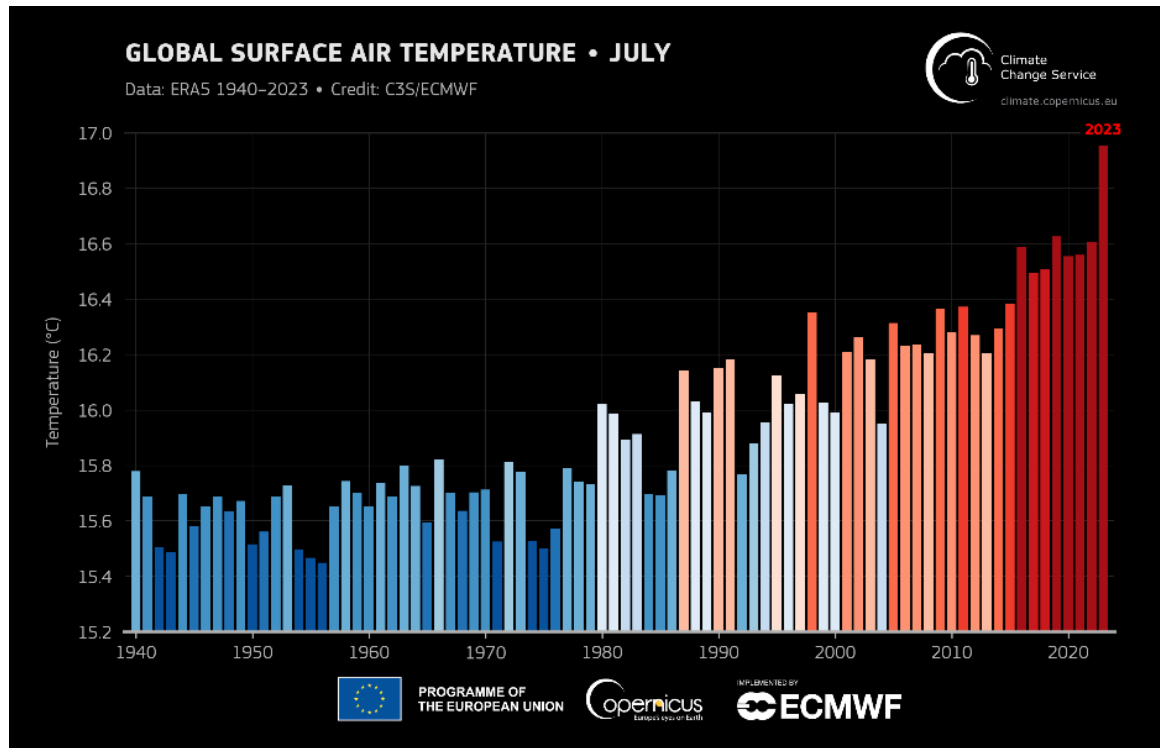


Figura 5.1. Temperatura media global del aire en la superficie, del mes de julio desde 1940 hasta 2023. Los tonos de azul indican años más fríos que el promedio, mientras que los tonos de rojo muestran años que fueron más cálidos que el promedio. Naciones Unidas, 2023.

Según lo visto en terreno los sitios nativos se encuentran más expuestos a la radiación solar en comparación con las plantaciones, esto debido a la diferencia en las especies que hay en cada tipo de sitio, además en estos últimos solo hay *Pinus radiata* mientras que en los de nativo hay más diversidad de vegetación. La densidad de la cobertura también es diferente ya que los pinos alcanzan y superan los 10 m de alto, en prácticamente todos los sitios, mientras que los nativos se caracterizan por vegetación de menor altitud en presencia de arbustos.

5.3. Problemas en la metodología

Dentro de los resultados en la Figura 4.9., es apreciable como en marzo 2023 todos los valores de CO_2 ($g\text{CO}_2 * m^{-2} * d^{-1}$) son más bajos en comparación con el año anterior, esto se puede deber a un problema en la manipulación del equipo, ya que este fue utilizado para otra investigación durante el mes de febrero siendo probable que hayan modificado algunos parámetros en el dispositivo LI-COR 8100A. Pese a que los valores están subestimados, la tendencia se mantiene, es decir, existe un mayor flujo de CO_2 en los sitios de nativo.

5.4. Estandarización de los resultados

Mediante el uso de una calculadora de equivalencias de gases de efecto invernadero (GEI) de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, 2023), es posible darles a los valores de CO_2 ($g\text{CO}_2 * m^{-2} * d^{-1}$) un sentido más práctico, comparándolos con actividades de la vida cotidiana como, por ejemplo, en la Tabla 5.1. se representa la conversión de la emisión de CO_2 anual por metro cuadrado para cada sitio, a kilómetros recorridos por un vehículo de pasajeros.

Tabla 5.1. Comparación de las emisiones de CO_2 de los sitios de estudio con lo que emite un automóvil que utiliza gasolina como combustible.

Sitios	NOBN1	NOBN2	NOBN3	NOBN4	NOPL1	NOPL2	NOPL3	NOPL4
Equivalencia en km recorridos	28,968	33,152	31,704	37,981	22,692	28,807	28,003	23,818

En el Gran Concepción, que abarca las comunas de Concepción, Coronel, Chiguayante, Florida, Hualpén, Hualqui, Lota, Penco, San Pedro de la Paz, Talcahuano y Tomé, circulan aproximadamente 244.450 vehículos con motores de combustión interna, según Placencia en Diario Concepción (2016). En base a lo anterior las emisiones de CO_2 provenientes de los suelos del Parque Nacional Nonguén resultan comparativamente bajas en relación con las emisiones de los automóviles. Sin embargo, las menores tasas de emisión de CO_2 en suelos predominantemente ocupados por bosques de pino sugiere que se están produciendo cambios en dichos suelos, y esto no debe subestimarse ya que estudios como el realizado por León-Muñoz y otros en 2017, informan que la deforestación y la sustitución de bosques nativos por plantaciones forestales han aumentado en la Cordillera de la Costa, ubicada en la zona centro-sur de Chile, con una tasa anual de pérdida de bosques nativos del $2,4\% \pm 1.6$.

Los cambios, aunque puedan parecer insignificantes a primera vista, adquieren importancia significativa cuando se consideran a una escala más amplia. Esto resalta la idea de que las alteraciones en los suelos tienen un impacto en las emisiones de CO_2 .

5.5. Influencia antropogénica

La influencia antropogénica en los suelos es innegable, por ejemplo el sitio NOPL1 exhibe el menor flujo de dióxido de carbono siendo el promedio anual de $13,995 g\text{CO}_2 * m^{-2} * d^{-1}$, simultáneamente es el más intervenido ya que ha sido objeto de otros estudios previos a partir del

año 2017, además se encuentra cercano al sendero Los Canelos (a 10 m aproximadamente). En contraste, el sitio NOBN4 muestra un comportamiento opuesto, con un acceso más complicado, a unos 50 m aproximadamente del sendero antes mencionado, presenta un flujo $22,456 \text{ gCO}_2 * \text{ m}^{-2} * \text{ d}^{-1}$ y está más expuesto a la radiación solar, ya que la cobertura vegetal alcanza alturas máximas más bajas que las plantaciones.

Kimmins (1997) determina que la evolución del bosque forestal se compone de cuatro etapas: en la primera etapa se lleva a cabo la explotación no regulada de los bosques, en la segunda etapa, se establecen regulaciones para controlar la explotación y se inicia el manejo forestal, ya en la tercera etapa, se adopta un enfoque ecológico y se busca la sostenibilidad en la producción de madera, en la última etapa, la forestería se vuelve social, con decisiones conjuntas y consensuadas con las comunidades locales, y un menor papel del Estado. Donoso y Otero (2005) mencionan que el avance de la industria forestal ha sido muy significativo a partir de mediados de siglo XX, sin embargo, aún Chile no alcanza la etapa tres de un manejo forestal sustentable resguardando que el manejo de los bosques nativos y de las plantaciones sea responsable ambiental y socialmente. Los mismos autores mencionan que Chile ha optado por un modelo forestal concentrador y, por lo tanto, excluyente, donde existen sólo dos o tres empresas monopólicas y dos especies, *Pinus radiata* y *Eucalyptus sp.*, las que dominan la actividad forestal.

La gestión del ciclo de deforestación y reforestación adquiere un papel crucial, dado que los incendios forestales, que a menudo están vinculados a la degradación de las áreas intervenidas, son fuentes significativas de emisiones de gases de efecto invernadero y deben ser controlados de manera efectiva. Y aunque las emisiones de CO₂ actualmente sean mayores en los bosques nativos, esto no quiere decir que los suelos asociados a plantaciones forestales sean mejores reservorios de CO₂ o estén mitigando los efectos del cambio climático, sino más bien están afectando de otra manera a los diversos ecosistemas donde residen.

5.6. Comparación con trabajos de otros autores

Como ya fue mencionado en la introducción, existen dos líneas investigativas, las cuales se relacionan de la siguiente manera con los resultados obtenidos.

En primer lugar, se tienen los trabajos como el de Fialho y Zin (2012) donde si bien solo hablan de un tipo de suelo (oxisoles), mencionan que las zonas de cultivo forrajero al ser reemplazadas por bosques de *Eucalyptus* logran favorecer las ganancias de carbono orgánico del

suelo (SOC, por sus siglas en inglés). Con respecto a los bosques nativos, mencionan que en un principio la capacidad de almacenamiento del SOC puede verse disminuida al reemplazarlos por plantaciones forestales pero que a medida que transcurra el tiempo se lograrían recuperar los niveles de SOC, inclusive mencionan que en 7 años esto es posible si no hay disturbios en la labranza. En líneas generales dan a entender que cuantitativamente los cambios en el SOC son ínfimos y que no es posible establecer qué tanto afectaría al ciclo del carbono el reemplazo de los bosques por especies monocultivo.

Dentro del mismo trabajo se hace mención a publicaciones como la de D'Annunzio y otros (2008), donde se menciona que los *Eucalyptus* de 30 años plantados sin labranza del suelo y protegidos contra incendios mostraron concentraciones de SOC el doble que la sabana nativa, en su mayoría debido a la captura de carbono en las fracciones de tamaño de partícula > 50 μm , esto en el Congo. También otros autores (Johnson y Curtis, 2001) sugieren que incluso factores contraintuitivos como los incendios prescritos (quema controlada) pueden promover la captura de SOC en bosques plantados debido a la producción de partículas finas, carbón estable y su posterior mezcla en la matriz del suelo.

Si bien los resultados obtenidos en el presente estudio sobre el flujo de CO_2 son acordes con los argumentos planteados por Fialho y Zin (2012), es fundamental llevar a cabo un seguimiento integral que abarque desde el inicio de la deforestación previa hasta la posterior tala, evaluando las etapas de plantación y desarrollo del nuevo bosque. Además, este ciclo de vida del bosque asociado a plantaciones forestales es relativamente corto, no superando los 15-20 años, pero si es mucho tiempo para poder monitorear los niveles de SOC. Finalmente estos estudios no evalúan lo que ocurre después de la tala forestal, ya que el suelo se ve deteriorado con cada ciclo, pudiendo provocar erosión del suelo y la pérdida de nutrientes y materia orgánica en el mismo, lo que puede afectar negativamente su calidad y fertilidad del mismo (Aburto y otros, 2020).

La segunda línea investigativa contiene estudios como los de Chen y otros (2016), en donde se investigaron los efectos de reemplazar bosques nativos con plantaciones de abeto chino en relación con la dinámica de almacenamiento de carbono orgánico del suelo. Los resultados destacan que las plantaciones de abeto chino promueven una rotación acelerada del SOC, contraviniendo hallazgos previos que indicaban que las plantaciones generalmente acumulaban una menor cantidad de carbono orgánico disuelto y liviano en comparación con los bosques nativos. Este descubrimiento subraya la influencia predominante de factores ambientales y biológicos,

incluyendo los seres vivos presentes en el suelo, sobre la estabilidad de la materia orgánica del suelo, en lugar de su complejidad molecular. Lo anterior sugiere que los cambios en la eficiencia microbiana, vinculados a la conversión del bosque, podrían reflejar un estado alterado de nutrientes en el suelo. En los bosques nativos, los microbios del suelo no experimentan una limitación severa de nutrientes debido a la alta disponibilidad y a las abundantes entradas anuales de materia orgánica sobre y bajo el suelo, junto con los nutrientes contenidos en ellas. Esto permite a los microbios del suelo metabolizar eficientemente el carbono y favorece la acumulación de SOC gracias a la presencia de residuos microbianos. Sin embargo, bajo el contexto de las plantaciones, los cambios en la disponibilidad de nutrientes y las condiciones de suelo pueden alterar esta dinámica, afectando la capacidad de los microbios para procesar el carbono. Castillo y otros (2023) establece que las plantaciones de pino alteran la mineralogía y las propiedades químicas del suelo, y en general, las plantaciones presentan un pH más bajo y menos SOC, dicho estudio adquiere una relevancia mayúscula pues parte de los datos allí utilizados, provienen de los mismos sitios de estudio que fueron empleados en la presente memoria.

La anterior se condice parcialmente con los resultados obtenidos en la presente memoria de título ya que si bien una mayor emisión de dióxido de carbono en los nativos indicaría una mayor actividad microbiana, falta evaluar otros factores como la hojarasca que corresponde a un conjunto de materiales vegetales en proceso de degradación, principalmente hojas, que han caído al suelo desde los árboles y plantas, además de analizar las propiedades físicas y químicas de los suelos en ambos tipos de sitios para poder establecer que a medida que hay un reemplazo sistemático de bosques nativos por plantaciones monocultivo, los suelos están perdiendo su capacidad para retener el CO₂ y con ella aumentar sus niveles en la atmósfera.

Rivas y otros (2009) evalúan la actividad biológica del suelo en bosques nativos con predominancia de *Nothofagus obliqua* y en plantaciones forestales de *Pinus radiata*, en la zona de Santa Juana, región del Biobío. Cabe mencionar que dicho sector está ubicado a 30 km al S del Parque Nacional Nonguén. En dicho estudio se concluyó que la actividad microbiana es significativamente mayor en el bosque nativo de *Nothofagus obliqua* en comparación con la plantación de *Pinus radiata* debido a varias razones clave. En primer lugar, la hojarasca aportada por el bosque nativo es de mayor calidad y, por lo tanto, más fácilmente descompuesta por los microorganismos, lo que promueve una mayor actividad biológica en el suelo. Además, el bosque nativo tiene una relación más equilibrada entre carbono y nitrógeno en el suelo, lo que facilita la

descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes. Las propiedades químicas del suelo en la plantación de *Pinus radiata*, junto con una menor diversidad microbiana, limitan la actividad de esta en comparación con el bosque nativo. Este último proporciona un entorno más propicio para la actividad microbiana del suelo debido a la calidad de la hojarasca, la relación C:N equilibrada y la mayor diversidad microbiana. Dentro de los resultados del trabajo de Rivas y otros (2009) se obtuvo en condiciones de laboratorio que las tasas de liberación de CO₂ del suelo del bosque de *N. obliqua* fluctuaron entre 0,94 y 4,26 mg de CO₂ por cada 100 g de suelo por hora. En lo que respecta a la plantación de *P. radiata*, las tasas de liberación de CO₂ fluctuaron entre 0,55 y 3,70 mg de CO₂ por cada 100 g de suelo por hora estas tasas representan la cantidad de CO₂ liberado en un período de una hora, normalizada por cada 100 g de suelo. Si bien la unidad de medida difiere de la empleada en esta memoria de título, se comparte la tendencia de que haya una mayor emisión de CO₂ en los bosques nativos en comparación con las plantaciones. Dicho trabajo es un buen punto de comparación debido a la cercanía geográfica y a la similitud de especies que residen en los suelos.

En el estudio de Raich (1992), se examinan los efectos de la precipitación y la temperatura en las tasas de respiración del suelo, estableciendo una correlación positiva entre las tasas de emisión de CO₂ del suelo y las temperaturas del aire y la precipitación anuales. Además, se resalta que el aumento de la temperatura global es probable que incremente las emisiones de CO₂ desde el suelo, lo que podría contribuir al efecto invernadero. Este estudio se llevó a cabo en bosques de *Pinus rigida*, una especie de conífera que comparte ciertas características con el *Pinus radiata* que predomina en los sitios de plantación (NOPL) de la presente memoria de título.

Finalmente, Perez-Quezada y otros (2018) analizan un antiguo bosque lluvioso en la Patagonia del hemisferio sur de América del Sur, donde destaca el comportamiento estacional del bosque, dicho estudio se efectuó en un bosque nativo con una diversidad considerable de especies. Durante el invierno, actúa principalmente como sumidero de carbono, absorbiendo carbono de la atmósfera. En contraste, en el verano, el bosque se convierte en una fuente de carbono, liberando carbono a la atmósfera. Además, se señala que pequeñas variaciones en la temperatura y la precipitación pueden cambiar drásticamente el estado del bosque de sumidero a fuente de carbono. Además, se muestra que la temperatura del aire y la respiración del suelo tienen el mismo comportamiento, alcanzando los valores máximos durante el verano siendo estos 20 – 23°C y 20 –

$21 \text{ gCO}_2 * \text{m}^{-2} * \text{d}^{-1}$. Dichos valores son menores a los obtenidos en el presente trabajo, pero comparten la misma tendencia.

Es recomendable continuar con este tipo de estudios, dando énfasis a zonas que recientemente hayan sido desforestadas, puesto que, en vista de los resultados, dichas zonas deben prácticamente carecer de actividad microbiana y con ello el estado y capacidades de los suelos deben estar muy disminuidas en comparación con los asociados a flora nativa. Además, es necesario recalcar que el flujo de dióxido de carbono proveniente de la actividad microbiana es solo parte de un ciclo mucho más grande y complejo, como es el ciclo del carbono y para obtener resultados concluyentes es necesario integrar información y obtener mediciones de diversos reservorios y flujos CO_2 en ambos tipos de uso de suelo.

6. CONCLUSIONES

A lo largo de un año de estudio las variaciones en las emisiones de CO₂ entre los diferentes sitios de estudio fueron significativas. En promedio, el sitio NOBN4 presentó la mayor emisión diaria con aproximadamente $22,456 \text{ gCO}_2 * \text{m}^{-2} * \text{d}^{-1}$, seguido de NOBN2 con $20,204 \text{ gCO}_2 * \text{m}^{-2} * \text{d}^{-1}$. Por otro lado, el sitio NOPL1 exhibió la emisión más baja con alrededor de $13,995 \text{ gCO}_2 * \text{m}^{-2} * \text{d}^{-1}$, mientras que NOPL3 y NOPL4 mostraron valores similares de alrededor de $16,795$ y $16,118 \text{ gCO}_2 * \text{m}^{-2} * \text{d}^{-1}$, respectivamente.

En base a los registros de temperatura en los sitios de estudio, existen variaciones notables en las condiciones térmicas. En promedio, NOBN4 presentó la temperatura más alta con alrededor de $16,6^{\circ}\text{C}$, seguido por NOBN3 con $15,5^{\circ}\text{C}$. Mientras tanto, NOPL1 exhibió la temperatura más baja, con un promedio de aproximadamente $14,2^{\circ}\text{C}$. Los sitios NOBN1, NOBN2, NOPL2, NOPL3 y NOPL4 también mostraron diferencias en sus temperaturas promedio, situándose en torno a $14,3^{\circ}\text{C}$, $15,0^{\circ}\text{C}$, $15,3^{\circ}\text{C}$, $15,2^{\circ}\text{C}$ y $14,7^{\circ}\text{C}$, respectivamente. También es importante considerar que la temperatura varió en $7,1^{\circ}\text{C}$ aproximadamente, si comparamos los promedios de verano (enero – marzo) y de invierno (julio – septiembre).

La relación entre las condiciones térmicas y las emisiones de CO₂ establece que los sitios con temperaturas promedio más altas, como NOBN4 y NOBN3, también presentaron las emisiones de CO₂ más elevadas. Esto sugiere que existe una correlación positiva entre la temperatura y la emisión de CO₂, es decir que, temperaturas más cálidas pueden acelerar las tasas de descomposición de la materia orgánica en el suelo, liberando más CO₂ a la atmósfera. En líneas generales, los bosques nativos tienden a tener temperaturas promedio más elevadas, lo que se asocia con emisiones de CO₂ más altas, en contraste, las plantaciones forestales muestran emisiones más bajas y temperaturas promedio más frescas.

La actividad microbiana es un factor esencial para mantener la fertilidad y calidad del suelo y sus funciones son esenciales para un ecosistema, y que si bien, puede provocar emisiones considerables de CO₂ (como ocurre en los sitios con bosque nativo) desempeña un papel fundamental en la salud y productividad de los suelos, por ello una gestión adecuada es fundamental para garantizar un equilibrio ambiental sostenible.

Finalmente se puede establecer que el uso que se le otorga a los suelos si condiciona las emisiones de CO₂ y las temperaturas de los mismos.

7. REFERENCIAS

- ABURTO, F., GONZÁLEZ, M. E., GODOY, R., OYARZÚN, C., & HUBER, A. 2020. Hillslope soil erosion and mobility in pine plantations and native deciduous forest in the coastal range of south-Central Chile. *Land Degradation & Development*, 31(5), 593-606. doi: 10.1002/ldr.3471
- AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE LOS ESTADOS UNIDOS (EPA). 2023. Calculador de Equivalencias de Gases de Efecto Invernadero. Recuperado de <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/calculador-de-equivalencias-de-gases-de-efecto-invernadero#results>.
- AGUIRRE, L.; GODOY, E. y HERVÉ, F. 1972. Distribution of metamorphic facies in Chile: an outline. *Krystallinikum*. Vol. 9: 7-19.
- BAIN, W. G., HUTYRA, L., PATTERSON, D. C., BRIGHT, A. V., DAUBE, B. C., MUNGER, J. W., & WOFSY, S. C. 2005. Wind-induced error in the measurement of soil respiration using closed dynamic chambers. *Agricultural and Forest meteorology*, 131(3-4), 225-232.
- BALLESTEROS, H. B., & ARISTIZABAL, G. L. 2007. Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. Subdirección de Meteorología (Bogotá, Colombia). 96p.
- BAILLIE, I. C. (2001). Soil survey staff 1999, soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys, agricultural handbook 436, Natural Resources Conservation Service, USDA, Washington DC, USA, pp. 869.
- BILLINGS, W. D., LUKEN, J. O., MORTENSEN, D. A. AND PETERSON, K. M. 1982. Arctic tundra: A source or sink for atmospheric carbon dioxide in a changing climate? *Oecologia* 53, 7-11.
- BRADY, N.C. Y WEIL, R.R. 2010. *The Nature and Properties of Soils*. 14th Edition. Pearson Education.
- BREVIK, E. C., & SAUER, T. J. 2015. The past, present, and future of soils and human health studies. *Soil*, 1(1), 35-46.
- BOCKHEIM, J. G., & GENNADIYEV, A. N. 2010. Soil-factorial models and earth system science: A review. *Geoderma*, 159(3-4), 243-251.
- BÖRGEL, R. 1983. *Geografía de Chile, Geomorfología*. Instituto Geográfico Militar: 182 pp. Santiago.

- CASTILLO, P., ABURTO, F., ALBORNOZ, M. F., CROVO, O., CZIMKZIK, C.I., SOUTHARD, R. 2023. Natural Forest conversion to Exotic Pine plantations induces soil mineralogical changes – Implications for soil organic carbon stabilization. 45pp.
- CAO, Y., & CHEN, Y. 2017. Ecosystem C: N: P stoichiometry and carbon storage in plantations and a secondary forest on the Loess Plateau, China. *Ecological Engineering*, 105, 125-132.
- CAVICCHIOLI, R., RIPPLE, W. J., TIMMIS, K. N., AZAM, F., BAKKEN, L. R., BAYLIS, M., & WEBSTER, N. S. 2019. Scientists' warning to humanity: microorganisms and climate change. *Nature Reviews Microbiology*, 17(9), 569-586.
- CHEN, G. S., YANG, Y. S., XIE, J. S., GUO, J. F., GAO, R., QIAN, W. 2005. Conversion of a natural broad-leaved evergreen forest into pure plantation forests in a subtropical area: effects on carbon storage. *Annals of forest science*, 62(7), 659-668.
- CHEN, G., YANG, Y., YANG, Z., XIE, J., GUO, J., GAO, R., ... & ROBINSON, D. 2016. Accelerated soil carbon turnover under tree plantations limits soil carbon storage. *Scientific reports*, 6(1), 19693.
- CONTRERAS GATICA, A. E. 2022. Efectos de coberturas y usos de suelo en la meteorización a partir del estudio de elementos traza y $\delta^{71}\text{Li}$ en sedimentos en suspensión y aguas en la cuenca de Nonguén, Concepción, Región del Biobío.
- CORPORACIÓN DE FOMENTO A LA PRODUCCIÓN. 1950. *Geografía Económica de Chile*. Santiago, Chile. Editorial Universitaria.
- CREIXELL, C. 2001. Petrología y Geotermobarometría de las Rocas Intrusivas de la Cordillera de la Costa entre los 36°30' S y 38°00' S. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 149 pp., Concepción.
- CROVO, O., ABURTO, F., ALBORNOZ, M. F., SOUTHARD, R., 2021. Soil type modulates the response of C, N, P stocks and stoichiometry after native forest substitution by exotic plantations. *Catena*, 197, 104997. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104997>
- CUCURELLA, J. 1978. Estudio geológico y radiométrico del valle del río Bío Bío, Provincia de Concepción, VIII Región. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 86 pp., Santiago.

- CUEVA, A., ROBLES ZAZUETA, C. A., GARATUZA PAYAN, J., & YÉPEZ, E. A. 2016. Soil respiration in Mexico: Advances and future directions. *Terra Latinoamericana*, 34(3), 253-269.
- D'ANNUNZIO R, CONCHE S, LANDAIS D, SAINT-ANDRÉ L, JOFFRE R, BARTHÉS BG. 2008. Pairwise comparison of soil organic particle-size distributions in native savannas and eucalypt plantations in Congo. *Forest Ecology and Management* 255: 1050–1056.
- DAVIDSON, E. A., & JANSSENS, I. A. 2006. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*, 440(7081), 165-173.
- DIXON, R. K., SOLOMON, A. M., BROWN, S., HOUGHTON, R. A., TREXIER, M. C., & WISNIEWSKI, J. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems, *Science*, 263(5144), 185-190.
- DONOSO, P. J., & OTERO, L. A. 2005. Hacia una definición de país forestal: ¿Dónde se sitúa Chile? *Bosque (Valdivia)*, 26(3), 5-18.
- ECHEVERRIA, C., COOMES, D., SALAS, J., REY-BENAYAS, J. M., LARA, A., & NEWTON, A. 2006. Rapid deforestation and fragmentation of Chilean Temperate Forests. *Biological Conservation*, 130(4), 481–494
- ECLESIA, R. P., JOBBAGY, E. G., JACKSON, R. B., BIGANZOLI, F., PIÑEIRO, G. 2012. Shifts in soil organic carbon for plantation and pasture establishment in native forests and grasslands of South America. *Global Change Biology*, 18(10), 3237-3251.
- FERRARIS, F. 1981. Avance geológico, Hoja Los Ángeles-Angol, Región del Biobío, escala 1:250.000. Carta geológica de Chile serie Preliminar. N°5: 26pp. Santiago.
- FIALHO, R. C., ZINN, Y. L. 2012. Changes in soil organic carbon under eucalyptus plantations in Brazil: a comparative analysis. *Land Degradation & Development*, 25(5), 428-437.
- FISHER, P., & UNWIN, D. 2005. Re-presenting geographical information systems. Re-presenting GIS. London: Wiley, 1-17.
- GAJARDO, A. 1985. Geología y distribución de recursos silíceos entre los 30°35' y los 37°11' S, Chile Central. Congreso Geológico Chileno N° 4. Actas 3: 603-625. Antofagasta.
- GALLI, C. 1967. Geología Urbana y suelo de fundación de Concepción y Talcahuano, Chile. Informe final del Proyecto de Investigación N° 75 de la Comisión de Investigación Científica de la Universidad de Concepción (Inédito). 248 pp. Concepción.

- GARCÍA, N. 2004. Estudio Florístico del Fundo Nonguén, Provincia de Concepción, Octava Región. Universidad de Chile. Versión Inédita
- GARCÍA-RUIZ, J. M., LANA-RENAULT, N., & BEGUERÍA, S. 2013. Erosión y conservación del suelo: conceptos, riesgos y estrategias. *GeoFocus*, 13, 54-77.
- GEOLOGÍA DE CAMPO II. 2009. Geología del sector costero, Provincia de Concepción, Región del Biobío, Chile. Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra (Inédito): 232 pp. Concepción.
- GEOLOGÍA DE CAMPO II. 2020. Geología del sector nororiental del río Biobío entre las latitudes 37°00'-37°13's y longitudes 72°45'-72°59'w, Región del Biobío, Chile. Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra (Inédito): 108 pp. Concepción.
- GIANNI, G.M. 2021. The late Paleozoic paired metamorphic belt of southern Central Chile: Consequence of a near-trench thermal anomaly. 23 pp.
- GÓNZALEZ-BONORINO, F. y AGUIRRE, L. 1970. Metamorphic facies series of the crystalline basement of Chile. *Geologische Rundschau*. Vol. 59 (3): 979-994. Stuttgart.
- GÓNZALEZ-BONORINO, F. 1971. Metamorphism of the Crystalline Basements of Central Chile, *Journal of Petrology*. Vol. 12 (1): 149-175.
- GUO, L. B., GIFFORD, R. M. 2002. Soil carbon stocks and land use change: a metanalysis. *Global Change Biology*.
- HANSON, P. J., EDWARDS, N. T., GARTEN, C. T., & ANDREWS, J. A. 2000. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: a review of methods and observations. *Biogeochemistry*, 48, 115-146.
- HERVÉ, F. 1977. Petrology of the Crystalline Basement of the Nahuelbuta Mountains, South Central Chile. Comparative studies on the geology of the Circum-Pacific Orogenic Belt in Japan and Chile (Ishikawa, T. y Aguirre L. editores). Japan Society for the promotion of science: 1-5. Tokio.
- HERVÉ, F.; GODOY, E.; PARADA, M.A.; RAMOS, V.; RAPELA, C.; MPODOZIS, C. y DAVIDSON, J. 1987. A general view on the Chilean-Argentine Andes, with emphasis on their early history. *Circum-Pacific Orogenic Belts and Evolution of the Pacific Ocean Basin* (Monger, J.W.H. y Francheteau, J. editores). American Geophysical Union: 97-113. Michigan.

- HERVÉ, F. 1988. Late Paleozoic subduction and accretion in Southern Chile. *Episodes Journal of International Geoscience*. Vol. 11 (3): 183-188. París.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). 2022. Agentes precursores de la lluvia ácida. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/los-agentes-precursores-de-la-lluvia-acidam>.
- INOSTROZA, A. 2018. Discusión estratigráfica de las formaciones Quiriquina, Pilpilco, Curanilahue, Cosmito y Cerro Alto de la Provincia de Concepción y Norte de la Provincia de Arauco. Región del Biobío, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 124 pp. Concepción.
- JOBÁGY, E. G., JACKSON, R. B. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological applications*, 10(2), 423-436.
- JOHNSON DW, CURTIS PS. 2001. Effects of forest management on soil C and N storage: Meta analysis. *Forest Ecology and Management* 140: 227–238.
- KIMMINS, J.P. (Hammish). *Balancing Act. Environmental issues in forestry*. 2nd ed., UBC Press, Vancouver, Canada. 1997. 305 p.
- LAL, R. 2005. Forest soils and carbon sequestration. *Forest ecology and management*, 220(1-3), 242-258.
- LAMBIN E.F., GEIST H., RINDFUSS R.R. 2006. Introduction: Local Processes with Global Impacts. In: Lambin E.F., Geist H. (eds) *Land-Use and Land-Cover Change. Global Change – The IGBP Series*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- LEFÈVRE, C., REKIK, F., ALCANTARA, V., & WIESE, L. (2017). Carbono orgánico del suelo: el potencial oculto.
- LEÓN-MUÑOZ, J., ECHEVERRÍA, C., FUENTES, R., & ABURTO, F. 2017. ¿Cómo está cambiando la cobertura del uso del suelo en las cuencas proveedoras de agua potable de la zona costera del centro-sur de Chile (35°-38, 5° S)? *Bosque (Valdivia)*, 38(1), 203-209.
- LI-COR BIOSCIENCES. 2016. LI-8100A Automated Soil Gas Flux System Instruction Manual [Manual de Instrucciones]. Lincoln, NE: Autor.
- LIAO, C., LUO, Y., FANG, C., CHEN, J., LI, B. 2012. The effects of plantation practice on soil properties based on the comparison between natural and planted forests: a meta-analysis. *Global ecology and biogeography*, 21(3), 318-327.

- LÓPEZ, A. J. 2006. Manual de edafología. Sevilla, España: Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla.
- MARDÓNEZ, D.; VELÁSQUEZ, R.; MERINO, R.; QUINZIO, L.A. y BONILLA, R. 2012. Caracterización y condiciones de metamorfismo de una nueva unidad dentro del Paleozoico de la Cordillera de la Costa (Unidad Patagual-El Venado), Región del Biobío, Chile. Congreso Geológico Chileno N° 13. Actas N°3: 365-367. Antofagasta.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2022. Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (2005-2020). Recuperado de https://retc.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/12/ICETC_RETIC-2022.pdf
- NACIONES UNIDAS. 2021. Los océanos pueden pasar de ser sumideros del carbono a convertirse en sus chimeneas, y acelerar el cambio climático. Recuperado de <https://news.un.org/es/story/2021/04/1491382>.
- OLMOS DE AGUILERA DÍAZ, N.S.M.M. 2023. Reservas de carbono, nutrientes y tasas de respiración en suelos de mineralogías contrastantes bajo bosques nativos y plantaciones forestales. Proyecto de Título presentado a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción para optar al título profesional de Ingeniera en Conservación de Recursos Naturales. 69 pp.
- PARCO RAMIREZ, G., & YURIVILCA CALDERÓN, A. M. 2011. Estudio de la difusión de dióxido de carbono del suelo hacia la atmósfera, en las estaciones experimentales de Santa Ana y El Mantaro (Valle del Mantaro), durante la época de lluvia.
- PÉREZ-BATALLÓN, P., OURO, G., MERINO, A., & MACÍAS, F. 1998. Descomposición de materia orgánica, biomasa microbiana y emisión de CO₂ en un suelo forestal bajo diferentes manejos selvícolas. *Edafología*, 5, 83-93.
- PEREZ-QUEZADA, J. F., CELIS-DIEZ, J. L., BRITO, C. E., GAXIOLA, A., NUÑEZ-AVILA, M., PUGNAIRE, F. I., & ARMESTO, J. J. 2018. Carbon fluxes from a temperate rainforest site in southern South America reveal a very sensitive sink. *Ecosphere*, 9(4), e02193.
- PINEDA, V. 1983. Evolución Paleogeográfica de la Península de Arauco durante el Cretácico Superior-Terciario. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología y Geofísica (Inédito): 278 pp. Santiago.
- PLACENCIA SOTO, F. 2016, 5 JULIO. Bio Bío es la segunda región con más vehículos circulando en el país. *Diario Concepción*, p. 3. Recuperado de

- [<https://www.diarioconcepcion.cl/economia-y-negocios/2016/07/05/bio-bio-es-la-segunda-region-con-mas-vehiculos-circulando-en-el-pais.html>]
- POURRUT, P. 1983. Los climas del Ecuador: fundamentos explicativos. CEDIG Documentos de Investigación, 4, 8-40.
- QUEZADA, J. 1996. Geología urbana y ambiental de la ciudad de Concepción. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra (Inédito): 143 pp., Concepción.
- RAMÍREZ, P. 2004. Estudio geológico ambiental de la cuenca del estero Nonguén. Universidad de Concepción, Concepción.
- RAMOS VÁSQUEZ, E., & ZÚÑIGA DÁVILA, D. 2008. Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. *Ecología aplicada*, 7(1-2), 123-130.
- RAICH, J. W., & SCHLESINGER, W. H. 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus B*, 44(2), 81-99.
- RIVAS, Y., OYARZÚN, C., GODOY, R., & VALENZUELA, E. 2009. Mineralización del nitrógeno, carbono y actividad enzimática del suelo en un bosque de *Nothofagus obliqua* (Mirb) Oerst y una plantación de *Pinus radiata* D. Don. del centro-sur de Chile. *Revista chilena de historia natural*, 82(1), 119-134.
- RODRÍGUEZ, F. 2017. Sustancias húmicas: Origen, caracterización y uso en la agricultura. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/acidos-humicosfulvicos-nutricion-vegetal>.
- SCHLESINGER, W. H., BERNHARDT, E. S. 2013. *Biogeochemistry: an analysis of global change*. Academic press.
- TRIOLA, M. F. 2009. Estadística. Décima edición, Editorial Pearson Educación. *México, DF*. 914 pp.
- VAN CLEVE, K., OECHEL, W. C. AND HOM, J. L. 1990. Response of black spruce (*Picea mariana*) ecosystems to soil temperature modification in interior Alaska. *Can. J. For. Res.* 20, 1530-1535.
- VÁSQUEZ, P. 2001. Petrología y Geotermobarometría del Basamento Metamórfico de la Cordillera de la Costa entre los 36°30' S y 38°00' S. Memoria para optar al Título de

- Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 172 pp., Concepción.
- WULDER, M. A., COOPS, N. C., ROY, D. P., WHITE, J. C., & HERMOSILLA, T. 2018. Land cover 2.0. *International Journal of Remote Sensing*, 39(12), 4254-4284.
- XU, L., FURTAW, M. D., MADSEN, R. A., GARCIA, R. L., ANDERSON, D. J., & MCDERMITT, D. K. 2006. On maintaining pressure equilibrium between a soil CO₂ flux chamber and the ambient air. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D8).

ANEXOS

I ANÁLISIS DE LOS DATOS

Tabla 1. Datos procesados de la emisión de CO₂ (gCO₂ * m² * día⁻¹). Los valores que faltan corresponden a datos anómalos por ello no fueron empleados en los resultados.

<i>Meses</i>	<i>Flujo de CO₂ en los diferentes sitios (gCO₂ * m² * día⁻¹)</i>							
	NOBN1	NOBN2	NOBN3	NOBN4	NOPL1	NOPL2	NOPL3	NOPL4
<i>mar-22</i>	26,742	31,506	24,317	28,844	9,176	29,045	9,217	28,844
	13,415	9,543	21,357	15,438	28,871	25,470	14,455	15,438
	15,550	18,477	21,539	23,715	7,684	43,195	24,288	23,715
	8,186	23,291	6,191	36,690	6,605	36,426	19,657	36,690
	39,405	22,932	21,063	20,510	27,020	17,974	21,891	20,510
	22,066	38,210	16,823	24,088	8,162	0,303	30,557	33,142
<i>may-22</i>	13,459	15,659	18,972	33,142	13,820	-	-	4,790
	22,268	12,429	18,285	4,790	27,386	49,825	4,622	16,311
	28,245	24,985	24,076	16,311	0,607	16,500	25,381	16,311
	8,280	14,711	51,267	16,311	11,309	1,976	16,553	10,878
	8,801	24,432	19,475	10,878	17,692	16,500	5,831	3,199
	3,632	16,991	9,286	3,199	9,113	5,021	22,689	15,531
<i>jul-22</i>	4,286	18,254	26,122	15,531	10,949	8,705	9,412	9,162
	2,851	14,549	11,605	9,162	9,607	27,735	10,076	10,661
	1,870	23,834	33,727	10,661	15,420	5,580	18,817	8,418
	5,799	18,575	21,261	8,418	14,025	7,965	11,425	8,050
	11,931	19,433	16,198	8,050	11,906	11,476	13,009	10,190
	14,111	16,218	18,654	10,190	5,667	8,841	14,059	19,926
<i>sept-22</i>	24,305	14,435	13,463	19,926	13,800	17,481	13,874	11,589
	18,990	12,296	20,445	11,589	13,189	15,946	21,300	29,065
	20,963	16,964	17,588	29,065	14,592	11,771	21,248	11,098
	12,586	20,295	24,896	11,098	16,400	16,860	18,113	12,426
	16,671	12,448	16,393	12,426	12,720	16,167	21,049	10,422
	19,471	53,773	10,784	10,422	11,712	9,998	17,059	27,184
<i>nov-22</i>	30,534	21,852	13,373	27,184	20,679	22,944	21,861	22,512
	17,709	29,119	23,514	22,512	18,615	49,547	23,201	26,776
	27,451	18,919	16,922	26,776	28,742	20,418	24,010	24,494
	15,592	30,886	21,191	24,494	20,350	27,786	35,766	22,046
	57,341	29,346	23,472	22,046	16,686	37,430	31,901	19,060
	14,936	20,886	13,846	19,060	14,848	16,655	27,105	19,769
<i>ene-23</i>	37,911	23,436	15,106	19,769	12,175	18,765	11,434	21,161
	26,075	21,885	18,016	21,161	10,217	18,589	14,549	11,542
	22,645	12,129	17,318	11,542	11,647	16,877	21,639	14,629
	11,756	24,177	17,166	14,629	37,277	9,497	8,674	14,214
	39,708	12,486	12,994	14,214	12,390	5,393	17,874	31,185

	22,851	21,349	44,881	31,185	8,380	8,163	15,345	6,101
	1,107	17,811	1,603	6,101	14,131	23,496	5,976	17,580
	2,154	22,946	20,893	17,580	12,276	9,244	7,192	5,289
<i>mar-23</i>	0,513	8,023	2,151	5,289	12,370	1,519	10,723	8,694
	2,472	8,955	20,893	8,694	19,086	7,632	8,670	4,609
	0,752	15,388	40,354	4,609	11,240	7,585	11,279	5,543
	2,134	14,732	6,777	5,543	4,877	7,504	8,592	5,543

Tabla 2. Temperaturas (°C) obtenidas durante la campaña de terreno. NOBN1 y NOPL1 tenían más datos debido que tenían más puntos de medición

		<i>Temperaturas en los diferentes sitios (C°)</i>							
<i>Meses</i>	Sitios Nativos				Sitios Plantación				
	NOBN1	NOBN2	NOBN3	NOBN4	NOPL1	NOPL2	NOPL3	NOPL4	
<i>mar-22</i>	15,42	16,08	14,62	19,25	14,65	13,90	13,68	13,68	
	15,51	18,36	19,90	20,74	14,67	14,42	13,90	14,77	
	14,99	16,07	14,62	20,23	14,46	13,95	13,39	13,71	
	15,05	18,37	19,23	21,02	14,50	14,69	14,20	14,99	
	15,18	16,29	14,68	21,58	14,70	13,98	13,43	14,23	
	15,45	18,32	19,43	20,62	14,26	14,81	13,65	15,23	
	15,61	16,43	17,44	22,45	14,98	14,14	13,60	13,98	
	15,39	18,40	18,91	20,68	14,82	15,13	14,21	15,02	
	14,99	16,13	15,88	20,82	15,30	14,20	13,73	14,33	
	15,07	18,49	19,19	20,66	13,94	14,97	14,26	15,14	
	14,82	16,39	15,42	22,54	15,40	13,72		14,07	
	13,89	18,32	19,98	20,90	14,77	14,36		15,31	
	14,71				15,03				
	15,07				14,00				
	14,90				15,07				
	15,43				14,33				
	14,55				15,91				
	14,94				14,39				
14,59				15,91					
15,16				14,40					
<i>may-22</i>	7,96	10,20	10,11	10,11	7,08	10,48	10,40	9,03	
	8,09	10,23	10,37	10,37	7,12	10,67	10,09	9,10	
	8,07	10,18	10,88	10,88	7,12	10,44	10,29	9,30	
	8,08	9,94	11,12	11,12	6,98	10,40	10,49	10,69	
	8,07	10,18	9,89	9,89	7,37	10,41	9,95	9,04	
	7,83	10,21	10,36	10,36	7,66	7,61	7,60	7,84	
	7,63	11,17	11,38	11,38	7,08	7,75	7,59	7,95	
	7,47	11,59	11,17	11,17	7,12	7,81	8,23	7,88	
	7,37	11,51	11,57	11,57	7,11	7,78	7,77	7,63	
	7,72	11,56	11,62	11,62	7,12	7,56	7,60	7,75	
	8,23	11,84	10,53	10,53	7,99				
	8,35	11,84	11,12	11,12	7,99				
	8,32				8,05				
	8,17				7,96				
8,47				8,10					

	8,46				8,17			
	8,34				8,35			
	8,32				8,21			
	8,56				8,04			
	8,46				8,12			
	7,45	10,29	10,35	11,15	7,64	6,36	6,51	7,58
	7,42	10,51	10,18	10,79	7,59	6,34	6,63	8,43
	7,28	10,73	10,42	10,65	7,29	6,36	6,51	8,55
	6,95	10,89	10,45	11,13	7,32	6,57	7,05	7,76
	7,82	10,73	10,59	11,00	7,59	6,71	6,45	8,04
	7,28	10,46	10,61	11,44	7,61	6,43	6,71	8,37
	7,58	10,58	10,79	12,97	7,52	11,60	11,51	10,25
	7,36	10,67	10,96	14,63	7,40	11,55	11,42	10,09
	7,09	10,93	11,04	13,11	7,46	10,89	11,42	10,23
<i>jul-22</i>	7,13	11,05	10,94	13,46	7,62	11,81	11,61	10,32
	8,39	10,69	10,57	13,68	8,29	12,01	11,04	10,07
	8,63	10,66	10,96	14,46	8,06	11,24	11,48	10,01
	8,49				8,50			
	8,24				8,53			
	8,19				8,02			
	8,41				8,15			
	8,58				8,06			
	8,39				8,61			
	8,18				8,42			
	8,35				7,95			
	11,45	11,47	11,10	12,68	14,27	13,27	12,31	10,76
	12,01	11,24	10,98	12,82	13,71	13,25	11,74	10,69
	11,92	11,71	11,00	13,19	14,07	14,34	12,36	11,90
	11,22	11,73	11,13	13,62	14,46	12,84	11,95	10,91
	11,37	12,07	11,61	13,47	13,63	13,16	11,89	11,27
	11,60	11,40	11,43	13,68	14,53	12,99	12,60	11,75
	11,95	12,53	12,66	12,71	13,69	16,44	16,25	15,13
<i>sept-22</i>	11,29	12,27	12,20	13,00	14,41	16,78	16,06	15,41
	11,48	12,61	12,22	13,12	14,13	16,67	16,16	15,90
	10,93	12,08	12,38	13,72	13,57	16,46	16,61	14,96
	13,30	12,20	13,08	13,63	16,11	16,41	16,57	14,86
	13,60	12,18	12,72	13,95	15,64	16,13	16,72	14,86
	13,65				15,98			
	12,91				15,99			
	12,71				15,65			
	13,77				15,80			

	13,57				15,61			
	13,30				15,92			
	12,61				15,97			
	12,68				15,45			
<i>nov-22</i>	18,01	15,81	16,57	16,42	19,09	22,27	19,58	21,72
	19,07	15,78	16,61	16,45	18,99	21,29	19,41	21,58
	17,64	16,17	16,46	16,46	18,36	22,80	19,43	21,49
	17,25	16,18	16,50	16,85	18,19	22,42	19,72	21,01
	18,27	16,10	17,02	16,64	18,95	21,57	19,84	21,81
	18,27	16,14	16,99	17,20	18,83	21,18	21,69	21,49
	18,69	19,05	19,23	20,71	19,01	22,75	22,78	22,65
	17,11	19,41	19,21	20,38	18,42	22,93	22,43	22,73
	17,86	19,19	18,88	20,79	18,62	23,40	22,65	22,40
	18,02	18,94	18,77	21,90	18,32	22,93	23,49	23,15
	18,89	19,21	20,39	20,72	24,10	22,34	22,39	22,23
	19,08	18,98	19,76	20,77	22,24	22,53	23,01	
	18,90				21,44			
	19,08				21,43			
	19,25				22,75			
	18,86				22,39			
	19,09				22,07			
	18,96				21,11			
	19,07				21,11			
	18,91				22,30			
<i>ene-23</i>	21,98	21,01	23,41	21,47	17,29	21,11	21,54	18,53
	22,15	20,04	23,55	20,70	17,02	21,27	21,36	18,45
	21,40	20,59	21,97	19,11	16,59	24,11	22,30	18,95
	21,46	19,91	22,41	23,13	16,89	20,70	21,52	19,55
	21,42	20,09	25,81	20,66	17,18	19,28	22,08	18,31
	22,04	20,80	22,06	20,42	17,15	20,99	22,18	18,58
	22,28	23,49	24,73	26,16	16,89	25,82	26,18	25,78
	21,50	23,86	24,18	25,79	16,57	25,87	26,41	25,69
	21,26	25,22	24,29	25,81	16,89	25,63	25,91	26,09
	21,39	24,08	23,80	25,88	17,11	25,48	27,80	25,36
	23,35	23,95	26,70	25,88	25,00	25,51	26,50	25,94
	24,40		31,43	26,18	24,27	25,31	25,68	25,45
	24,15				24,08			
	23,71				24,19			
	24,17				24,32			
	23,79				25,26			
	24,49				24,35			

	23,97				24,39			
	23,49				24,10			
	23,61				24,52			
	14,82	13,26	14,27	14,13	10,63	11,61	13,83	9,82
	15,34	13,42	14,65	13,92	10,98	12,05	12,77	10,00
	14,57	13,29	14,17	13,75	10,42	11,91	12,80	10,07
	14,37	12,93	14,12	14,23	10,52	12,17	13,84	9,37
	14,26	13,12	15,27	13,91	10,95	12,23	13,06	9,85
	14,88	13,70	13,74	13,53	10,89	11,65	12,60	9,84
	14,99	15,00	15,18	17,56	11,05	16,60	16,87	15,99
	14,75	15,07	15,35	17,02	10,29	16,59	16,77	15,95
	14,74	14,98	15,46	17,15	10,56	16,79	17,05	16,16
<i>mar-23</i>	14,24	16,16	15,35	17,83	11,27	16,47	17,55	15,30
	15,59	15,66	15,60	20,51	15,71	16,67	17,05	15,57
	16,30	14,81	15,58	22,41	16,26	16,64	16,94	15,78
	16,18				16,15			
	16,14				16,18			
	16,30				16,09			
	15,72				15,83			
	16,17				16,16			
	16,07				16,31			
	15,59				15,92			
	16,27				15,83			