Ministerio de Agricultura
Gobierno de Chile

FIA Fundación para la Innovación Agraria

ciren Centro de Información de Recursos Naturales

Información
Innovación
Investigación

GUÍA PRODUCTIVA DE PRADERAS EN LAS PROVINCIAS DE OSORNO Y LLANQUIHUE

Proyecto: "Impacto de la variabilidad climática interanual sobre la producción de forraje y la capacidad sustentadora animal en las praderas de las provincias de Osorno y Llanquihue"

EQUIPO DE TRABAJO

Autores:
Carolina Leiva Madrid
Gonzalo Gajardo Escobar
Luis Piña Moraga
Carla Schmidt Gómez
Gonzalo Barrientos Kompatzki

Cartografía:
Balfredo Toledo Hernández

Revisión Técnica FIA:
M. Francisca Fresno Rivas

Diseño y diagramación:
Valentina Quezada Luengo

Centro de Información de Recursos Naturales, CIREN
Director Ejecutivo: Félix Viveros D.

Fundación para la Innovación Agraria, FIA
Director Ejecutivo: Álvaro Eyzaguirre P.

Publicación CIREN N°224
Registro de Propiedad Intelectual 2021-A-5521
ISBN 978-956-9365-39-3

La presente publicación es el fruto de la realización del proyecto denominado " Impacto de la variabilidad climática interanual sobre la producción de forraje y la capacidad sustentadora animal en las praderas de las provincias de Osorno y Llanquihue" código PYT 2018 - 0722, apoyado por la Fundación para la Innovación Agraria, FIA y ejecutado por el Centro de Información de Recursos Naturales, CIREN.

Félix Viveros
Director ejecutivo CIREN

El cambio climático es un fenómeno de carácter universal; son numerosos los estudios realizados, pero aún subsisten un sin número de interrogantes. La adaptabilidad es un concepto que ha pasado a ser fundamental para disminuir su impacto. Como Centro de Información de Recursos Naturales, CIREN, hemos trabajado fuertemente para obtener resultados a partir de proyectos vinculados a esta área temática, evitar pérdidas y reducir costos de producción.

Sin embargo, este tipo de estudios son más efectivos si los acompañamos de una proyección del régimen de clima lo que permitirá un uso racional de los recursos naturales y la promoción para la conservación del conjunto de factores involucrados en la producción agrícola, por lo que resulta esencial conocer su futuro comportamiento.

Por lo antes dicho, el proyecto "Impacto de la variabilidad climática interanual sobre la producción de forraje y la capacidad sustentadora animal en las praderas de las provincias de Osorno y Llanquihue" esperamos se convierta en una herramienta de especial relevancia para contribuir al desarrollo del rubro ganadero, especialmente considerando la importancia de esta región que es responsable a nivel nacional del 54% de la producción de leche y 26% de carne.

Los resultados permitirán conocer cuál será la situación forrajera proyectada, de manera de gestionar la alimentación del ganado frente a los nuevos escenarios climáticos, bajo dos periodos diferentes; futuro cercano y lejano (2035-2045 y 2046-2055), como medida de adaptación para hacer un adecuado ajuste de la masa ganadera en función de las condiciones climáticas que habrán de imperar. El estudio considera además un análisis de costos de producción de la pradera permanente en base a tres niveles de fertilidad de suelo (óptimo, medio, bajo).

Es importante no desconocer la situación que actualmente vive la región de Los Lagos y en especial las comunas que componen las provincias de Osorno y Llanquihue. De forma paulatina desde el año 1950 a la fecha, se ha producido una disminución de precipitaciones en promedio de entre 250 a 590 mm/año en la zona, lo que ha modificado los factores en el nivel de producción.

Por lo mismo, este estudio es parte de una serie de medidas impulsadas por el Ministerio de Agricultura, ejecutadas por los diferentes servicios del agro para apoyar a los agricultores. En mérito a lo antes dicho, este estudio también incorpora un análisis del potencial productivo de tres especies suplementarias (maíz silo, ballica ciclo corto y nabo forrajero), desde el punto de vista de los suelos y clima, acompañado de su respectivo costo de producción.

Esperamos que el presente documento constituya un aporte en la búsqueda de respuestas a las interrogantes que actualmente presenta el cambio climático. Todos los resultados estarán disponibles en una plataforma, que incluye un visor de mapas y manual técnico con acceso universal a través de **http://praderasproductivas.ciren.cl** y **www.ciren.cl**

Álvaro Eyzaguirre
Director Ejecutivo FIA

La Fundación para la Innovación Agraria (FIA) es la agencia de innovación del Ministerio de Agricultura de Chile. Nuestra misión es contribuir a la solución eficiente de desafíos estratégicos del sector silvoagropecuario nacional y/o de la cadena agroalimentaria asociada, por medio del fomento, articulación y difusión tecnológica de procesos de innovación orientados al desarrollo sustentable.

A través de nuestra oferta de servicios a los usuarios -incentivo financiero, información para la toma de decisiones, capacitación y redes para innovar-, abordamos tres desafíos estratégicos claves para el sector. Éstos son el cambio climático y eficiencia hídrica; el desarrollo de mercados innovadores; y procesos de alto impacto. Uno de los ejes del primer desafío es la adaptación al cambio climático, primordial para el futuro de la actividad agropecuaria y de la producción de alimentos frescos y sanos en nuestro país.

En FIA, entendemos la innovación como un cambio de mentalidad, replantearse la forma que tenemos de hacer las cosas para encontrar una mejor, más sustentable, más eficiente, con un mayor impacto. La innovación es una potente herramienta hacia el desarrollo de una comunidad o territorio.

El presente proyecto, ejecutado por CIREN, es muestra de que la información para la toma de decisiones es una parte fundamental del proceso de innovar. La solución innovadora que aquí se presenta considera información de uso público y acceso gratuito que permitirá estimar la producción de forraje como capacidad de carga en términos probabilísticos, de manera de anticiparse a las condiciones climáticas futuras a fin de gestionar de manera sustentable la masa ganadera regional.

Esperamos que la presente publicación se transforme en un aporte relevante para la actividad ganadera de Chile.

ÍNDICE

01
INTRODUCCIÓN
página 8

02
ANTECEDENTES GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO
página 9

03
CARACTERIZACIÓN DE LOS PRODUCTORES GANADEROS ENTREVISTADOS
página 11

04
DESCRIPCIÓN DE LA PRADERA POLIFÍTICA EN EL ÁREA DE ESTUDIO
página 16

05
APTITUD PRODUCTIVA DE LA PRADERA POLIFÍTICA EN LAS PROVINCIAS DE OSORNO Y LLANQUIHUE
página 18

5.1 POTENCIAL PRODUCTIVO POR SUELOS PARA LA PRODUCCIÓN DE PRADERAS

- Aptitud de los suelos para praderas según parámetros químicos: Fósforo Olsen, Saturación de aluminio y pH
- Aptitud de los suelos para praderas por parámetros físicos: Drenaje, Pendiente y Profundidad

5.2 POTENCIAL PRODUCTIVO POR CLIMA EN LA PRODUCCIÓN DE PRADERAS

5.2.1 Metodología
- Obtención de datos meteorológicos para selección del modelo de circulación global (MCG) a utilizar
- Selección del modelo de crecimiento de praderas
- Estimación del crecimiento de las praderas en base a escenarios simulados (presente y futuro)

5.2.2 Resultados
- Caracterización de la variabilidad climática en los últimos 30 años
- Selección del modelo de circulación global (MCG)
- Calibración y validación del modelo de Jouven para el crecimiento de praderas
- Resultados de la simulación de rendimiento total y estacionalidad productiva de la pradera, según el modelo de circulación global CanESM2
- Cartografía de la productividad de praderas en las provincias de Osorno y Llanquihue, según el modelo de circulación global CanESM2
- Diferencia porcentual de la productividad de las praderas entre el período presente y ambos períodos en el futuro
- Capacidad de carga animal
- Cartografía de la capacidad de carga animal en las provincias de Osorno y Llanquihue
- Diferencia porcentual de la capacidad de carga animal de las praderas entre el período presente y ambos períodos en el futuro

5.3 ANÁLISIS DE COSTOS DE PRADERAS PERMANENTES

- Estimación de costos de mantención y producción de praderas permanentes en el escenario actual
- Estimación de costos de producción de praderas permanentes, por unidad fisiográfica, proyectada al periodo 2035 – 2045

06

POTENCIAL PRODUCTIVO DE TRES ESPECIES SUPLEMENTARIAS COMO ALTERNATIVA DE ALIMENTACIÓN DEL GANADO
página 83

6.1 POTENCIAL PRODUCTIVO POR SUELOS EN LA PRODUCCIÓN DE ESPECIES SUPLEMENTARIAS

6.1.1 Maíz silo
- Aptitud de suelos para maíz silo por parámetros químicos: P Olsen, Saturación de aluminio, pH
- Aptitud de suelos para Maíz silo por parámetros físicos: Drenaje, Pendiente, Profundidad

6.1.2 Nabo forrajero
- Aptitud de suelos para nabo forrajero por parámetros químicos: P Olsen, Saturación de aluminio, pH
- Aptitud de suelos para nabo forrajero por parámetros físicos: Drenaje, Pendiente, Profundidad

6.1.3 Ballica ciclo corto
- Aptitud de suelos para ballica ciclo corto por parámetros químicos: P Olsen, Saturación de aluminio, pH
- Aptitud de suelos para ballica ciclo corto por parámetros físicos: Drenaje, Pendiente, Profundidad

6.2 POTENCIAL PRODUCTIVO POR CLIMA EN LA PRODUCCIÓN DE ESPECIES SUPLEMENTARIAS

- Productividad de maíz para silo bajo condiciones climáticas actuales
- Productividad de nabo forrajero bajo condiciones climáticas actuales
- Productividad de ballica ciclo corto bajo condiciones climáticas actuales

6.3 ESTIMACIÓN DE COSTOS DE PRODUCCIÓN DE ESPECIES SUPLEMENTARIAS

- Estimación de costos de producción de maíz para silo
- Estimación de costos de producción de nabo forrajero
- Estimación de costos de producción de ballica anual

07

RECOMENDACIONES EN EL MANEJO DE PRADERAS
página 133

08

PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE PRODUCTIVIDAD DE PRADERAS
página 144

09

CONSIDERACIONES FINALES
página 146

1.INTRODUCCIÓN

La falta de información cuantitativa sobre la variabilidad climática crea incertidumbre sobre la estimación de la disponibilidad de forraje por parte de los productores pecuarios. En este sentido, la carencia de información no permite hacer una gestión eficiente del ganado generando pérdidas económicas importantes y variaciones en los precios de los productos agropecuarios, particularmente en temporadas con déficit de precipitación y también por la distribución de estas.

Las regiones de Los Lagos y Los Ríos son zonas eminentemente agropecuarias, en donde se concentra gran parte de la producción de carne y leche bovina del país. En particular, la región de Los Lagos reúne más del 50% de la producción de leche bovina y el 26% de la producción de carne bovina del país.

En los últimos años, especialmente en la última década, se ha observado un incremento en la frecuencia e intensidad de las sequías, así como un aumento de los eventos anómalos asociados a la variabilidad climática (olas de calor, grandes montos de precipitaciones en períodos acotados de tiempo), lo que ha tenido un impacto directo sobre la productividad de los rubros antes mencionados. En la zona sur de Chile la producción ganadera se genera, fundamentalmente, en base a la utilización directa de la pradera, siendo ésta una proporción mayoritaria de la dieta de los animales.

Ante estos antecedentes, y como una herramienta de adaptación al cambio climático, se realizó el proyecto "Impacto de la variabilidad climática interanual sobre la producción de forraje y la capacidad sustentadora animal en las praderas de las provincias de Osorno y Llanquihue", el cual consideró la generación de información que permita estimar la producción de forraje y la capacidad de carga animal en términos probabilísticos, de manera de anticiparse a las condiciones climáticas futuras a fin de gestionar de manera sustentable la masa ganadera regional.

Uno de los productos del proyecto es el presente documento, el cual analiza los potenciales productivos de las praderas ante las condiciones de clima y suelos presentes en las provincias en estudio. Mediante un trabajo de modelamiento, se realizó una estimación de las condiciones climáticas proyectadas (rango de años 2035-2045 y 2046-2055) de manera de conocer los posibles escenarios a los cuales se verá enfrentada la productividad de la pradera, considerando la disminución de las precipitaciones que se han observado en los registros de las últimas décadas. El estudio considera además un análisis de costos de producción de la pradera permanente en base a tres niveles de fertilidad de suelo (óptimo, medio, bajo).

Este estudio fue complementado con un análisis del potencial productivo de tres especies suplementarias (maíz silo, ballica ciclo corto y nabo forrajero), desde el punto de vista de los suelos y clima del área de estudio, junto a un análisis de costos de producción.

2. ANTECEDENTES GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área considerada para el estudio, corresponde a las provincias de Osorno y Llanquihue, excluyendo los sectores cordilleranos y áreas protegidas clasificadas por el SNASPE (Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado). Dicha área corresponde a una superficie de 1.795.421 ha de las 2.407.241 ha totales, teniendo una cobertura de un 75%, según se muestra en la Figura N°1.

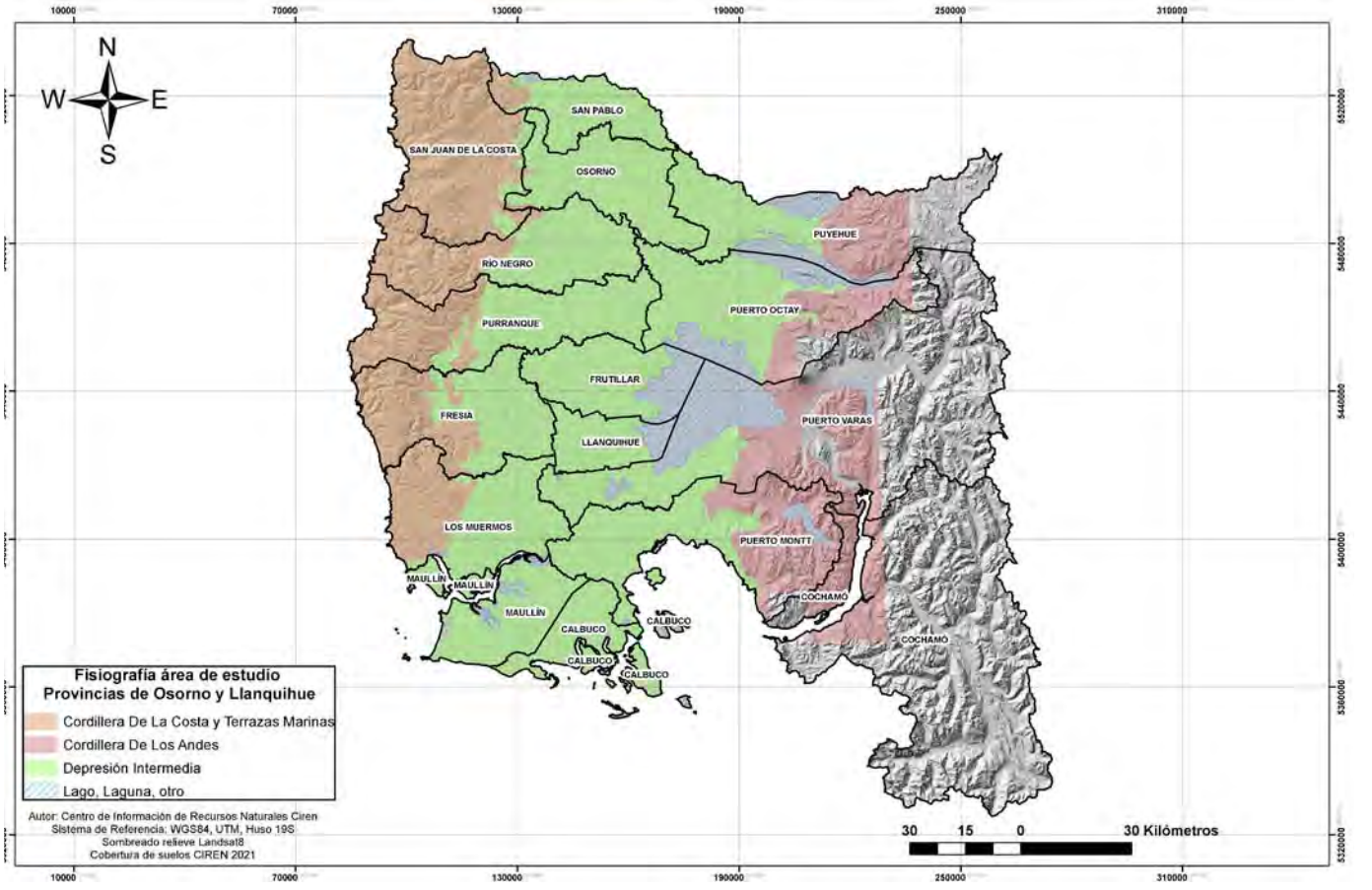


Figura N°1. Área considerada en el estudio (Fuente: elaboración propia)

La provincia de Osorno se ubica en el extremo norte de la región de Los Lagos, entre las latitudes 40,6° S y 40,5° S, y las longitudes 73,4° O y 72,6° O, y posee una superficie de 9.236 km2. De acuerdo con el Gobierno Regional de Los Lagos (www.goreloslagos.cl), la provincia está integrada por las comunas de Osorno, San Pablo, Puyehue, Puerto Octay, Purranque, Río Negro y San Juan de la Costa.

Destaca la existencia de industrias de productos agropecuarios relacionados con la ganadería bovina, lo que ha permitido la creación de lecherías y frigoríficos. También se desarrollan actividades de servicio y turismo. Asimismo, son importantes los cultivos de cereales, remolacha, papas y lino, a lo que hay que añadir la explotación de maderas autóctonas.

La provincia de Llanquihue se ubica al centro de la región de Los Lagos, entre las latitudes 41,1° S y 42,1° S, y las longitudes 72,0° O y 71,9° O. Posee una superficie de 14.876 km2. De acuerdo con el Gobierno Regional de Los Lagos (www.goreloslagos.cl), la provincia comprende las comunas de Puerto Montt, Puerto Varas, Cochamó, Calbuco, Maullín, Los Muermos, Fresia, Llanquihue y Frutillar. Los cultivos de cereales y remolacha son destacables y dan origen a otras agroindustrias, como la azucarera. La explotación de madera autóctona es un importante rubro en la economía provincial, así como el turismo. La actividad pesquera es de gran relevancia, especialmente la captura de ostras, choritos, cholgas y choro zapato, lo que ha permitido el surgimiento de una industria conservera.

En cuanto a los valores de precipitaciones de la zona, estos fluctúan entre 1.400 mm y 2.400 mm, con una alta concentración entre los meses de abril y septiembre. En el período estival, normalmente, se registra entre un 10 y un 18% de las precipitaciones anuales.

3. CARACTERIZACIÓN DE LOS PRODUCTORES GANADEROS ENTREVISTADOS EN LA ZONA DEL ESTUDIO

Con el objetivo de obtener la información básica para la caracterización de la situación actual de los productores ganaderos de las provincias de Llanquihue y Osorno en la región de Los Lagos, se realizaron entrevistas a 38 productores entre los meses de enero y abril del año 2020.

Las entrevistas se realizaron en las comunas de Osorno, Puerto Octay, Los Muermos, seguidos de Río Negro, Puyehue, Puerto Varas, San Juan, Puerto Montt, San Pablo y Purranque, lo que se describe en la Figura N°2.

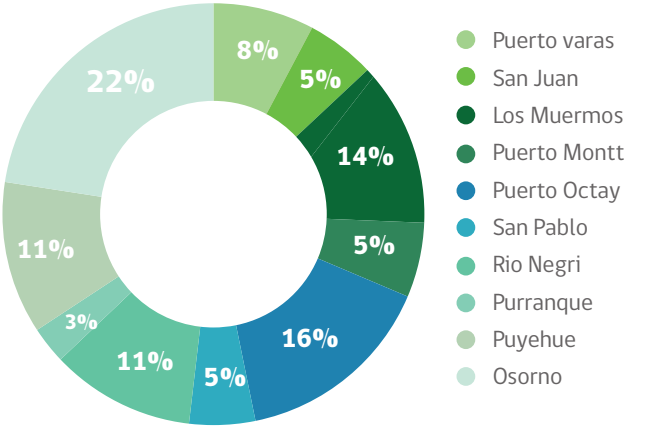


Figura N°2. Distribución de porcentual de las entrevistas realizadas en zona de estudio.

En cuanto al grupo de entrevistados, estos eran en un 87% de sexo masculino y un 13% de sexo femenino. La edad promedio de los entrevistados fue de 61 años, siendo el 50% mayor a 60 años (Figura N°3).

Producto de la migración observada en los últimos años, los agricultores manifestaron tener incertidumbre sobre quién quedará a cargo de sus explotaciones, luego de que ellos ya no puedan, puesto que sus hijos no continúan en el rubro agrícola lo que ocurre, principalmente, en los predios lecheros de menor tamaño.

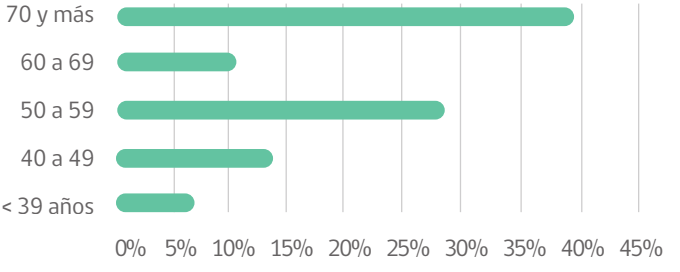


Figura N°3. Distribución porcentual de la edad de los entrevistados

La distribución según el nivel de escolaridad muestra que el 35% de los entrevistados posee estudios técnicos y/o universitarios en su mayoría agrarios, un 25% enseñanza media completa, un 30% educación básica incompleta y un 9% educación básica completa. Se pudo observar que el menor nivel educacional se encuentra en los productores de menor tamaño. El mayor porcentaje de los agricultores tiene una educación técnica y/o universitaria (35%), lo que le aporta una ventaja competitiva importante y permite inferir la posibilidad de un mayor uso de tecnologías e incorporación de mejoras para la gestión de sus explotaciones.

Las superficies dedicadas al rubro de los predios son variadas, por tanto, se generaron rangos de acuerdo a lo señalado en el Cuadro N°1 para analizar la información.

La suma total de superficie dedicada al rubro de los entrevistados fue de 3.113 hectáreas, con un promedio de 100 hectáreas. El predio de mayor tamaño tiene 900 hectáreas y la explotación más pequeña dedica una superficie de 18 hectáreas a la lechería.

En el Cuadro N°1, se puede observar que los productores que tienen terrenos con superficie menor a 20 hectáreas, representan el 9,7%. Le siguen productores entre 21 a 40 hectáreas con el mayor porcentaje correspondiente a 48,4%, entre 41 a 90 hectáreas con 22,6%, entre 91 a 140 hectáreas 6,5% y mayor a 141 hectáreas 12,9%.

Cuadro N°1. Porcentajes de entrevistados según rango de superficie (ha) dedicadas al rubro.

Rango de superficie de terreno en hectáreas	Porcentaje de entrevistados según rango
Menor a 20	9,7%
Entre 21 - 40	48,4%
Entre 41 - 90	22,6%
Entre 91 - 140	6,5%
Mayor a 141	12,9%

Del total de superficie dedicada al rubro, el 90% se encuentra en condiciones de secano y el 10% bajo condiciones de riego. Con respecto a la utilización de métodos de riego, sólo un 26% de los productores manifestó tener proyección en establecer un método de riego en un porcentaje menor de la superficie de su predio. Lo anterior podría presentar problemas a futuro producto de la disminución de las precipitaciones, que ya se está observando. Esto produciría no sólo una restricción de crecimiento de las praderas, sino también un descenso en la calidad del forraje producido.

Los productores dividen la ocupación de su superficie en 3 tipos de pradera más los cultivos suplementarios (Figura N°4). De la totalidad de superficie dedicada al rubro, un 50% corresponde a praderas mejoradas, un 26% a praderas sembradas, un 15% a praderas naturalizadas y un 9% a cultivos suplementarios. La pradera mejorada, que presenta el mayor porcentaje, corresponde a una pradera polifítica con un contenido equilibrado de gramíneas y leguminosas. El mejoramiento de una pradera naturalizada es una alternativa de bajo requerimiento de capital, permitiendo aumentar significativamente la producción y la calidad de los forrajes. Esto se logra con un manejo adecuado, tanto a nivel de fertilidad de suelos como un uso racional de la pradera en pastoreo y de conservación. Los productores ya han tomado conciencia, por medio de asesorías técnicas como por acción del plan de recuperación de suelos degradados, de que tienen que mejorar la calidad de sus praderas, aumentando la eficiencia en la utilización del recurso suelo y con esto la competitividad en el rubro.

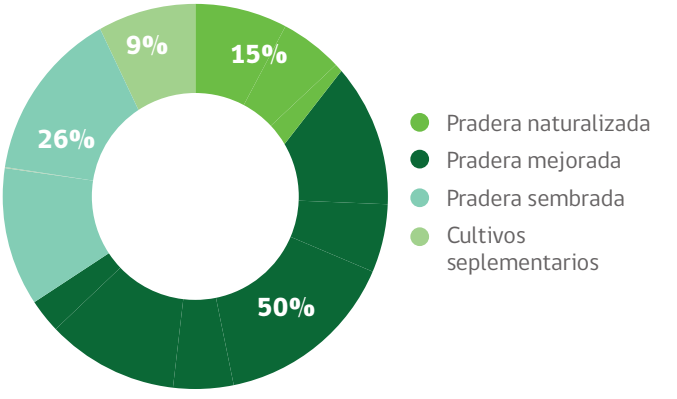


Figura N°4. Distribución porcentual de la utilización de praderas y cultivos suplementarios utilizados por los entrevistados.

Los entrevistados indicaron disponer de un total de 3.464 animales. El 45% posee entre 21 a 50 animales; un 23% entre 131 a 180 animales; un 10% entre 181 - 300 animales; un 7% entre 71 y 130 animales; en un 6% se encuentran dos estratos de 0 a 20 animales y mayor a 300 animales y, por último, un 3% entre 51 y 70 animales (Figura N°5). Esta diferencia se debe a que un mayor número de entrevistados poseen predios con menos de 40 hectáreas, por lo tanto, disponen de una menor superficie predial para mantener ganado.

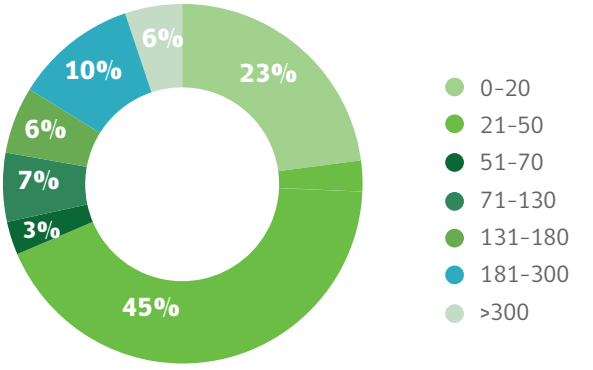


Figura N°5. Distribución porcentual según número de animales de los entrevistados

Los animales por superficie se encuentran en rangos de 0,1 a 2,3 animales por superficie de terreno en hectáreas. El 39% de los entrevistados entre 1,1 - 1,5; el 30% entre 1,5 - 2; el 22% entre 0,1 - 1 y el 9% entre 2,1 - 2,3 (Figura N°6). Una unidad animal corresponde a una vaca de 450 kg más su cría (ternero) de 50 kg, por lo tanto, la unidad animal queda representada por un animal de 500 kg. Cada unidad animal (UA) aproximadamente necesita 4.300 kg de materia seca al año, por lo tanto, si la pradera produce 10 ton MS/año podría sostener 2 UA. En estudios realizados en la región, una pradera produce entre 3 y 5 ton MS/ha/año por lo cual soporta una carga animal de 0,7 a 1,2 vacas/ha/año. Por lo tanto, el 78% de los entrevistados se encuentran más arriba que los indicadores de la región. Una mayor carga animal se alcanza en explotaciones con praderas de mayor calidad botánica y nutritiva.

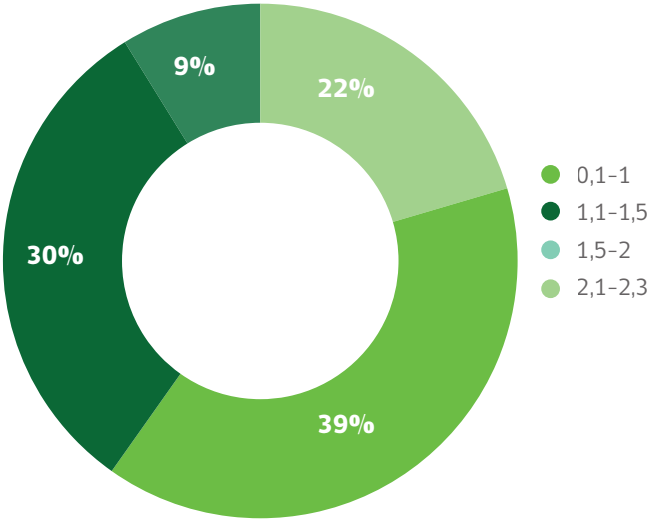


Figura N°6. Distribución de la carga animal de los entrevistados.

La raza predominante en un 52% de los entrevistados es Overo colorado, seguido de 33% de Holstein friesian y un 15% de Overo negro. La raza Overo colorado es un animal de doble propósito, que se adapta con facilidad a diferentes climas, por lo cual es la raza más común en nuestro país. Llama la atención que, aunque la mayoría de los entrevistados se dedica exclusivamente al rubro lechero, no existe una especialización en razas de leche. Sin embargo, en un menor número de predios, el cambio de una raza de doble propósito a una lechera, como la Holstein, es un buen índice de la tendencia a la especialización e intensificación de las lecherías.

Entre los entrevistados, la producción promedio de leche correspondió a 4.270 litros por vaca masa. La vaca masa es el promedio obtenido entre el inventario inicial y final de vacas en producción por año. La producción está ligada a la cantidad de animales productores y a diferentes variables que pueden influir en la producción de las vacas que posee el productor, por lo cual

un número elevado de vacas no asegura una mayor producción. En la Figura N°7, se presentan los rangos levantados en los productores entrevistados, donde el 36% de los productores presentan una producción entre 4.000 y 5.000 litros/animal año. Esta producción es muy superior a los 3.224 L/vaca masa que se observa como promedio en las regiones de Los Ríos y de Los Lagos. Otros autores señalan que la producción promedio anual de leche por vaca masa, alcanzada por medianos y grandes productores de la región de Los Lagos es de 4.592 L/vaca masa, lo que se asemeja a los resultados encontrados en las entrevistas.

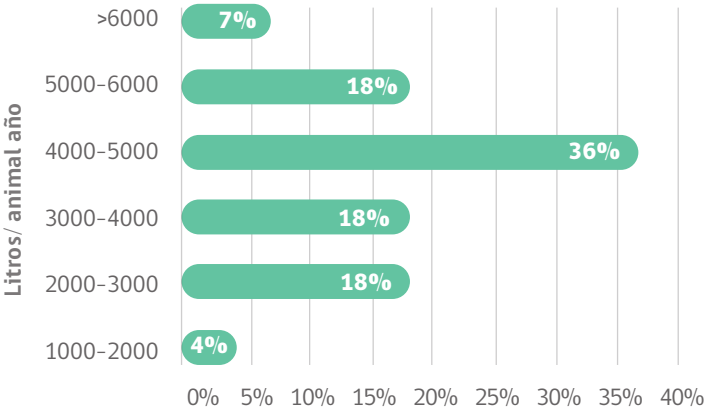
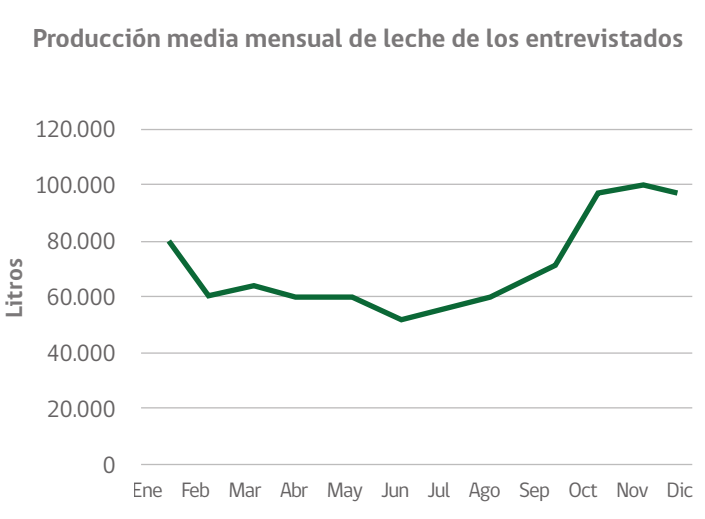


Figura N°7. Rango de producción anual de leche por número de animales productores

Con los datos obtenidos de los productores sobre la producción mensual de leche entregada a planta, se obtiene la curva de producción anual, la cual se puede comparar con la curva de recepción anual de las plantas lecheras de la región de Los Lagos (Figura N°8). La comparación permite ver que, en ambas figuras, la mayor producción de leche se obtiene entre los meses de octubre a enero, disminuyendo durante los meses de invierno. Sin embargo, en la curva obtenida de los entrevistados se puede apreciar que esta disminución es más leve que lo recepcionado en las plantas de la región. Al respecto, se puede inferir que se trata de productores que manejan sus rebaños y praderas, establecen cultivos forrajeros y conservan alimento, de manera de no depender sólo de la curva de crecimiento natural de las praderas para producir leche en los meses invernales, disminuyendo la diferencia estacional que se observa en la recepción de leche en las plantas.



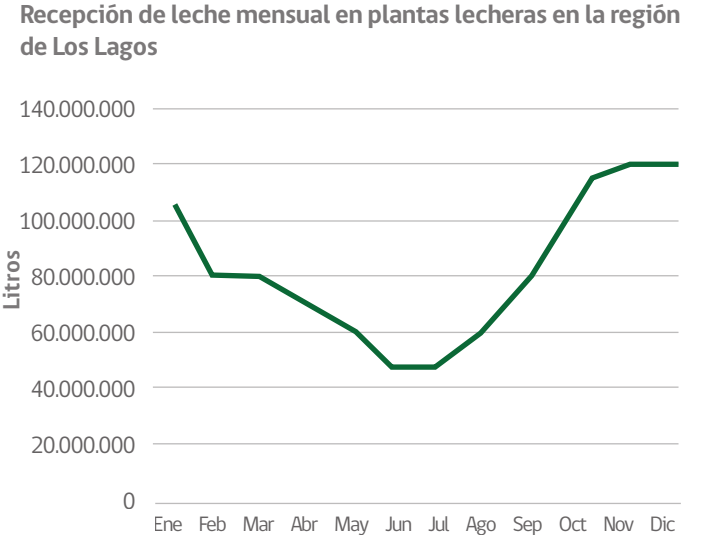


Figura N°8. Curvas de comparación de producción anual de productores y recepción anual de plantas lecheras de la región de Los Lagos.

El precio promedio por litro de leche pagado a productor es de $220, cifra por debajo de lo publicado por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, ODEPA, donde el promedio de precios nominales ponderado de leche pagado a productor en la región de Los Lagos en el año 2019 fue de $249,3. Según datos actuales, se produjo un alza en el precio de la leche de 17% por litro en la región entre los años 2018 al 2019. Aumento que se debe a la baja en las importaciones de leche en polvo y a la mayor disponibilidad de forraje.

El total de los productores caracterizados son proveedores de diferentes plantas industriales tales como: Nestlé, Soprole, Watt´s, Lácteos del Sur y queserías de la región. Como se muestra en la Figura N°9, el 60% de los productores entregan su leche a Nestlé, el 13% a queserías de la región, el 9% a Soprole, y en igual porcentaje (6%) a Chilolac, Lácteos del Sur y Watt´s.

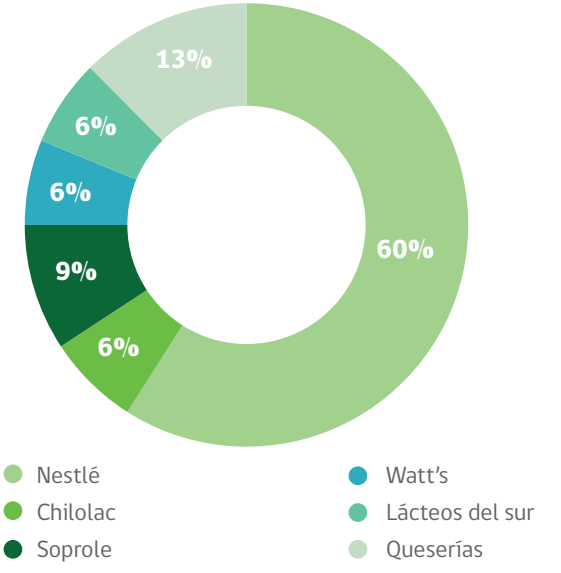


Figura N°9. Mercado de productores entrevistados.

4. DESCRIPCIÓN DE LA PRADERA POLIFÍTICA EN EL ÁREA DE ESTUDIO

En las regiones de Los Ríos y Los Lagos alrededor del 50% de la superficie de praderas son naturalizadas. Su composición la constituyen especies forrajeras que han sido introducidas, y que con el tiempo se han ambientado en condiciones de suelos con bajo nivel de nutrientes disponibles y generalmente con alta acidez. Cerca del 40% corresponden a praderas mejoradas y aproximadamente un 10% son praderas sembradas que se desarrollan en suelos sin limitaciones de fertilidad.

En la región de Los Lagos, coexisten tres grandes tipos de praderas: praderas naturalizadas, praderas mejoradas y praderas cultivadas.

Las praderas naturalizadas se caracterizan por recibir escaso manejo en aspectos como la fertilización y enmiendas, lo que provoca una alta variabilidad en su producción, estacionalidad y calidad del forraje ofrecido. No obstante, este tipo de praderas posee una elevada riqueza en el número de especies presentes, con contribuciones variables de especies como *Trifolium repens, Dactylis glomerata, Holcus lanatus, Bromus valdivianus, Lolium perenne, Anthoxanthum odoratum*, entre otras.

A pesar que este tipo de praderas presenta un menor potencial de producción que las praderas mejoradas y cultivadas, la riqueza en las especies presentes le otorga una mayor resiliencia a las fluctuaciones en las condiciones climáticas, particularmente al monto y distribución de precipitaciones durante el período estival.

Las praderas mejoradas corresponden a aquellas naturalizadas que reciben algún tipo de mejoramiento para incrementar su producción, usualmente fertilización y enmiendas. Este tipo de praderas poseen una composición botánica similar a la observada en las naturalizadas, pero se incrementa la proporción de especies de mayor valor forrajero, como *Trifolium repens, Lolium perenne y Dactylis glomerata.*

Las praderas sembradas se caracterizan por un incremento significativo en la intervención antrópica en su manejo, lo que involucra el establecimiento de especies forrajeras de alto valor nutritivo, la aplicación de fertilizantes y enmiendas, el establecimiento de sistemas de regadío, entre otras medidas. En la actualidad, debido a la facilidad en el manejo del pastoreo, al alto valor nutricional y a la información técnica disponible, la especie predominante en el establecimiento de praderas permanentes es *Lolium perenne.*

El análisis de praderas para el presente estudio fue realizado clasificando las praderas como sistemas polifíticos, es decir, compuestos de varias especies.

Las especies consideradas fueron ballica, pasto ovillo, festuca, trébol blanco y trébol rosado, dado que son algunas de las especies forrajeras más utilizadas en la zona sur de Chile. Si bien, estas especies presentan distintas características y necesidades propias de su fisiología, sus requerimientos han sido estandarizados de manera de ayudar al proceso de análisis para la zonificación del potencial productivo. La estandarización de requerimientos sigue el criterio del factor más limitante, en cuanto a clima y suelo, que limite el crecimiento de alguna de las especies.

Del mismo modo, se establecieron los rendimientos potenciales para praderas sembradas y naturalizadas, de acuerdo a las siguientes unidades fisiográficas: precordillera andina, precordillera de la Costa y Depresión Intermedia.

Cuadro N°2. Rendimientos (ton MS/ha) para pradera sembrada.

	Precordillera andina	Precordillera costa	Depresión Intermedia
Bajo	Menor a 6	Menor a 3	Menor a 7
Bueno	7 - 8	4 - 6	8 -10
Muy bueno	Mayor a 9	Mayor a 7	Mayor a 11

(Fuente: elaboración propia)

Cuadro N°3. Rendimientos (ton MS/ha) para pradera naturalizada.

	Precordillera andina	Precordillera costa	Depresión Intermedia
Bajo	Menor a 4,8	Menor a 2,4	Menor a 5,6
Bueno	5,6 - 7,4	3,2 - 4,8	6,4 - 8
Muy bueno	Mayor a 7,4	Mayor a 5,6	> 8,8

(Fuente: elaboración propia .)

5. APTITUD PRODUCTIVA DE LA PRADERA POLIFÍTICA EN LAS PROVINCIAS DE OSORNO Y LLANQUIHUE

5.1 POTENCIAL PRODUCTIVO DE LOS SUELOS PARA LA PRODUCCIÓN DE PRADERAS

Los suelos de las provincias de Osorno y Llanquihue son derivados de cenizas volcánicas, con altos contenidos de materia orgánica, alta capacidad de retención de agua y velocidad de infiltración. En general, la principal limitante en este tipo de suelos es la deficiencia de fósforo, los niveles de pH y conductividad eléctrica, así como la saturación de aluminio, que condicionan el crecimiento de diversas especies forrajeras y dificultan la utilización de algunas especies de alto nivel productivo, como la alfalfa. Los suelos varían en profundidad, pero mayoritariamente se encuentran en el rango profundo (mayor a 100 cm), a excepción de los sectores litorales donde predominan los suelos delgados (25 a 50 cm).

La aptitud productiva por suelos fue determinada en base a los requerimientos de la pradera y la información de suelos generada por CIREN en el Estudio Agrológico de la región de Los Lagos, el cual se actualizó el año 2012 y se encuentra sobre Ortoimagen. A partir de la integración de la información se realiza una interpretación en términos generales de los principales factores de suelos que podrían estar determinando una condición, en distintos niveles de limitación. Cabe señalar que la variabilidad de los suelos es tan alta que incluso una condición particular puede ser distinta en lugares muy cercanos geográficamente o incluso a solo algunos metros. Por tanto, la información que se entrega a continuación debe ser tomada de manera referencial dada la escala de trabajo de los estudios de suelos sobre la cual fue realizada (escala de terreno entre 1:20.000 y 1:10.000).

Los suelos considerados en el análisis corresponden a aquellos definidos como suelos con clase de capacidad de uso de I a VII, teniendo en cuenta su relativa adaptabilidad a ciertos cultivos y las dificultades y riesgos que se pueden presentar al usarlos. Los suelos de clase de capacidad de uso VIII y ciertas condiciones indeterminadas (misceláneos, terrazas y unidades no diferenciadas) fueron dejados en la categoría "No apto".

La información a continuación muestra el grado de aptitud que presentan las praderas ante las condiciones de suelos descritas en el área de estudio, según ciertos parámetros químicos y físicos, y que determinan en gran medida la productividad de ellas.

Para los distintos parámetros se consideró una profundidad de 0 a 20 cm.

Aptitud de los suelos para praderas según parámetros químicos: Fósforo Olsen, Saturación de aluminio y pH

Es importante conocer la condición química de los suelos en el cual se está desarrollando una actividad productiva que involucre el crecimiento y desarrollo de plantas. En sistema pastoriles, mantener los niveles de fertilidad en los suelos determinará en gran medida la obtención de un elevado rendimiento productivo de las praderas, generando un forraje de calidad para consumo del ganado.

A continuación será analizada la aptitud de los suelos para la producción de praderas, en base a los contenidos de fósforo Olsen, saturación de alumnio y pH en los suelos correspondientes al área de estudio.

Fósforo Olsen

El fósforo es un macroelemento esencial para el crecimiento de las plantas. Se encuentra en el suelo en compuestos orgánicos y minerales. No obstante, la cantidad de fósforo en formas disponibles, son muy bajas en comparación con la cantidad total de fósforo en el suelo. Los sistemas productivos ganaderos de la región de Los Lagos, se desarrollan principalmente sobre suelos derivados de cenizas volcánicas, los cuales tienen una alta retención de fósforo debido a su mineralogía. Esta condición, si no es corregida mediante un programa de fertilización fosfatada constante, afectará la productividad y calidad de las praderas, y por ende el rendimiento de leche y carne.

A continuación, se muestra gráficamente a través de la Figura N°10, la aptitud de los suelos según su limitación a los niveles disponibles de fósforo.

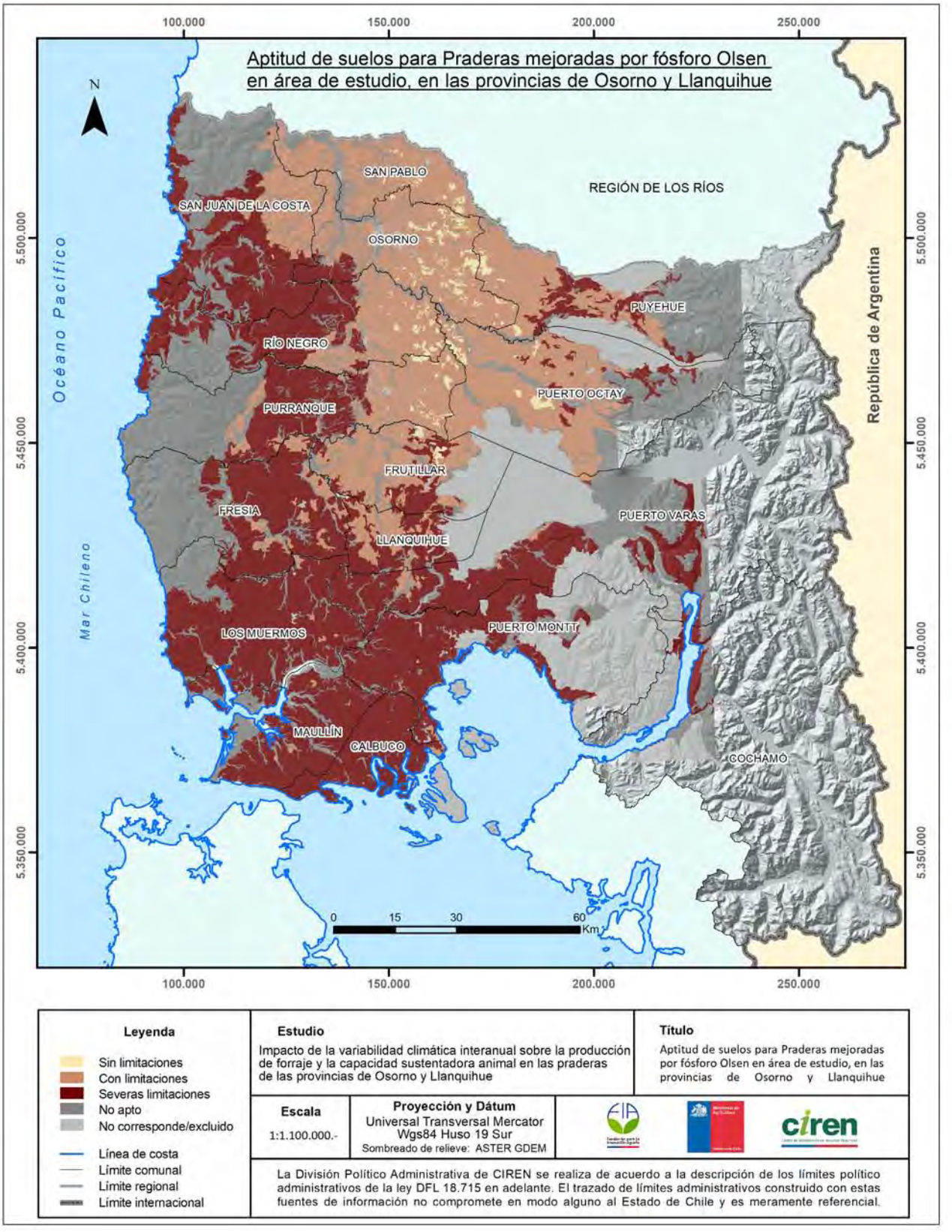


Figura N°10. Aptitud de suelos para praderas según contenidos de fósforo Olsen (P Olsen) en las provincias de Osorno y Llanquihue (Fuente: elaboración propia).

De acuerdo con la Figura N°10, son muy pocas las áreas con una condición "sin limitaciones". Estas se encuentran ubicadas principalmente en la zona centro norte, y particularmente en el valle central (comunas de Osorno, Río Negro, Purranque) donde es posible encontrar suelos en posición de morrena y derivados de cenizas volcánicas. Por otra parte, las zonas con severas limitaciones se concetran tanto en el sur del área de estudio (Los Muermos, Maullín, Calbuco, Puerto Montt, Puerto Varas), también sobre suelos en posición de morrenas y derivados de cenizas volcánicas, como en toda la cordillera de la Costa (Fresia, Purranque, Río Negro, San Juan de La Costa), sobre suelos derivados de cenizas volcánicas antiguas.

Los rangos de fósforo Olsen anteriormente descritos, se presentan en el Cuadro N°4 por categoría y superficie. A partir de estos datos se observa que la mayor superficie (36%) presenta niveles menores a 10 ppm de P Olsen, considerada esta una condición severa para el crecimiento de las praderas.

Cuadro N°4. Aptitud de los suelos (hectáreas) según rangos de fósforo Olsen, en las provincias de Osorno y Llanquihue.

Rangos de P Olsen (ppm)	Categoría	Superficie (hectáreas)	Distribución porcentual (%)
mayor a 20 ppm	Sin limitaciones	18.559,7	1
10 a 20 ppm	Con limitaciones	405.015,5	23
menor a 10 ppm	Severas limitaciones	644.098,0	36
	No suelos*	278.993,6	16
	Sin Información	448.753,8	25

(*) La categoría No suelos incluye a las categorías No apto y No corresponde/excluido. (Fuente: elaboración propia.)

Saturación de aluminio

La saturación de aluminio es la relación existente entre el aluminio intercambiable del suelo y la CICE (capacidad de intercambio catiónica efectiva). El aluminio es un elemento perjudicial para las plantas, al solubilizarse en sus formas iónicas. Este elemento limita el crecimiento radical, afectando la capacidad de absorción de agua y nutrientes, perjudicando el desarrollo de las plantas. Un suelo con alta saturación de aluminio restringe la sobrevivencia y producción de especies de alto rendimiento, dando paso a que otras especies de menor valor forrajero se establezcan (chépica, la hierba del chancho, entre otras).

Para desplazar el aluminio intercambiable en las particulas de suelo y neutralizar el aluminio libre en la solución del suelo, es necesario corregir los problemas de acidez mediante la incorporación de enmiendas calcáreas (encalado) que aumentan el contenido de bases y neutralicen los protones que resultan del proceso de acidificación. El encalado consiste en agregar al suelo carbonatos de calcio o carbonato de calcio y magnesio que permiten reducir la acidez e incrementar el pH.

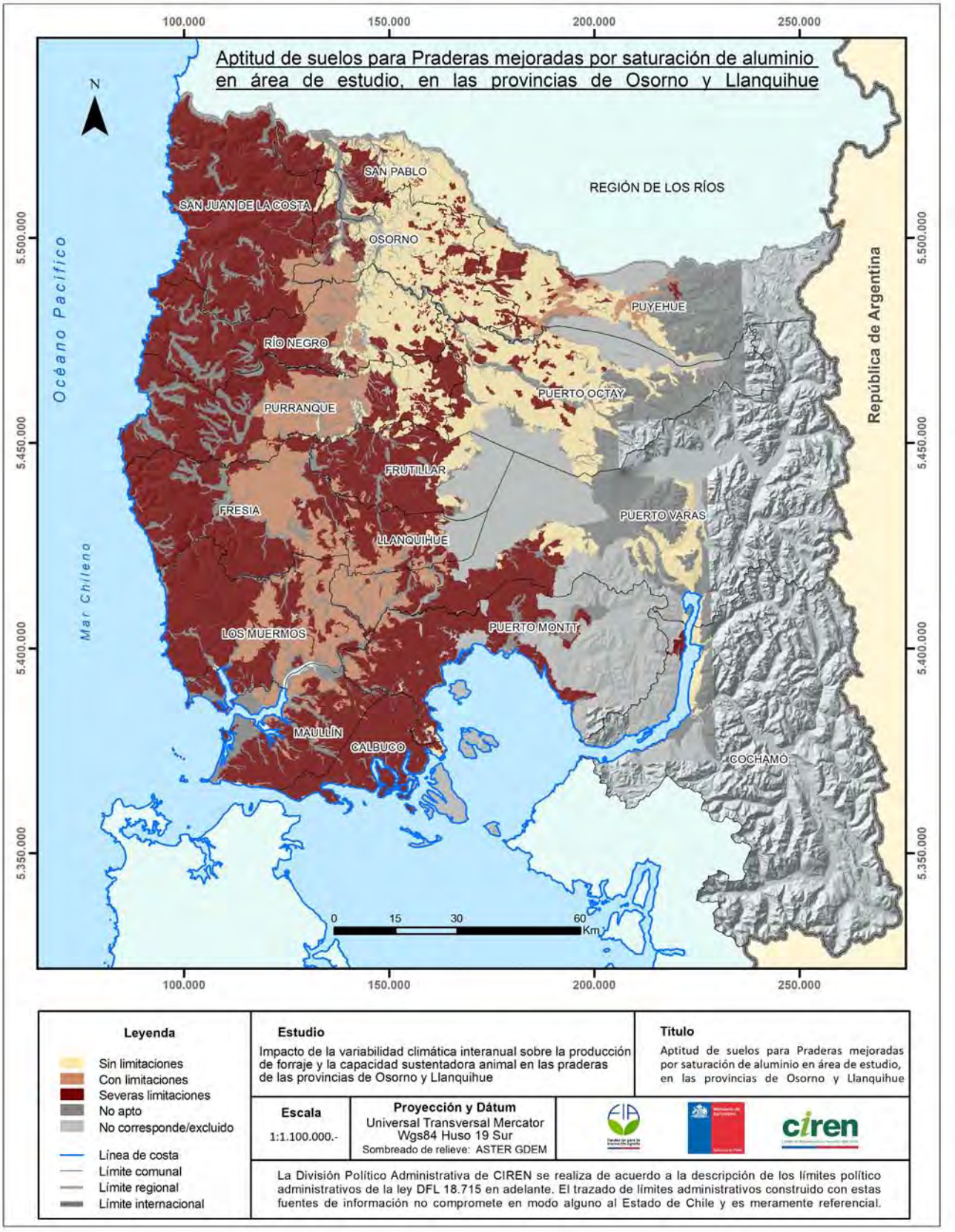


Figura N°11. Aptitud de suelos para praderas según saturación de aluminio, en las provincias de Osorno y Llanquihue. (Fuente: elaboración propia).

Para representar la información sobre los niveles de saturación de aluminio en los suelos del área de estudio, se recurrió a información proveniente del Estudio Agrológico de CIREN de la región de Los Lagos (2012) y datos aportados por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), a través del programa SIRDS-S 2018. De acuerdo con la Figura N°11, se observa en general que los suelos ubicados al norte de la región y en la Depresión Intermedia presentan un menor contenido de aluminio activo que los suelos ubicados en los sectores costeros y sur de la región. La cordillera de la Costa en cambio, tanto en su vertiente occidental como en la oriental, presenta severas limitaciones.

Los rangos de porcentaje de saturación de aluminio anteriormente descritos, se presentan en el Cuadro N°5 por categoría y superficie. Como se observa, gran parte del área presenta una condición de severas limitaciones debido a los porcentajes de saturación de aluminio sobre 10.

Cuadro N°5. Aptitud de los suelos (hectáreas) según rangos de % de saturación de aluminio, en las provincias de Osorno y Llanquihue

% Saturación de aluminio	Categoría	Superficie (hectáreas)	Distribución porcentual (%)
menor a 3%	Sin limitaciones	294.169,9	16
4 a 9%	Con limitaciones	188.627,1	11
mayor a 10%	Severas limitaciones	766.665,4	43
	No suelos*	278.993,6	16
	Sin información	266.964,7	15

(*) La categoría No suelos incluye a las categorías No apto y No corresponde/excluido. (Fuente: elaboración propia.)

pH

El pH es una propiedad química de los suelos que los productores de praderas manejan con familiaridad. El pH ejerce su influencia en una serie de procesos que ocurren en los suelos, y que pueden afectar el desarrollo de las plantas. Por mencionar algunas, el pH interviene en la solubilidad de nutrientes, la disponibilidad de ciertos elementos tóxicos, el desarrollo de microorganismos, la mineralización de la materia orgánica, la variación de la capacidad de absorción de los coloides, entre otros.

En la zona sur existe un predominio de derivados de cenizas volcánicas, cuyo riesgo de acidificación es alto producto de la pérdida de bases generada por la concentración de las precipitaciones y el uso de fertilizantes nitrogenados acidificantes como son la urea, fosfato mono amónico y fosfato diamónico. Para que las plantas puedan expresar su potencial productivo, es necesario corregir los problemas de acidez en los suelos mediante la incorporación de enmiendas calcáreas (encalado) que aumentan el contenido de bases y neutralizan los protones que resultan del proceso de acidificación.

En términos generales, rangos de pH entre 6 y 7 no limitan el crecimiento de las praderas. Valores entre 5 y 6 pueden presentar limitaciones; sin embargo, valores menores a 5 resultan perjudiciales para el desarrollo de estas. De los suelos del área de estudio (Figura N°12), se observa que aquellos que no presentan limitaciones por pH se concentran en la zona nororiente (San Pablo, Osorno, Puyehue, Río Negro, Purranque) y otros en la zona suroriente (Puerto Varas, Cochamó). Por otro lado, suelos con severas limitaciones se ubican en la cordillera de la Costa, tanto en la zona sur como en la norte (San Juan de la Costa, Fresia, Los Muermos).

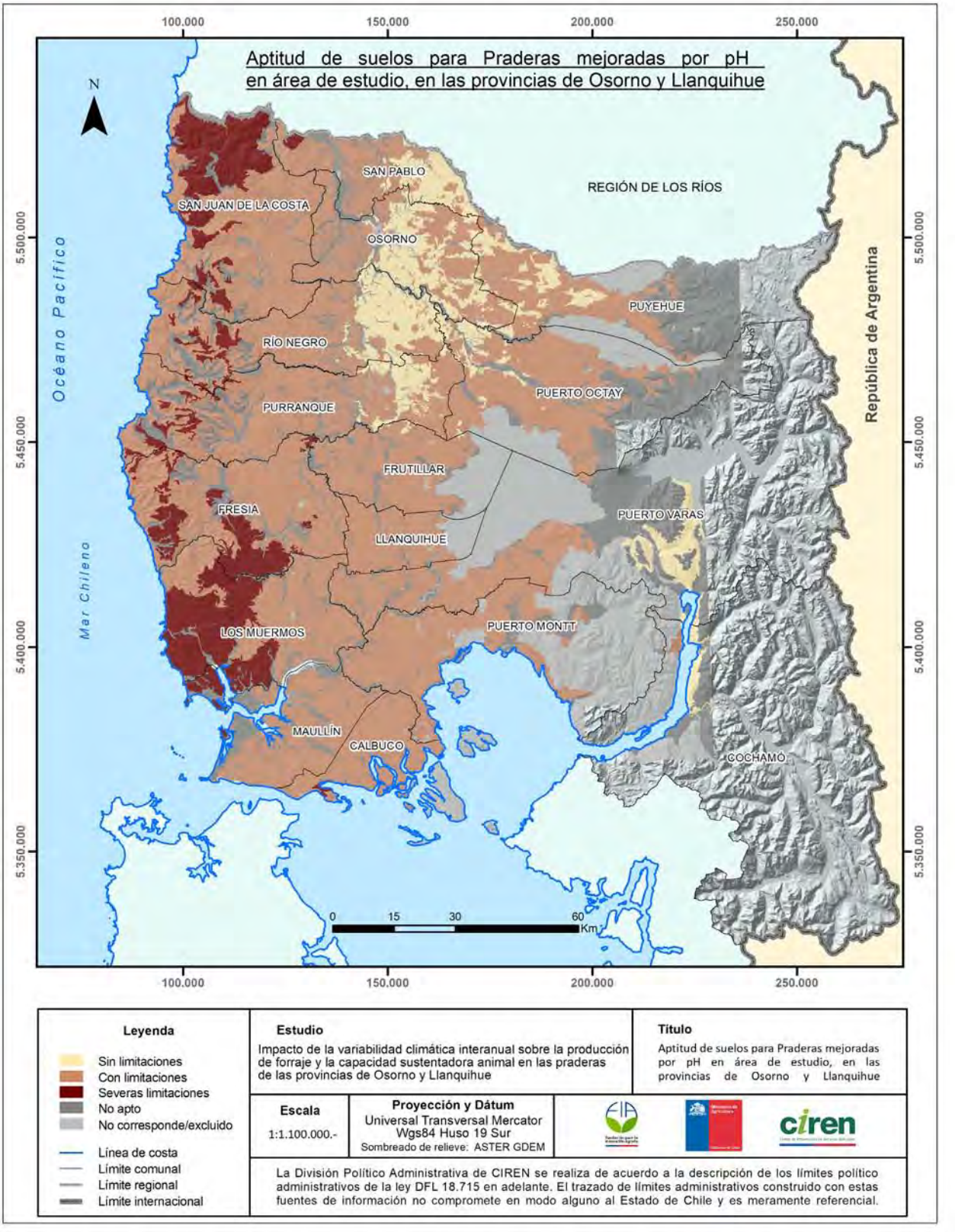


Figura N°12. Aptitud de suelos para praderas por pH en el área de estudio (Fuente: elaboración propia)

Los rangos de pH anteriormente descritos, se presentan en el Cuadro N°6 por categoría y superficie. Según muestran las cifras, la mayoría de los suelos (53%) presentaría limitaciones por pH. Por el contrario, sólo un 8% de la superficie, se encuentra sin limitaciones.

Cuadro N°6. Aptitud de los suelos (hectáreas) según rangos de pH, en las provincias de Osorno y Llanquihue

Rangos de pH	Categoría	Superficie (hectáreas)	Distribución porcentual (%)
6 a 7	Sin limitaciones	142.445,5	8
5 a 6	Con limitaciones	960.033,0	53
menor a 5	Severas limitaciones	146.983,8	8
	No suelos*	278.993,6	16
	Sin Información	266.964,7	15

(*) La categoría No suelos incluye a las categorías No apto y No corresponde/excluido (Fuente: elaboración propia.)

Aptitud de los suelos para praderas por parámetros físicos: Drenaje, Pendiente y Profundidad

En la producción de praderas, los agricultores, en general, entregan gran relevancia a parámetros como el drenaje, la pendiente y la profundidad, ya que ellos influyen directamente en la productividad de la pradera, y son en general condiciones costosas de modificar o adaptar.
A continuación, se analizarán dichos parámetros en el área de estudio.

Drenaje

El drenaje corresponde a la eliminación del exceso de agua, tanto de la superficie como en el suelo mismo, deprimiendo los niveles freáticos, mejorando la aireación, la exploración radical y el acceso a nutrientes, manteniendo la actividad biológica indispensable para los procesos fisiológicos de crecimiento de las plantas (Ortega, 1996).

La región de Los Lagos presenta en ciertas áreas suelos con limitaciones por drenaje que disminuyen el potencial productivo de las praderas. Estos suelos tienen un mal drenaje de tipo superficial, que principalmente, se demuestra durante la época invernal, donde la ocurrencia de un periodo de precipitaciones frecuentes y de gran magnitud, sobrepasan en gran medida los requerimientos de evapotranspiración, produciéndose posteriormente saturación, apozamiento y escurrimiento superficial. En este estado de saturación, el agua ocupa prácticamente todo el espacio poroso del suelo, produciendo asfixia y reducción del sistema radical y, por tanto, disminuyendo los rendimientos de las praderas.

A continuación, en la Figura N°13 se representa la aptitud de los suelos para la producción de praderas, considerando el factor drenaje como determinante en el crecimiento de las praderas.

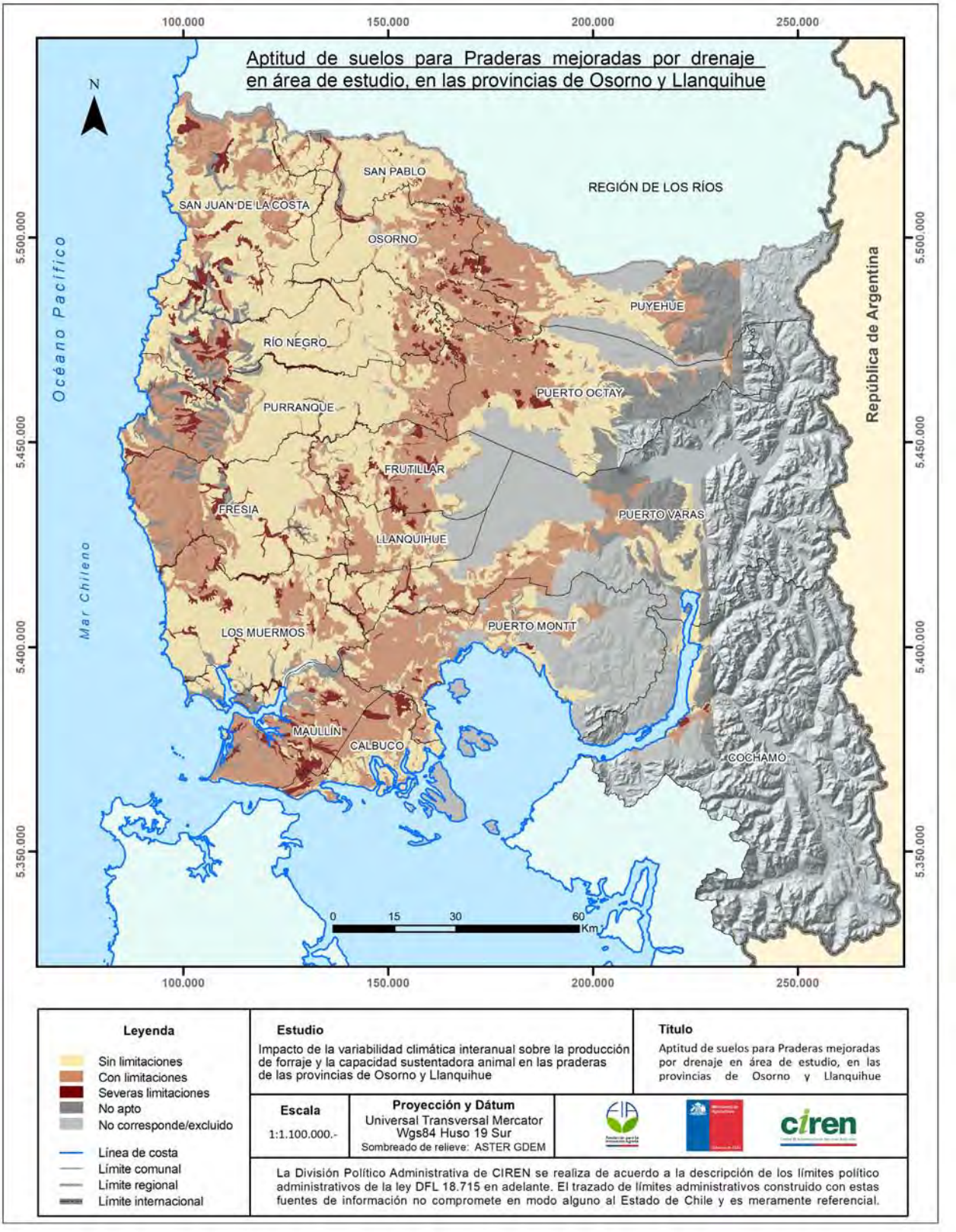


Figura N°13. Aptitud de suelos para praderas según drenaje, en las provincias de Osorno y Llanquihue (Fuente: elaboración propia)

Los suelos con mal drenaje se ubican en posiciones deprimidas del paisaje, en zonas donde se produce acumulación de agua (hualves), pero también, en suelos planos (ñadis), desarrollados a partir de cenizas volcánicas y sobre sustratos de origen fluvioglacial, que presentan capas cementadas que dificultan el drenaje.

Muchos suelos sin limitaciones por drenaje se concentran tanto en la vertiente oriental de la cordillera de la Costa como en el Depresión Central adyacente a ella (San Pablo, San Juan de la Costa, Osorno, Río Negro, Purranque, Fresia).

Los rangos de drenaje anteriormente descritos, se presentan en el Cuadro N°7 por categoría y superficie. De acuerdo con los datos, gran parte del área (42%) no tendrían limitaciones por drenaje, un 37% serían suelos imperfectamente drenados y sólo un 6% de los suelos, serían pobremente drenados, es decir, presentarían una condición de severas limitaciones para la producción de praderas.

Cuadro N°7. Aptitud de los suelos (hectáreas) según condición de drenaje, en las provincias de Osorno y Llanquihue

Condición de drenaje	Categoría	Superficie (hectáreas)	Distribución porcentual (%)
Bien drenado	Sin limitaciones	753.217,6	42
Imperfectamente drenado	Con limitaciones	660.429,7	37
Pobremente drenado	Severas limitaciones	102.779,7	6
	No suelos*	278.993,6	16

(*) La categoría No suelos incluye a las categorías No apto y No corresponde/excluido. (Fuente: elaboración propia.)

Pendiente

La pendiente de los suelos es una característica muy relevante para el agricultor, debido al alto costo que significa corregir una condición de este tipo. Los aspectos de mayor influencia que se deben considerar ante esta situación son el uso de maquinaria y el pastoreo. Si se quiere utilizar maquinaria se requiere de una pendiente plana a levemente ondulada. En el caso del pastoreo, una pradera en pendiente favorece el riesgo de daño por pisoteo, sobre todo en época invernal donde el suelo se encuentra con mayor humedad.

Según muestra la Figura N°14, los suelos con severas limitaciones por pendiente se concentran en la vertiente occidental de la cordillera de la Costa (San Juan de la Costa, Río Negro, Purranque, Fresia, Los Muermos), también se observan zonas en el inicio del piedmont andino (Puyehue, Puerto Octay, Puerto Varas, Cochamó).

Los rangos de pendiente anteriormente descritos, se presentan en el Cuadro N°8 por categoría y superficie. Los datos muestran que el 50% de los suelos analizados en las provincias de Osorno y Llanquihue no tendrían limitaciones por pendiente para la productividad de las praderas.

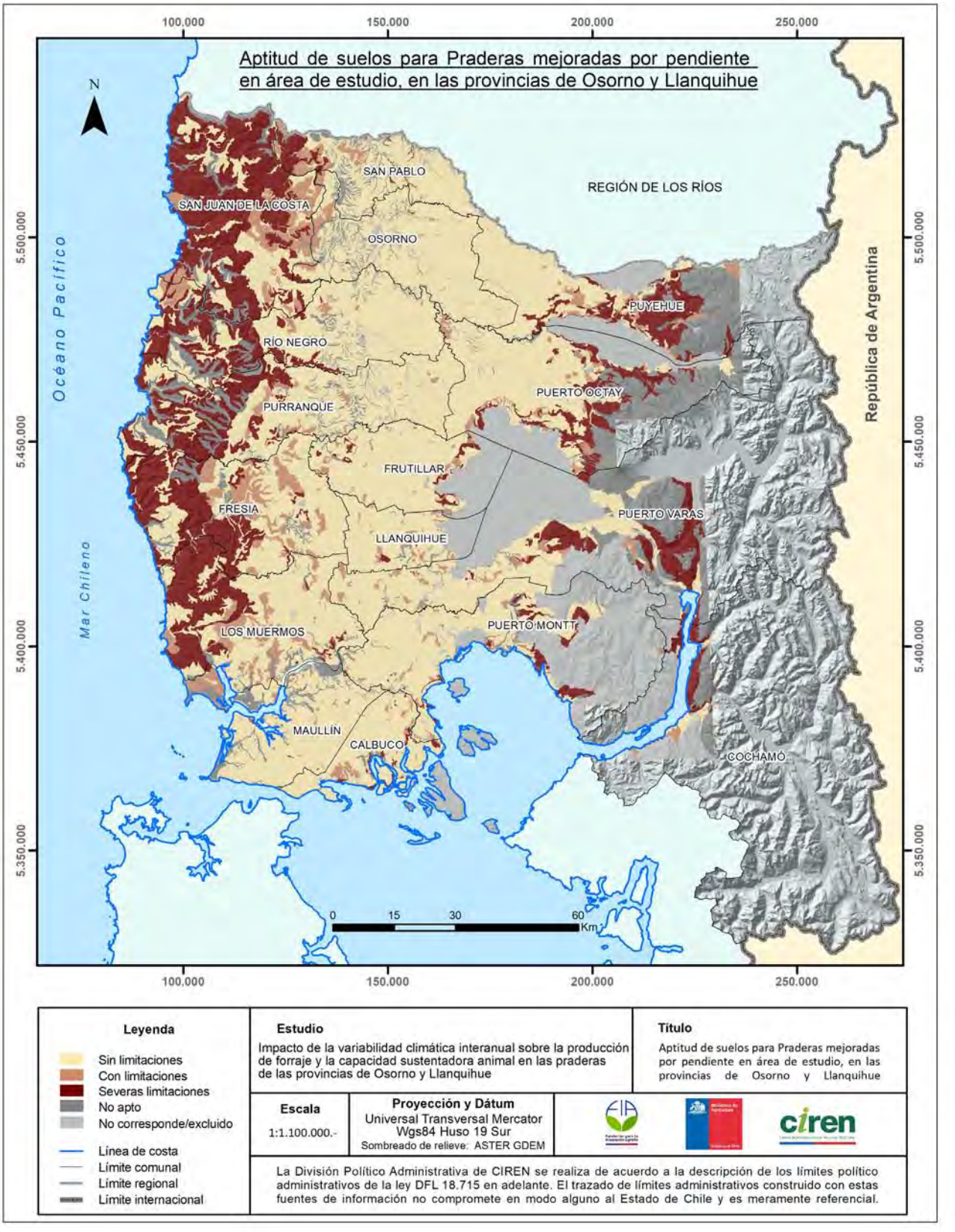


Figura N°14. Aptitud de suelos para praderas según pendiente, en las provincias de Osorno y Llanquihue (Fuente: elaboración propia).

Cuadro N°8. Aptitud de los suelos (hectáreas) por rango de pendiente, en las provincias de Osorno y Llanquihue

Rangos de pendiente (%)	Categoría	Superficie (hectáreas)	Distribución porcentual (%)
1 a 15	Sin Limitaciones	898.690,7	50
15 a 20	Con Limitaciones	111.603,1	6
mayor a 20	Severas Limitaciones	359.667,3	20
	No suelos*	278.993,6	16
	Sin información	146.465,9	8

(*) La categoría No suelos incluye a las categorías No apto y No corresponde/excluido. (Fuente: elaboración propia.)

Profundidad

La profundidad de los suelos es un parámetro determinante para el productor, debido a la complejidad que significa solucionar esta limitante. La profundidad efectiva media establecida en el presente estudio, considera un requerimiento promedio de alrededor de 60 cm para el normal desarrollo de una pradera polifítica, tolerando hasta 40 cm.

De acuerdo con la Figura N°15 los suelos con severas limitaciones por profundidad se concentran en las comunas de Calbuco y Puerto Montt, mientras que los suelos sin limitaciones tienen una amplia distribución en ambas provincias, ocupando tanto valle central como cordillera de la Costa.

Los rangos de profundidad anteriormente descritos, se presentan en el Cuadro N°9 por categoría y superficie. Considerando ambas provincias, más de un millón de hectáreas, corresponden a suelos sin limitaciones por profundidad para la producción de praderas, siendo esta superficie un 60% del total de los suelos estudiados.

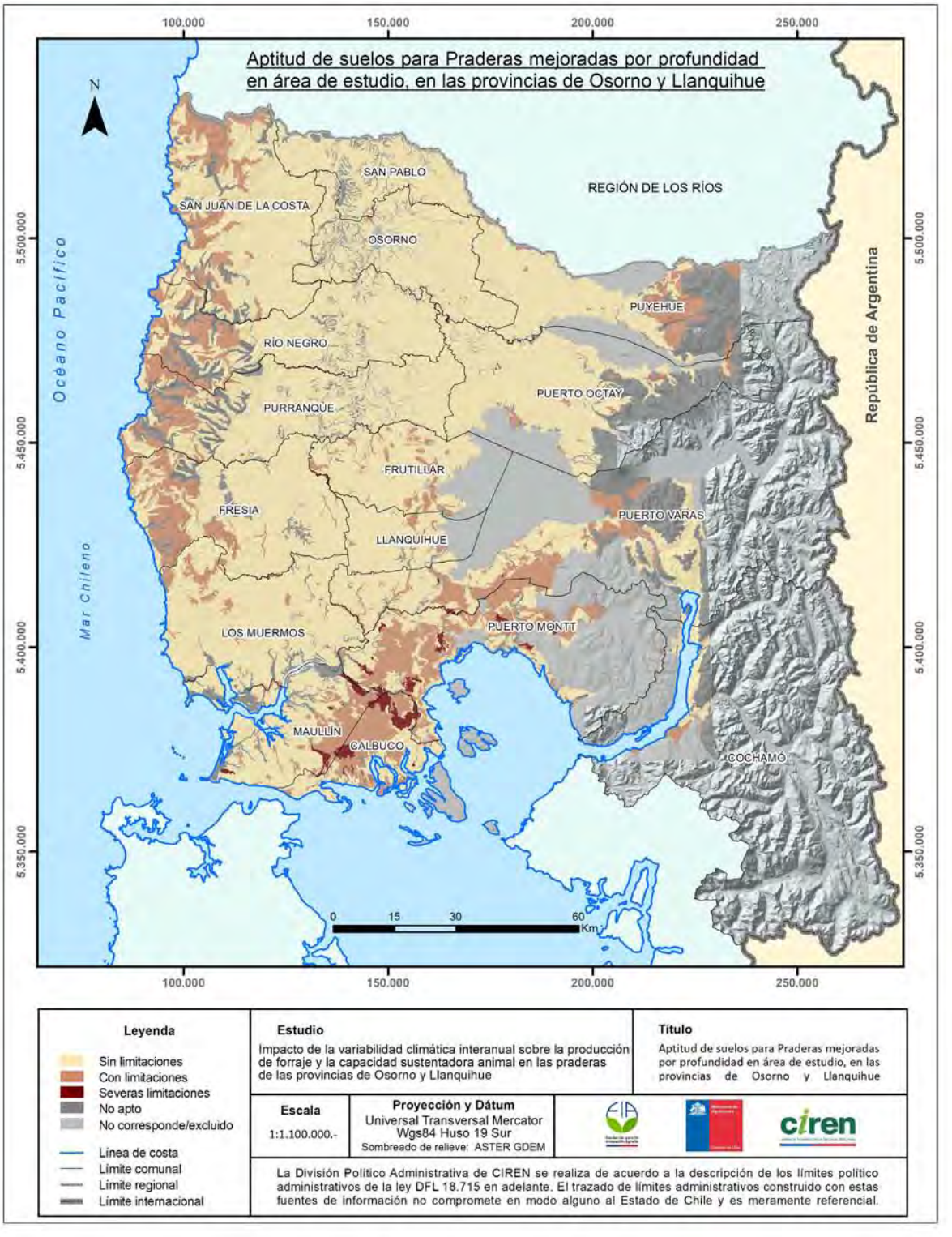


Figura N°15. Aptitud de suelos para praderas según profundidad, en las provincias de Osorno y Llanquihue (Fuente: elaboración propia).

Cuadro N°9. Aptitud de los suelos (hectáreas) según profundidad, en las provincias de Osorno y Llanquihue.

Rangos de profundidad	Categoría	Superficie (hectáreas)	Distribución porcentual (%)
mayor a 75 cm	Sin limitaciones	1.083.020,5	60
entre 30 y 75 cm	Con limitaciones	263.439,2	15
menor a 30 cm	Severas limitaciones	13.098,7	1
	No suelos*	362.123,4	20
	Sin información	73.738,8	4

(*) La categoría No suelos incluye a las categorías No apto y No corresponde/excluido. (Fuente: elaboración propia.)

5.2 POTENCIAL PRODUCTIVO POR CLIMA EN LA PRODUCCIÓN DE PRADERAS

El estrecho vínculo entre las condiciones climáticas imperantes en una zona determinada y el comportamiento productivo de los cultivos, hacen del cambio climático uno de los principales factores de incertidumbre con respecto a la seguridad alimentaria en el futuro. La dificultad intrínseca de predecir el clima, más aún bajo escenarios de cambio climático, genera inconvenientes a la hora de elaborar prácticas de manejo que permitan mitigar los efectos adversos que puedan provocar estas condiciones climáticas cambiantes.

El análisis que a continuación se señala, fue realizado considerando las áreas correspondientes a la precordillera de la costa y valles centrales, de las provincias de Osorno y Llanquihue, dado que corresponden a zonas con características edafoclimáticas diferentes, las cuales poseen un rendimiento actual y potencial de forraje distinto y, por tanto, el comportamiento productivo frente a escenarios de cambio climático se espera diferente. Al respecto, el rubro ganadero ha reconocido la división propuesta como una forma de segmentar las explotaciones y reconocer que poseen potenciales productivos diferentes según se encuentren en la precordillera de la costa o en los valles centrales de dicha región.

5.2.1 Metodología

Obtención de datos meteorológicos para selección del modelo de circulación global (MCG) a utilizar

Para el proceso de selección del modelo de circulación global que se utilizó para la estimación de los efectos del cambio climático en el crecimiento y desarrollo de las praderas en la zona de estudio, se recolectó información climática histórica de fuentes de información pública y de libre disposición: la Red Agrometeorológica del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, el Explorador Climático del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2) y la Dirección Meteorológica de Chile.

Se seleccionaron estaciones meteorológicas ubicadas en la región de Los Lagos con, al menos, 10 años de información. En algunos casos, la información se encontraba segmentada en las distintas fuentes de información mencionadas anteriormente, por lo que, en caso de ser necesario, se fusionó información para completar los registros de dicha estación. No obstante, para la construcción y análisis de indicadores climáticos para la toma de decisión del Modelo de Circulación Global (MCG) a utilizar, se consideraron estaciones meteorológicas con, al menos, 30 años de información.

En base a lo anterior y en ambas provincias, se excluyó el área correspondiente a la precordillera de los Andes debido a la falta de estaciones meteorológicas con registros suficiente de años que permitieran realizar un análisis más preciso.

Para efectos de evaluar la variabilidad de las condiciones meteorológicas en las provincias en estudio, se consideraron las siguientes variables e índices climáticos:

- **Precipitaciones totales (mm):** cantidad de precipitación líquida caída o acumulada durante un período de 24 horas, evaluadas a nivel anual.
- **Precipitaciones en período de primavera (mm):** cantidad de precipitación líquida caída o acumulada durante un período de 24 horas, evaluadas en los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre.
- **Precipitaciones en período de verano (mm):** cantidad de precipitación líquida caída o acumulada durante un período de 24 horas, evaluadas en los meses de enero y febrero.
- **Días con precipitación sobre 20 mm:** índice que corresponde al número de días del año con precipitación sobre 20 mm.
- **Temperatura máxima (°C):** índice que corresponde al promedio de la temperatura máxima anual.
- **Temperatura media (°C):** índice que corresponde al promedio de la temperatura media anual.
- **Ola de calor:** índice que corresponde al número de olas de calor por temporada, definida como 3 días consecutivos o más, con temperaturas máximas sobre el percentil 90 de noviembre y marzo.
- **Días de verano sobre 25 °C:** índice que corresponde al número de días del año donde la temperatura máxima supera los 25 °C.

Las variables antes mencionadas fueron utilizadas para caracterizar la variabilidad climática en los últimos años, especialmente desde el año 2009 a la fecha, lo que fue utilizado como datos climáticos observados, para efectos de compararlo con los datos climáticos simulados obtenidos al evaluar los diferentes MCG's.

En base a la información entregada por la consultoría realizada al proyecto por el equipo técnico del Centro de Cambio Global UC, fueron analizados seis modelos climáticos diferentes: ACCESS1-3, CanESM2, CSIRO-Mk3-6-0, inmcm4, IPSL-CM5A-MR y IPSL-CM5B-LR. En la cartografía y datos entregados, se evaluó fundamentalmente, las variables e índices indicados para los registros meteorológicos observados. De este modo, se comparó la tendencia de los índices evaluados en el período presente (1960 - 2020) con el comportamiento de las variables climáticas en el período futuro simulado (2035 - 2064). Así, se seleccionó aquel modelo climático que mejor representó las condiciones y tendencias climáticas observadas en los últimos años, como el escenario más probable que enfrentará la zona en estudio durante los próximos 30 años.

Selección de modelo de crecimiento de praderas

Se evaluaron cuatro modelos de crecimiento de praderas, todos validados bajo condiciones de clima templado y con una composición botánica similar a la que poseen las praderas en la región. Se analizaron los modelos propuestos por Castellaro *et al.* (2012), Brereton *et al.* (1996), Ruelle *et al.* (2018) y Jouven *et al.* (2006), siendo este último el seleccionado para el proceso de simulación de crecimiento de praderas en el marco del proyecto. Dicha selección fue realizada en base a las variables de entrada y salida que requería cada modelo, como también a la precisión que se obtuvo durante el proceso de validación. En la Figura N°16 se puede observar un diagrama de flujo que resume los principales componentes del modelo utilizado.

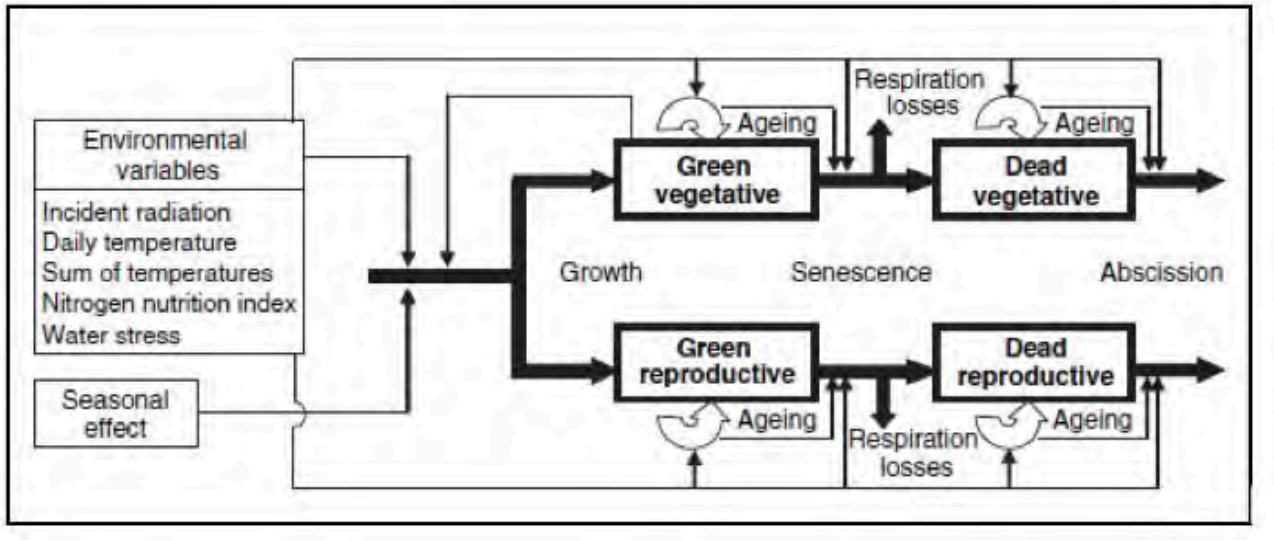


Figura N°16. Diagrama de flujo del modelo: los componentes estructurales de la pradera son representados en los cuadros, el flujo de biomasa por las flechas negras, y las funciones de senescencia por las flechas blancas (Fuente: Jouven et al.,2006).

Validación del modelo de Jouven

Para el proceso de validación y en toda la zona de estudio, se consideró la utilización de sólo un set de parámetros y constantes para cargar en el modelo, con el objetivo de simplificar la utilización de éste como herramienta de estimación del crecimiento de la pradera, tanto para escenarios presentes como futuros.

Se utilizó información de tasas de crecimiento observadas en praderas ubicadas en seis comunas de la región de Los Lagos. Esta información constaba de tasas de crecimiento diarias, expresadas como promedio mensual (kg MS/ha/día), durante 5 años de mediciones (2015 - 2019).

Para el funcionamiento del modelo, fue necesario determinar la cercanía de dichos predios con las diferentes estaciones meteorológicas disponibles en la región, y así poder descargar la información climática necesaria para calibrar y validar el modelo. Adicionalmente, el modelo requirió de información de suelos (específicamente, profundidad y valores de capacidad de campo y punto de marchitez permanente), por lo que fue necesario asignar una serie de suelo a cada validación. De este modo, el modelo fue calibrado y validado para las seis comunas, en base a la información que se presenta en el Cuadro N°10.

Cuadro N°10. Ubicación de los distintos predios utilizados para el proceso de validación del modelo de crecimiento de praderas, y asignación de una serie de suelo y estación meteorológica cercana.

Comuna	Serie de Suelo	Estación Meteorológica cercana
Osorno	Frutillar	Remehue
Purranque	Osorno	La Pampa
Frutillar	Corte Alto	Quilanto
Puerto Octay	Rupanquito	Octay
Los Muermos	Mayamo	Los Canelos
Puyehue	Rupanquito	Desagüe Rupanco

Fuente: elaboración propia.

El modelo fue configurado utilizando los siguientes criterios:

- Temperatura mínima de crecimiento: 4 °C
- Temperatura en donde se detiene el crecimiento: 25 °C
- Materia seca inicial de la pradera: 1.200 kg MS/ha
- Tasa de crecimiento potencial máxima: 300 kg MS/ha/día
- Fecha inicial del proceso de simulación: 01 de mayo
- Fecha del primer corte o utilización del año: 28 de agosto
- Fecha de término del proceso de simulación: 30 de abril (temporada siguiente)

Se consideró que la disponibilidad de nitrógeno en el suelo no era limitante para el crecimiento de la pradera. Además, se consideró el corte o pastoreo de la pradera cada 30 días, luego del primer corte (28 de agosto de cada año), dejando un residuo equivalente a 5 cm.

Una vez obtenidas las tasas de crecimiento generadas por el modelo, fueron comparadas con las tasas de crecimiento observadas, y así poder evaluar la precisión del modelo de Jouven para estimar el crecimiento de la pradera y poder ser utilizado para simular escenarios futuros bajo condiciones de cambio climático. En este análisis, se consideró la comparación de las tasas de crecimiento mensuales promedio, expresadas a nivel diario (kg MS/ha/día) y la acumulación total de materia seca al término de la temporada de crecimiento (kg MS/ha/año).

Estimación del crecimiento de las praderas en base a escenarios simulados (presente y futuro)

Para el proceso de estimación del crecimiento de las praderas, se utilizaron como base los mismos escenarios propuestos por el Centro de Cambio Global UC, dado que esto permitiría establecer un correlato entre la información climática entregada por ellos en su consultoría (datos y mapas) y las nuevas curvas de crecimiento de praderas obtenidas utilizando el modelo de Jouven. Para dicho fin, se utilizaron los 1.012 escenarios propuestos (506 escenarios simulados para el período presente y 506 escenarios simulados para el período futuro), que corresponden a 506 puntos dentro de las provincias en estudio.

Estos escenarios fueron creados mediante el uso de una grilla de puntos regulares a 5 km de resolución, los que incluyen información climática de los diferentes MCG's y el shape de polígonos de las series de suelos provenientes del Estudio Agrológico de CIREN de la región de Los Lagos. Así, cada archivo de clima está ligado a una serie de suelo dentro de cada provincia en estudio.

Para cada punto, se vinculó información climática simulada a nivel diario para el período presente (1980 - 2009) y futuro (2035 - 2065). Como será detallado en la sección de Resultados, el modelo utilizado para la estimación futura del crecimiento de las praderas fue el CanESM2, por lo que se cargó la información climática de dicho modelo para la generación de los diferentes escenarios simulados en el período presente y futuro.

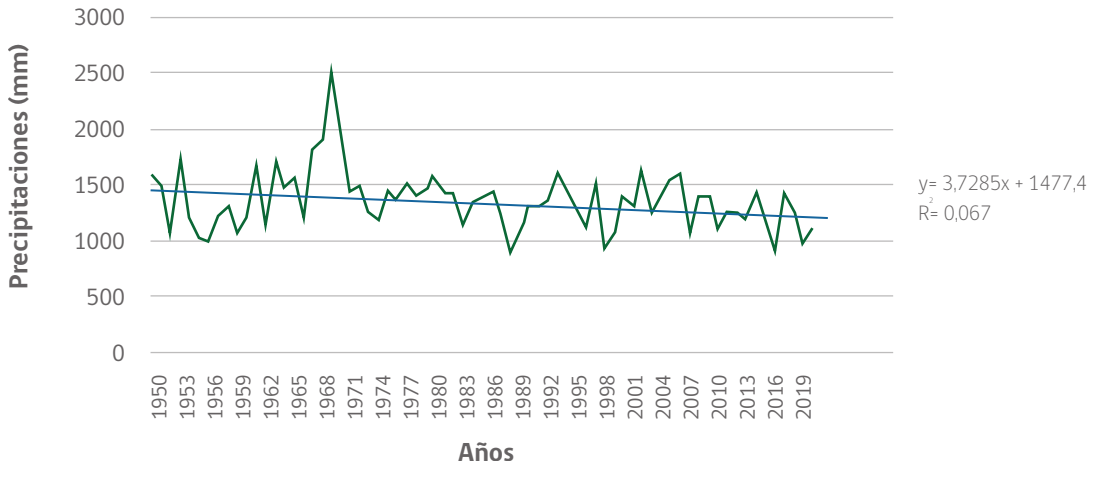
Los escenarios de cambio climático futuro se realizaron para el escenario RCP 8.5 (escenario pesimista). Se utilizó información de las siguientes variables: precipitación diaria, temperatura máxima y mínima diaria, y radiación solar total diaria.

5.2.2. Resultados

Caracterización de la variabilidad climática en los últimos 30 años

En ambas provincias en estudio (Osorno y Llanquihue), se observó que los montos anuales de precipitaciones tienen una tendencia negativa desde el año 1950, siendo esta disminución mucho más marcada en la provincia de Llanquihue (Figura N°17).

a)



b)

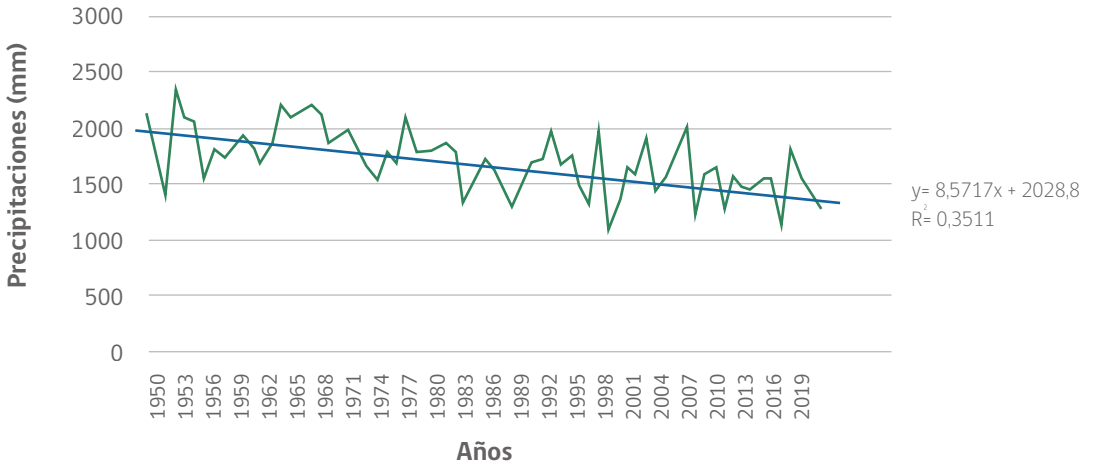
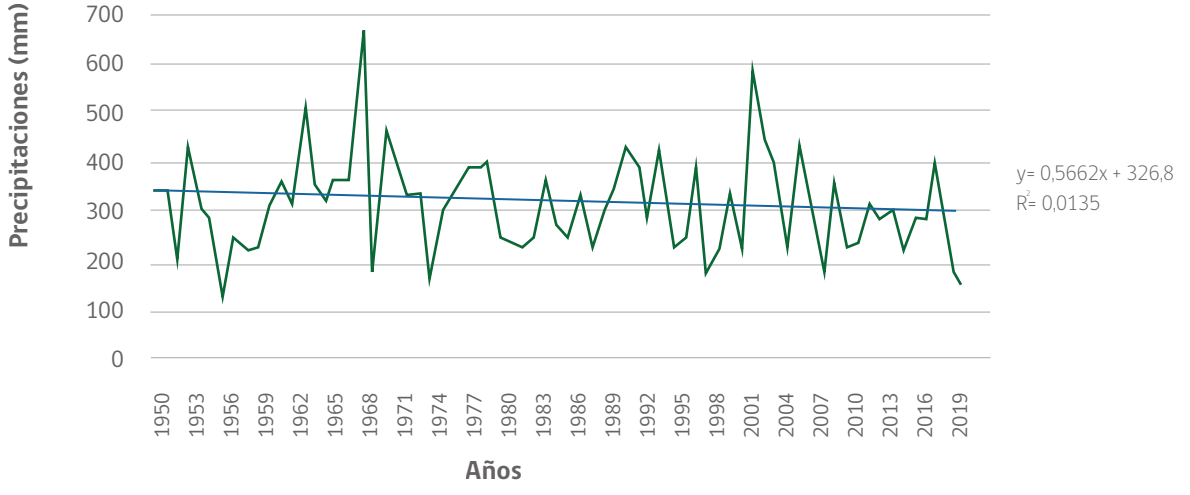


Figura N°17. Evolución de la precipitación anual observada en las provincias de Osorno (a) y Llanquihue (b) para el período comprendido entre 1950 y 2019. (Fuente: elaboración propia.)

En promedio, las precipitaciones en la provincia de Osorno han disminuído a razón de 3,7 mm/año, mientras que en la provincia de Llanquihue, en 8,5 mm/año. Esto implica una reducción promedio de entre 250 a 590 mm/año en la zona de estudio, desde el año 1950 a la fecha.

Del mismo modo, el comportamiento de las precipitaciones durante el año, han reflejado una tendencia a la disminución en el periodo de primavera (meses de septiembre a diciembre) tal como indica la Figura N°18. Al igual que lo observado para la precipitación anual, la provincia de Llanquihue es la que presentó una mayor disminución de las precipitaciones para la estación de primavera (2,6 mm/año), en comparación con la provincia de Osorno (0,5 mm/año).

a)



b)

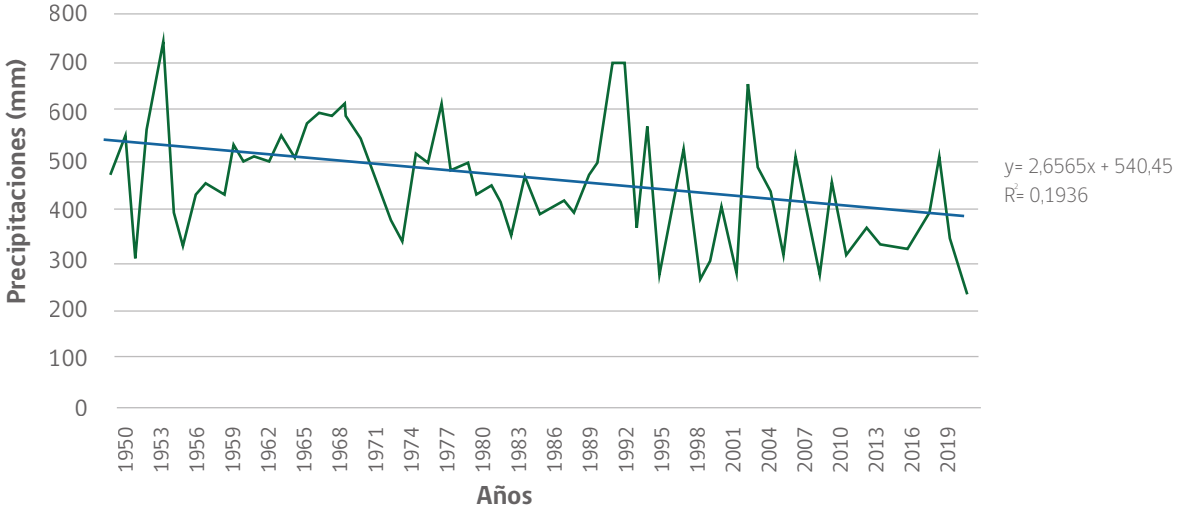
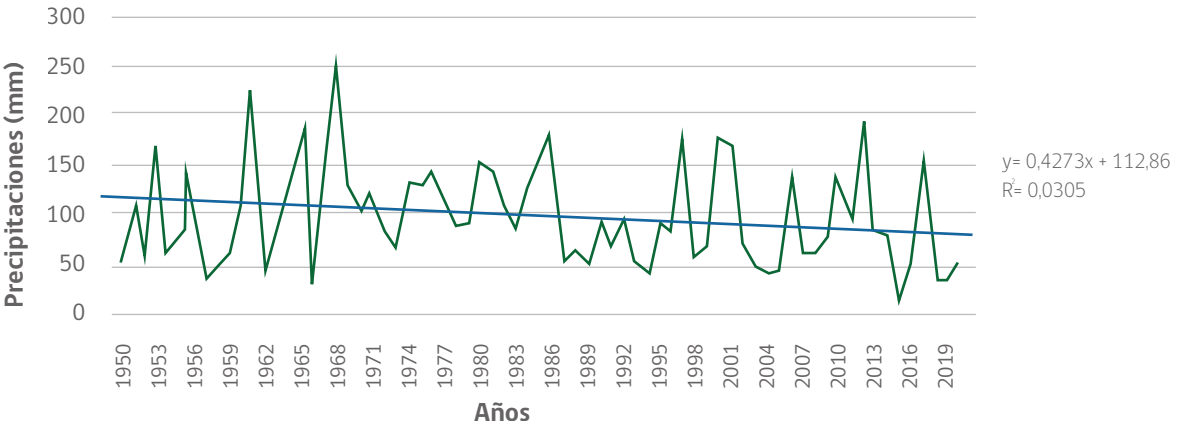


Figura N°18. Evolución de la precipitación observada en la estación de primavera (septiembre a diciembre), en las provincias de Osorno (a) y Llanquihue (b) para el período comprendido entre 1950 y 2019 (Fuente: elaboración propia).

Para la estación de verano (enero y febrero) se observó una tendencia similar. En ambas provincias, las precipitaciones han ido disminuyendo desde 1950 a la fecha (Figura N°19). Cabe señalar que para caracterizar la estación de verano se consideraron sólo los meses de enero y febrero, ya que son los meses más críticos para el crecimiento y desarrollo de las praderas, dado que usualmente, se debe utilizar algún tipo de suplementación alimenticia para los animales.

a)



b)

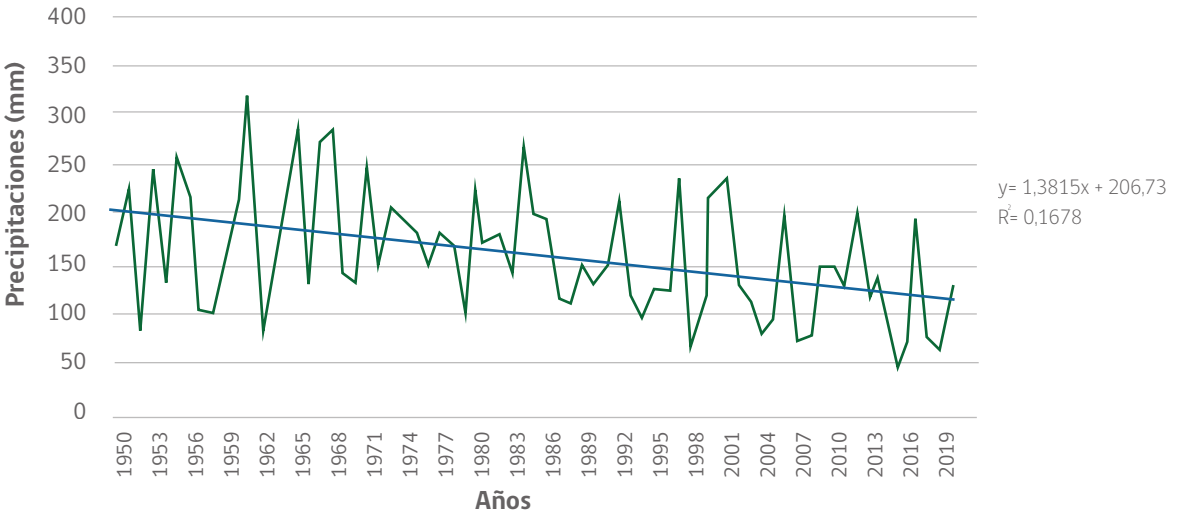


Figura N°19. Evolución de la precipitación observada en la estación de verano (enero y febrero), en las provincias de Osorno (a) y Llanquihue (b) para el período comprendido entre 1950 y 2019 (Fuente: elaboración propia).

Si se analiza el número de días con precipitaciones sobre 20 mm (Figura N°20), se observa que la tendencia en ambas provincias es una disminución de aproximadamente 2 días/década, lo que coincide con la información presentada anteriormente.

Indices asociados a las temperaturas

Debido a la falta de información en los registros de temperaturas en las estaciones meteorológicas ubicadas en la provincia de Llanquihue, algunos índices sólo serán presentados para la provincia de Osorno. No obstante, en base al resto de los indicadores, es factible deducir que la tendencia en ambas provincias es similar, sólo variando la magnitud del cambio de los índices evaluados.

Si se analiza la evolución de la temperatura máxima promedio anual en la provincia de Osorno (Figura N°21), se puede observar que ésta tiene una tendencia positiva, con un incremento promedio de 0,01 °C/año, desde 1961 a 2018.

Debido a la falta de información en los registros de temperaturas en las estaciones meteorológicas ubicadas en la provincia de Llanquihue, algunos índices sólo serán

Figura N°20. Tendencia observada en el número de días con precipitaciones sobre 20 mm en las provincias de Osorno y Llanquihue
(Fuente: Dirección Meteorológica de Chile, 2021).

presentados para la provincia de Osorno. No obstante, en base al resto de los indicadores, es factible deducir que la tendencia en ambas provincias es similar, sólo variando la magnitud del cambio de los índices evaluados.

Si se analiza la evolución de la temperatura máxima promedio anual en la provincia de Osorno (Figura N°21), se puede observar que ésta tiene una tendencia positiva, con un incremento promedio de 0,01 °C/año, desde 1961 a 2018.

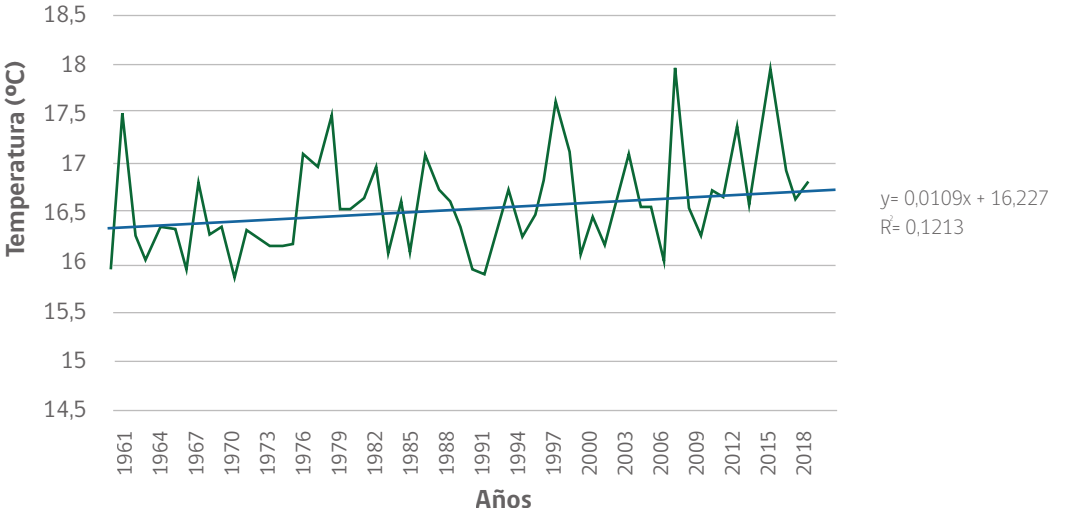


Figura N°21. Evolución de la temperatura máxima promedio anual en la provincia de Osorno, para el período comprendido entre 1961 y 2018 (Fuente: elaboración propia).

Para el caso de la temperatura media anual, la tendencia fue similar, registrándose en el período comprendido entre 1961 y 2018, un incremento de 0,008 °C/año en la provincia de Osorno (Figura N°22).

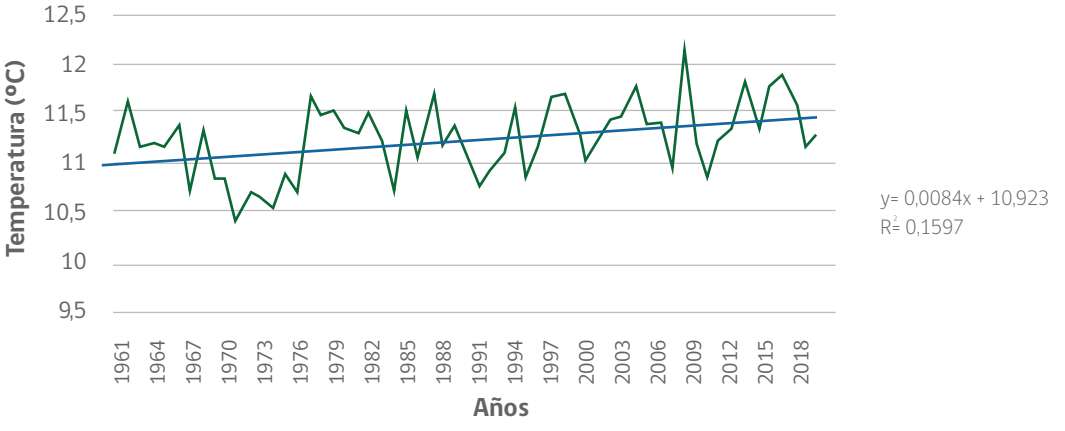


Figura N°22. Evolución de la temperatura media anual en la provincia de Osorno, para el período comprendido entre 1961 y 2018 (Fuente: elaboración propia).

Si se analiza el número de días en verano en los cuales se superan los 25°C (Figura N°23), se observa que en ambas provincias, la tendencia es hacia un incremento de 3 días/década, lo que coincide con el incremento de las temperaturas máximas indicadas anteriormente.

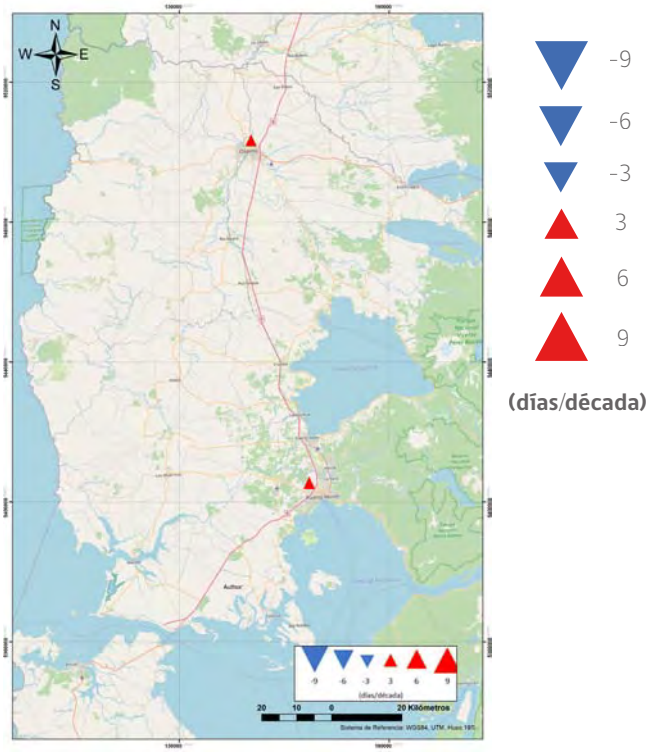


Figura N°23. Tendencia observada en el número de días con temperaturas sobre 25 °C, en las provincias de Osorno y Llanquihue
(Fuente: Dirección Meteorológica de Chile, 2021).

De la misma manera, al evaluar el número de olas de calor (Figura N°24), es factible observar que el número de eventos tiende a incrementarse en 0,2 eventos/década.

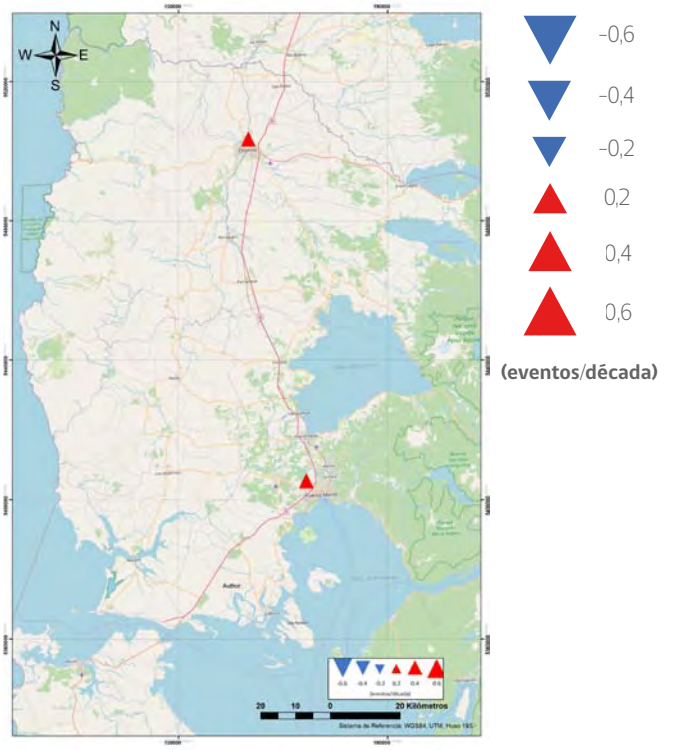


Figura N°24. Tendencia observada en el número de olas de calor, en las provincias de Osorno y Llanquihue
(Fuente: Dirección Meteorológica de Chile, 2021).

Selección del modelo de circulación global (MCG)

En base a la información presentada, es evidente que la tendencia en la región es un incremento de las temperaturas, una disminución en las precipitaciones totales, y una disminución en las precipitaciones registradas en el período de mayor crecimiento de la pradera (primavera). Del mismo modo, se puede evidenciar la disminución en las precipitaciones en el período estival.

Según la información generada por la consultoría del equipo técnico del Centro de Cambio Global UC, también es factible añadir que se espera un incremento en la acumulación de grados día, una disminución en el número de heladas anuales, un incremento del déficit hídrico y del período seco.

La magnitud de la modificación de dichas variables e indicadores es diferente para cada MCG evaluado en el marco del proyecto, por lo que es necesario definir cuál es el modelo que mejor refleja el cambio en las condiciones climáticas para las provincias en estudio, en los próximos 30 años.

Así, en base al análisis de la información climática y de la cartografía generada por el equipo del Centro de Cambio Global UC, el modelo CanESM2 es aquel que representa de mejor manera la tendencia actual en los diversos indicadores analizados. Este modelo plantea un escenario más crítico o pesimista con respecto a las modificaciones generadas por el cambio climático. No obstante, en base a la información disponible a la fecha y, analizadas las tendencias de las variables e indicadores climáticos, es el escenario más probable para los próximos 30 años, de no existir medidas de mitigación más eficaces que las utilizadas en la actualidad.

Como ejemplo, se presenta en la Figura N°24 la comparación entre la precipitación acumulada anual (observada) en el presente en relación a la precipitación acumulada anual (estimada) en el futuro, considerando el modelo señalado anteriormente.

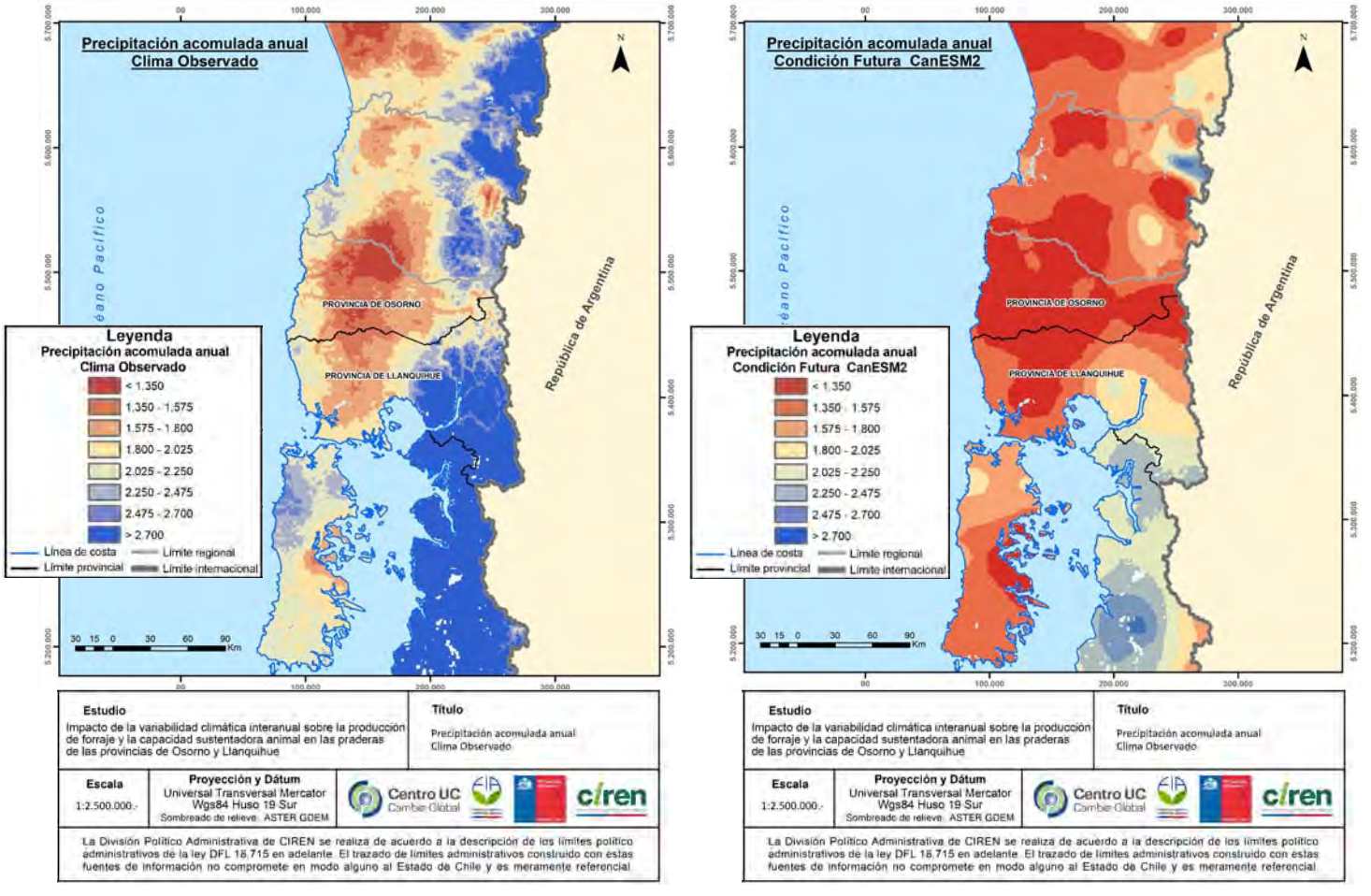


Figura N°25. Precipitación acumulada anual (mm) para el clima observado en el período 1988-2018 (a) y simulado para el período 2035-2064 (b), utilizando el modelo CanESM2, en las provincias de Osorno y Llanquihue. (Fuente: Consultoría Centro de Cambio Global UC, 2020).

La variación en el monto de precipitación anual observado en la Figura N°25, coincide en magnitud con las tendencias actuales de dicha variable presentada en las secciones anteriores. De igual modo, al analizar las temperaturas máximas promedio anuales (Figura N°26), se observa una situación similar a la analizada para las precipitaciones.

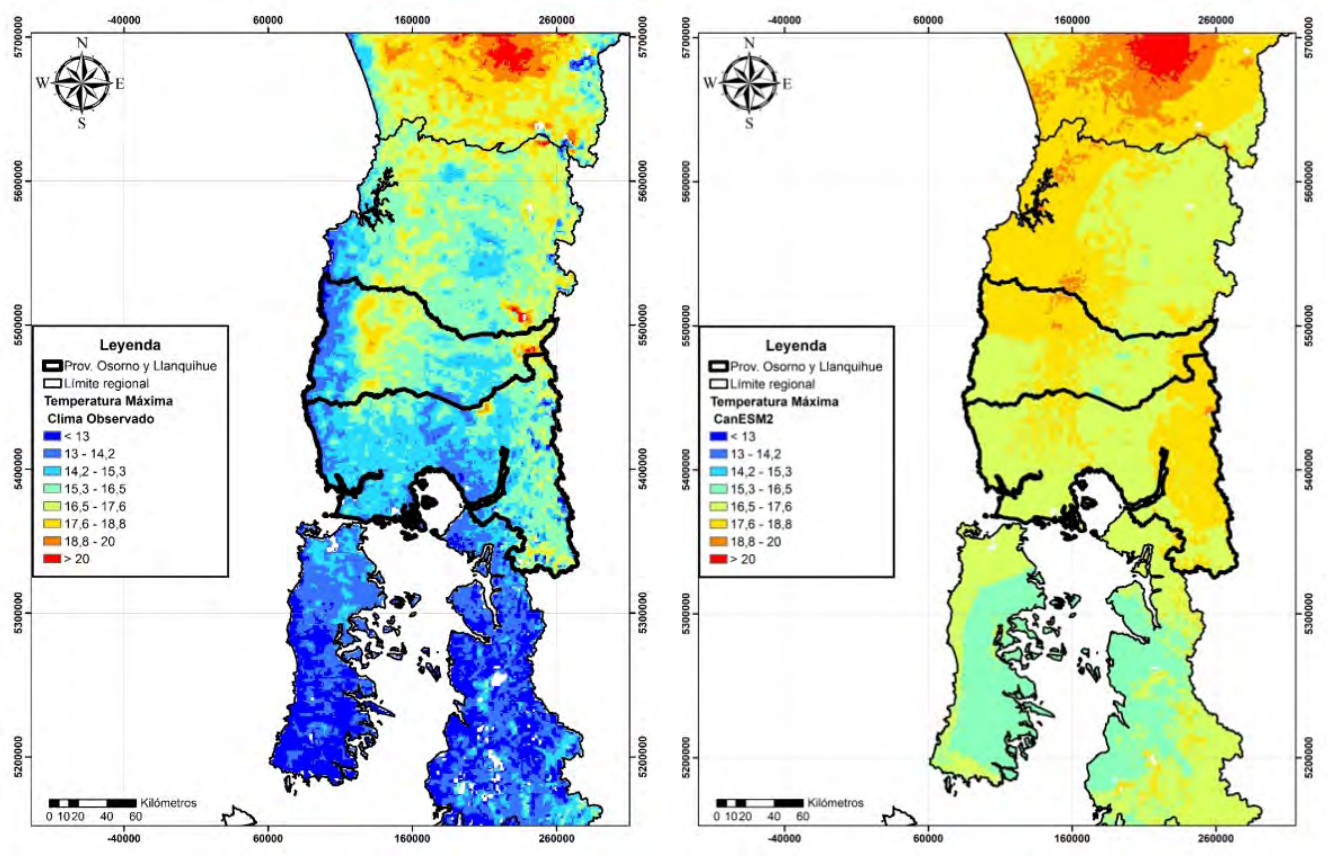


Figura N°26. Temperatura máxima promedio anual (°C) para el clima observado en el período 1988-2018 (a) y simulado para el período 2035-2064 (b), utilizando el modelo CanESM2, en las provincias de Osorno y Llanquihue (Fuente: Consultoría Centro de Cambio Global UC, 2020).

La selección de un MCG que plantee una visión pesimista tendrá un impacto directo sobre la productividad estimada de la pradera en el período de análisis. No obstante, para efectos de generar estrategias de manejo futuras de los recursos forrajeros en las provincias en estudio, la elección de un modelo climático de estas características permitirá incrementar el conocimiento de las medidas que se deben adoptar frente a condiciones adversas para el crecimiento de la pradera durante la principal estación de pastoreo (primavera) y qué alternativas se pueden utilizar para suplementar a los animales en el período de menor disponibilidad de la pradera y de mayor déficit hídrico (verano).

Calibración y validación del modelo de Jouven para el crecimiento de praderas

Para efectos de calibrar el modelo a la dinámica de crecimiento de las praderas en las provincias en estudio, y para evaluar si los parámetros y constantes ingresadas en las distintas ecuaciones del modelo se ajustaban a las condiciones de crecimiento y manejo de las praderas, se utilizaron los datos observados de las tasas de crecimiento de la temporada 2015-2016 para las seis comunas en las cuales se tenía información. Los resultados del proceso de calibración se pueden observar en la Figura N°27.

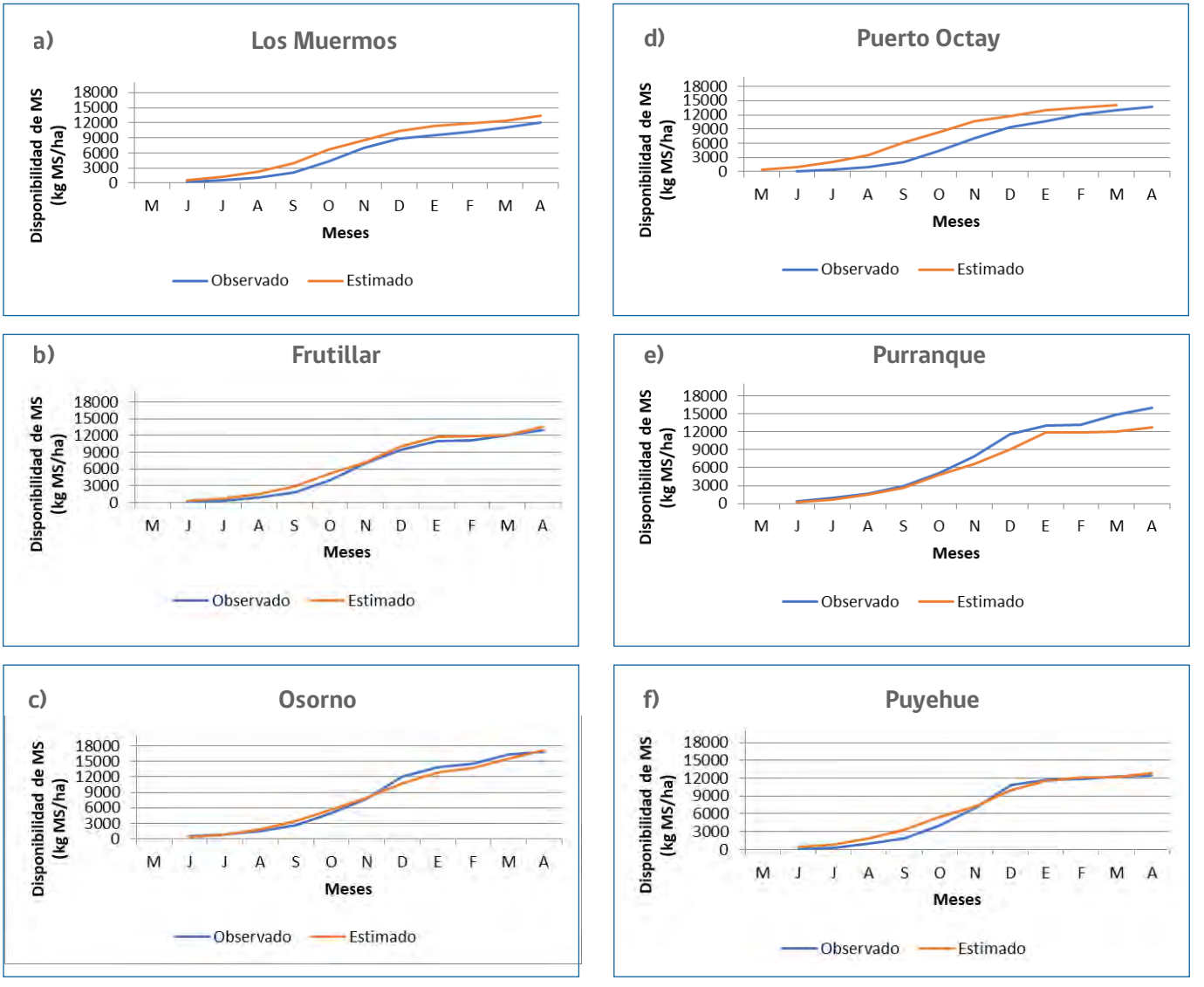
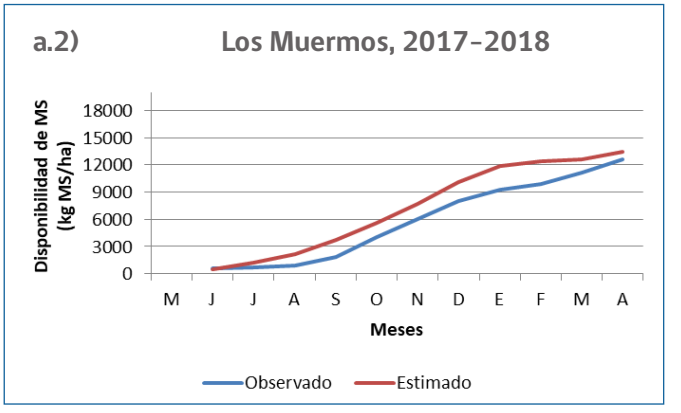
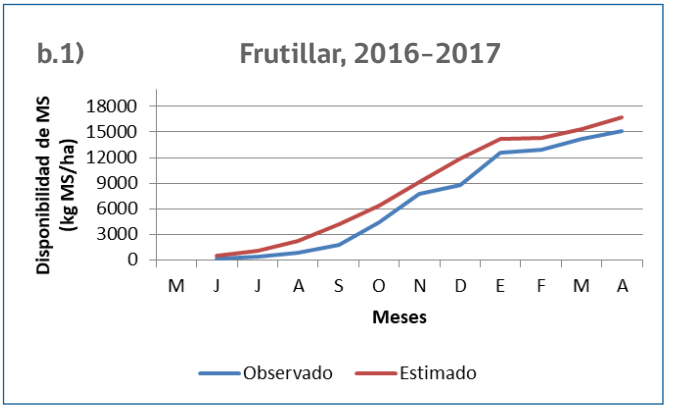


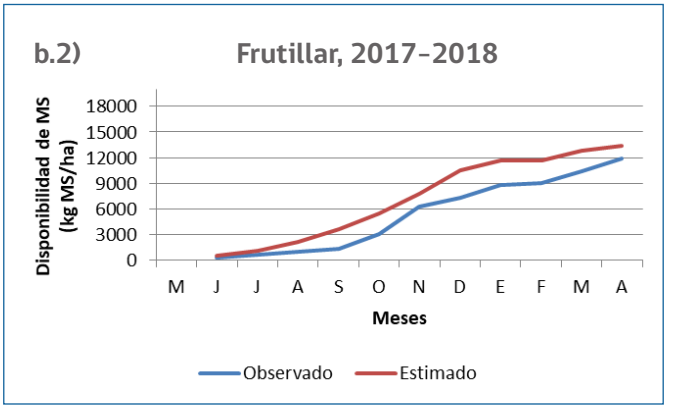
Figura N°27. Curvas de calibración del modelo de Jouven en base a información observada y estimada para la temporada 2015-2016, en las comunas de (a) Los Muermos, (b) Frutillar, (c) Osorno, (d) Puerto Octay, (e) Purranque y (f) Puyehue (Fuente: elaboración propia).

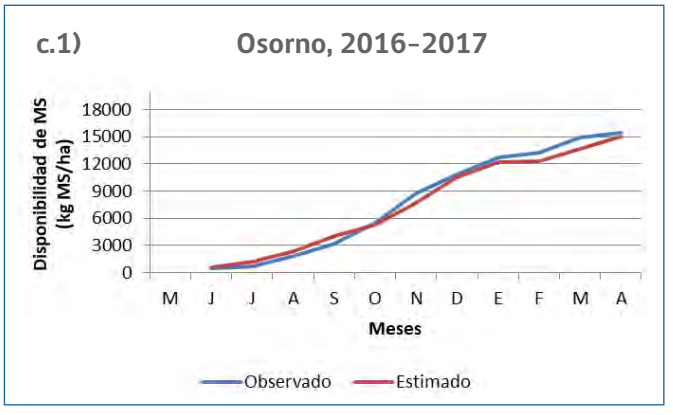
En general, se observa que el modelo permitió estimar adecuadamente la dinámica de crecimiento de la pradera (estacionalidad productiva y rendimiento total) en el sector del estudio. En promedio, el error en el proceso de estimación (observado vs simulado) fue de 14,8%, obteniéndose el mayor error en la comuna de Purranque (22,6%) y el menor error de estimación en la comuna de Osorno (8,2%).

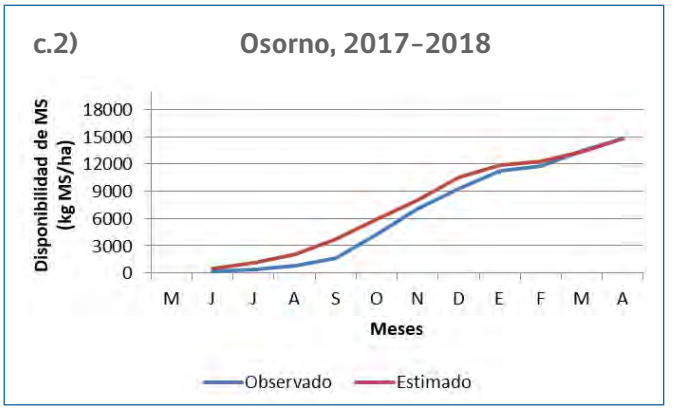
En la Figura N°28 se pueden observar las curvas de validación de las dos temporadas de crecimiento disponibles (2016-2017 y 2017-2018), para cada una de las comunas en las cuales existen registros de tasas de crecimiento observadas.











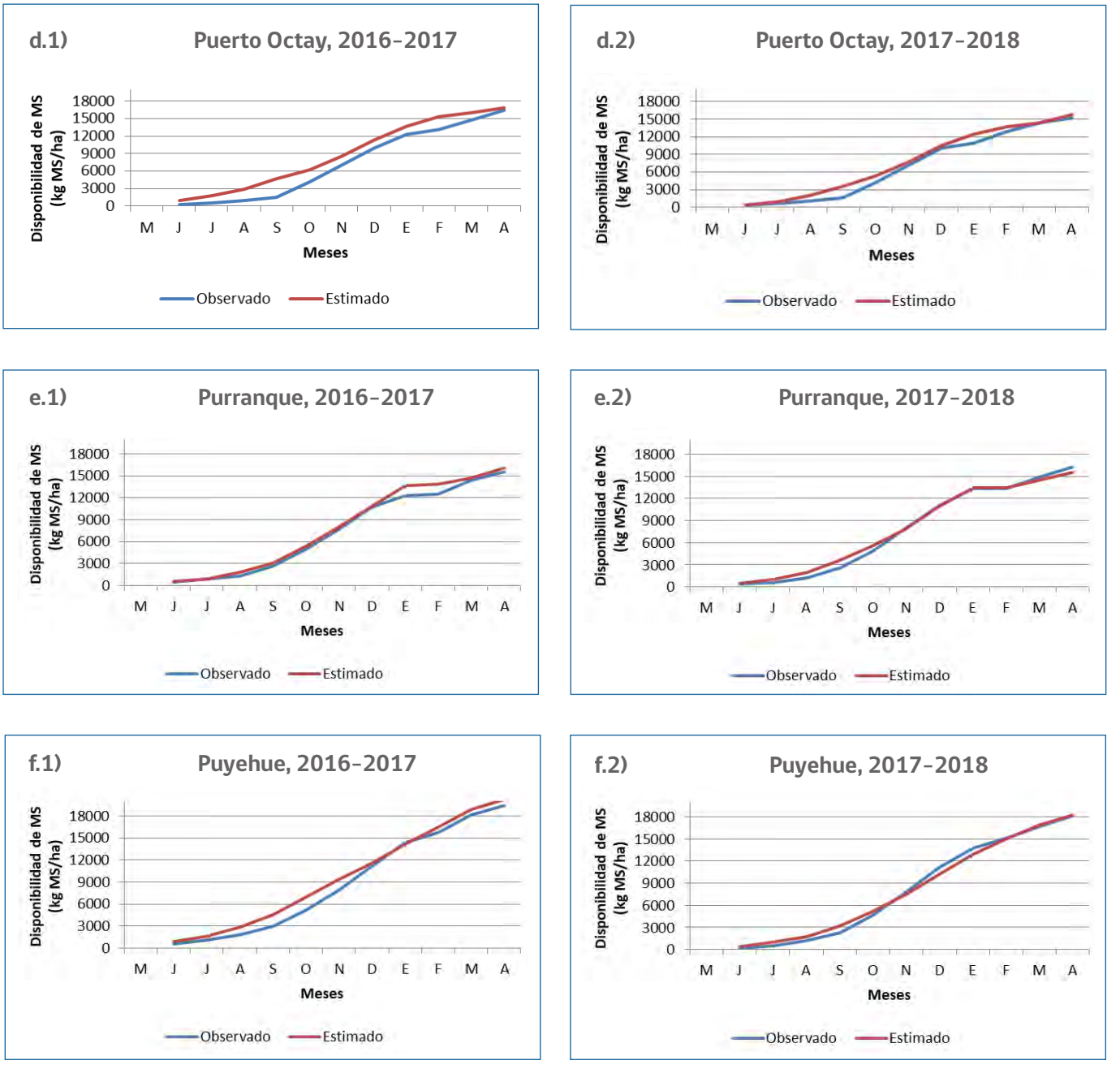


Figura N°28. Curvas de validación del modelo de Jouven en base a información observada y estimada para las temporadas 2016-2017 y 2017-2018, en las comunas de (a) Los Muermos, (b) Frutillar, (c) Osorno, (d) Puerto Octay, (e) Purranque y (f) Puyehue (Fuente: elaboración propia).

Para ambas temporadas de crecimiento utilizadas para el proceso de validación, se observó un adecuado ajuste de la curva de crecimiento estimada (simulada) en relación con la curva de crecimiento observada. Sólo en las comunas de Los Muermos y Frutillar se observa una leve sobreestimación de la productividad estimada por el modelo, particularmente para la temporada 2017-2018. Es importante observar que el modelo es capaz de simular la estacionalidad productiva, cuyo análisis será realizado en los siguientes párrafos.

En el Cuadro N°11 se presenta la información detallada del rendimiento total observado y estimado para cada localidad, en las temporadas 2016-2017 y 2017-2018.

Cuadro N°11. Comparación de rendimiento observado y estimado (kg MS/ha) para cada temporada y error (%), obtenidos al utilizar el modelo de simulación de Jouven

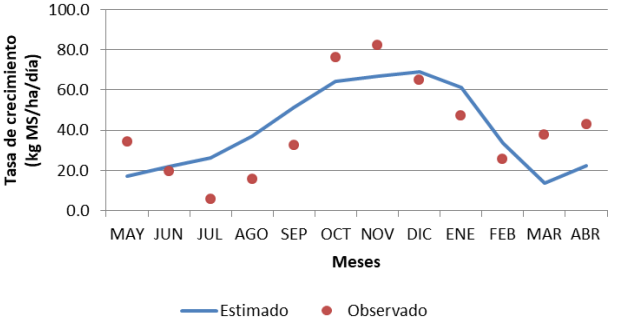
	Temporada de crecimiento				
	2016-2017		2017-2018		
Localidad	Observado	Estimado	Observado	Estimado	Error (%)
Los Muermos	14.765	14.978	12.566	13.419	19,6
Frutillar	15.125	16.666	11.916	13.349	26,9
Osorno	15.470	15.044	14.836	14.857	11,8
Puerto Octay	16.409	16.827	15.145	15.693	17,2
Purranque	15.559	16.083	16.258	15.499	7,5
Puyehue	19.437	20.288	18.200	18.303	8,6

Fuente: elaboración propia.

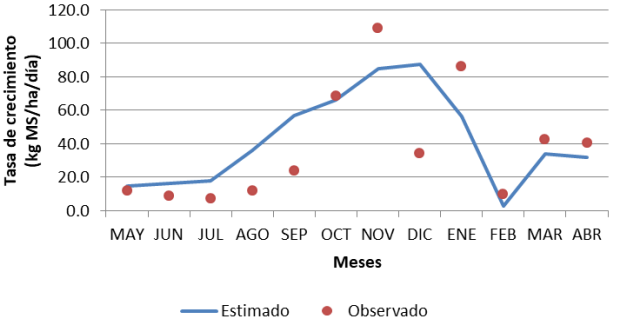
En promedio, al evaluar la diferencia entre los valores observados versus los valores estimados, se pudo observar que en la temporada 2016-2017, el modelo utilizado sobreestima en 520 kg MS/ha el rendimiento de la pradera, mientras que en la temporada de crecimiento 2017-2018, el modelo sobreestima en 366 kg MS/ha la productividad observada. Estos datos permiten concluir que el modelo es muy preciso al momento de estimar el rendimiento productivo de la pradera, lo que otorga mayor robustez al momento de utilizar dicho modelo para la estimación de la productividad de la pradera bajo un escenario futuro de cambio climático.

En relación con la estacionalidad productiva, la comparación de las tasas de crecimiento observadas vs estimadas se puede observar en la Figura N°29. Para dicho fin, fueron promediadas las tasas de crecimiento de las temporadas 2016-2017 y 2017-2018.

a) Los Muermos



b) Frutillar



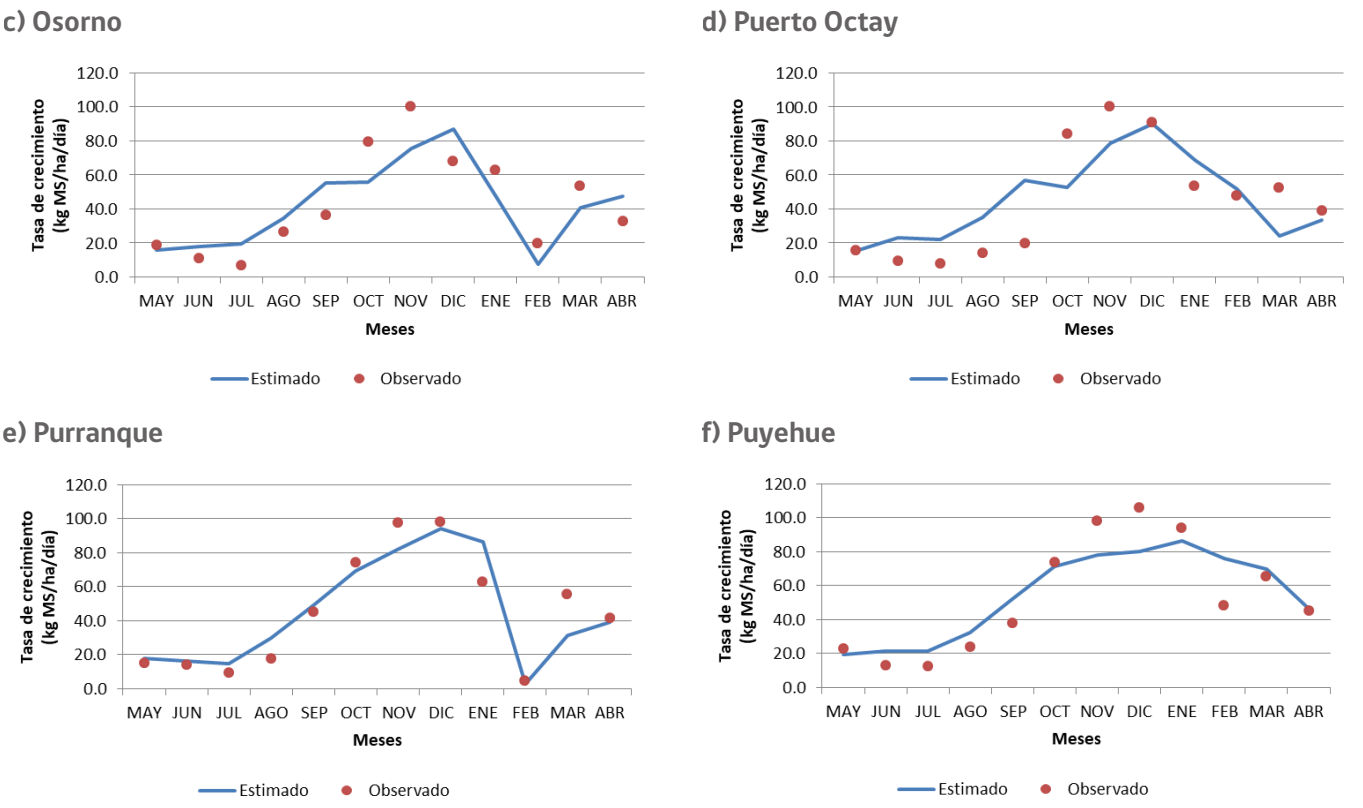


Figura N°29. Comparación entre las tasas de crecimiento mensuales promedio observadas versus las estimadas (simuladas) en base al modelo de Jouven para el período comprendido entre el año 2016 y 2018, en las localidades de (a) Los Muermos, (b) Frutillar, (c) Osorno, (d) Puerto Octay, (e) Purranque y (f) Puyehue (Fuente: elaboración propia).

De los resultados obtenidos, se puede observar que el modelo de simulación utilizado, permite obtener tasas de crecimiento diarias (promedio mensual) que se ajustan adecuadamente a las tasas de crecimiento observadas y, por tanto, reflejan la estacionalidad productiva de la pradera en la zona de estudio.

Resultados de la simulación de rendimiento total y estacionalidad productiva de la pradera, según el modelo de circulación global CanESM2

En base al procesamiento de los escenarios entregados por la consultoría del Centro de Cambio Climático UC, se presenta la siguiente información con los resultados de la simulación del rendimiento total y estacionalidad de la pradera, según el modelo de circulación global CanESM2. El análisis de la información fue realizado por ecorregiones dentro de las provincias (precordillera de la Costa y Valles centrales), sin incorporar en el análisis la información proveniente de los escenarios simulados para el caso de la precordillera de los Andes, ya que la grilla de puntos para esta zona es escasamente representativa de la productividad real de la zona (debido a la ubicación de los puntos y la baja cantidad de éstos).

Para evaluar, a través del tiempo, el efecto del cambio climático sobre el rendimiento y estacionalidad productiva de las praderas en la zona en estudio, el período futuro (2035 - 2064) fue separado en dos intervalos de tiempo: futuro cercano (2035 - 2045) y futuro lejano (2046 - 2055).

Rendimiento total promedio de las praderas según datos climáticos del modelo CanESM2

En el Cuadro N°12 se puede observar el rendimiento promedio, que se obtuvo al calcular la media de la productividad de cada temporada de crecimiento generadas con el modelo de crecimiento de praderas, utilizando la información climática proveniente del modelo CanESM2 para el período presente (1980 - 2009) y, adicionalmente, algunos estadísticos de dispersión. Para ambas provincias, la productividad promedio fue de 12.261 kg MS/ha, con el mayor rendimiento obtenido en la precordillera de la Costa de la provincia de Osorno (13.363 kg MS/ha) y el menor rendimiento en la precordillera de la Costa de la provincia de Llanquihue (10.931 kg MS/ha).

Cuadro N°12. Productividad anual (kg MS/ha) de las praderas en las ecorregiones en estudio, para las provincias de Osorno y Llanquihue, en base a los resultados del modelo de simulación para el período 1980 - 2009 (Presente).

Productividad anual (kg MS/ha)

	Media	Mínimo	Máximo	Mediana	Desviación estándar
Provincia de Osorno					
Precordillera de la Costa	13.363	10.268	17.425	13.053	1.614
Valles centrales	12.522	10.307	15.116	12.167	1.255
Provincia de Llanquihue					
Precordillera de la Costa	10.931	9.432	12.580	11.386	1.086
Valles centrales	12.230	10.527	16.093	11.605	1.593

Fuente: elaboración propia.

Siguiendo la misma metodología para el futuro cercano simulado (2035 - 2045), se obtuvo una productividad promedio anual para ambas provincias de 10.323 kg MS/ha, con el mayor rendimiento obtenido en la precordillera de la Costa de la provincia de Osorno (11.161 kg MS/ha) y el menor rendimiento en la precordillera de la Costa de la provincia de Llanquihue (9.001 kg MS/ha) (Cuadro N°13).

Cuadro N°13. Productividad anual (kg MS/ha) de las praderas en las ecorregiones en estudio, para las provincias de Osorno y Llanquihue, en base a los resultados del modelo de simulación para el período 2035 - 2045 (Futuro cercano).

Productividad anual (kg MS/ha)

	Media	Mínimo	Máximo	Mediana	Desviación estándar
Provincia de Osorno					
Precordillera de la Costa	11.161	8.274	14.062	11.101	1.402
Valles centrales	10.838	8.708	13.340	10.524	1.390
Provincia de Llanquihue					
Precordillera de la Costa	9.001	7.249	11.457	8.920	1.216
Valles centrales	10.292	8.397	14.680	10.036	1.388

Fuente: elaboración propia.

Estos resultados indican que el rendimiento promedio de las praderas para ambas provincias disminuye en un 15,8% en el futuro cercano con respecto a la productividad actual, lo que tendrá un impacto directo sobre la capacidad de carga de las praderas en la zona en estudio. Al evaluar las diferencias por ecorregiones, se observó que el sector más afectado corresponde a la precordillera de la Costa en la provincia de Llanquihue, con una disminución promedio del 17,6% con respecto a la productividad actual, mientras que los Valles centrales de la provincia de Osorno son los menos afectados, con una disminución promedio del 13,4% con respecto al rendimiento observado en el período presente.

En el Cuadro N°14 se pueden observar los resultados obtenidos al momento de analizar el período comprendido entre los años 2046 - 2055 (futuro lejano). La productividad promedio considerando ambas provincias fue de 10.602 kg MS/ha, con el mayor rendimiento obtenido en la precordillera de la Costa de la provincia de Osorno (11.497 kg MS/ha) y el menor rendimiento en la precordillera de la Costa de la provincia de Llanquihue (8.960 kg MS/ha). Si se analizan los resultados de ambos períodos en el futuro, se observa que, en el intervalo de tiempo correspondiente al futuro lejano, el rendimiento productivo tiende a incrementarse levemente en algunas zonas, lo que podría deberse al eventual adelantamiento de las fases de desarrollo de la pradera producto del incremento de las temperaturas en el período de fines de invierno y principios de primavera, como será analizado en la siguiente sección.

Cuadro N°14. Productividad anual (kg MS/ha) de las praderas en las ecorregiones en estudio, para las provincias de Osorno y Llanquihue, en base a los resultados del modelo de simulación para el período 2046 - 2055 ***(Futuro lejano).***

Productividad anual (kg MS/ha)

	Media	Mínimo	Máximo	Mediana	Desviación estándar
Provincia de Osorno					
Precordillera de la Costa	11.497	8.639	15.359	11.278	1.530
Valles centrales	11.279	8.791	14.247	10.660	1.363
Provincia de Llanquihue					
Precordillera de la Costa	8.960	6.938	12.202	8.763	1.351
Valles centrales	10.675	8.519	15.600	10.433	1.433

Fuente: elaboración propia.

Tasas de crecimiento y estacionalidad productiva de las praderas según datos climáticos del modelo CanESM2

El efecto de las variables climáticas producidas al utilizar los datos del modelo CanESM2 sobre la productividad mensual de la pradera en el período presente (1980 - 2009), se puede observar en el Cuadro N°15.

Cuadro N°15. Productividad mensual (kg MS/ha/mes) de las praderas en las ecorregiones en estudio, para las provincias de Osorno y Llanquihue, en base a los resultados del modelo de simulación para el período 1980 - 2009 ***(Presente).***

Productividad mensual (kg MS/ha/mes)

	Provincia de Osorno		Provincia de Llanquihue	
	Precordillera de la Costa	Valles centrales	Precordillera de la Costa	Valles centrales
Enero	1.113	668	581	736
Febrero	651	422	363	523
Marzo	674	664	433	659
Abril	875	944	689	858
Mayo	790	779	724	766
Junio	489	515	459	518
Julio	553	646	512	635
Agosto	883	1.005	822	990
Septiembre	1.578	1.629	1.519	1.567
Octubre	2.062	2.039	1.994	1.973
Noviembre	2.034	1.866	1.688	1.708
Diciembre	1.656	1.337	1.140	1.290

Fuente: elaboración propia.

Si se consideran los promedios de las tasas de crecimiento mensuales para el período presente simulado en todas las ecorregiones analizadas, se observa que la producción de materia seca en la estación principal de pastoreo (septiembre a diciembre) representa el 55,3% de la productividad anual (6.770 kg MS/ha), mientras que la producción acumulada en el período estival (enero y febrero), representa el 10,2% del rendimiento anual (1.264 kg MS/ha).

En el caso del futuro cercano (Cuadro N°16), se observó que, la producción de biomasa acumulada en el período de septiembre a diciembre representó un 57,0% (5.914 kg MS/ha) del total de biomasa anual, mientras que, en los meses de enero y febrero, la pradera produjo un 5,53% (573 kg MS/ha) del total de la biomasa anual.

Cuadro N°16. Productividad mensual (kg MS/ha/mes) de las praderas en las ecorregiones en estudio, para las provincias de Osorno y Llanquihue, en base a los resultados del modelo de simulación para el período 2035 - 2045 ***(Futuro cercano).***

Productividad mensual (kg MS/ha/mes)

	Provincia de Osorno		Provincia de Llanquihue	
	Precordillera de la Costa	Valles centrales	Precordillera de la Costa	Valles centrales
Enero	555	335	357	354
Febrero	204	146	180	164
Marzo	329	337	242	308
Abril	685	901	483	790
Mayo	652	677	549	608
Junio	501	555	460	531
Julio	603	764	668	755
Agosto	917	1.077	1.004	1.098
Septiembre	1.474	1.611	1.556	1.595
Octubre	2.049	2.024	1.907	1.958
Noviembre	2.060	1.761	1.062	1.474
Diciembre	1.174	705	552	696

Fuente: elaboración propia.

Para el período comprendido entre los años 2046 - 2055 (Cuadro N°17), la producción de biomasa durante el período de máximo crecimiento de la pradera (septiembre a diciembre), representó un 53,9% (5.618 kg MS/ha) de la producción anual de biomasa, mientras que en el período comprendido entre los meses de enero y febrero, la producción de biomasa continuó disminuyendo con respecto a los períodos analizados previamente, representando sólo un 5,3% (550 kg MS/ha) del total producido al año.

Cuadro N°17. Productividad mensual (kg MS/ha/mes) de las praderas en las ecorregiones en estudio, para las provincias de Osorno y Llanquihue, en base a los resultados del modelo de simulación para el período 2046 - 2055 ***(Futuro lejano).***

Productividad mensual (kg MS/ha/mes)

	Provincia de Osorno		Provincia de Llanquihue	
	Precordillera de la Costa	Valles centrales	Precordillera de la Costa	Valles centrales
Enero	349	209	172	258
Febrero	263	317	253	380
Marzo	360	412	255	423
Abril	648	949	449	788
Mayo	733	702	596	633
Junio	564	596	597	611
Julio	733	865	809	874
Agosto	984	1.133	1.045	1.123
Septiembre	1.629	1.660	1.620	1.617
Octubre	2.089	2.121	1.711	1.970
Noviembre	1.911	1.535	868	1.259
Diciembre	1.049	532	406	497

Fuente: elaboración propia.

Si se analizan en conjunto los últimos resultados presentados, se puede concluir que, en la medida en que avanzan los años, la pradera tiende a producir una mayor proporción de la biomasa anual en el período inicial de primavera, especialmente durante los meses de septiembre y octubre, adelantándose a las fases de desarrollo. Por otro lado, se observa una clara tendencia a la disminución de la contribución del crecimiento estival de la pradera, desde un 10,2% en el período presente simulado a un 5,3% en el período comprendido entre los años 2046 - 2055. Este escenario de disminución de la productividad de las praderas durante el período de verano, hace necesario la actualización de los planes de manejo alimenticio y de los balances forrajeros prediales, con el propósito de encontrar soluciones sustentables y sostenibles para la alimentación de los animales en el período de mayor déficit hídrico del año.

Cartografía de la productividad de praderas en las provincias de Osorno y Llanquihue, según el modelo de circulación global CanESM2

En la Figura N°30 (a y b) se pueden observar los mapa de productividad estimada para el período presente y futuro cercano, con el objetivo de visualizar el impacto de la variación en las condiciones climáticas sobre el crecimiento de las praderas, y poder identificar aquellas zonas en las provincias de Osorno y Llanquihue que podrían verse más afectadas por el cambio climático.

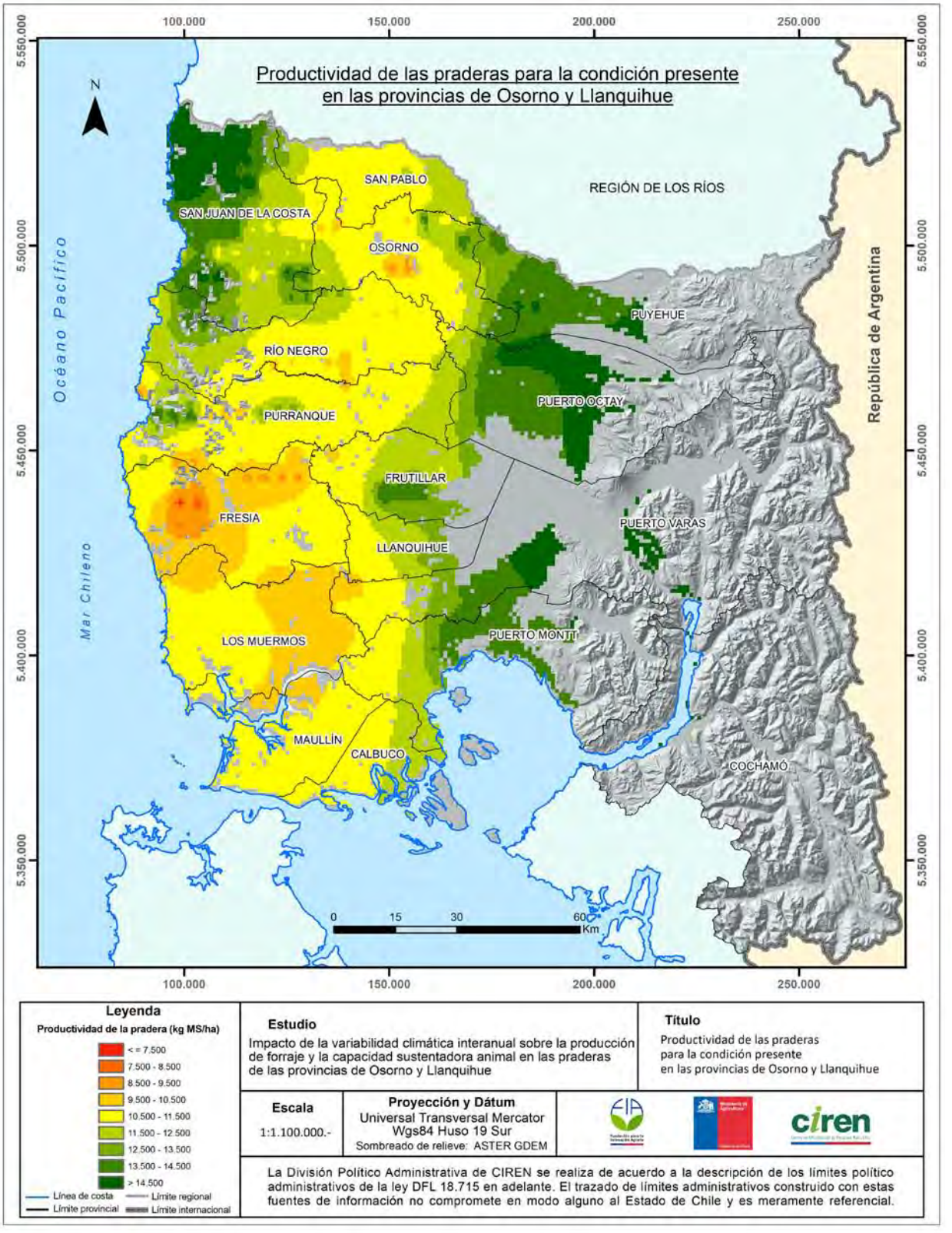


Figura N°30 (a). Productividad de las praderas (kg MS/ha/año) en las provincias de Osorno y Llanquihue, para el período presente (1980 - 2009, en base a los rendimientos simulados utilizando los datos climáticos del modelo CanESM2. Colores verdes oscuros indican mayor productividad, colores rojos menor productividad (Fuente: elaboración propia).

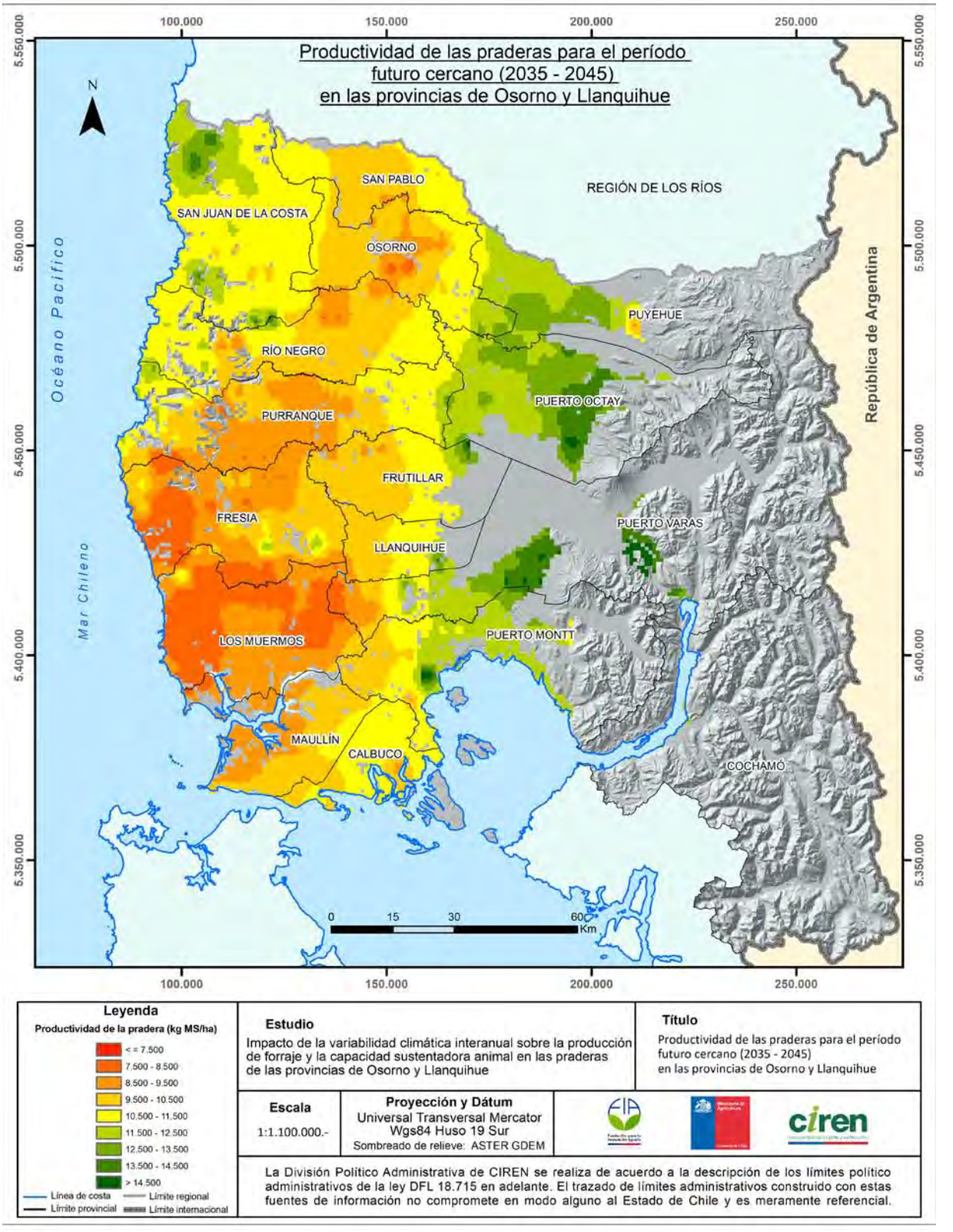


Figura N°30 (b). Productividad de las praderas (kg MS/ha/año) en las provincias de Osorno y Llanquihue, para el período futuro cercano (2035 - 2045), en base a los rendimientos simulados utilizando los datos climáticos del modelo CanESM2. Colores verdes oscuros indican mayor productividad, colores rojos menor productividad (Fuente: elaboración propia).

Los mapas de la Figura N°30 (a y b) reflejan los resultados presentados en la sección "Rendimiento total promedio de las praderas según datos climáticos del modelo CanESM2", en donde las condiciones climáticas imperantes durante el período comprendido entre los años 2035 - 2045, producen una disminución en la productividad de las praderas.

En la siguiente sección, estos resultados serán presentados como una diferencia porcentual entre el período presente y futuro. Esto permitirá visualizar con mayor claridad cuál es el impacto relativo en las diferentes localidades ubicadas en la zona en estudio.

En general, se observa que los sectores costeros en la provincia de Llanquihue y los Valles Centrales de ambas provincias, son las zonas más afectadas por el cambio climático en el futuro cercano.

Para analizar los efectos a largo plazo en la productividad de las praderas, se realizó una comparación entre el rendimiento durante el período presente simulado y futuro lejano simulado (Figura N°31 a y b). En base a los resultados obtenidos, se pudo observar que en el futuro lejano (2046 - 2055) se produce un leve incremento de la productividad con respecto al período comprendido entre los años 2035 - 2045.

Durante el proceso de generación de los escenarios simulados de productividad, se pudo observar que las condiciones climáticas posteriores al año 2045 planteadas por el modelo CanESM2 (mayores temperaturas a fines del período invernal), generan un leve incremento de la productividad con respecto al período anterior, debido a una modificación en la estacionalidad productiva de las praderas (mayor producción de las praderas en primavera temprana). Adicionalmente, el modelo climático estaría dando cuenta de las variaciones climáticas inter-anuales generadas por el fenómeno climático "El Niño - Oscilación del Sur", lo que también explicaría las modificaciones en la productividad de las praderas en el futuro cercano y lejano.

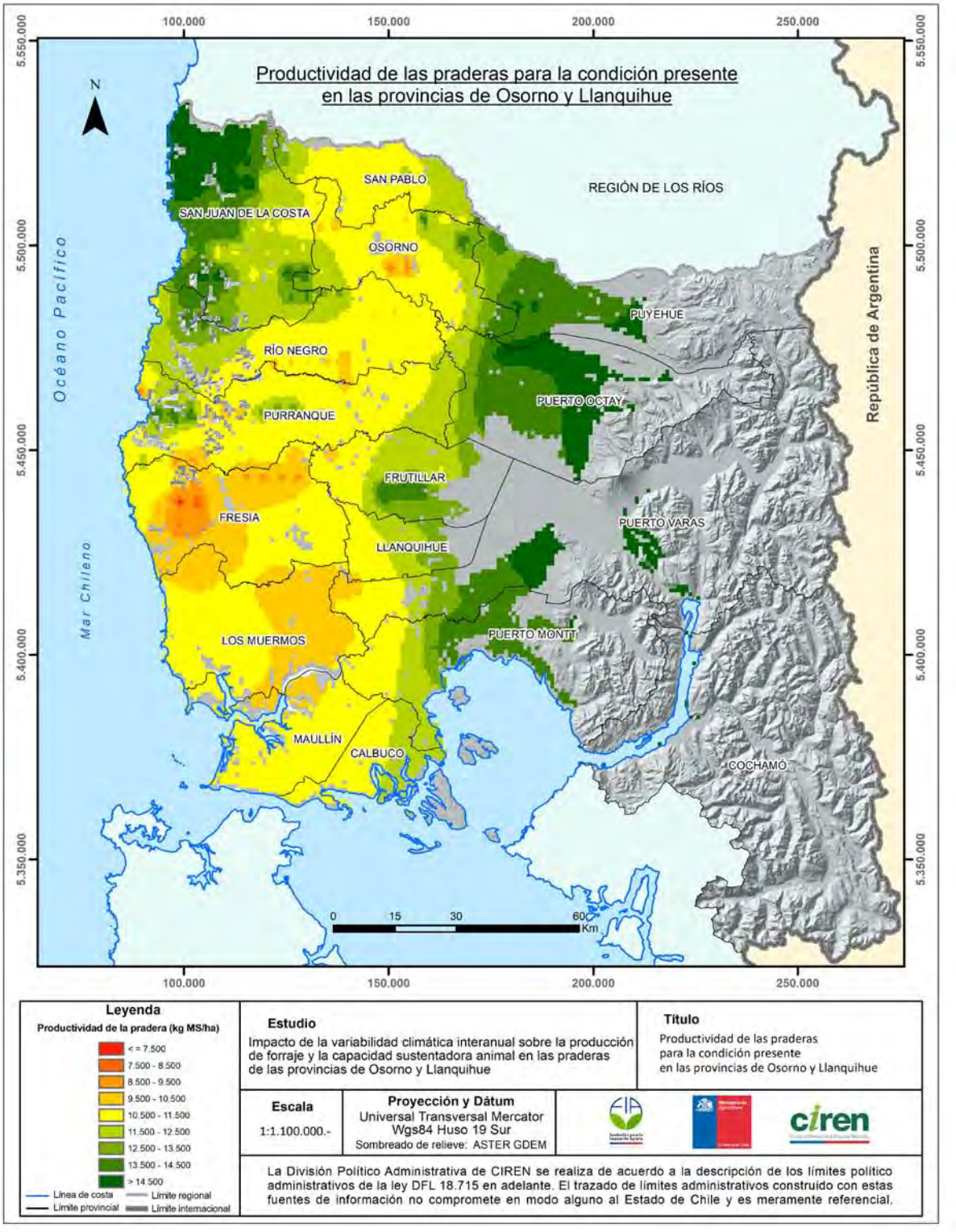


Figura N°31 (a). Productividad de las praderas (kg MS/ha/año) en las provincias de Osorno y Llanquihue, para el período presente (1980 – 2009), en base a los rendimientos simulados utilizando los datos climáticos del modelo CanESM2. Colores verdes oscuros indican mayor productividad, colores rojos menor productividad (Fuente: elaboración propia).

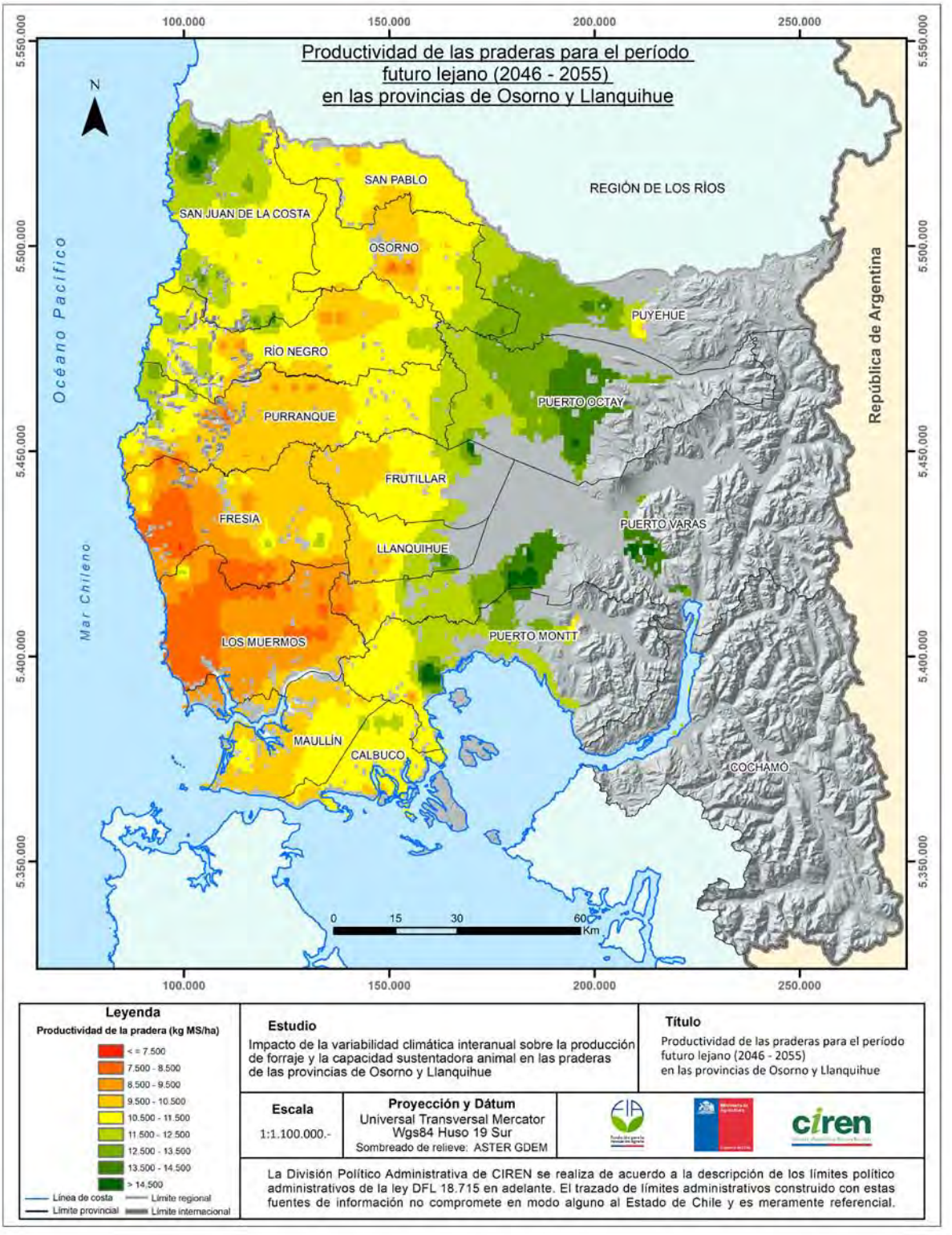


Figura N°31 (b). Productividad de las praderas (kg MS/ha/año) en las provincias de Osorno y Llanquihue, para el período futuro lejano (2046 – 2055), en base a los rendimientos simulados utilizando los datos climáticos del modelo CanESM2. Colores verdes oscuros indican mayor productividad, colores rojos menor productividad (Fuente: elaboración propia).

Diferencia porcentual de la productividad de las praderas entre el período presente y ambos períodos en el futuro

Para evaluar el cambio en la productividad de las praderas entre el período presente y ambos intervalos de tiempo en el futuro, se generaron mapas que dan cuenta de la diferencia porcentual del rendimiento productivo, en base a la siguiente ecuación:

$$\frac{\textit{Mapa período futuro} - \textit{Mapa período presente}}{\textit{Mapa período presente}} * 100$$

En la Figura N°32 (a y b) se pueden observar las diferencias porcentuales entre el período presente y ambos períodos en el futuro.

En base al análisis de los resultados presentados, es evidente que el cambio climático producirá una disminución en la productividad de las praderas en toda la zona en estudio, con muy pocas localidades que verán incrementado el rendimiento de las praderas. Debido a las condiciones climáticas propuestas por el modelo CanESM2 en el futuro (incrementos moderados de las temperaturas, aproximadamente 1,5 °C, y una disminución en el promedio de precipitaciones anuales entre 290 a 450 mm dependiendo de la localidad), se pueden identificar algunas de las localidades en las cuales los escenarios generados por el cambio climático podrían implicar disminuciones en la productividad cercanas al 25%. Especialmente críticos pueden ser los escenarios futuros para las comunas de Los Muermos, especialmente en la zona más cercana al océano Pacífico; Purranque; el sector norte de San Juan de la Costa, o algunas localidades cercanas a Frutillar, Osorno y Río Negro.

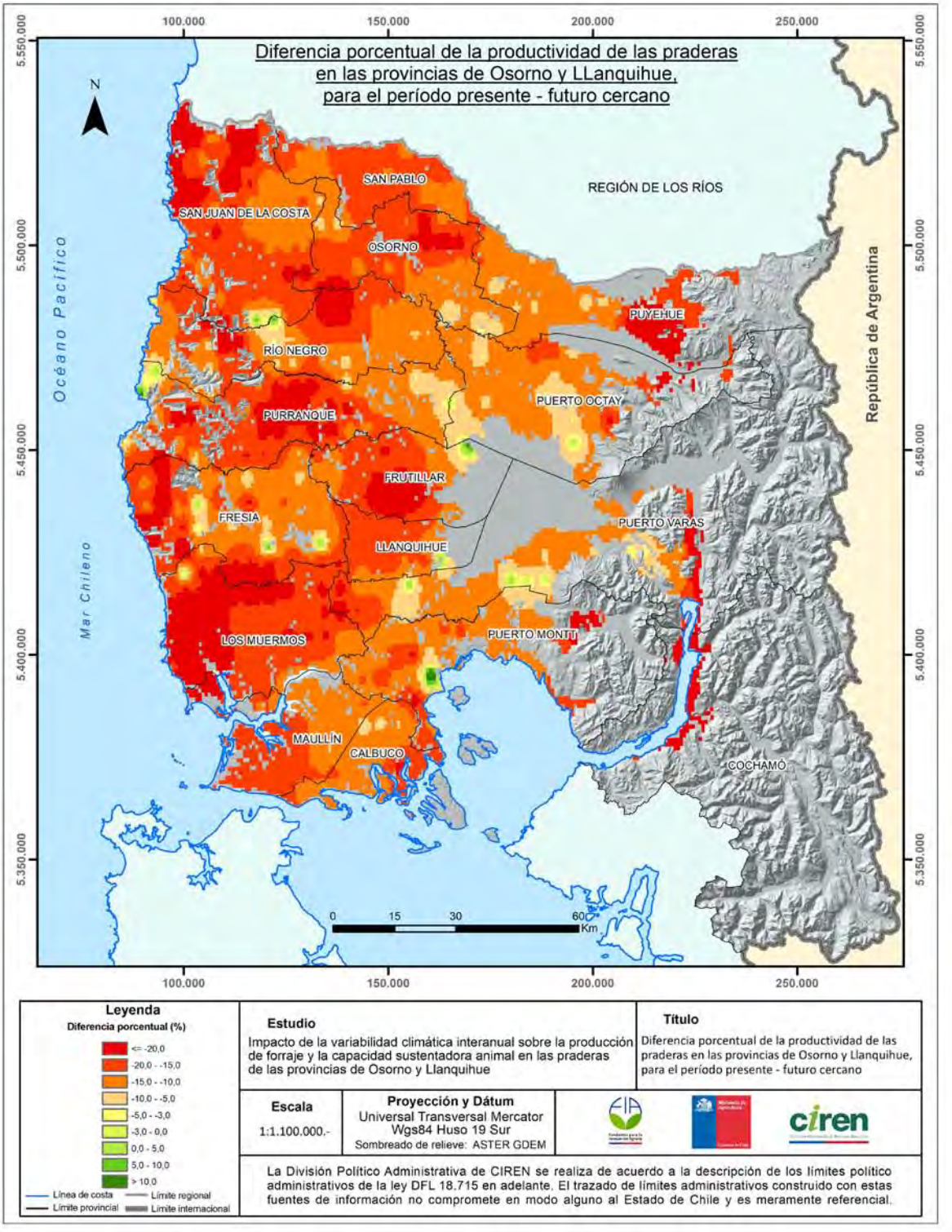


Figura N°32 (a). Diferencia porcentual de la productividad de las praderas en las provincias de Osorno y Llanquihue, para el período presente – futuro cercano, en base a los rendimientos simulados utilizando los datos climáticos del modelo CanESM2. Colores verdes oscuros indican un incremento de la productividad, colores rojos indican una disminución en la productividad
(Fuente: elaboración propia).

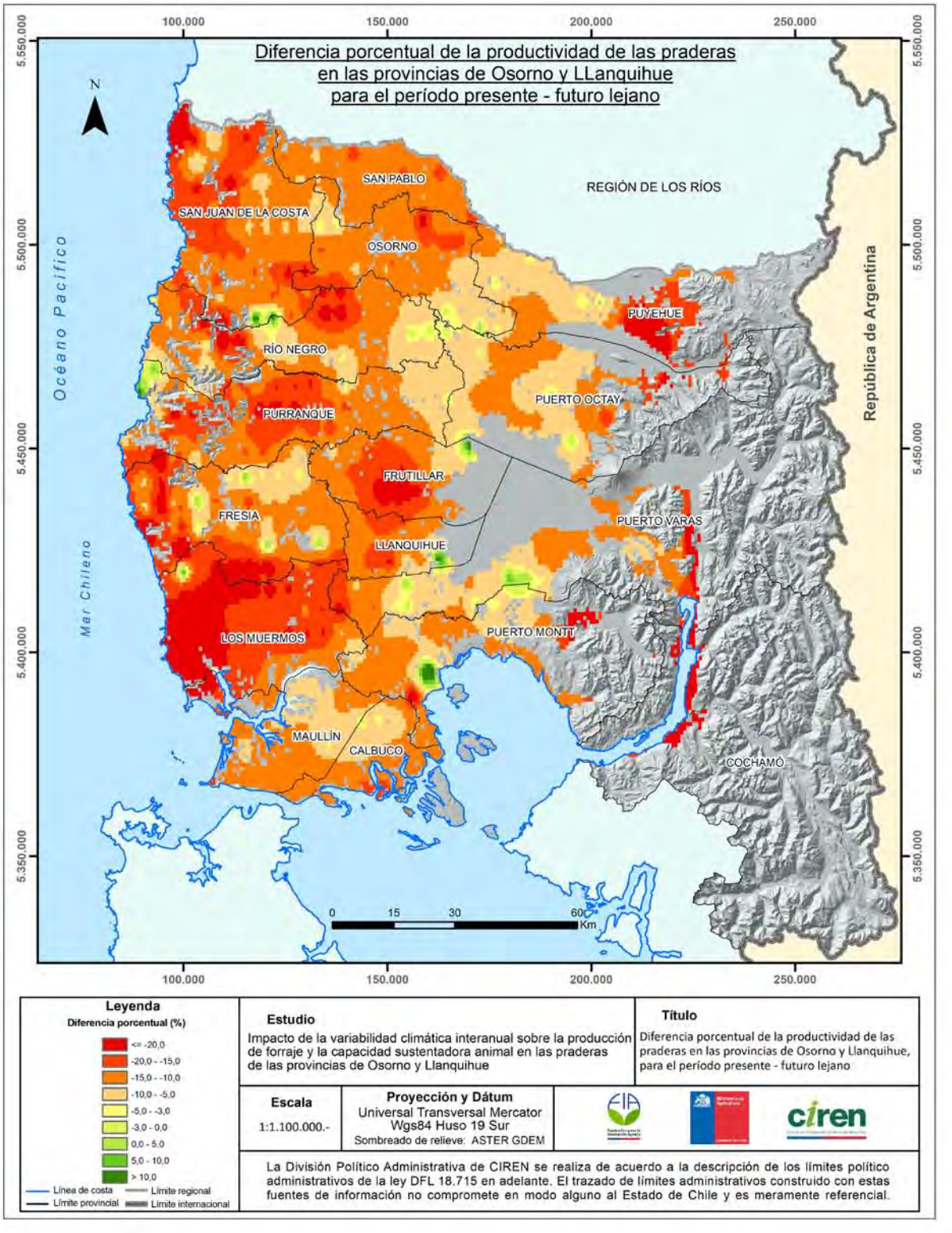


Figura N°32 (b). Diferencia porcentual de la productividad de las praderas en las provincias de Osorno y Llanquihue, para el período presente – futuro lejano, en base a los rendimientos simulados utilizando los datos climáticos del modelo CanESM2. Colores verdes oscuros indican un incremento de la productividad, colores rojos indican una disminución en la productividad
(Fuente: elaboración propia).

Capacidad de carga animal

En la presente sección, se analizan los resultados de la capacidad de carga animal o capacidad sustentadora de la pradera, expresada en unidades animales por hectárea (UA/ha). La capacidad de carga posee una relación directa con la productividad de las praderas, por lo que los efectos del cambio climático necesariamente afectarán la capacidad de carga en la zona en estudio.

Para efectos de calcular la capacidad de carga animal, se consideró una eficiencia de uso de la pradera de 75% (valor aceptable para una pradera de clima templado) y se consideró que la Unidad Animal (UA), corresponde a una vaca adulta de 450 kg con una cría al pie menor de 6 meses, que consume aproximadamente 12 kg de MS/día o 128 MJ de energía metabolizable. En base al aporte de energía de la pradera en las provincias en estudio, se consideró que 1 UA consume 4.380 kg MS/año.

En el Cuadro N°18 se puede observar la capacidad de carga animal promedio, que se obtuvo al calcular la media de la capacidad de carga animal de cada temporada de crecimiento generada con el modelo de crecimiento de praderas, utilizando la información climática proveniente del modelo CanESM2 para el período presente (1980 – 2009) y, adicionalmente, algunos estadísticos de dispersión. La capacidad de carga promedio fue de 2,09 UA/ha/año, con el mayor valor obtenido en la precordillera de la Costa de la provincia de Osorno (2,29 UA/ha/año) y la menor capacidad de carga en la precordillera de la Costa de la provincia de Llanquihue (1,87 UA/ha/año).

Cuadro N°18. Capacidad de carga animal (UA/ha/año) de las praderas en las ecorregiones en estudio, para las provincias de Osorno y Llanquihue, en base a los resultados del modelo de simulación para el período 1980 – 2009 ***(Presente).***

Capacidad de carga animal (UA/ha/año)

	Media	Mínimo	Máximo	Mediana	Desviación estándar
Provincia de Osorno					
Precordillera de la Costa	2,29	1,76	2,98	2,23	0,27
Valles centrales	2,14	1,76	2,59	2,08	0,21
Provincia de Llanquihue					
Precordillera de la Costa	1,87	1,62	2,15	1,94	0,18
Valles centrales	2,09	1,80	2,76	1,98	2,27

Fuente: elaboración propia.

En el caso del futuro cercano simulado (2035 – 2045), se obtuvo una capacidad de carga promedio anual para ambas provincias de 1,76 UA/ha, con el mayor valor obtenido en la precordillera de la Costa de la provincia de Osorno (1,91 UA/ha) y la menor capacidad de carga en la precordillera de la Costa de la provincia de Llanquihue (1,54 UA/ha) (Cuadro N°19).

Cuadro N°19. Capacidad de carga animal (UA/ha/año) de las praderas en las ecorregiones en estudio, para las provincias de Osorno y Llanquihue, en base a los resultados del modelo de simulación para el período 2035 - 2045 ***(Futuro cercano).***

Capacidad de carga animal (UA/ha/año)

	Media	Mínimo	Máximo	Mediana	Desviación estándar
Provincia de Osorno					
Precordillera de la Costa	1,91	1,41	2,40	1,90	0,24
Valles centrales	1,86	1,49	2,28	1,80	0,23
Provincia de Llanquihue					
Precordillera de la Costa	1,54	1,24	1,96	1,52	0,20
Valles centrales	1,76	1,43	2,51	1,71	0,23

Fuente: elaboración propia.

Como fue mencionado anteriormente, la capacidad de carga animal está directamente vinculada con el rendimiento de las praderas, por lo que la disminución en la capacidad de carga animal entre el período presente y el período futuro cercano es próxima al 15,8% (- 0,33 UA/ha). Estos resultados son especialmente relevantes para aquellos sistemas productivos basados en el pastoreo directo, en donde una disminución en la capacidad de carga animal implica una reducción de la rentabilidad de la explotación, ya sea por la menor carga animal que el predio podrá sustentar o por el incremento en el costo de alimentación del rebaño existente, al requerir una mayor cantidad de alimento suplementario.

En el Cuadro N°20 se pueden observar los resultados obtenidos al momento de analizar el período comprendido entre los años 2046 - 2055 (futuro lejano). La capacidad de carga animal promedio considerando ambas provincias fue de 1,81 UA/ha, con el mayor valor obtenido en la precordillera de la Costa de la provincia de Osorno (1,97 UA/ha) y la menor capacidad de carga animal en la precordillera de la Costa de la provincia de Llanquihue (1,53 UA/ha).

Si se analizan los resultados de ambos períodos en el futuro, se observa que al igual que lo observado en el rendimiento productivo de las praderas, la capacidad de carga animal tiende a incrementarse levemente en el segundo intervalo analizado (2046 - 2055).

Cuadro N°20. Capacidad de carga animal (UA/ha/año) de las praderas en las ecorregiones en estudio, para las provincias de Osorno y Llanquihue, en base a los resultados del modelo de simulación para el período 2046 - 2055 ***(futuro lejano).***

Capacidad de carga animal (UA/ha/año)

	Media	Mínimo	Máximo	Mediana	Desviación estándar
Provincia de Osorno					
Precordillera de la Costa	1,97	1,48	2,63	1,93	0,26
Valles centrales	1,93	1,50	2,44	1,82	0,23
Provincia de Llanquihue					
Precordillera de la Costa	1,53	1,19	2,09	1,50	0,23
Valles centrales	1,83	1,46	2,67	1,78	0,24

Fuente: elaboración propia.

Cartografía de la capacidad de carga animal en las provincias de Osorno y Llanquihue

En la Figura N°33 (a y b) se pueden observar los mapa de capacidad de carga animal estimada para el período presente y futuro cercano, donde es factible visualizar el mismo fenómeno que fue señalado en los mapas de productividad. Las zonas más afectadas por el cambio climático en relación a la capacidad de carga animal corresponden a la zona costera de la provincia de Llanquihue y los Valles Centrales de ambas provincias. Similares resultados se pueden observar en la Figura N°34 (a y b), en donde se presenta la comparación entre el período presente y el período futuro lejano.

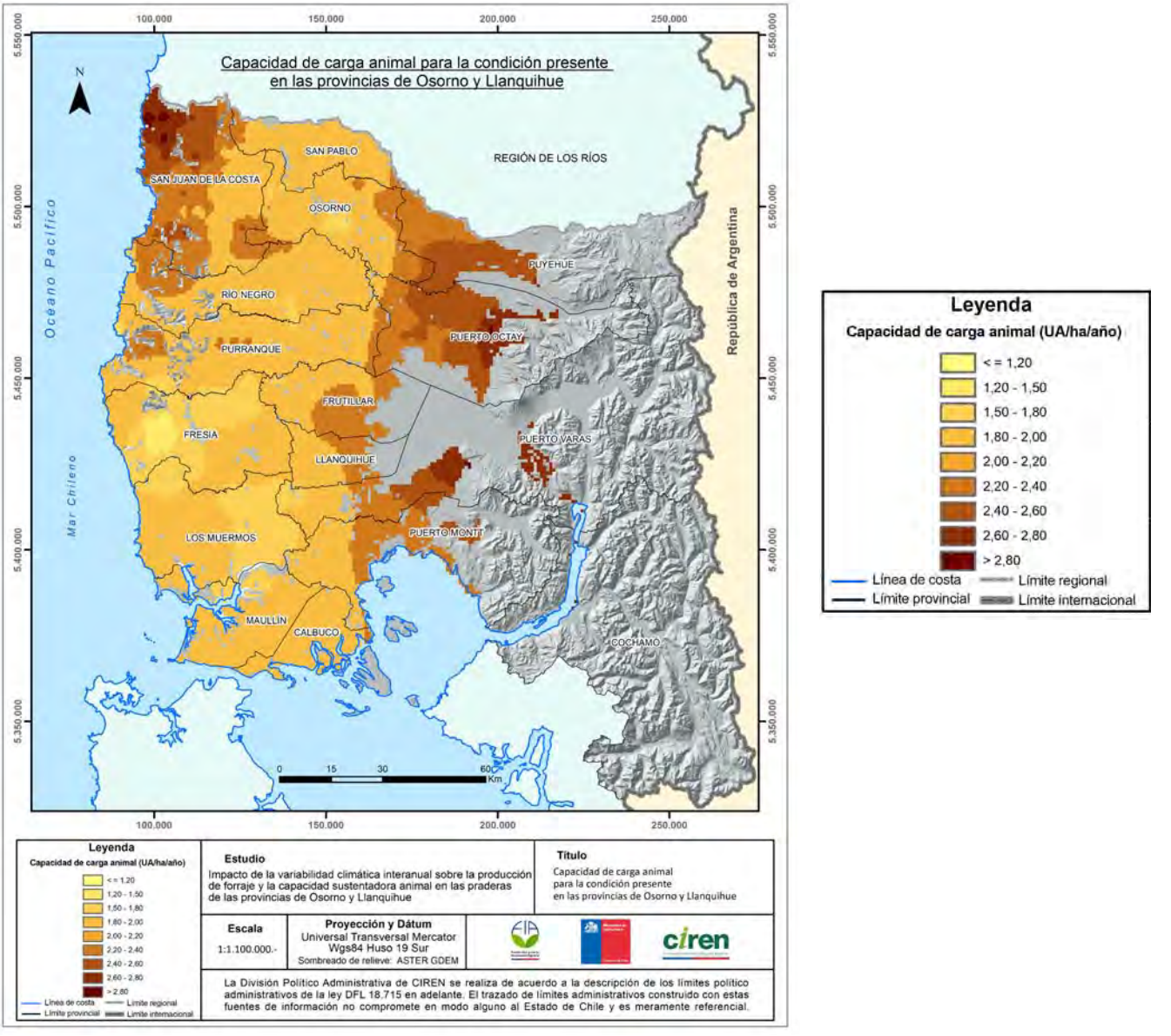


Figura N°33 (a). Capacidad de carga animal (UA/ha/año) en las provincias de Osorno y Llanquihue, para el período presente (1980 - 2009), en base a los rendimientos simulados utilizando los datos climáticos del modelo CanESM2.

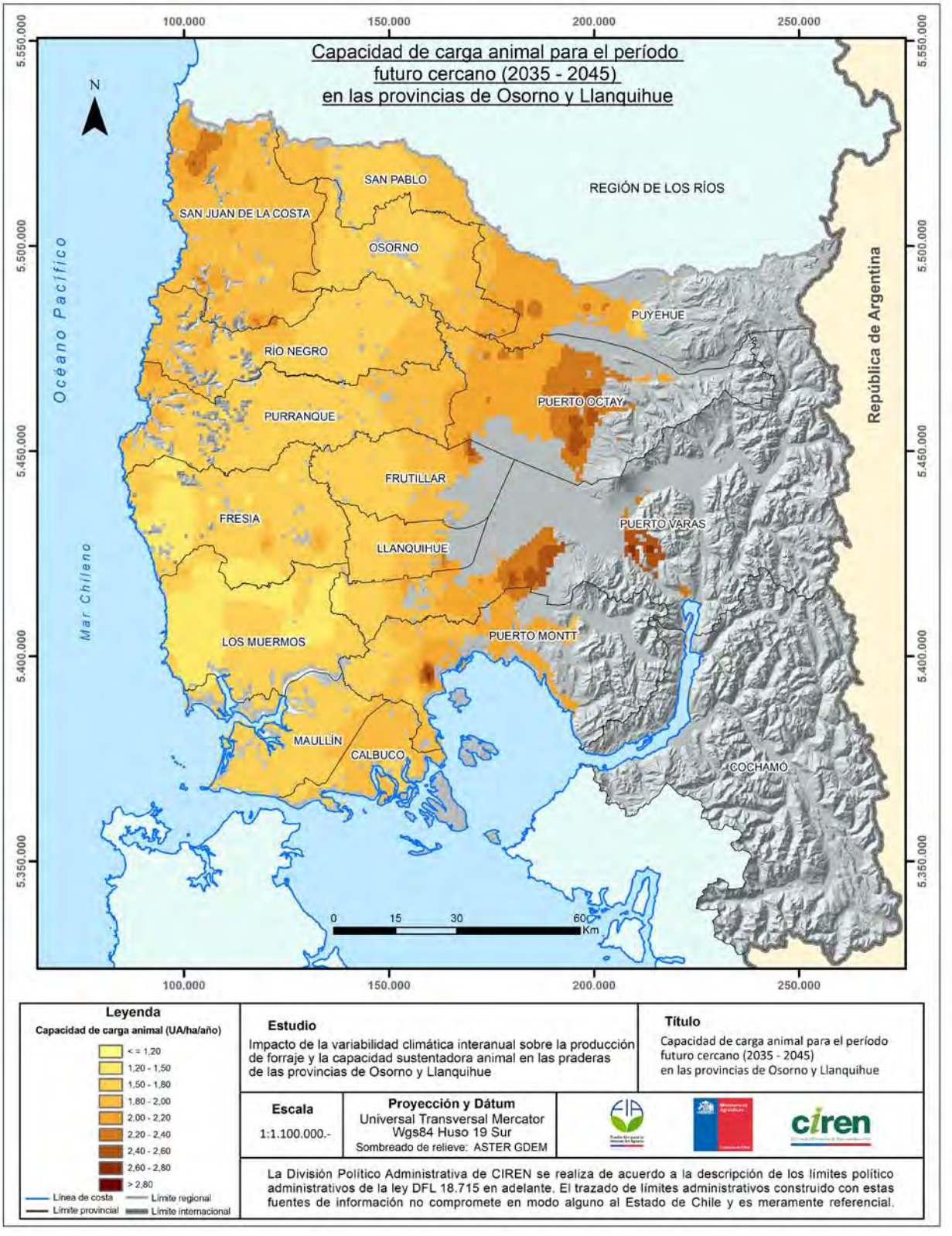


Figura N°33 (b). Capacidad de carga animal (UA/ha/año) en las provincias de Osorno y Llanquihue, para el período futuro cercano (2035 – 2045), en base a los rendimientos simulados utilizando los datos climáticos del modelo CanESM2.
(Fuente: Elaboración propia).

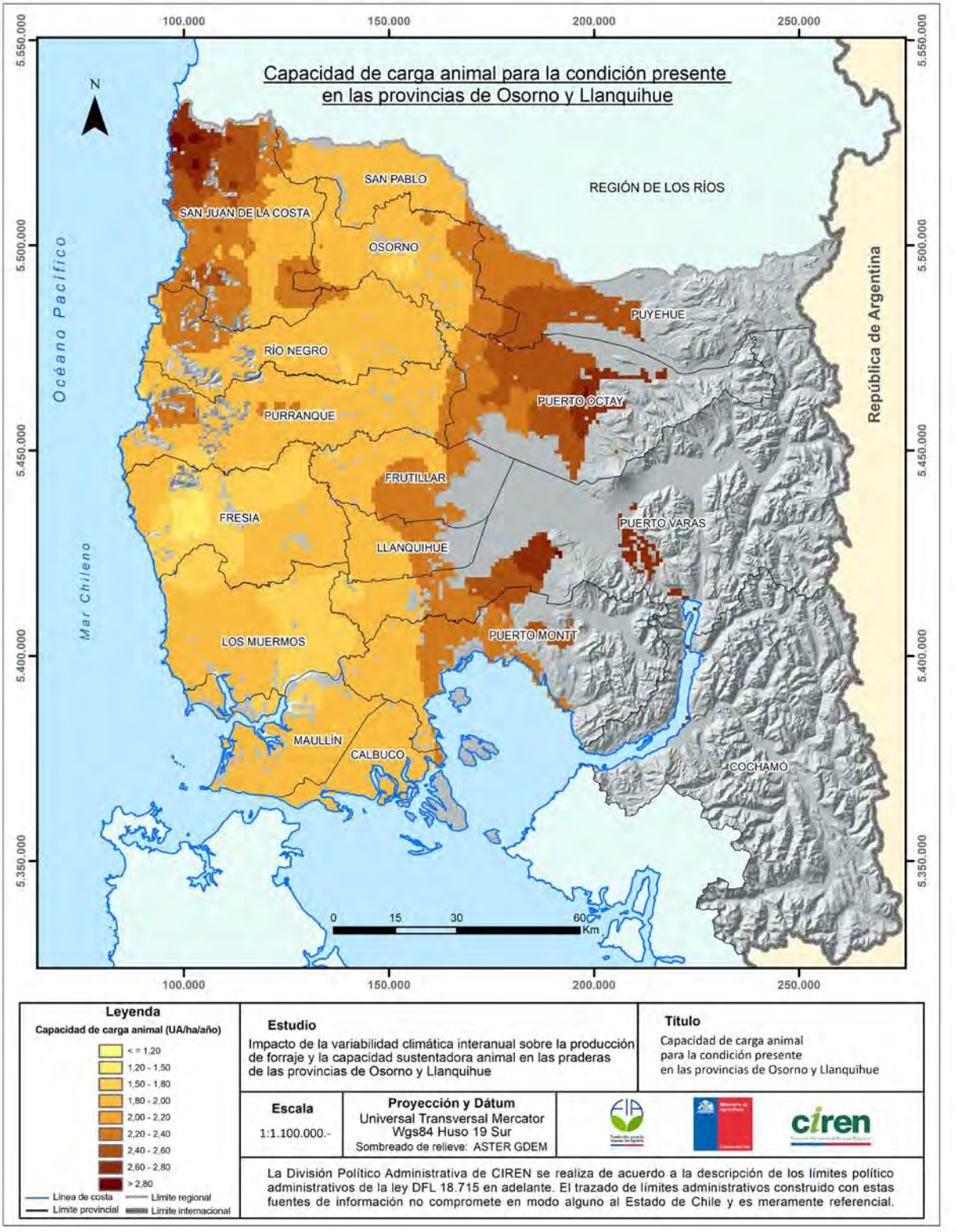


Figura N°34 (a). Capacidad de carga animal (UA/ha/año) en las provincias de Osorno y Llanquihue, para el período presente (1980 – 2009), en base a los rendimientos simulados utilizando los datos climáticos del modelo CanESM2.
(Fuente: elaboración propia).

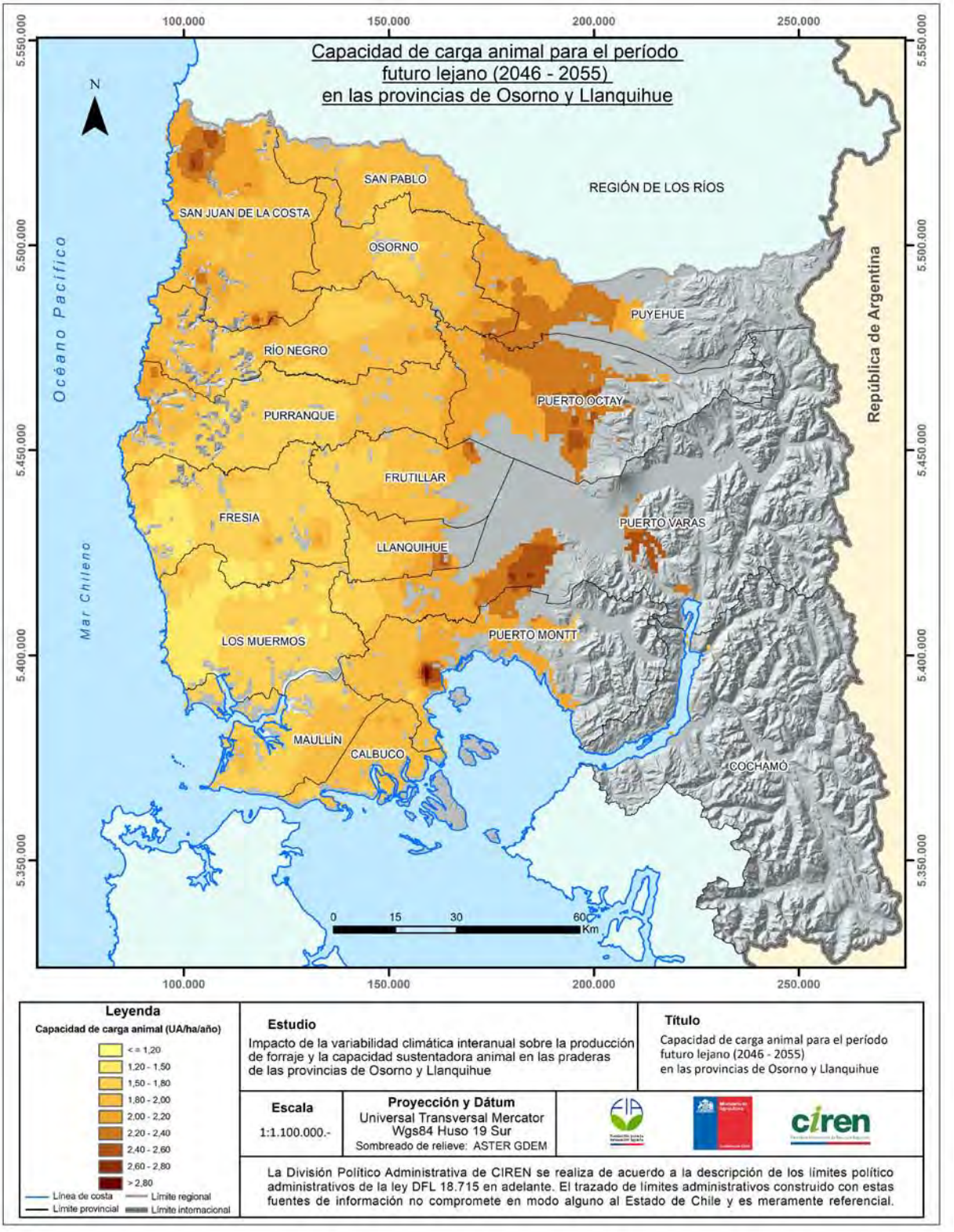


Figura N°34 (b). Capacidad de carga animal (UA/ha/año) en las provincias de Osorno y Llanquihue, para el período futuro lejano (1980 – 2009), en base a los rendimientos simulados utilizando los datos climáticos del modelo CanESM2. Colores verdes oscuros indican mayor capacidad de carga, colores rojos menor capacidad de carga (Fuente: elaboración propia).

Diferencia porcentual de la capacidad de carga animal de las praderas entre el período presente y ambos períodos en el futuro

Al igual que lo realizado para evaluar los cambios en la productividad de las praderas entre el período presente y ambos intervalos de tiempo en el futuro, se generaron mapas que dan cuenta de la diferencia porcentual de la capacidad de carga animal, en base a la siguiente ecuación:

$$\frac{\textit{Mapa cap. de carga período futuro} - \textit{Mapa cap.de carga período presente}}{\textit{Mapa cap.de carga período presente}} * 100$$

En la Figura N°35 (a y b) se pueden observar las diferencias porcentuales entre el período presente y ambos períodos en el futuro, resultados que siguen la misma tendencia observada en el caso de los mapas de productividad, mostrando que las localidades mencionadas en las secciones anteriores serán aquellas que verán afectada, en mayor medida, la capacidad de carga animal de las praderas.

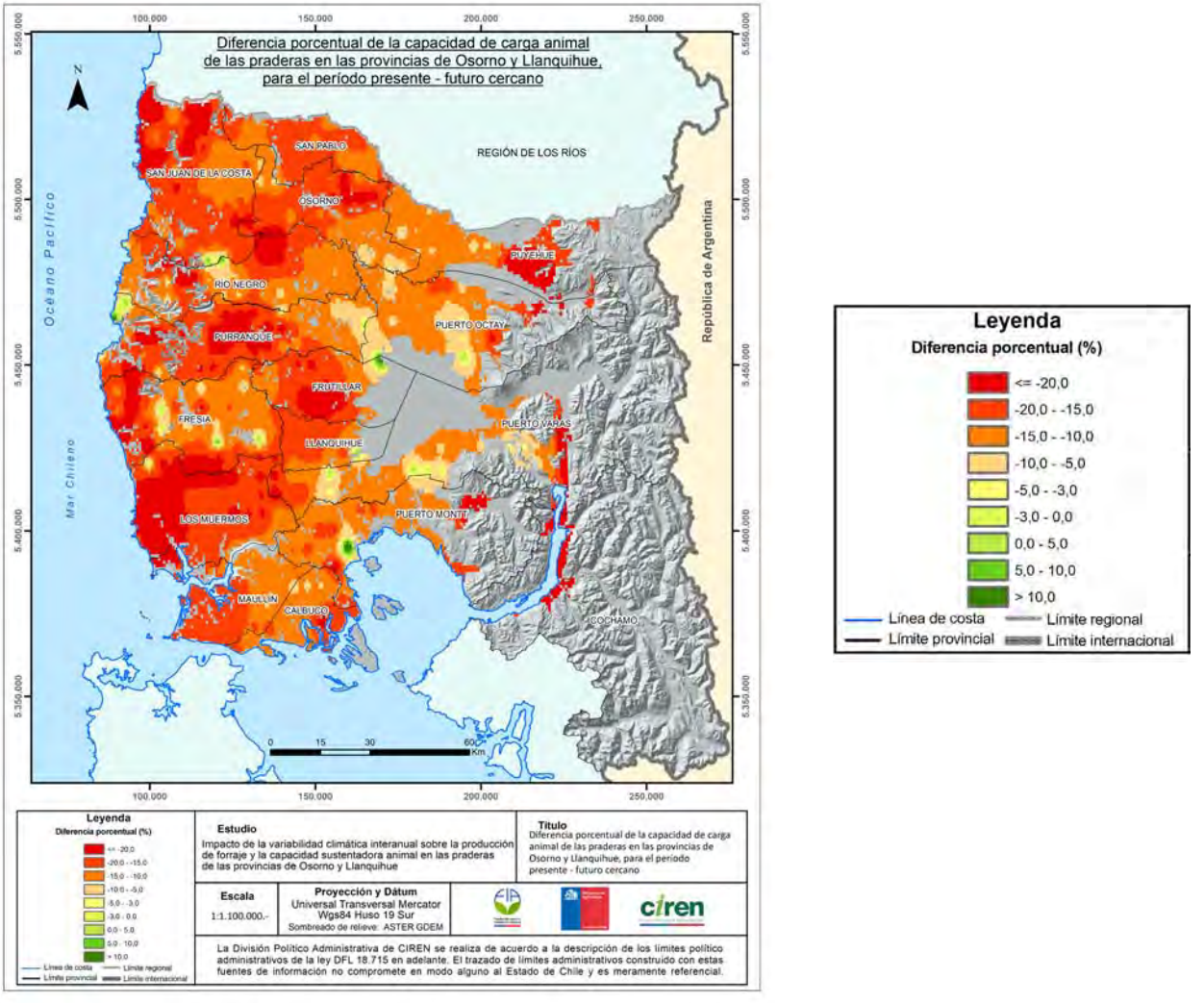


Figura N°35 (a). Diferencia porcentual de la capacidad de carga animal de las praderas en las provincias de Osorno y Llanquihue, para el período presente – futuro cercano, en base a los rendimientos simulados utilizando los datos climáticos del modelo CanESM2. Colores verdes oscuros indican un incremento de la capacidad de carga, colores rojos indican una disminución en la capacidad de carga (Fuente: elaboración propia).

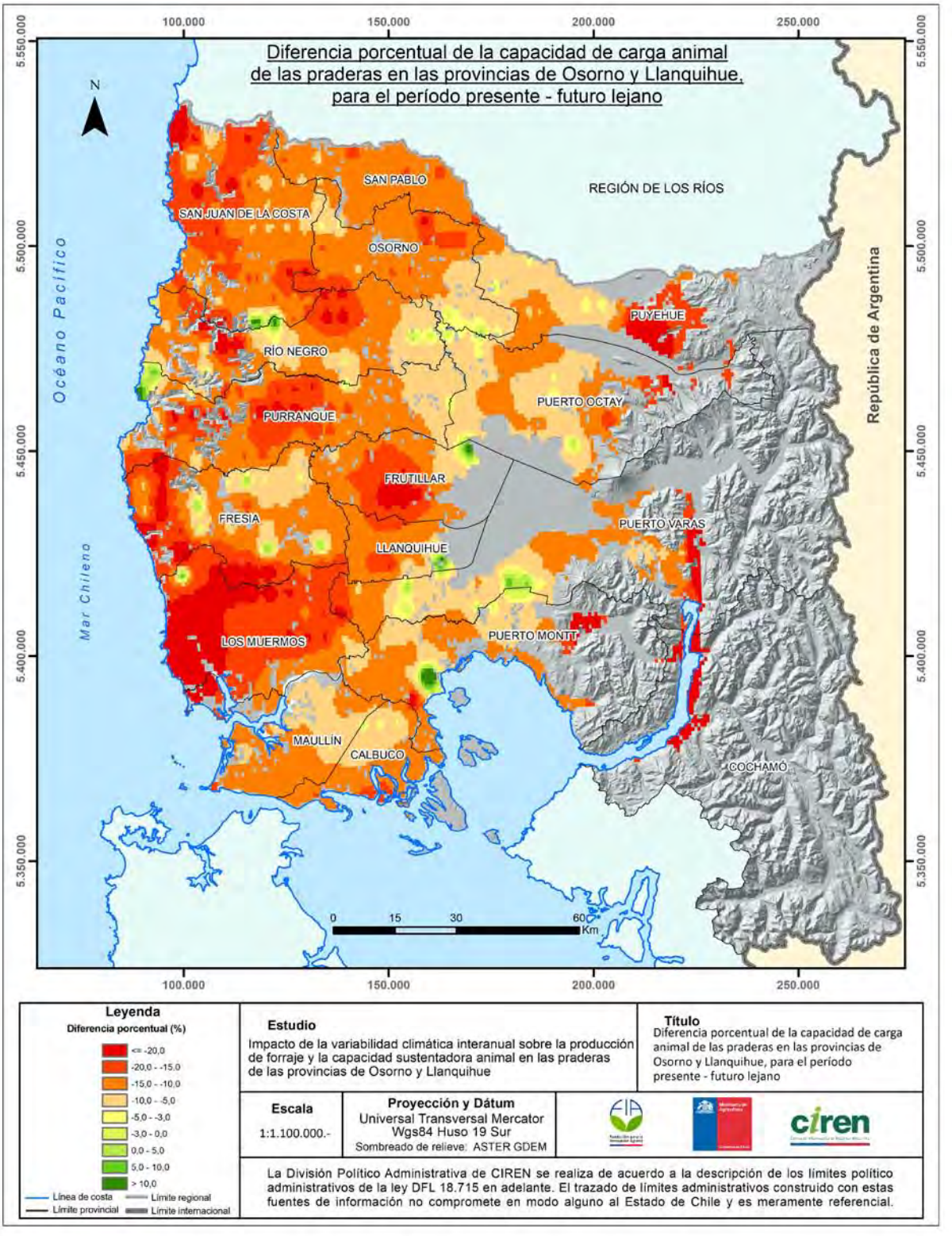


Figura N°35 (b). Diferencia porcentual de la capacidad de carga animal de las praderas en las provincias de Osorno y Llanquihue, para el período presente – futuro lejano, en base a los rendimientos simulados utilizando los datos climáticos del modelo CanESM2. Colores verdes oscuros indican un incremento de la capacidad de carga, colores rojos indican una disminución en la capacidad de carga (Fuente: elaboración propia).

Comentarios finales

En síntesis, para la información presentada en la presente sección se puede señalar que el modelo de circulación global CanESM2 es el que mejor representa la variabilidad climática esperada para un horizonte futuro de 30 años, en base a las tendencias climáticas actuales e índices de variabilidad climática.

El modelo de simulación de crecimiento de praderas propuesto (Jouven, 2006) presenta un adecuado ajuste a las curvas de crecimiento observadas en la zona de estudio y, por tanto, puede ser utilizado para la estimación de la productividad futura bajo escenarios de cambio climático.

La utilización de los datos climáticos generados con el modelo CanESM2 como base para la estimación del comportamiento productivo de las praderas en un horizonte futuro de 30 años, generan un escenario de disminución de la productividad de las praderas y de la capacidad de carga animal del orden del 15,8%, en relación con la productividad simulada actual y a la capacidad de carga simulada en el período presente.

De acuerdo con los resultados de la modelación, la estacionalidad productiva de las praderas se ve afectada por escenarios futuros de cambio climático, aumentando la proporción de forraje producido en los meses de primavera y disminuyendo considerablemente la disponibilidad de forraje en el período estival, producto del aumento del déficit hídrico, del período seco, de las temperaturas extremas y de la radiación solar. Este fenómeno va en aumento en la medida en que avanzan los años en el período analizado (2035-2064).

5.3 ANÁLISIS DE COSTOS DE PRADERAS PERMANENTES

Estimación de costos de mantención y producción de praderas permanentes en el escenario actual

En la zona sur del país el recurso forrajero es la base fundamental de las raciones alimenticias en la producción animal que permite suplir en mayor proporción los requerimientos nutricionales, ya sea en la producción de carne, leche y otros productos de origen pecuario.

Para establecer y mantener en el largo plazo una productividad permanente con un nivel óptimo de fertilidad del suelo que sea capaz de sustentar praderas de alta producción en pastoreo, se necesita, según Undurraga y Bernier (2001), un nivel adecuado de nutrientes con especies y variedades mejoradas que presenten una buena resistencia a acidez para un correcto desarrollo. Una vez ejecutada la fertilización de corrección, solo realizar fertilización de mantención.

Para iniciar y mantener un plan de producción de forraje eficiente y de bajo costo de producción, se debe conocer a priori la disponibilidad de elementos esenciales en el suelo para desarrollar un plan de fertilización que permita minimizar los costos de producción, disponer de una cantidad de nutrientes adecuada para un crecimiento óptimo de la pradera y los distintos recursos forrajeros. Por tanto, el plan de fertilización estará en función de los niveles de fertilidad y condiciones del suelo.

Los planes de fertilización serán considerados para la estimación de costos de producción de praderas permanentes para abordar tres niveles fertilización: de corrección, de mantención y fertilización de producción (INIA, 2006).

En el presente capítulo se desarrollan y analizan los costos directos de producción considerando, según el caso, fertilización de corrección, mantención y producción de praderas permanentes polifíticas en las provincias de Osorno y Llanquihue. Para lo anterior se han considerado tres niveles de fertilidad de suelo (óptimo, medio, bajo) y distintos niveles de producción de materia seca.

Escenario N°1. Nivel de fertilidad óptimo de suelo para la producción de forraje en praderas permanentes polifíticas del sur de Chile

Para la determinación se asumen las siguientes características. Suelos trumaos, característicos de la región de Los Lagos, los cuales permiten sustentar altos niveles de producción de materia seca (MS), requieren niveles óptimos de condición y fertilidad de suelos, los cuales se pueden observar en el Cuadro N°21.

Cuadro N°21. Rango óptimo de fertilidad de suelo para sistemas de producción de praderas de alto nivel de producción.

	Rango Óptimo	
pH Agua	5,8	6,2
pH CaCl2	5,2	5,4
% Sat. Aluminio	1,0	< 5,0
Suma de Bases	11,6	16,9
Ca (cmol+/kg)	9,0	13,0
K (cmol+/kg)	0,5	0,8
Mg (cmol+/kg)	1,8	2,6
Na (cmol+/kg)	0,25	0,5
P (ppm)	20,0	25
S (ppm)	20	25

Fuente: INIA, 2006

Según el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), para la producción de 12.000 kg de materia seca al año, la dosis de fertilización para los distintos nutrientes es:

Cuadro N°22. Dosis anual de fertilización de mantención para un nivel óptimo de fertilidad en un suelo con paraderas permanentes

	Unidad	Rango Anual (unidades/ha)	
Nitrógeno	N	100	120
Fósforo	P2O5	90	110
Potasio	K2O	40	60
Magnesio	MgO	20	30
Azufre	S	30	40
Boro	B	1	2
Cobre	Cu	2	4

Fuente: INIA, 2006

Los costos de producción para una pradera natural permanente, con nivel de producción de 12.000 kg de materia seca por hectárea al año, con un plan de fertilización indicado en el Cuadro N°23, son:

Cuadro N°23. Costos de producción de una pradera permanente con un nivel de producción de 12 ton de MS.

		Cantidad	Unidad	Precio($/Un)	Valor ($)
Mano de obra	Fertilización	1	JH	17.000	17.000
	Control de malezas	1	JH	17.000	17.000
Maquinaria	Trompo abonador	1	ha	20.000	20.000
Fertilizantes	Urea	239	kg	480	114.720
	Super Fosfato Triple	196	kg	640	125.440
	Muriato de Potasio	83	kg	327	27.141
	Sulpomag	222	kg	283	62.826
Herbicida	Glifosato	1	L	8.000	8.000
Otros	Análisis de suelo	1	Unidad	30.000	30.000
Costos Total ($/ha)					**422.127**

(Fuente: elaboración propia)

Respecto a la estructura de costos, el ítem fertilización representa más de 78% de los costos de producción de la materia seca, seguido de la mano de obra la cual representa sólo el 8% de los costos directos de producción.

En términos marginales el costo de producción por kilogramos de materia seca asciende a $35 por kg.

Escenario N°2. Nivel de fertilidad medio de suelo para la producción de forraje en praderas permanentes polifíticas del sur de Chile

Para niveles medios de fertilidad de suelos, parámetros que se pueden observar en el Cuadro N°24, es necesario incorporar en la estructura de costos de producción actividades de fertilización, de corrección de fósforo y enmienda que permitan la corrección del deficiente nivel de potencial hidrógeno o acidez en el suelo, para el incremento de la productividad de la pradera y así obtener, a lo menos, niveles de producción de forraje en torno a 9 toneladas de MS por hectárea año. Para la determinación de las dosis de corrección, se asumen las siguientes características de fertilidad de suelo.

Cuadro N°24. Nivel medio de fertilidad de suelo para sistemas de producción de praderas con un nivel de producción de 9 toneladas de materia seca hectárea año.

	Rango	
pH Agua	5,4	5,6
pH CaCl2	4,8	5,0
% Sat Aluminio	5,0	10
Suma de Bases	5,2	7,8
Ca (cmol+/kg)	4,0	6,0
K (cmol+/kg)	0,3	0,4
Mg (cmol+/kg)	0,8	1,2
Na (cmol+/kg)	0,3	0,4
P (ppm)	12,0	17
S (ppm)	6	12

(Fuente: INIA, 2006)

Dosis de corrección de Fósforo

Para la determinación de la fertilización de corrección de fósforo, se utilizará la metodología descrita por Pinochet (2011), donde el factor de corrección de fósforo está en función de densidad aparente del suelo, la profundidad de muestreo y la capacidad de fijación de fósforo en el suelo.

Donde,
FCO: es el factor de corrección de fósforo
da: es la densidad aparente del suelo
Prof: es la profundidad del suelo
Al^{ext}**:** es la cantidad de aluminio extractable.
Finalmente, la dosis de corrección de fósforo se define por la siguiente ecuación:

$$FCO = \frac{da\left(\frac{gr}{cc}\right) \times Prof(dm)}{1-\left(\frac{0{,}94 \times Al_{ext}}{59{,}6 + Al_{ext}}\right)}$$

Donde,
DCP: es la dosis de corrección de fósforo
Pa: es el nivel de fósforo a alcanzar
Pi: es el nivel de fósforo inicial
FCO: es el factor de corrección de fósforo
t: es el periodo en el cual se realiza el plan de corrección.

$$DCP = \frac{(Pa - Pi) \times FCO \times 2{,}3}{0{,}4 \times t^{0{,}83}}$$

Para efectos de estimación de costos de producción, se utilizará como referencia una cantidad de aluminio intercambiable de 1.280 mg/kg, una densidad aparente de 1,01 gr/cc, una profundidad de suelo de 20 cm y plan de corrección de fósforo de tres años.

Por lo tanto, la dosis de corrección de fósforo es:

$$FCO = \frac{1{,}01\left(\frac{gr}{cc}\right) \times 2(dm)}{1-\left(\frac{0{,}94 * 1.280}{59{,}6 + 1.280}\right)} \qquad FCO = 20\ \frac{Kg\ P}{ppm\ de\ P - Olsen}$$

$$DCP = \frac{(15 - 12) \times 20 \times 2{,}3}{0.4 \times 3^{0{,}83}} \qquad DCP = 140Kg\ \frac{P_2O_5}{ha}$$

Dosis de corrección de Acidez

Para la determinación de la fertilización de corrección de acidez, se utilizará la metodología descrita por Pinochet (2011), donde el factor de corrección de fósforo está en función de densidad aparente del suelo, la profundidad de muestreo y la capacidad de fijación de fósforo en el suelo.

$$Dosis\ de\ Cal\ \left(\frac{Ton}{ha}\right) = \frac{\triangle pH}{8{,}3 \times (1-exp(-0.09(MO-0.9)) \times da * Prof)}$$

Donde,
$\triangle$pH:(pHa-pHi), potencial Hidrógeno a alcanzar menos potencial Hidrógeno inicial
MO: cantidad de materia orgánica en el suelo (%)
da: densidad aparente del suelo (gr/cc)
Prof: profundidad del suelo (dm)

Para efectos de cálculo de la dosis de Cal se considera pH a alcanzar de 5,8; un pH inicial de 5,4 y una cantidad de materia orgánica de 7,8%.
Entonces,

$$Dosis\ de\ Cal\ \left(\frac{Ton}{ha}\right) = \frac{(5{,}8 - 5{,}4)}{\frac{1}{8{,}3 \times (1-exp(-0.09(7{,}8 - 0.9)) \times 1{,}01(gr/cc) * 2dm)}}$$

$$Dosis\ de\ Cal\ \left(\frac{Ton}{ha}\right) = 3{,}1\ Ton\ \left(\frac{CaCo_3}{ha}\right)$$

Los costos de producción para una pradera natural permanente, con nivel de producción de 9.000 kg de materia seca son (Cuadro N°25):

Cuadro N°25. Costos de producción de una pradera permanente con un nivel de producción de 9 ton de MS hectárea año.

		Cantidad	Unidad	Precio($/Un)	Valor ($)
Mano de obra	Fertilización	1	JH	17.000	17.000
	Control de malezas	1	JH	17.000	17.000
Maquinaria	Trompo abonador	1	ha	20.000	20.000
Fertilizantes	Urea	179	kg	480	86.440
	Super Fosfato Triple	451	kg	640	288.862
	Muriato de Potasio	63	kg	327	20.356
	Sulpomag	167	kg	283	47.200
	Carbonato de calcio	3.100	kg	41	127.100
Herbicida	Glifosato	1	L	8.000	8.000
Otros	Análisis de suelo	1	Unidad	30.000	30.000
Costos Total ($/ha)					**661.958**

(Fuente: elaboración propia)

Respecto a la estructura de costos, el ítem fertilización representa más del 86% de los costos de producción de la materia seca seguido de la mano de obra, la cual representa sólo el 5% de los costos directos de producción.

En términos marginales el costo de producción asciende a $73 por kg de materia seca.

Escenario N°3. Nivel de fertilidad bajo de suelo para la producción de forraje en praderas permanentes polifíticas del sur de Chile

Para niveles medios de fertilidad de suelos, parámetros que se puede observar en el Cuadro N°26, es necesario incorporar en la estructura de costos de producción actividades de fertilización de corrección de fósforo y enmienda que permitan la corrección del deficiente nivel de potencial hidrógeno o acidez en el suelo para el incremento de la productividad de la pradera y así obtener, a lo menos, niveles de producción de forraje en torno a 6 toneladas de MS por hectárea año. Para la determinación de las dosis de corrección, se asumen las siguientes características de fertilidad de suelo.

Cuadro N°26. Nivel medio de fertilidad de suelo para sistemas de producción de praderas con un nivel de producción de 6 toneladas de materia

	Rango	
pH Agua	5,2	5,5
pH CaCl2	4,6	4,9
% Sat Aluminio	12,0	>15,0
Suma de Bases	3,0	4,6
Ca (cmol+/kg)	2,2	3,4
K (cmol+/kg)	0,2	0,4
Mg (cmol+/kg)	0,5	0,6
Na (cmol+/kg)	0,09	0,15
P (ppm)	<5	10
S (ppm)	<5	10

(Fuente: INIA, 2006)

Dosis de corrección de Fósforo

Para la determinación de la fertilización de corrección de fósforo, se utilizará la metodología descrita por Pinochet (2011) donde el factor de corrección de fósforo está en función de densidad aparente del suelo, la profundidad de muestreo y la capacidad de fijación de fósforo en el suelo.

$$FCO = \frac{da\left(\frac{gr}{cc}\right) \times Prof\,(dm)}{1-\left(\frac{0{,}94 * Al_{ext}}{59{,}6 + Al_{ext}}\right)}$$

Donde,
FCO: es el factor de corrección de fósforo
Da: es la densidad aparente del suelo
Prof: es la profundidad del suelo
Al_{ext}: es la cantidad de aluminio extractable.

Finalmente, la dosis de corrección de fósforo se define por la siguiente ecuación:

$$DCP = \frac{(Pa - Pi) \times FCO \times 2{,}3}{0{,}4 \times t^{0{,}83}}$$

Donde,
DCP: es la dosis de corrección de fósforo
Pa: es el nivel de fósforo a alcanzar
Pi: es el nivel de fósforo inicial
FCO: es el factor de corrección de fósforo y
t: es el periodo en el cual se realiza el plan de corrección.

Para efectos de estimación de costos de producción, se utilizará como referencia una cantidad de aluminio intercambiable de 1.280 mg/kg, una densidad aparente de 1,01 gr/cc, una profundidad de suelo de 20 cm y plan de corrección de fósforo de 4 años.

Por lo tanto, la dosis de corrección de fósforo es:

$$FCO = \frac{1{,}01\left(\frac{gr}{cc}\right) \times 2\,(dm)}{1-\left(\frac{0{,}94 * 1.280}{59{,}6 + 1.280}\right)} \qquad FCO = 20\ \frac{Kg\ P}{ppm\ de\ P - Olsen}$$

$$DCP = \frac{(9 - 5) \times 20 \times 2{,}3}{0.4 \times 4^{0{,}83}} \qquad DCP = 146\ Kg\ \frac{P_2O_5}{ha}$$

Corrección de Acidez

Para la determinación de la fertilización de corrección de acidez, se utilizará la metodología descrita por Pinochet (2011) donde el factor de corrección de fósforo está en función de densidad aparente del suelo, la profundidad de muestreo y la capacidad de fijación de fósforo en el suelo.

$$Dosis\ de\ Cal\ \left(\frac{Ton}{ha}\right) = \frac{\triangle pH}{\frac{1}{8{,}3 \times (1 - exp(-0.09(MO - 0.9)) \times da * Prof)}}$$

Donde,
▵pH: (pHa-pHi), potencial Hidrógeno a alcanzar menos potencial Hidrógeno inicial
MO: cantidad de materia orgánica en el suelo (%)
da: densidad aparente del suelo (gr/cc)
Prof: profundidad del suelo (dm)

Para efectos de cálculo de la dosis de Cal se considera pH a alcanzar de 5,8; un pH inicial de 5,4 y una cantidad de materia orgánica de 7,8%.

Entonces,

$$\text{Dosis de Cal } \left(\frac{Ton}{ha}\right) = \frac{(5{,}8 - 5{,}2)}{\dfrac{1}{8{,}3 \times (1-\exp(-0.09(7{,}8 - 0.9)) \times 1{,}01(gr/cc) * 2dm}}$$

$$\text{Dosis de Cal } \left(\frac{Ton}{ha}\right) = 4{,}7\ Ton\left(\frac{CaCO_3}{ha}\right)$$

Cuadro N°27. Costos de producción de una pradera permanente con un nivel de producción de 6 ton de MS hectárea año

		Cantidad	Unidad	Precio($/Un)	Valor ($)
Mano de obra	Fertilización	1	JH	17.000	17.000
	Control de malezas	1	JH	17.000	17.000
Maquinaria	Trompo abonador	1	ha	20.000	20.000
Fertilizantes	Urea	119	kg	480	57.120
	Super Fosfato Triple	417	kg	640	266.880
	Muriato de Potasio	42	kg	327	13.734
	Sulpomag	111	kg	283	26.418
	Carbonato de calcio	4.700	kg	41	192.700
Herbicida	Glifosato	1	L	8.000	8.000
Otros	Análisis de suelo	1	Unidad	30.000	30.000
Costos Total ($/ha)					**648.852**

(Fuente: elaboración propia)

Respecto a la estructura de costos, el ítem fertilización representa más de 86% de los costos de producción de la materia seca seguido de la mano de obra, la cual representa sólo el 5% de los costos directos de producción.

En términos marginales el costo de producción asciende a $108 por kg de materia seca.

Estimación de costos de producción de praderas permanentes, por unidad fisiográfica, proyectada al periodo 2035 - 2045

Para la estimación de los costos directos de producción en praderas polifíticas se han considerado niveles de producción de materia seca por hectárea, según los cambios en variables climáticas determinados en el capítulo de potencial productivo por clima a través del modelamiento, análisis de tendencias e indicadores climáticos, para el periodo 2035 - 2045. Los niveles de producción de materia seca por hectárea se pueden observar en el Cuadro N°28.

Cuadro N°28. Estimación de producción de materia seca por hectárea para el periodo 2035 - 2045 en la Cordillera de la Costa y Depresión Intermedia de las provincias de Osorno y Llanquihue

	Provincia de Osorno		Provincia de Llanquihue	
Año	Precordillera de la Costa (ton MS/ha/año)	Valles Centrales (ton MS/ha/año)	Precordillera de la Costa (ton MS/ha/año)	Valles Centrales (ton MS/ha/año)
2035	10,2	10,0	7,9	9,5
2036	10,6	10,2	8,0	9,6
2037	11,7	11,9	10,1	11,4
2038	11,4	11,2	8,9	10,6
2039	13,7	12,4	14,7	13,1
2040	11,6	11,5	8,4	11,0
2041	9,6	9,3	8,9	11,1
2042	10,7	9,9	6,6	8,2
2043	10,2	9,6	8,6	9,4
2044	10,8	10,7	7,5	9,2
Promedio (ton MS/ha/año)	**11,1**	**10,7**	**9,0**	**10,3**
Desviación estándar (ton MS/ha/año)	**1,1**	**1,05**	**2,2**	**1,4**
Coeficiente de variación (%)	**10,5**	**9,8**	**24,5**	**13,8**
Mínimo (ton MS/ha/año)	**9,6**	**9,3**	**6,6**	**8,2**
Máximo (ton MS/ha/año)	**13,7**	**12,4**	**14,7**	**13,1**

(Fuente: elaboración propia)

De acuerdo con el Estudio Agrológico correspondiente a la región de Los Lagos realizado por Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN) y datos aportados por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), a través del SIRDS-S 2018, para efectos de corrección de fertilidad de suelos, las cifras promedio de densidad aparente, fósforo Olsen, saturación de aluminio y potencial de hidrógeno (pH) para la cordillera de la Costa y Valles Centrales, se pueden observar en el Cuadro N°29.

Cuadro N°29. Valores promedio de densidad aparente, fósforo Olsen, saturación de aluminio y potencial hidrógeno en la cordillera de la costa y depresión intermedia de las provincias de Osorno y Llanquihue

	Provincia de Osorno		Provincia de Llanquihue	
	Precordillera de la Costa	Valles Centrales	Precordillera de la Costa	Valles Centrales
Densidad Aparente (gr/cm³)	0,98	0,87	0,86	0,68
Fósforo Olsen (ppm ó mg/Kg)	8,00	20,00	7,00	9,20
Saturación de Aluminio (%)	54,00	9,85	56,00	27,30
Potencial de Hidrógeno (pH)	5,20	5,70	5,10	5,40

(Fuente: estudio Agrológico región de Los Lagos (CIREN, 2012) y SAG (SIRSD-S, 2018))

Dosis de corrección de fósforo y acidez en el suelo

La corrección de la fertilidad es una actividad frecuente en los suelos volcánicos de la zona sur de Chile: trumaos, rojos arcillosos, pardo arcillosos y ñadis. Estos provienen de piroclastos que incluyen: cenizas, arenas, pómez. La corrección de disponibilidad de fósforo en los suelos del sur de Chile es necesaria, porque el aluminio extractable remueve parcialmente los grupos de aluminio estructural de las arcillas y óxidos responsable de la absorción de fósforo (Vera, 2004).

Según IREN-UACH (1978) citado por Vera (2004), las principales características químicas de los suelos de origen volcánico son:

- Alta reacción ácida a ligeramente ácida, predominando un potencial hidrógeno fuertemente alto.
- Fijación de fósforo extremadamente alta.
- Niveles de fósforo disponible o aprovechable bajos, disminuyendo en profundidad.
- Los niveles de materia orgánica total y oxidable son muy altos, disminuyendo en profundidad.
- Poseer una alta capacidad Buffer, con necesidades de calcio muy altas.
- Altos en niveles de aluminio y fierro extractable, aumentando en profundidad.

Para efectos de estimación de los costos de producción, se utilizará como referencia una cantidad de aluminio intercambiable de 1.280 mg/Kg, la densidad aparente y el plan de corrección de fósforo a tres años.

Las dosis de corrección de fósforo y de acidez en las distintas unidades fisiográficas de las provincias de Osorno y Llanquihue, calculadas según la metodología descrita en el presente capítulo, se pueden observar en el Cuadro N°30.

Cuadro N°30. Dosis de corrección de fósforo y acidez (CaCO3) en distintas zonas fisiográficas de las provincias de Osorno y Llanquihue

	Provincia de Osorno		Provincia de Llanquihue	
	Precordillera de la Costa	Valles Centrales	Precordillera de la Costa	Valles Centrales
Dosis de corrección de fósforo (Unidades de P2O5/ha)	138	0	80	32
Dosis de corrección de acidez (Ton CaCO3/ha)	4,5	0,7	4,6	2,1
Profundidad de suelo bajo muestreo (cm)	20	20	20	20

Fuente: elaboración propia

Para el caso de las enmiendas calcáreas, la dosis de corrección por hectárea al año es de 1.000 kg. Según los niveles de carbonato de calcio señalados en el Cuadro N°30, el plan de corrección va desde uno a cinco años (Filippi, 2017).

En el Cuadro N°31 se puede observar una estimación de los costos directos de producción de una pradera polifítica para el periodo 2035 - 2045.

Cuadro N°31. Costos de producción estimados para una pradera permanente con un nivel de producción de 11 ton de MS hectárea año en la cordillera de la Costa de la provincia de Osorno.

		Cantidad	Unidad	Precio($/Un)	Valor ($)
Mano de obra	Fertilización	1	JH	17.000	17.000
	Control de malezas	1	JH	17.000	17.000
Maquinaria	Trompo abonador	1	ha	20.000	20.000
Fertilizantes	Urea	221	Kg	452	99.892
	Super Fosfato Triple	481	Kg	640	307.840
	Muriato de Potasio	77	Kg	411	31.647
	Cal	1.000	Kg	92	92.000
	Sulpomag	205	Kg	459	94.161
Herbicida	Glifosato	1	L	8.000	8.000
Otros	Análisis de suelo	1	Unidad	30.000	30.000
Costos Total ($/ha)					**717.540**

(Fuente: elaboración propia)

Respecto a la estructura de costos, el ítem fertilización representa más de 87% de los costos de producción de la materia seca, donde la fertilización fosfatada explica un 42% de los costos totales. El costo en mano de obra representa un 4,7% de los costos directos de producción.

En términos marginales, el costo de producción asciende aproximadamente a $65 por kg de materia seca.

Respecto, a los costos de producción en los Valles Centrales o Depresión Intermedia de la provincia de Osorno y con un nivel de producción de 10,7 ton de MS por hectárea, se puede mencionar que los principales ítems en la estructura de costo en la producción de MS por hectárea son: fertilización con una participación relativa de un 81% de los costos directos de producción, mano de obra con una participación de un 7% de los costos totales (Cuadro N°32).

Dado los antecedentes antes expuestos, se pude estimar que el costo por kg de materia seca, en esta unidad fisiográfica, está en torno a los $45.

Cuadro N°32. Costos de producción estimados para una pradera permanente con un nivel de producción de 10,7 ton de MS hectárea año en Depresión Intermedia de la provincia de Osorno.

		Cantidad	Unidad	Precio($/Un)	Valor ($)
Mano de obra	Fertilización	1	JH	17.000	17.000
	Control de malezas	1	JH	17.000	17.000
Maquinaria	Trompo abonador	1	ha	20.000	20.000
Fertilizantes	Urea	213	Kg	452	96.276
	Super Fosfato Triple	175	Kg	640	112.000
	Muriato de Potasio	74	Kg	411	30.414
	Cal	700	Kg	92	64.400
	Sulpomag	198	Kg	459	90.882
Herbicida	Glifosato	1	L	8.000	8.000
Otros	Análisis de suelo	1	Unidad	30.000	30.000
Costos Total ($/ha)					**485.972**

(Fuente: elaboración propia)

Respecto, a los costos de producción en la cordillera de la Costa de la provincia de Llanquihue y con un nivel de producción de 9,0 ton de MS por hectárea, se puede mencionar que los principales ítems en la estructura de costo por hectárea son: fertilización con una participación relativa de un 84%, donde el costo de la fertilización con fósforo, considerando dosis de corrección como de mantención - producción, representan más de un 35%. En orden de importancia le siguen la mano de obra con una participación en los costos totales de un 6% y máquinas y equipos con un 3,5% de los costos totales de producción (Cuadro N°33).

Cuadro N°33. Costos de producción estimados para una pradera permanente con un nivel de producción de 9,0 ton de MS hectárea año en la cordillera de la Costa de la provincia de Llanquihue.

		Cantidad	Unidad	Precio($/Un)	Valor ($)
Mano de obra	Fertilización	1	JH	17.000	17.000
	Control de malezas	1	JH	17.000	17.000
Maquinaria	Trompo abonador	1	ha	20.000	20.000
Fertilizantes	Urea	179	kg	452	80.908
	Super Fosfato Triple	321	kg	640	205.440
	Muriato de Potasio	62	kg	411	25.482
	Cal	1.000	kg	92	92.000
	Sulpomag	167	kg	459	76.653
Herbicida	Glifosato	1	L	8.000	8.000
Otros	Análisis de suelo	1	Unidad	30.000	30.000
Costos Total ($/ha)					**572.483**

(Fuente: elaboración propia)

Dado los antecedentes antes expuestos, se pude estimar que el costo por kg de materia seca, en esta unidad fisiográfica, está en torno a los $64.

Finalmente, los costos de producción asociados a praderas polifíticas de los Valles Centrales de la provincia de Llanquihue y con un nivel de producción estimada para el periodo 2035 - 2044 de 10,3 ton de MS por hectárea, se puede mencionar que los principales ítems en la estructura de costos por hectárea son: fertilización con una participación relativa de un 83%, donde el costo de la fertilización con fósforo, considerando dosis de corrección como de mantención - producción, representan más de un 28%. En orden de importancia le siguen la mano de obra con una participación en los costos totales de un 6,2% y máquinas y equipos con un 3,7% de los costos totales de producción (Cuadro N°34).

Cuadro N°34. Costos de producción estimados para una pradera permanente con un nivel de producción de 10,3 ton de MS hectárea año en el Valle Central de la provincia de Llanquihue.

		Cantidad	Unidad	Precio($/Un)	Valor ($)
Mano de obra	Fertilización	1	JH	17.000	17.000
	Control de malezas	1	JH	17.000	17.000
Maquinaria	Trompo abonador	1	ha	20.000	20.000
Fertilizantes	Urea	205	kg	452	92.660
	Super Fosfato Triple	238	kg	640	152.320
	Muriato de Potasio	71	kg	411	29.181
	Cal	1.000	kg	92	92.000
	Sulpomag	191	kg	459	87.669
Herbicida	Glifosato	1	L	8.000	8.000
Otros	Análisis de suelo	1	Unidad	30.000	30.000
Costos Total ($/ha)					**545.830**

(Fuente: elaboración propia)

En términos marginales, el costo de producción asciende aproximadamente a $53 por kg de materia seca.

Por lo tanto, se puede concluir que dado los niveles de producción de materia seca, estimada para el periodo 2035 - 2045, tanto para las provincias de Osorno y Llanquihue, los menores costos de producción se observan en la Depresión Intermedia o Valles Centrales de las provincias de Osorno y Llanquihue con un costo medio de $45 y $53 por kg de MS, respectivamente.

Los principales ítems, en las distintas estructuras de costos estimados son: fertilización, mano de obra y maquinaria y equipos, con una participación promedio de 83,8%; 6,0% y 3,5%, respectivamente.

La fertilización fosfatada, tanto como para corrección y mantención - producción, representa los mayores costos directos de producción de forraje.

6. POTENCIAL PRODUCTIVO DE TRES ESPECIES SUPLEMENTARIAS COMO ALTERNATIVA DE ALIMENTACIÓN DEL GANADO

En sistemas de producción bovina cuya alimentación se basa en las praderas, tanto la producción de leche como la producción de carne, va acompañada de una buena eficiencia en la utilización del forraje producido. En condiciones naturales, el rendimiento del forraje es marcadamente estacional, con valores muy bajos en invierno y principios de primavera, lo que mejora en época estival. La oferta irregular de la pradera a través del año necesita de opciones suplementarias que permitan manejar la estacionalidad para compensar los requerimientos del ganado, sobre todo para cubrir las necesidades de las vacas durante el periodo de lactancia en el verano.

Una alternativa efectiva para mantener la productividad son los cultivos suplementarios cuya producción, tanto en términos de volumen como en época de producción y calidad nutritiva, complementan la alimentación.

Las especies propuestas en el presente estudio y que son analizadas desde el punto de vista de los suelos y clima son: nabo forrajero, ballica de rotación corta y maíz para silo, con una breve reseña técnica basada en estudios realizados por investigadores a nivel nacional. Al análisis se incluye una estimación de costos de producción de cada especie.

Maíz silo

El maíz de ensilaje es una opción de alimento de alta calidad en los sistemas productivos de la zona sur. Este cultivo se encuentra distribuido ampliamente en la zona sur del país, siendo su principal destino la elaboración de ensilaje. El ensilaje de maíz es un componente importante en la dieta de las vacas, debido a que constituye una opción de bajo costo por unidad energética y es el perfecto complemento en las raciones de los sistemas intensivos de estabulación, estabulación temporal y pastoril. Los productores que establecen este cultivo suplementario no solo buscan alcanzar un buen rendimiento de materia seca: 20 a 26 ton MS/ha, sino que también un alimento de alto valor nutricional (Demanet, 2017).

En general el maíz requiere condiciones hídricas, de temperatura y de iluminación adecuadas para su crecimiento. Se trata de una especie de día corto, es decir, que es inducida a florecer con días menores a 10 horas de luz. Sin embargo y debido a su gran adaptación, tolera también días largos con 12 a 14 horas de luz.

En cuanto a las necesidades nutricionales de este cultivo, se puede señalar que son mayores a las del maíz para grano, debido a que en este caso lo que se busca es maximizar el crecimiento vegetativo. La recomendación de fertilización dependerá de los niveles de nutrientes presentes en el suelo y la extracción del cultivo. Por lo general, el maíz para silo se produce donde existe ganado. En estas condiciones los suelos reciben aplicaciones de estiércol. Si a esto se suman rotaciones con leguminosas, los suelos estarían mejorando sus niveles de nutrientes, con requerimientos de fertilización menores. Por lo tanto, al planificar los programas de fertilización en base a análisis de suelos, aportes de estiércol y la rotación con otros cultivos, podría considerarse una reducción en los costos del programa de fertilización, manteniendo producciones óptimas. En el capítulo de estimación de costos de producción de maíz silo se presentan algunos valores estimativos de fertilización.

Debido a los cambios observados en el clima, y junto con ello a una disminución en los montos de las precipitaciones, los productores han debido implementar sistemas de riego tecnificado con el objeto de optar en forma regular a un rendimiento adecuado de maíz. De acuerdo con lo señalado por Demanet y Canales(2020), por cada milímetro de agua caída sobre el cultivo, se producen entre 30 y 40 kg MS/ha de maíz para ensilaje. Esto significa que entre el periodo de siembra a la madurez fisiológica es necesario tener una precipitación (lluvia o riego) de 500 mm si se quiere lograr a 20 ton MS/ha y 700 mm para una producción de 28 ton MS/ha. A continuación, en el Cuadro N°35 se resumen algunas características y requerimientos del maíz para ensilaje.

Cuadro N°35. Principales características y requerimientos del maíz para silo

Condiciones climáticas	Requiere de condiciones hídricas, de temperatura (18 a 28°C) y de iluminación adecuadas para su crecimiento. Es muy sensible a las bajas temperaturas, siendo el periodo de emergencia a floración el de máxima sensibilidad. La temperatura del suelo para germinación de semilla debe estar entre 15 y 20°C; temperaturas menores hasta 12°C producen un retardo y disminución de la germinación (Saavedra y González, 2014).
Condiciones edáficas	Debe cultivarse en suelos de más de 60 cm, sin napas freáticas o estratos duros en dicha profundidad. El rango de pH óptimo debe estar entre 5,6 a 6,5. En cuanto a las texturas, los rendimientos más altos se logran en suelos de textura mediana a pesada (francos o franco arcillosos) (Saavedra y González, 2014). El maíz puede prosperar en suelos con un drenaje imperfecto, pero óptimo corresponde a un suelo sin problemas de drenaje (Villaseca, 1987).
Semilla	Para la producción de ensilaje, la semilla que se utiliza es híbrida, resultado del cruzamiento controlado de líneas puras seleccionadas. La agencia de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO, cataloga los híbridos en 10 grupos según su precocidad, y se basa en los días que se requieren entre la siembra y la madurez fisiológica (30 a 35% de humedad en el grano). Para la zona comprendida entre Temuco a Puerto Montt, el índice FAO se sitúa entre 180 y 700 (Demanet y Canales, 2020).

Periodo de siembra	El maíz se establece en el mes de octubre, cuando la temperatura del suelo es superior a 10°C. Temperaturas inferiores producen germinaciones y emergencias defectuosas que en algunos híbridos pueden reducir la población de plantas hasta en un 60%, ocasionando una pérdida irreversible de producción. Algunas semillas de híbridos poco tolerantes al frío germinan desarrollando sólo la radícula y no la plántula completa. Para reducir este riesgo se usan semillas con valor de cold test superior al 90% (Demanet y Canales, 2020).

Ballica de rotación corta

Las ballicas de rotación corta, anuales y bianuales, tienen rápido crecimiento inicial y un elevado potencial de rendimiento de forraje de alta calidad.

Las ballicas anuales son una buena alternativa por ser una especie de rápido establecimiento, alta producción y excelente calidad de forraje. Generan sola o asociada a cereales de grano pequeño, un buen volumen de forraje para la utilización temprana durante otoño e invierno, además de lograr un rendimiento superior a las ballicas perennes en la primavera y para elaboración de ensilaje de alta calidad. Por otro lado, están las ballicas bianuales las cuales, debido a su alta capacidad productiva y versatilidad, son sembradas con el objetivo de lograr un mayor rendimiento en invierno y alta producción y calidad en los cortes de primavera (Demanet, s/a).

Es posible establecerlas con éxito en suelos de mediana a baja fertilidad inicial, como precultivo de praderas permanentes. Esto, siempre y cuando reciban una fertilización abundante, especialmente con fósforo y potasio, que permita compensar la extracción de nutrientes del suelo y dejar excedentes para la pradera posterior. Sin embargo, debido a que su corta duración exige reponerlas frecuentemente, estas ballicas suelen tener un mayor costo por kilogramo de forraje producido que las praderas permanentes. De ahí que se considera que no debieran ser la base de ningún sistema ganadero en la zona sur, sino que más bien, un complemento (Parga, 2008).

Cuadro N°36. Aspectos generales en cuanto a la siembra de ballicas anuales y bianuales

Ballica anual

Sistema de siembra	Las ballicas anuales deben ser sembradas bajo el sistema de cero labranzas con el objetivo de lograr obtener un piso firme al momento de talar en invierno.
Periodo de siembra	La siembra se debe realizar en polvo o después de las primeras lluvias de fines de verano, en el mes de febrero o marzo. El retraso en la fecha de siembra puede significar la pérdida de hasta un 90% de la producción invernal.
Dosis de siembra	La dosis de semilla es 30 kg/ha en ballicas diploides y 35 kg/ha en ballicas tetraploides en siembras de cero labranza. En establecimiento convencional con preparación de suelos, la dosis se disminuye a 25 kg/ha en diploides y 30 kg/ha en tetraploides.

Ballica anual

Cultivares	Los principales cultivares comercializados en la zona sur son: Adrenaliona, Andy, Bill, Tama, Winter Star.

Ballica bianual

Sistema de siembra	La siembra de ballicas bianuales solas o asociadas a otras especies, es recomendable realizarlas bajo el sistema de cero labranza, con el objetivo de lograr obtener un suelo firme en los primeros talajeos.
Periodo de siembra	En siembras de fines de verano, se establece sola o asociada con avena y trébol rosado con el objetivo de producir un alto nivel de forraje invernal, que es destinado a soiling o pastoreo y, posteriormente, es rezagado para producción de ensilaje durante el periodo primavera-verano. En las siembras de primavera, también se puede establecer sola o asociada a trébol rosado y el principal objetivo es la producción de soiling o ensilaje de calidad, dada la ausencia de espigas en la planta.
Dosis de siembra	La dosis de semilla es 25 kg/ha en ballicas diploides, y 30 kg/ha en ballicas tetraploides. En caso de asociarse las ballicas tetraploides a trébol rosado la dosis es de 25 kg/ha.
Cultivares	En el mercado nacional se comercializan los siguientes cultivares de ballicas bianuales: Concord, Crusader, Sonik, Status, Tabú, Warrior, Bolero, Dominó, Edison, Monblanc, Tonyl Virgyl.

Fuente: adaptado de Demanet, s/a.

En general, los cultivares diploides presentan una mayor rusticidad que los tetraploides producto de la mayor densidad de macollos por metro cuadrado. Estos generan un piso más firme con mayor densidad radical en menos tiempo que los tetraploides, característica que les permite soportar mejor las condiciones extremas a que son sometidas las pasturas durante el pastoreo invernal (Demanet y Canales, 2020).

Lo anterior determina que en suelos húmedos, plásticos y blandos es apropiado el uso de ballicas de rotación de tipo diploides. En suelos firmes y con buen drenaje ambos cultivares tendrán un buen comportamiento bajo condiciones de pastoreo durante el invierno. Por otro lado, los cultivares tetraploides de hoja ancha y menor número de macollos por metro cuadrado, permiten obtener una asociación más balanceada con trébol rosado. La agresividad de los cultivares diploides disminuyen las opciones de desarrollo del trébol en el año de establecimiento (Demanet, s/a).

La profundidad de siembra es un factor determinante en el éxito del establecimiento de una pastura. Las ballicas poseen un tamaño de semilla pequeño lo que

determina que estas se ubiquen a una profundidad no superior a 1 cm. A mayor profundidad, la emergencia de las plántulas se reduce pudiendo alcanzar valores inferiores a 50% (Demanet y Canales, 2020).

Durante el pastoreo, es necesario considerar una estructura de entrega en el potrero con franjas largas y angostas limitadas con cerco eléctrico. Este manejo evita la destrucción de plantas por pisoteo, permite excluir del pastoreo a pasturas que son afectadas por heladas y con inundaciones temporales, favorecer el rebrote y recuperación de la pastura, entre otros.

Nabo forrajero (*Brassica campestre spp. rapa o rapifera)*

Las brassicas son una alternativa forrajera que en verano permite evitar el sobrepastoreo y liberar superficies destinadas a conservar. El nabo forrajero *(Brassica rapa)* es una especie herbácea de 30-120 cm, bianual, de raíz tuberosa, glabra o con pelos dispersos, que surge como una alternativa para el periodo estival, despertando un interés especial. Su rápido crecimiento en primavera le permite alcanzar altas producciones de forraje (hojas y raíces) de elevada calidad nutritiva en los meses de verano, por lo que se utiliza para la suplementación en sistemas lecheros a base de praderas (Parga *et al*, 2009). Asociado a su alta calidad, se encuentra su bajo costo de producción y cosecha, factor determinante en la mantención del nivel de producción de forraje voluminoso y sustitución de la disminución de la calidad nutritiva que experimenta la pradera en el periodo de verano en la zona sur (Demanet y Canales, s/a). Por sus aportes en energía y proteína, sirve para reemplazar o disminuir el uso de concentrado, evita o disminuye el sobrepastoreo y ayuda a elevar la fertilidad del suelo (Torres y Lobos, 2015).

Las vacas inicialmente suelen tener un rechazo a este tipo de vegetal, pero luego de dos a tres días existe un acostumbramiento a su consumo (Demanet y Canales, s/a). Su consumo no debiera exceder el 30% de la dieta en base a materia seca consumida por día (Lanuza, 2011). Un exceso puede producir problemas a nivel metabólico en el animal (Barry, 2013). Algunas consideraciones durante el pastoreo son: el tiempo durante el cual se realiza no debe ser de más de 3 horas, los animales deben ingresar sin hambre, se debe utilizar cerco eléctrico en franjas cortas cambiándolo al menos 2 veces al día y evitar pastoreo con lluvias intensas (Torres y Lobos, 2015).

De acuerdo con los requerimientos de suelos, los nabos se desarrollan bien en condiciones de textura liviana, bien drenados, moderada profundidad y buena fertilidad. En cuanto a la fertilización, el primer factor a considerar es la corrección de acidez y la neutralización de los fertilizantes nitrogenados acidificantes. Como referencia señalada por Demanet y Canales (s/a), dado los suelos donde se establece el nabo habitualmente, es necesario aplicar al menos 500 kg de dolomita + 500 kg de yeso/ha, con el objeto de generar una adecuada neutralización de los fertilizantes nitrogenados acidificantes y nutrir al cultivo de calcio, magnesio y azufre. Cuando los suelos presentan acidez, la dosis sube a 1 ton de dolomita + 1 ton yeso por hectárea.

A continuación, en el Cuadro N°37 se presentan las principales características y requerimientos del nabo forrajero.

Cuadro N°37. Principales características y requerimientos del nabo forrajero

Condiciones climáticas	Requieren de condiciones de temperatura óptimas en la época de germinación. Debe sembrarse una vez que el suelo alcanza 10 °C, no obstante, una vez establecido soporta de buena forma altas temperaturas y periodos prolongados de sequía.
Condiciones edáficas	Suelo de buena fertilidad y profundidad moderada. Se adapta bien a aquellos de textura liviana y no soporta suelos con inundaciones temporales o mal drenados. El pH óptimo debe estar en un rango cercano a la neutralidad.
Época de siembra	Zona Sur en octubre, para su utilización a partir del 15 de diciembre hasta el 15 de marzo Dosis: Voleo 4 kg/ha, En línea 3 kg/ha.
Utilización	Bajo pastoreo con franja diaria, con el objetivo de disminuir las pérdidas por pastoreo y aumentar la eficiencia de utilización. Se consume primero con animales de alto requerimiento y se repasa con los otros animales con una alta utilización y eficiencia de pastoreo.

Rendimientos propuestos para cultivos suplementarios

De acuerdo con su ubicación fisiográfica, y mediante criterio de expertos, se prepararon los siguientes valores de rendimientos de las tres especies suplementarias consideradas, los que serán utilizados para analizar los distintos niveles de aptitud productiva que serán descritos en el capítulo siguiente.

Cuadro N°38. Rendimientos propuestos para cultivos suplementarios

	Maiz para silo (t MS/ha)			Nabo forrajero (t MS/ha)			Ballica anual (t MS/ha)		
	Bajo	**Bueno**	**Muy bueno**	**Bajo**	**Bueno**	**Muy bueno**	**Bajo**	**Bueno**	**Muy bueno**
Precordillera de la Costa	<11	11	15	<4	5,5	8	<4	5,5	9
Valles centrales	<20	20	28	7	10	14	8	10	16
Precordillera de Los Andes	<12	12	21	<5	7,5	10,5	<6	7,5	12

Fuente: elaboración propia

6.1 POTENCIAL PRODUCTIVO POR SUELOS EN LA PRODUCCIÓN DE ESPECIES SUPLEMENTARIAS

6.1.1 MAÍZ PARA SILO

Aptitud de suelos para Maíz silo por parámetros químicos: P Olsen, Saturación de aluminio, pH

Fósforo Olsen

De acuerdo con la Figura N°36, se observa una gran área con categoría sin limitaciones por contenido de P Olsen para maíz silo, comprendida entre las comunas de San Pablo, Osorno, Puyehue, Puerto Octay, Frutillar, Purranque y parte de San Juan de la Costa. Una extensa zona con severas limitaciones se extiende principalmente por la vertiente oriental de la cordillera de la Costa hacia el sur y al oriente (Río Negro, Purranque, Fresia, Los Muermos, Puerto Varas, Puerto Montt, Maullín, Calbuco). Los rangos considerados se presentan en el Cuadro N°7 por categoría y superficie.

Cuadro N°39. Aptitud por suelos (hectáreas) según P Olsen, en las provincias de Osorno y Llanquihue.

Rangos de P Olsen	Categoría	Superficie (hectáreas)	Distribución porcentual (%)
mayor a 9 ppm	Sin limitaciones	490.604,6	27
5 a 9 ppm	Con limitaciones	56.966,4	3
menor a 5 ppm	Severas limitaciones	520.102,2	29
	No suelos*	278.993,6	16
	Sin información	448.753,8	25

(*) La categoría No suelos incluye a las categorías No apto y No corresponde/excluido. (Fuente: elaboración propia.)

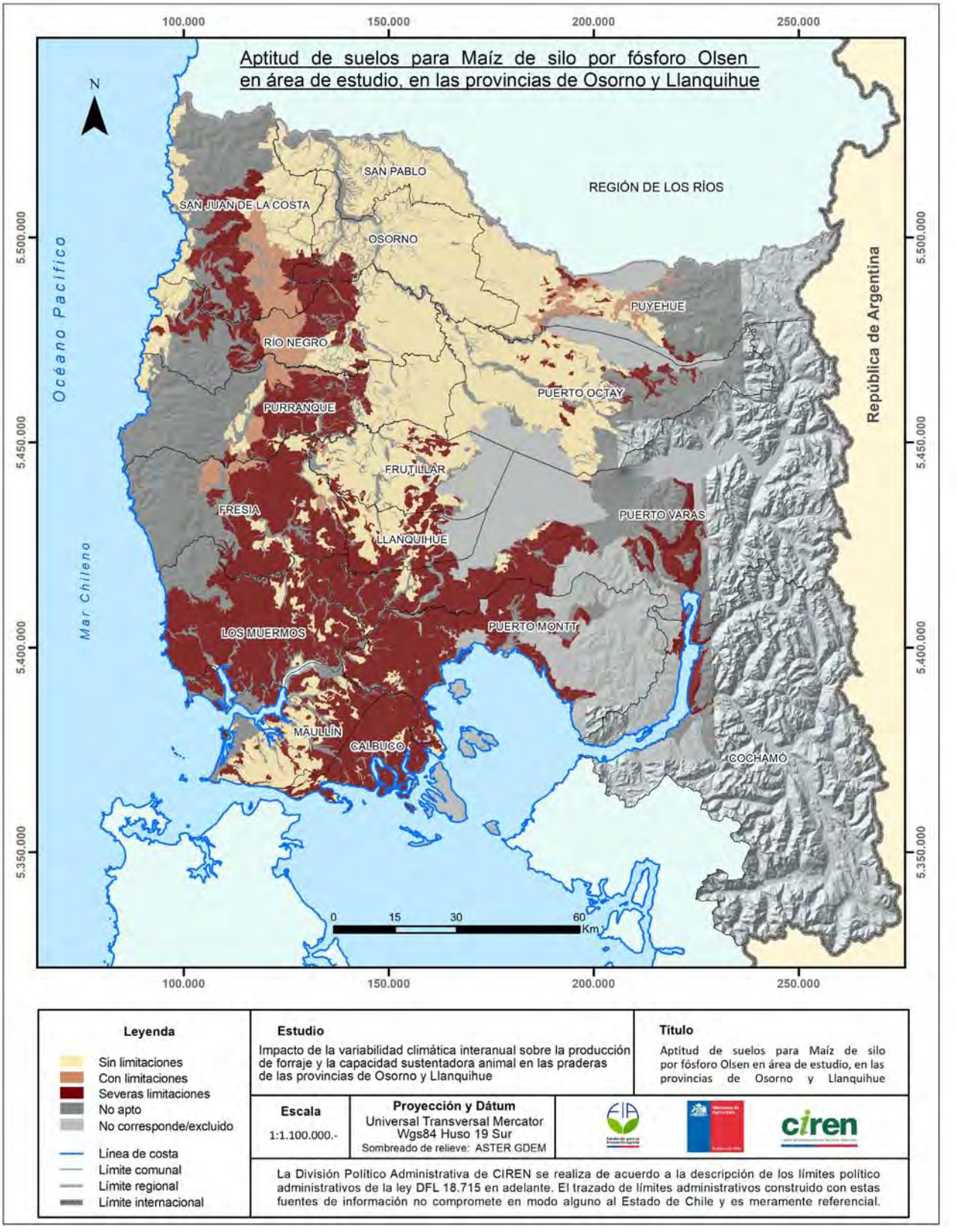


Figura N°36. Aptitud de los suelos para maíz silo según niveles de P Olsen, en las provincias de Osorno y Llanquihue (Fuente: elaboración propia).

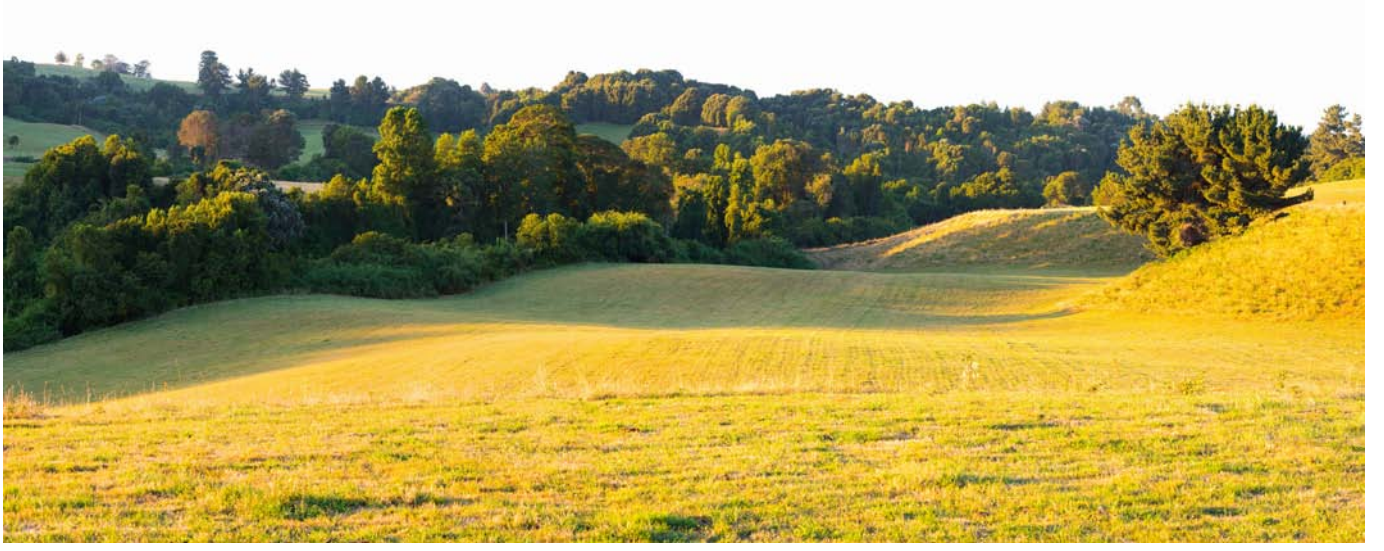
Saturación de aluminio

Las comunas de San Pablo, Osorno, Puyehue, Puerto Octay, Río Negro, Purranque, Puerto Varas y Cochamó concentran las áreas con suelos favorables en cuanto a este parámetro (Figura N°37). No obstante, una gran superficie dentro del área de estudio presenta severas limitaciones para el crecimiento de maíz silo por saturación de aluminio. Los rangos sobre los cuales se trabajó, se presentan en el Cuadro N°40 por categoría y superficie.

Cuadro N°40. Aptitud por suelos (hectáreas) según saturación de aluminio, en las provincias de Osorno y Llanquihue.

Rangos de saturación de aluminio (%)	Categoría	Superficie (hectáreas)	Distribución porcentual (%)
menor a 5	Sin Limitaciones	294.169,9	16
5 a 8	Con Limitaciones	108.473,5	6
mayor a 8	Severas Limitaciones	846.818,9	47
	No suelos*	278.993,6	16
	Sin información	266.964,7	15

(*) La categoría No suelos incluye a las categorías No apto y No corresponde/excluido. (Fuente: elaboración propia.)



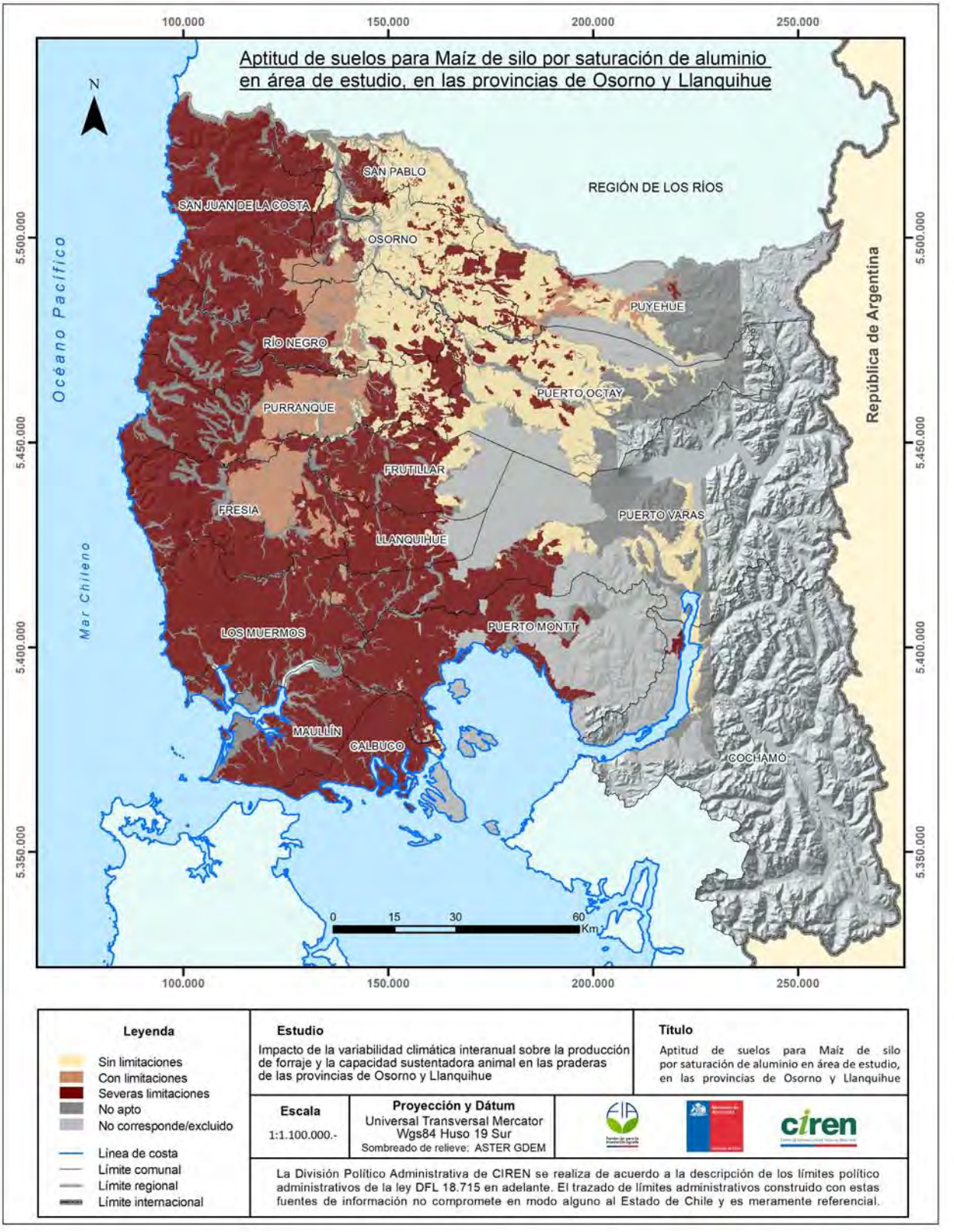


Figura N°37. Aptitud de los suelos para maíz silo según porcentaje de saturación de aluminio, en las provincias de Osorno y Llanquihue (Fuente: elaboración propia).

pH

Las zonas con severas limitaciones por pH para el maíz silo, se concentran en el norte (San Juan de la Costa) y en el sur (Fresia y Los Muermos), con pequeños sectores a lo largo de la cordillera de la Costa (Río Negro y Purranque). Por otro lado, es posible encontrar los suelos sin limitaciones por pH en sectores de las comunas de San Pablo, Puyehue, Puerto Octay, Purranque, Río Negro, Purranque, Frutillar, Llanquihue, Los Muermos, Puerto Varas y Cochamó. Los rangos de pH utilizados se presentan en el Cuadro N°41 por categoría y superficie.

Cuadro N°41. Aptitud por suelos (hectáreas) según pH, en las provincias de Osorno y Llanquihue.

Rangos de pH	Categoría	Superficie (hectáreas)	Distribución porcentual (%)
5,6 a 8,4	Sin Limitaciones	449.693,2	25
5 a 5,6	Con Limitaciones	652.785,3	36
menor a 5	Severas Limitaciones	146.983,8	8
	No suelos*	278.993,6	16
	Sin información	266.964,7	15

(*) La categoría No suelos incluye a las categorías No apto y No corresponde/excluido. (Fuente: elaboración propia.)

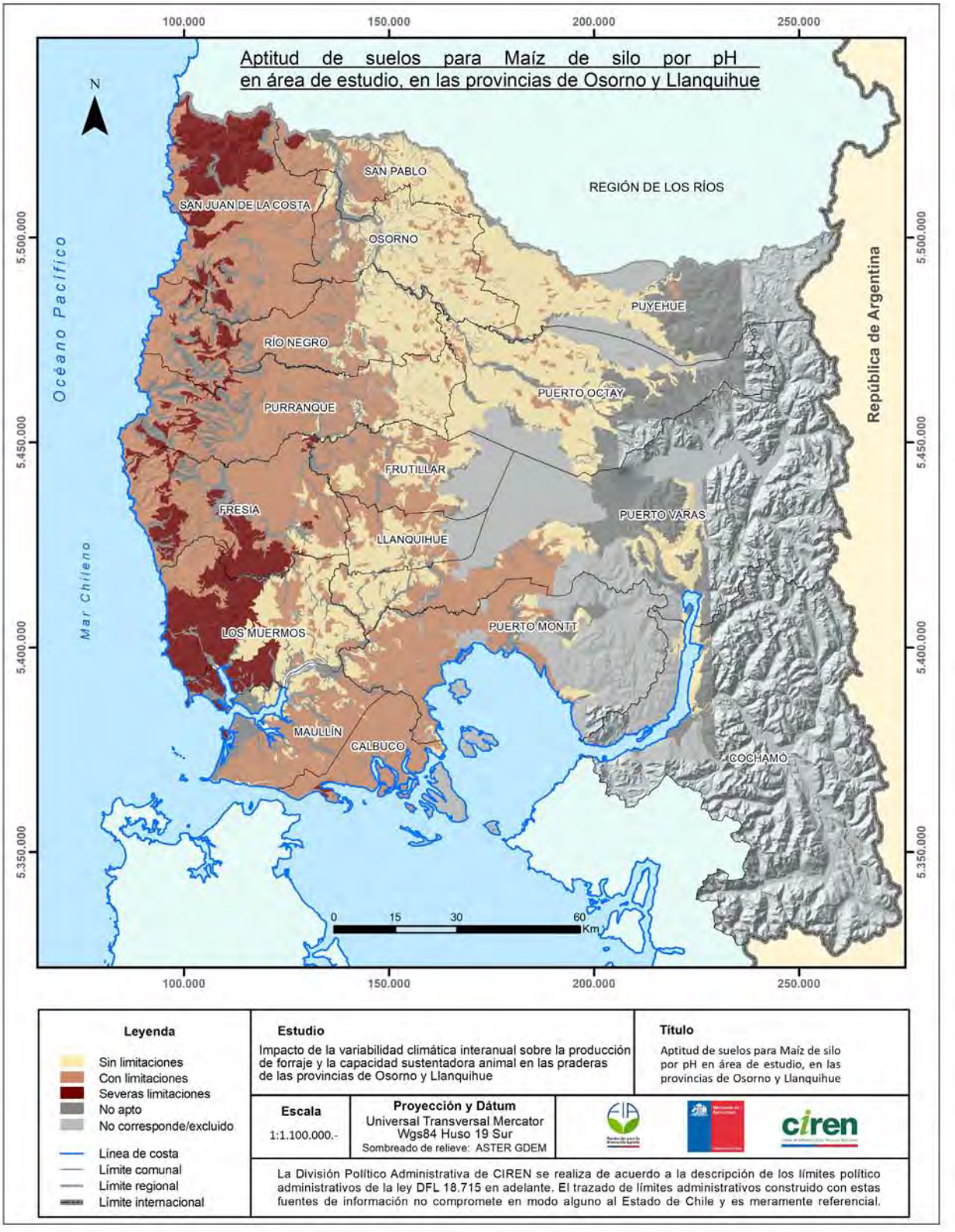


Figura 38. Aptitud de suelos para maíz silo por pH en área de estudio, provincias de Osorno y Llanquihue (Fuente: elaboración propia).

Aptitud de suelos para Maíz silo por parámetros físicos: Drenaje, Pendiente, Profundidad

Drenaje

En las provincias es posible encontrar suelos sin limitaciones de drenaje en una amplia extensión de norte a sur, tanto en posiciones dentro de la cordillera de la Costa, Valle Central y piedmont andino (Figura N°39). Los rangos se presentan en el Cuadro N°42 por categoría y superficie.

Cuadro N°42. Aptitud por suelos (hectáreas) según drenaje, en las provincias de Osorno y Llanquihue.

Rangos de drenaje	Categoría	Superficie (hectáreas)	Distribución porcentual (%)
Bien drenado	Sin limitaciones	753.217,6	42
Imperfectamente drenado	Con limitaciones	660.429,7	37
Pobremente drenado	Severas limitaciones	102.779,7	6
	No suelos*	278.993,6	15

(*) La categoría No suelos incluye a las categorías No apto y No corresponde/excluido. (Fuente: elaboración propia.)

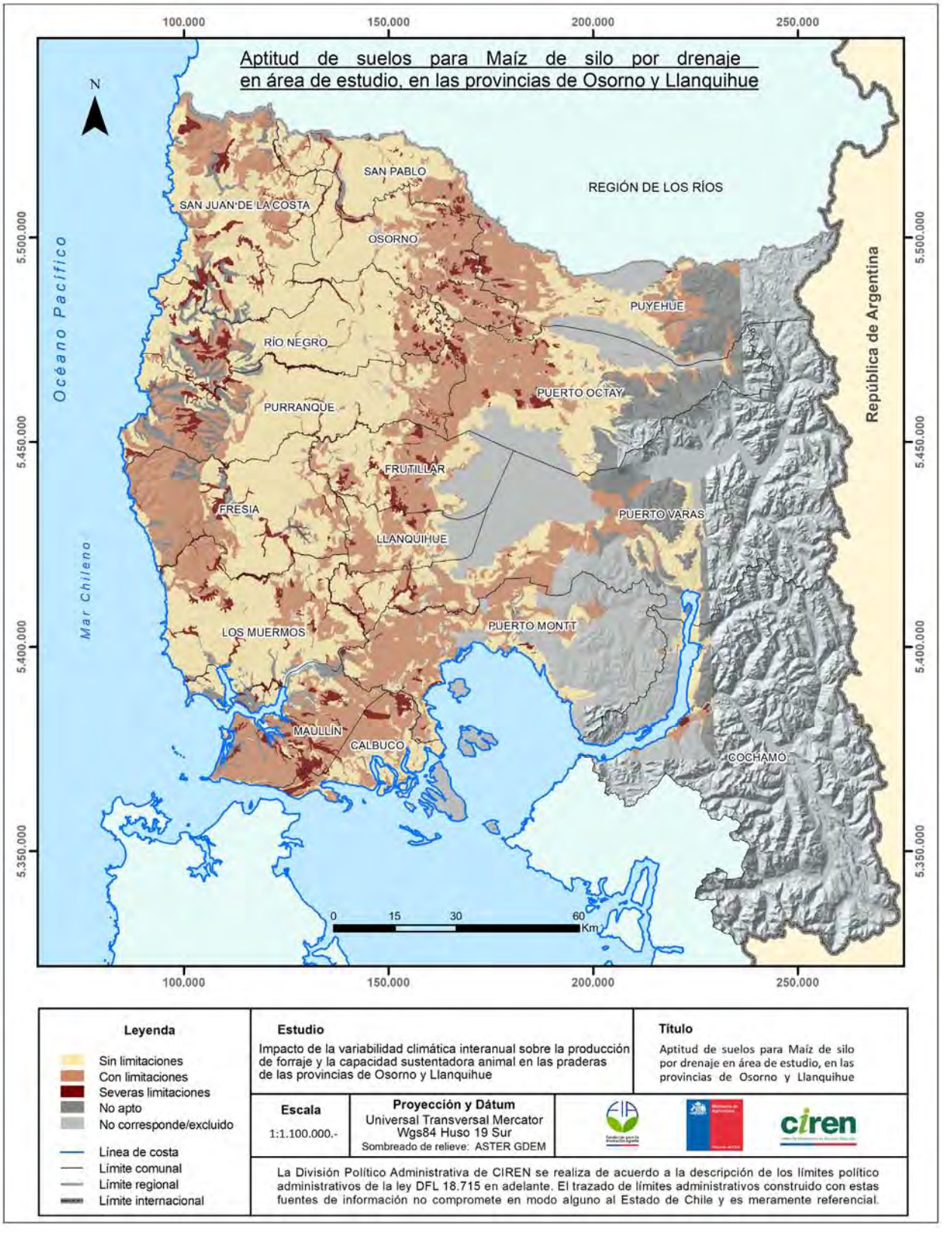


Figura N°39. Aptitud de los suelos para maíz silo según drenaje en área de estudio, provincias de Osorno y Llanquihue (fuente: elaboración propia).

Pendiente

En toda la extensión del Valle Central del área de estudio, se encuentran suelos sin limitaciones por pendiente para el desarrollo productivo del maíz silo, observándose suelos con severas limitaciones por pendientes en toda la cordillera de la Costa (San Juan de la Costa, Río Negro, Purranque, Fresia y Los Muermos) y en el piedmont andino al oriente de Los Lagos (Puyehue, Puerto Octay, Puerto Varas, Puerto Montt y Cochamó) (Figura N°40). Los rangos se presentan en el Cuadro N°43 por categoría y superficie.

Cuadro N°43. Aptitud por suelos (hectáreas) según pendiente, en las provincias de Osorno y Llanquihue.

Rangos de pendiente (%)	Categoría	Superficie (hectáreas)	Distribución porcentual (%)
1 a 10	Sin limitaciones	680.787,9	38
10 a 15	Con limitaciones	217.902,8	12
mayor a 15	Severas limitaciones	471.270,4	26
	No suelos*	278.993,6	16
	Sin información	146.465,9	8

(*) La categoría No suelos incluye a las categorías No apto y No corresponde/excluido. (Fuente: elaboración propia.)

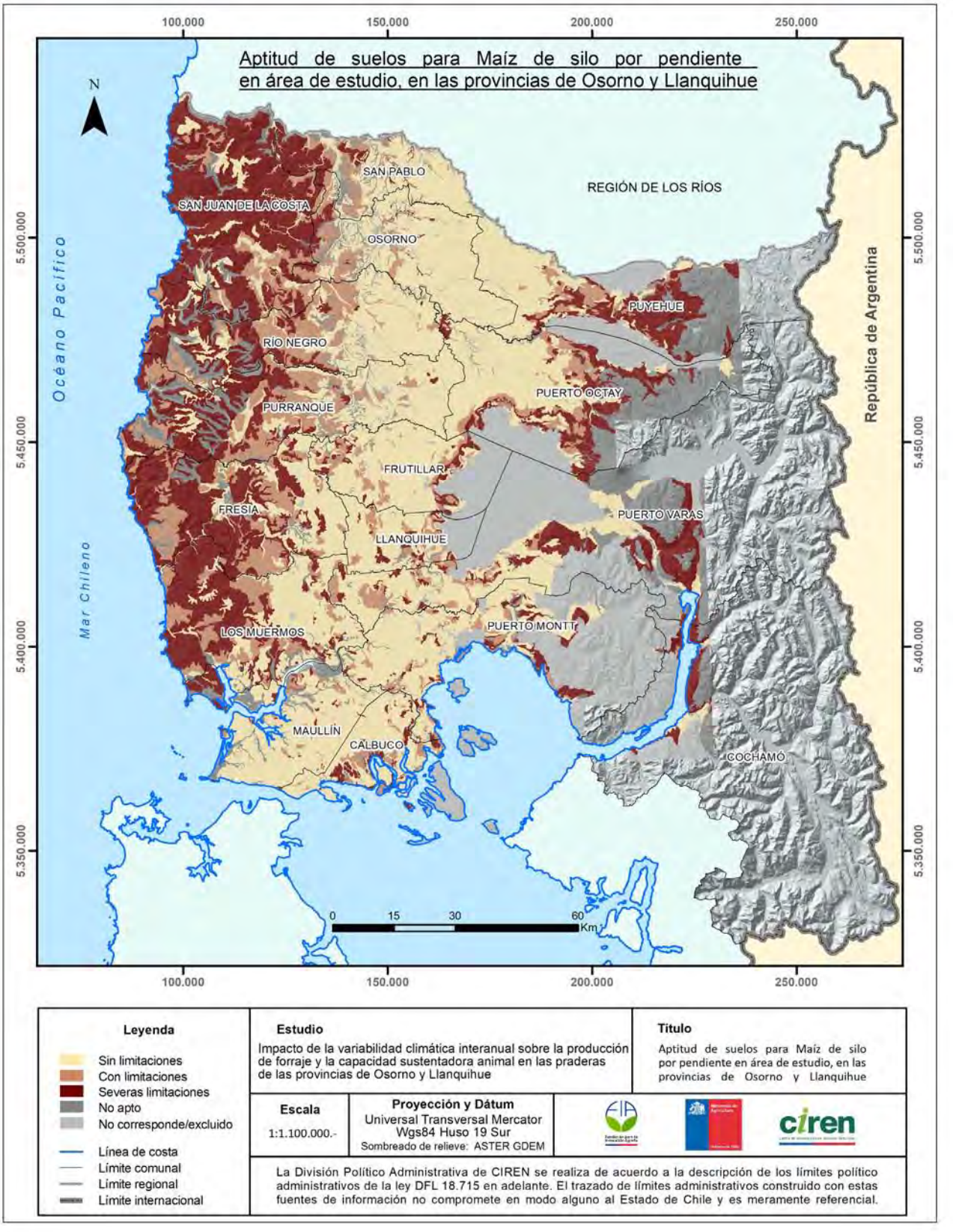


Figura N°40. Aptitud de suelos para maíz silo por pendiente en área de estudio, provincias de Osorno y Llanquihue (Fuente: elaboración propia).

Profundidad

En las provincias, los suelos sin limitaciones por profundidad para el maíz silo se encuentran principalmente en el Valle Central (Frutillar, Llanquihue, Los Muermos) y en la zona que limita con el piedmont de la cara oriental de la cordillera de la Costa (San Pablo, Osorno, San Juan de la Costa, Río Negro, Purranque, Fresia), tal como se muestra en la Figura N°41. Los rangos considerados se encuentran en el Cuadro N°44.

Cuadro N°44. Aptitud por suelos (hectáreas) según profundidad, en las provincias de Osorno y Llanquihue.

Rangos de profundidad	Categoría	Superficie (hectáreas)	Distribución porcentual (%)
mayor a 80 cm	Sin Limitaciones	368.982,9	21
40 a 80 cm	Con Limitaciones	743.950,9	41
menor a 40 cm	Severas Limitaciones	246.624,6	14
	No suelos*	362.123,4	20
	Sin información	73.738,8	4

(*) La categoría No suelos incluye a las categorías No apto y No corresponde/excluido. (Fuente: elaboración propia.)

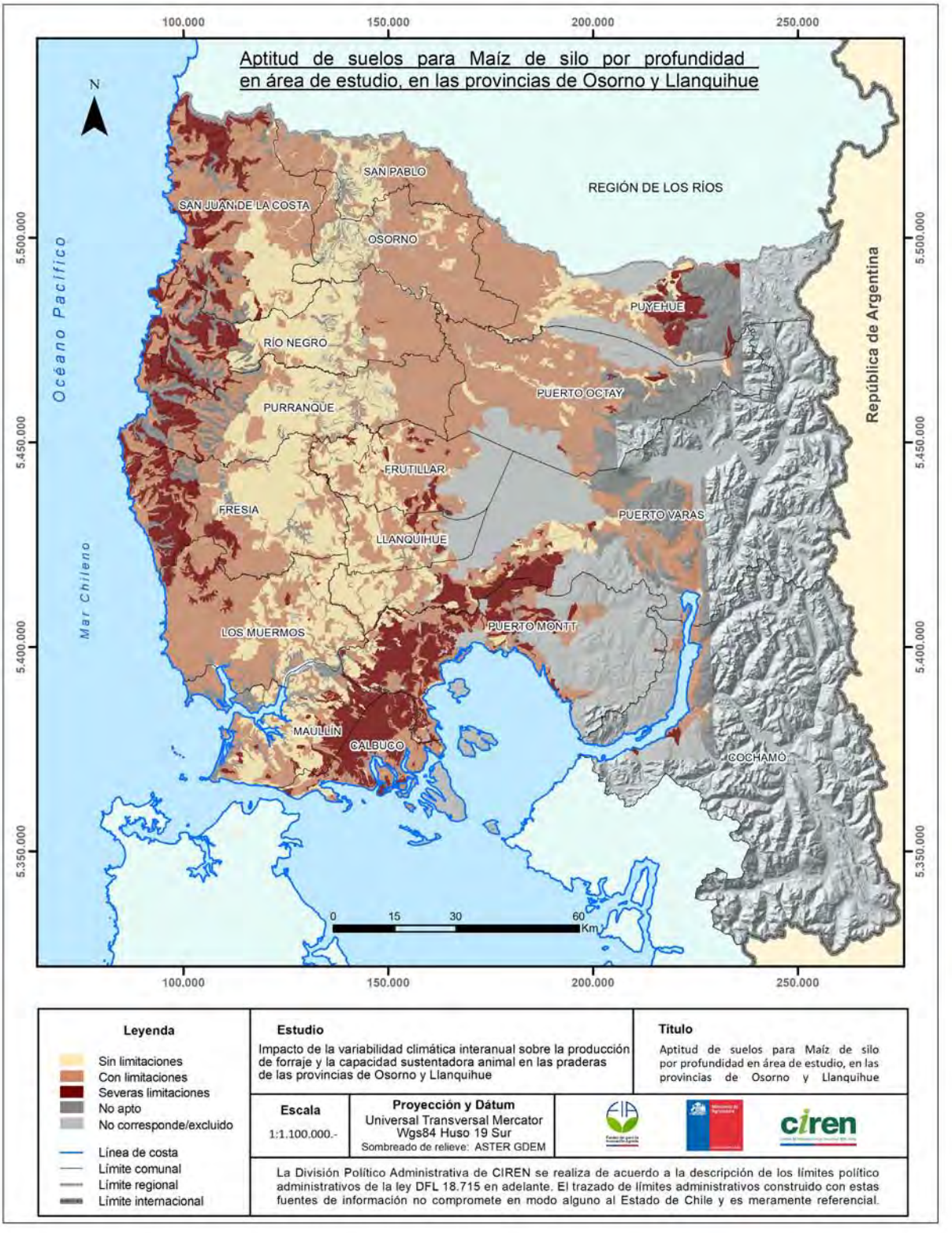


Figura 41. Aptitud de suelos para maíz silo por profundidad en área de estudio, provincias de Osorno y Llanquihue (Fuente: elaboración propia).

6.1.2 NABO FORRAJERO

Aptitud de suelos para Nabo forrajero por parámetros químicos: P Olsen, Saturación de aluminio, pH

Fósforo Olsen

En las provincias, la mayor parte de los suelos presentan restricciones por contenidos de P Olsen para el desarrollo productivo de nabo forrajero, como se observa en la Figura N°42. Tan solo un 1% no presentan restricciones (Cuadro N°45).

Cuadro N°45. Aptitud por suelos (hectáreas) según P Olsen, en las provincias de Osorno y Llanquihue.

Rangos de P Olsen	Categoría	Superficie (hectáreas)	Distribución porcentual (%)
mayor a 20 ppm	Sin Limitaciones	18.559,7	1
12 a 20 ppm	Con Limitaciones	123.328,1	7
menor a 12 ppm	Severas Limitaciones	925.785,4	52
	No suelos*	278.993,6	15
	Sin información	448.753,8	25

(*) La categoría No suelos incluye a las categorías No apto y No corresponde/excluido. (Fuente: elaboración propia.)

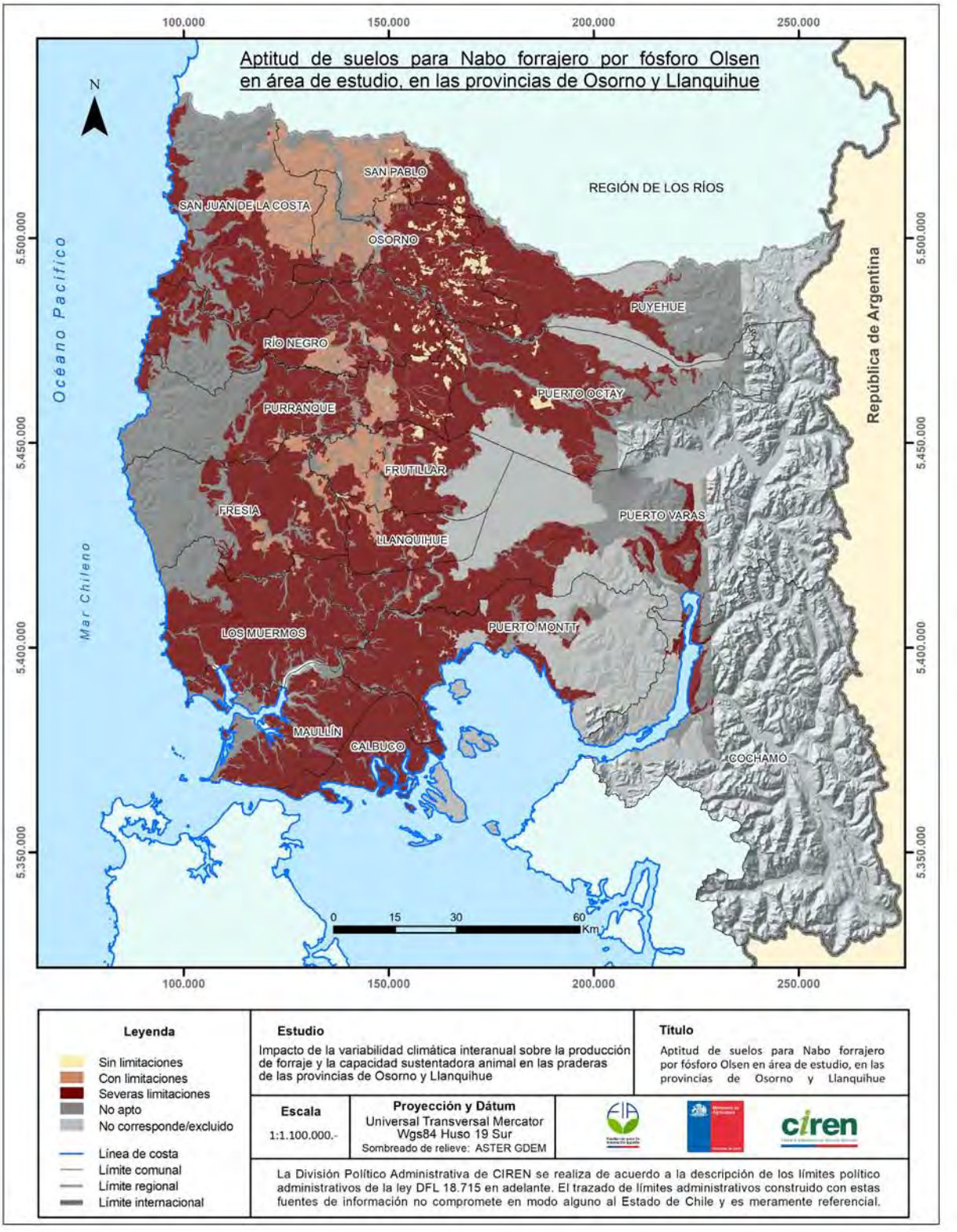


Figura N°42. Aptitud de los suelos para nabo forrajero según P Olsen, en las provincias de Osorno y Llanquihue (Fuente: elaboración propia).

Saturación de aluminio

En ambas provincias, la mayor parte tiene suelos con severas limitaciones por saturación de aluminio. Algunas áreas de las comunas de San Pablo, Osorno, Río Negro, Purranque y Puyehue, principalmente, no tendrían limitaciones por saturación de aluminio para el desarrollo productivo del nabo forrajero (Figura N°43). Los rangos considerados se presentan en Cuadro N°46.

Cuadro N°46. Aptitud por suelos (hectáreas) según saturación de aluminio, en las provincias de Osorno y Llanquihue.

Rangos de saturación de aluminio (%)	Categoría	Superficie (hectáreas)	Distribución porcentual (%)
menor a 1	Sin limitaciones	108.820,2	6
1 a 3	Con limitaciones	91.545,7	5
mayor a 3	Severas limitaciones	1.049.096,5	58
	No suelos*	278.993,6	16
	Sin información	266.964,7	15

(*) La categoría No suelos incluye a las categorías No apto y No corresponde/excluido. (Fuente: elaboración propia.)

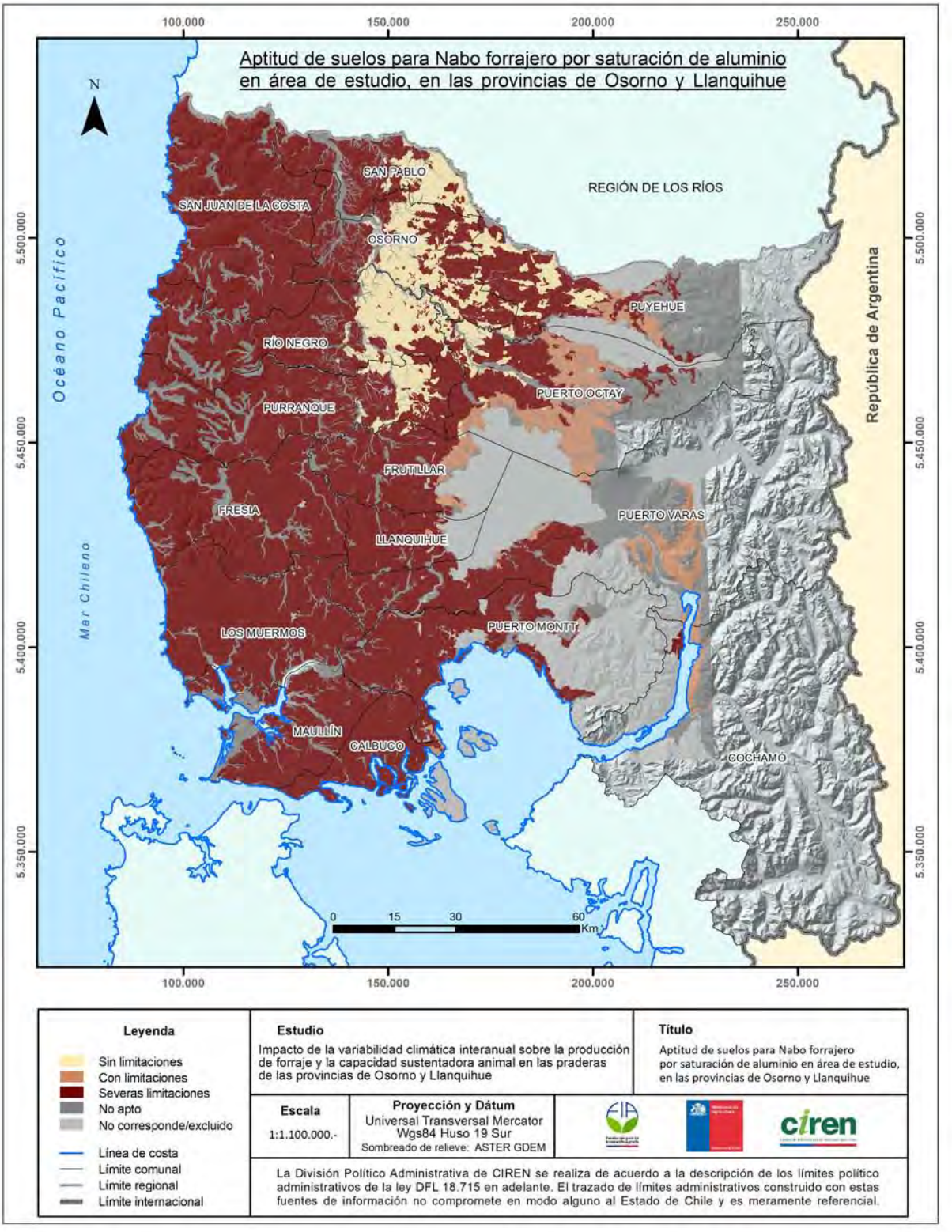


Figura 43. Aptitud de suelos para nabo forrajero según Saturación de aluminio, en las provincias de Osorno y Llanquihue (Fuente: elaboración propia).

pH

Para la productividad de nabo forrajero, en el área de estudio (Figura N°44), todos los suelos presentarían algún grado de limitación por pH. Los rangos utilizados se encuentran en el Cuadro N°47.

Cuadro N°47. Aptitud por suelos (hectáreas) según pH, en las provincias de Osorno y Llanquihue.

Rangos de pH	Categoría	Superficie (hectáreas)	Distribución porcentual (%)
mayor a 6,6	Sin Limitaciones	0,0	0
5,6 a 6,6	Con Limitaciones	449.693,2	25
menor a 5,6	Severas Limitaciones	799.769,0	45
	No suelos*	278.993,6	15
	Sin información	266.964,7	15

(*) La categoría No suelos incluye a las categorías No apto y No corresponde/excluido. (Fuente: elaboración propia.)

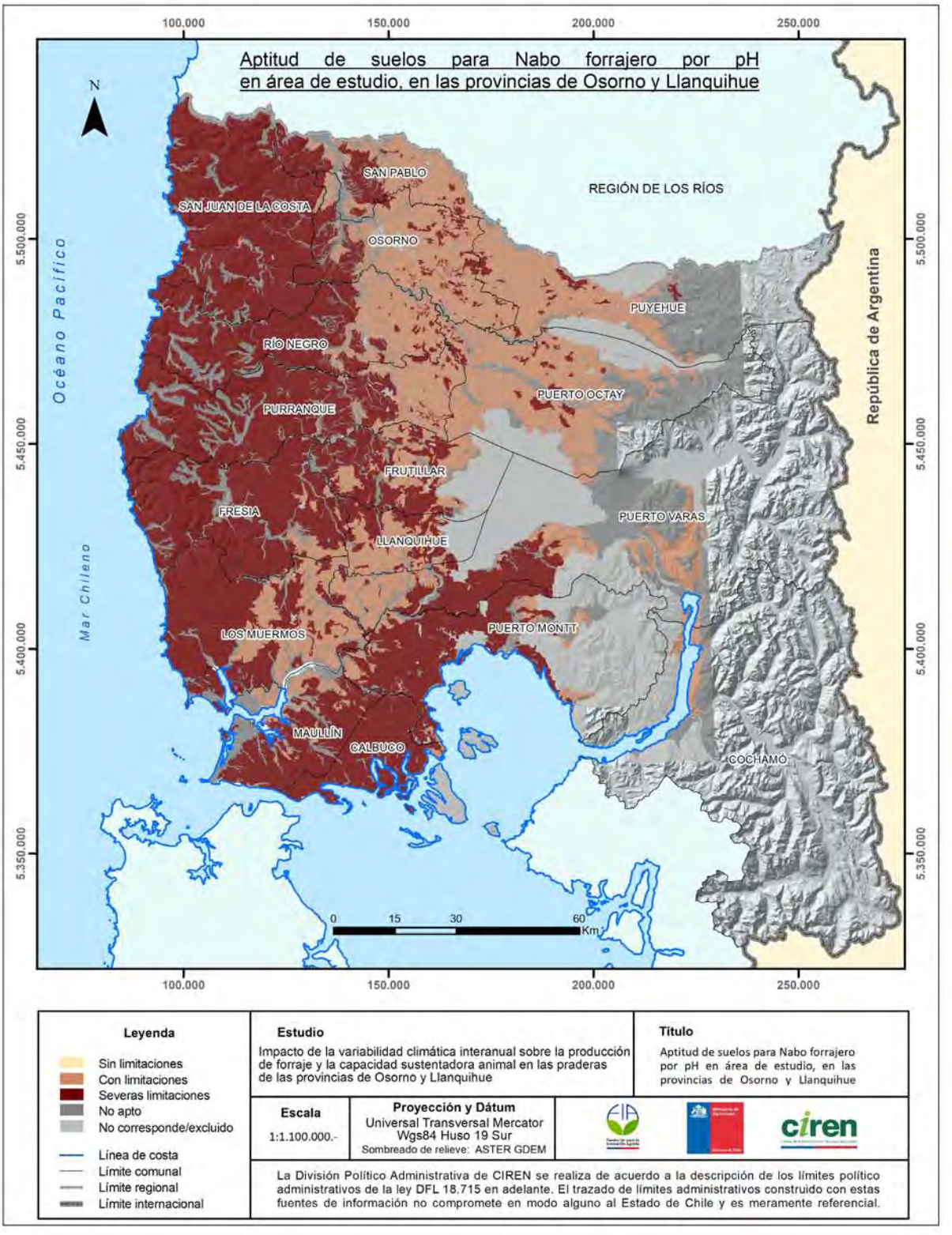


Figura N°44. Aptitud de suelos para nabo forrajero por pH en área de estudio, provincias de Osorno y Llanquihue (Fuente: elaboración propia).

Aptitud de suelos para Nabo forrajero por parámetros físicos: Drenaje, Pendiente, Profundidad

Drenaje

La aptitud productiva de los suelos para nabo forrajero según la categoría de drenaje, muestra mayormente condiciones sin limitaciones, es decir, con presencia de suelos bien drenados (Figura N°45). Los rangos utilizados se encuentran señalados en el Cuadro N°48.

Cuadro N°48. Aptitud por suelos (hectáreas) según drenaje, en las provincias de Osorno y Llanquihue.

Rangos de drenaje	Categoría	Superficie (hectáreas)	Distribución porcentual (%)
Bien drenado	Sin Limitaciones	753.217,6	42
Imperfectamente drenado	Con Limitaciones	660.429,7	37
Pobremente drenado	Severas Limitaciones	102.779,7	6
	No suelos*	278.993,6	15

(*) La categoría No suelos incluye a las categorías No apto y No corresponde/excluido. (Fuente: elaboración propia.)

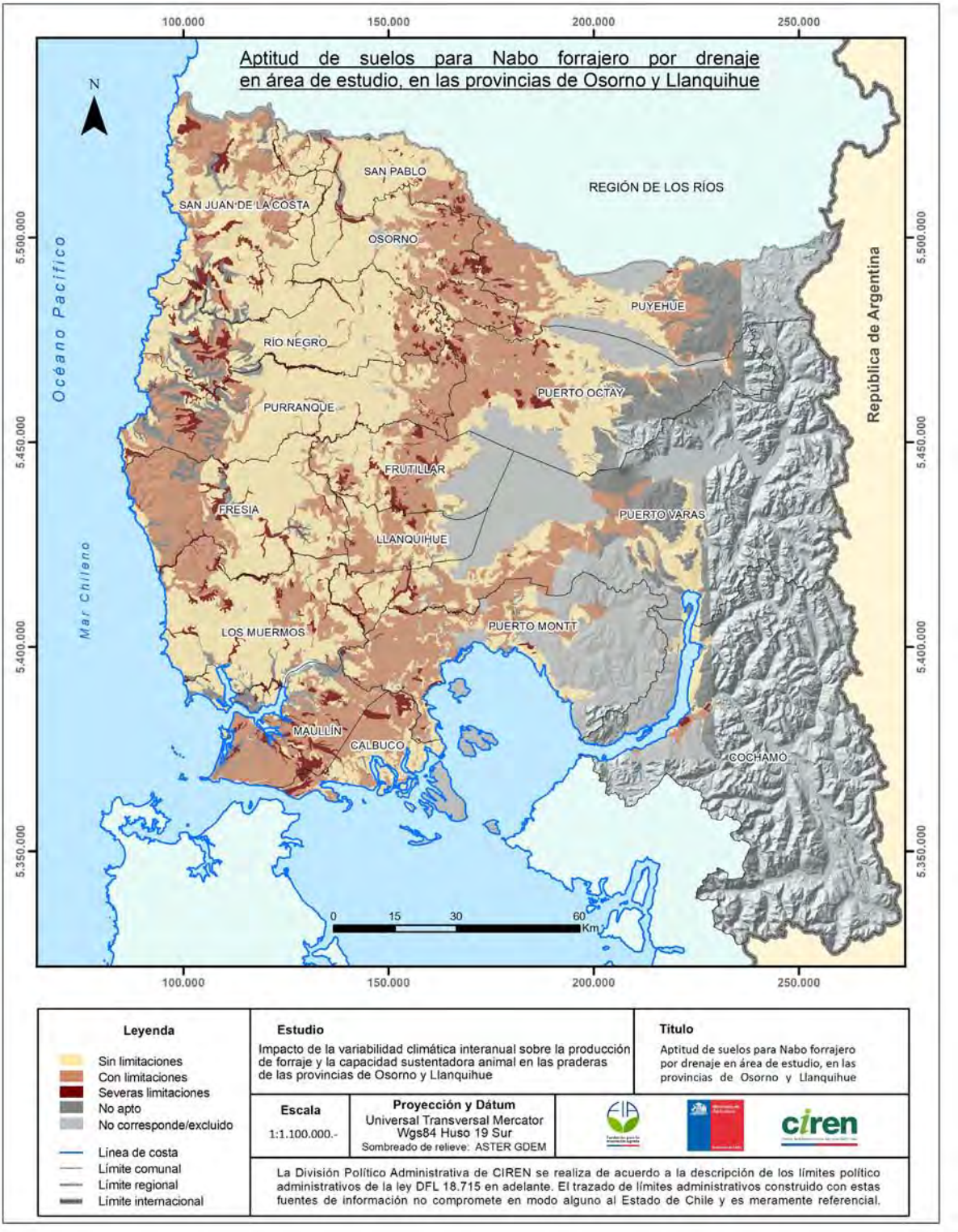


Figura N°45. Aptitud de suelos para nabo forrajero según drenaje, en las provincias de Osorno y Llanquihue (Fuente: elaboración propia).

Pendiente

En el área de estudio se extiende una gran área con suelos sin limitaciones por pendiente para la productividad de nabo forrajero. En las comunas de San Juan de la Costa, Río Negro, Purranque y Fresia se concentra una superficie con suelos con severas limitaciones, como también en Puyehue, Puerto Octay y Cochamó (Figura N°46).

Cuadro N°49. Aptitud por suelos (hectáreas) según pendiente, en las provincias de Osorno y Llanquihue.

Rangos de pendiente	Categoría	Superficie (hectáreas)	Distribución porcentual (%)
1 a 15	Sin Limitaciones	898.690,7	50
15 a20	Con Limitaciones	111.603,1	6
mayor a 20	Severas Limitaciones	359.667,3	20
	No suelos*	278.993,6	16
	Sin información	146.465,9	8

(*) La categoría No suelos incluye a las categorías No apto y No corresponde/excluido. (Fuente: elaboración propia.)

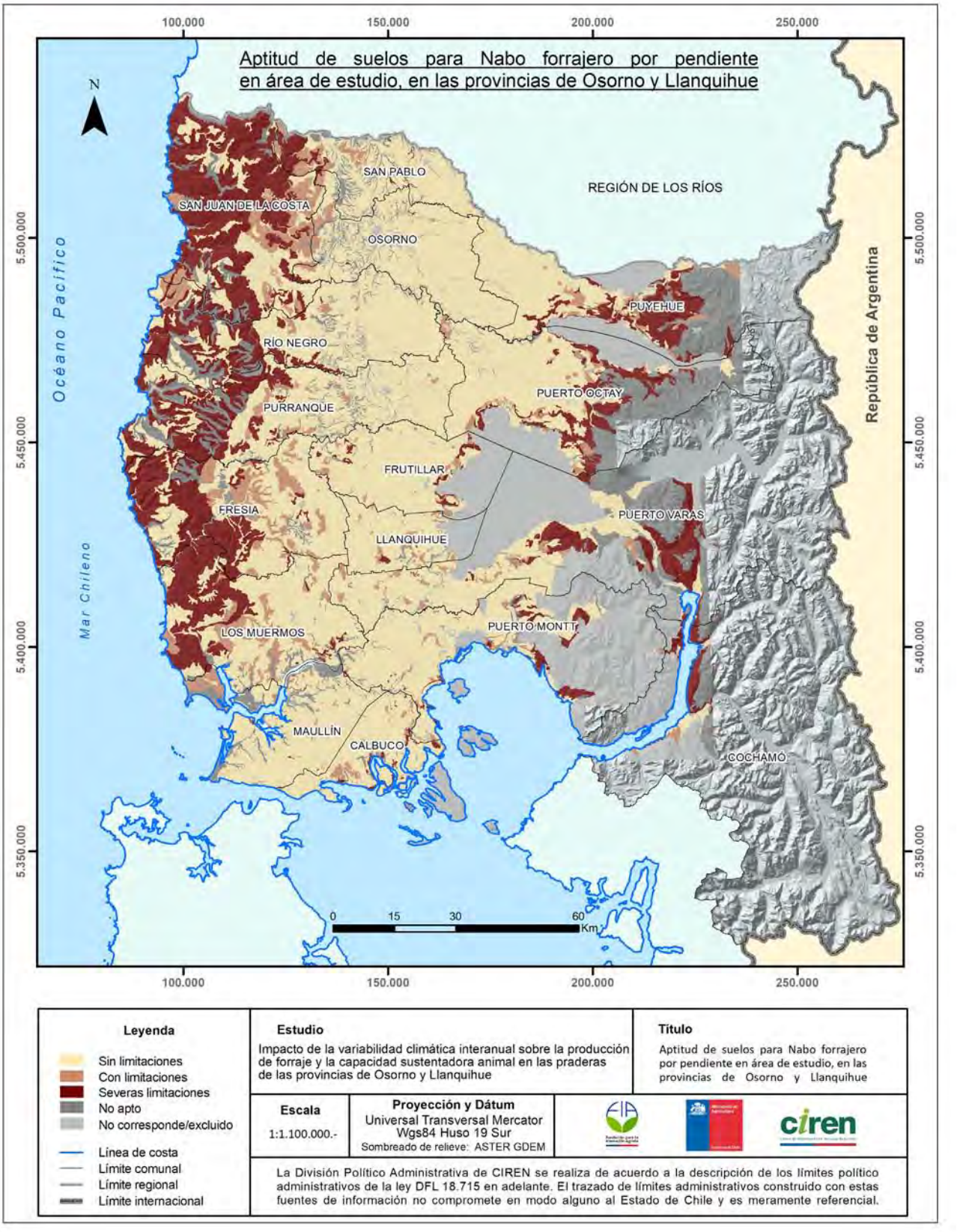


Figura 46. Aptitud de suelos para nabo forrajero según pendiente, en las provincias de Osorno y Llanquihue (Fuente: elaboración propia).

Profundidad

La mayor parte del área de estudio comprendida en las provincias, presenta suelos con profundidades sobre 75 cm lo que no sería una restricción para el desarrollo productivo del nabo forrajero. Sólo algunos sectores en Maullín, Calbuco y Puerto Montt tendrían suelos con profundidades menores a 40 cm siendo esta una condición de severas limitaciones para el cultivo (Figura N°47). Los rangos y sus superficies se presentan en el Cuadro N°50.

Cuadro N°50. Aptitud por suelos (hectáreas) según profundidad, en las provincias de Osorno y Llanquihue.

Rangos de profundidad	Categoría	Superficie (hectáreas)	Distribución porcentual (%)
mayor a 75 cm	Sin Limitaciones	1.083.020,5	60
40 a 75 cm	Con Limitaciones	263.439,2	15
menor a 40 cm	Severas Limitaciones	13.098,7	1
	No suelos*	362.123,4	20
	Sin información	73.738,8	4

(*) La categoría No suelos incluye a las categorías No apto y No corresponde/excluido. (Fuente: elaboración propia.)

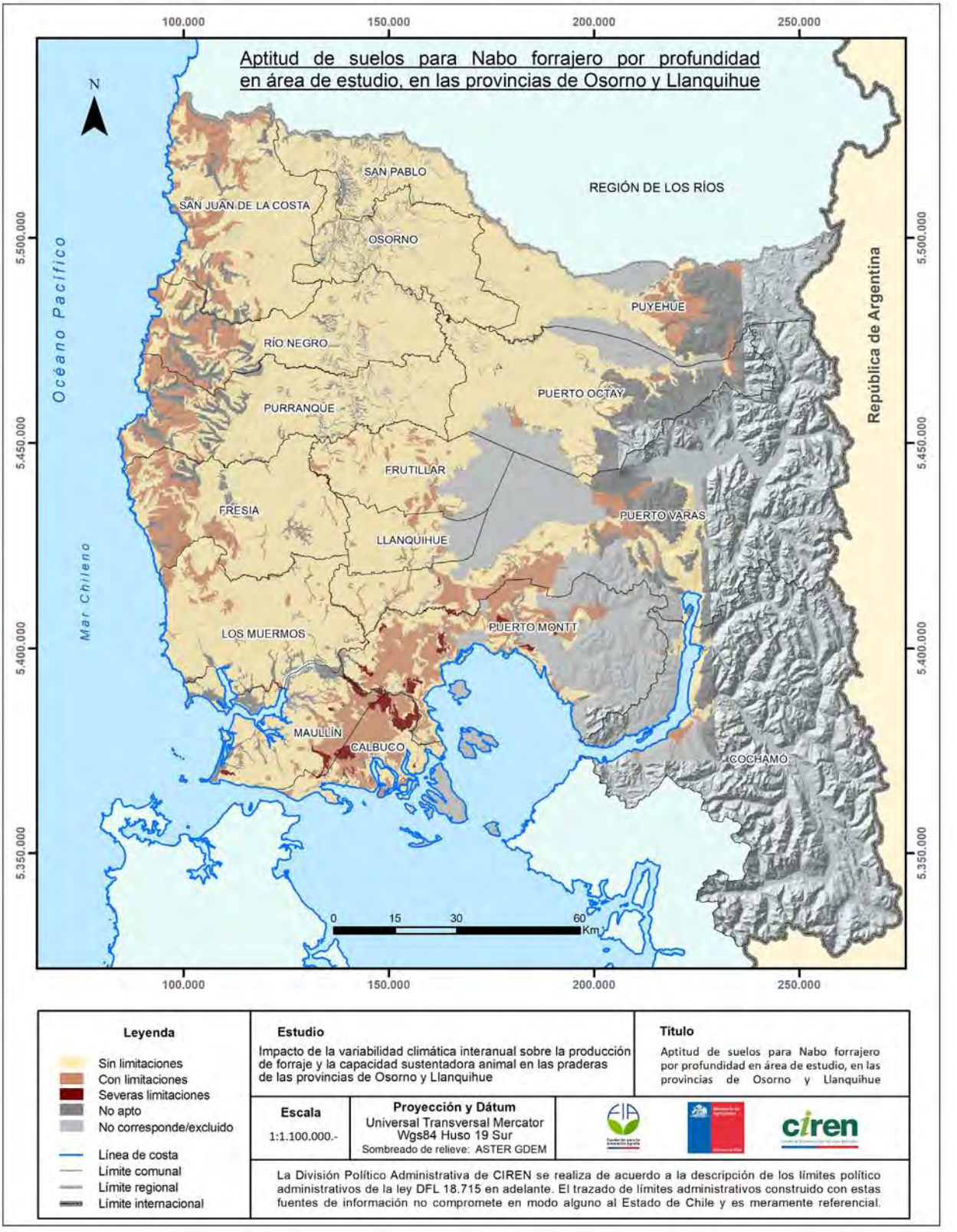


Figura N°47. Aptitud de suelos para nabo forrajero según profundidad, en las provincias de Osorno y Llanquihue (Fuente: elaboración propia).

6.1.3 BALLICA CICLO CORTO

Aptitud de suelos para Ballica ciclo corto por parámetros químicos: P Olsen, Saturación de aluminio, pH

Fósforo Olsen

La mayor parte de la cordillera de la Costa, en los sectores donde existe información, hay suelos con severas limitaciones, es decir con contenidos de P Olsen menores a 10 ppm. De igual forma que toda la zona sur del área de estudio, extendiéndose desde la cordillera de la Costa, Valle Central y piedmont andino (Figura N°48). Los rangos y superficies de las categorías utilizadas se encuentran en Cuadro N°51.

Cuadro N°51. Aptitud por suelos (hectáreas) según P Olsen, en las provincias de Osorno y Llanquihue.

Rangos de P Olsen	Categoría	Superficie (hectáreas)	Distribución porcentual (%)
mayor a 20 ppm	Sin Limitaciones	18.559,7	1
10 a 20 ppm	Con Limitaciones	405.015,5	23
menor a 10 ppm	Severas Limitaciones	644.098,0	36
	No suelos*	278.993,6	15
	Sin información	448.753,8	25

(*) La categoría No suelos incluye a las categorías No apto y No corresponde/excluido. (Fuente: elaboración propia.)

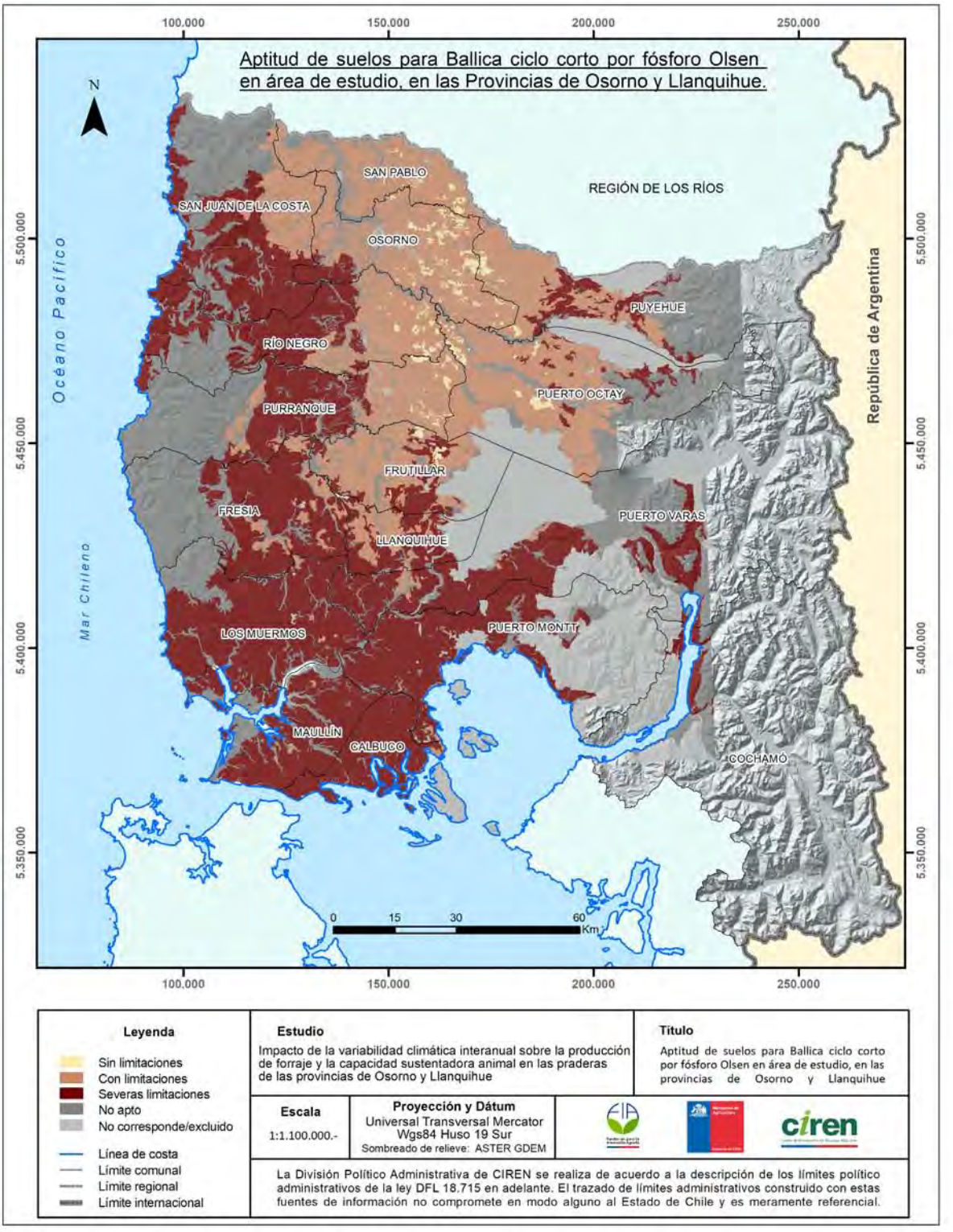


Figura N°48. Aptitud de suelos para ballica ciclo corto por P Olsen en área de estudio, provincias de Osorno y Llanquihue (Fuente: elaboración propia).

Saturación de aluminio

Gran parte del área de estudio presenta niveles de saturación de aluminio mayor al 10% lo que corresponde a una condición de severas limitaciones para la producción de ballica. Como se observa en la Figura N°49 los suelos sin limitaciones se concentran en las comunas de San Pablo, Osorno, Puyehue, Puerto Octay y Puerto Varas.

Cuadro N°52. Aptitud por suelos (hectáreas) según saturación de aluminio, en las provincias de Osorno y Llanquihue.

Rangos de saturación de aluminio (%)	Categoría	Superficie (hectáreas)	Distribución porcentual (%)
menor a 3	Sin Limitaciones	294.169,9	16
4 a 9	Con Limitaciones	188.627,1	10
mayor 10	Severas Limitaciones	766.665,4	43
	No suelos*	278.993,6	16
	Sin información	266.964,7	15

(*) La categoría No suelos incluye a las categorías No apto y No corresponde/excluido. (Fuente: elaboración propia.)

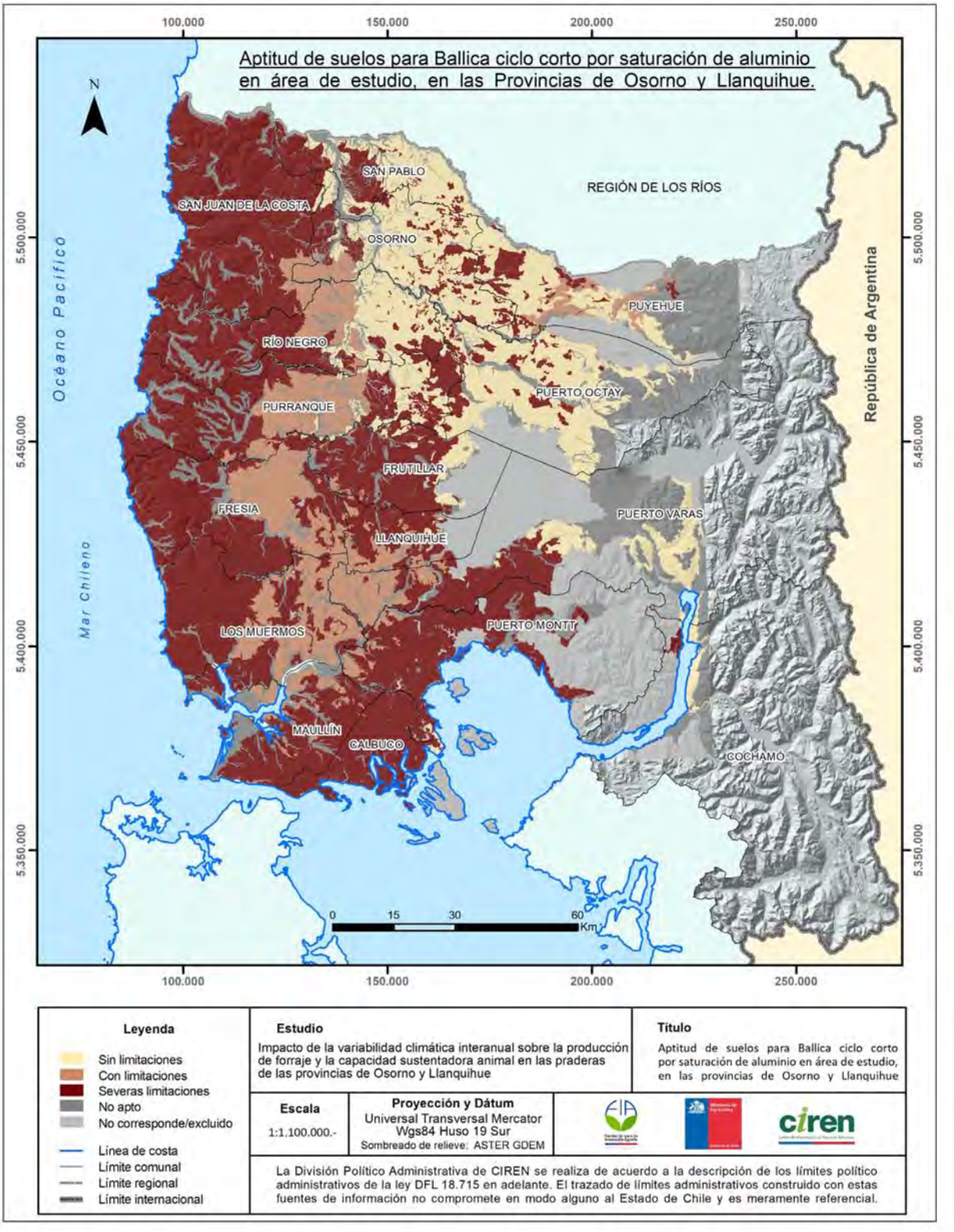


Figura N°49. Aptitud de suelos para ballica ciclo corto según saturación de aluminio, en las provincias de Osorno y Llanquihue (Fuente: elaboración propia).

pH

Los suelos del área de estudio presentan en su mayoría pH en el rango de 5 a 6, lo que corresponde a una condición con limitaciones para el desarrollo productivo de ballica ciclo corto (Figura N°50). La descripción de las categorías se muestra en el Cuadro N°53.

Cuadro N°53. Aptitud por suelos (hectáreas) según pH, en las provincias de Osorno y Llanquihue.

Rangos de pH	Categoría	Superficie (hectáreas)	Distribución porcentual (%)
6 a7	Sin Limitaciones	142.445,5	8
5 a 6	Con Limitaciones	960.033,0	53
menor a 5	Severas Limitaciones	146.983,8	8
	No suelos*	278.993,6	16
	Sin información	266.964,7	15

(*) La categoría No suelos incluye a las categorías No apto y No corresponde/excluido. (Fuente: elaboración propia.)

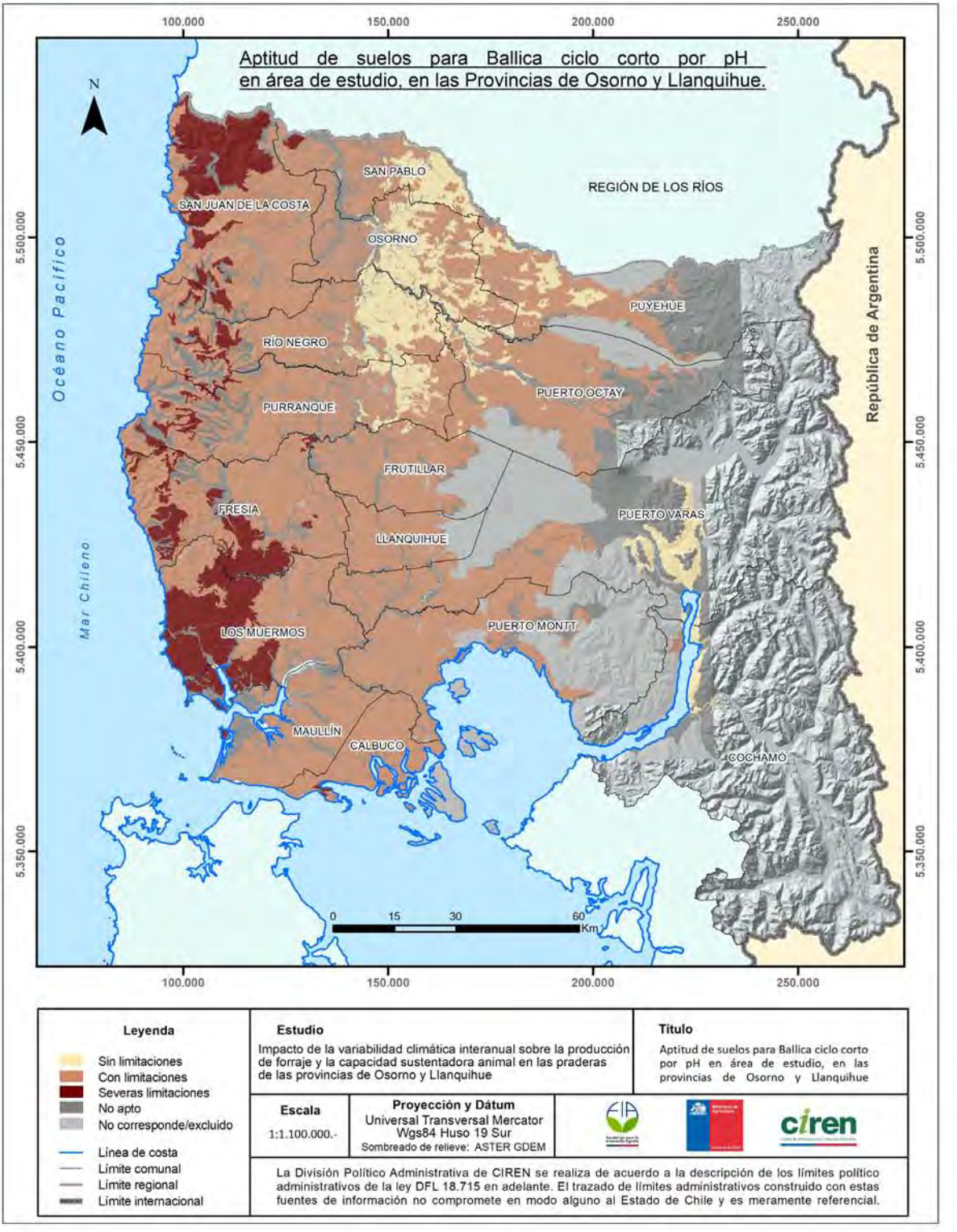


Figura N°50. Aptitud de suelos para ballica ciclo corto según pH, en las provincias de Osorno y Llanquihue (Fuente: elaboración propia).

Aptitud de suelos para Ballica ciclo corto por parámetros físicos: Drenaje, Pendiente, Profundidad

Drenaje

Para el desarrollo productivo de ballica ciclo corto, la mayor parte de los suelos no presentaría condiciones limitantes por drenaje, exceptuando algunas áreas menores en las comunas de San Juan de la Costa, Río Negro, Purranque, Osorno, Fresia, Maullín, Calbuco, Los Muermos, entre otras (Figura N°51). Las categorías utilizadas se muestran en el Cuadro N°54.

Cuadro N°54. Aptitud por suelos (hectáreas) según drenaje, en las provincias de Osorno y Llanquihue.

Rangos de drenaje	Categoría	Superficie (hectáreas)	Distribución porcentual (%)
Bien drenada	Sin Limitaciones	753.217,6	42
Imperfectamente drenado	Con Limitaciones	660.429,7	37
Pobremente drenado	Severas Limitaciones	102.779,7	6
	No suelos*	278.993,6	15

(*) La categoría No suelos incluye a las categorías No apto y No corresponde/excluido. (Fuente: elaboración propia.)

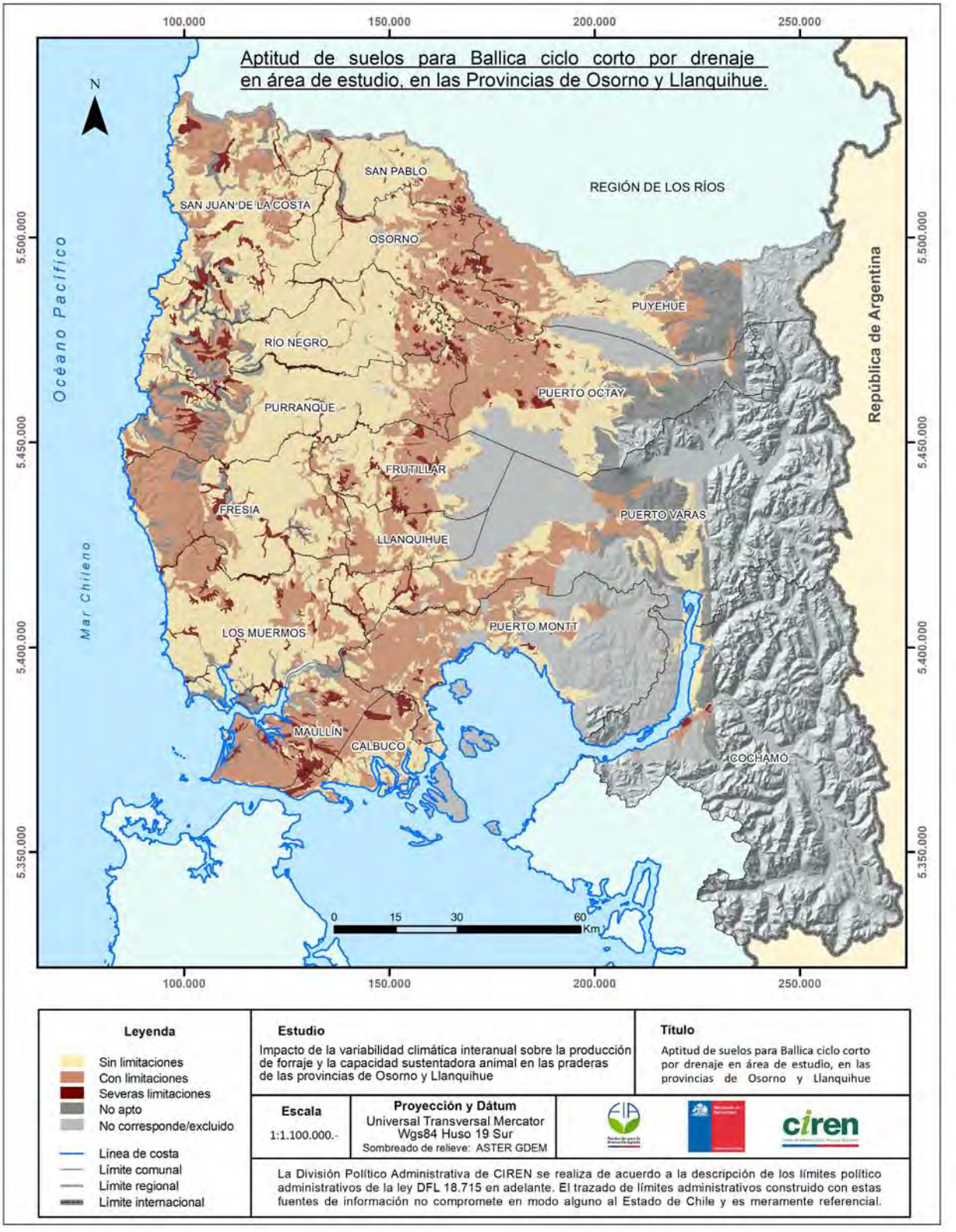


Figura N°51. Aptitud de suelos para ballica ciclo corto según drenaje, en las provincias de Osorno y Llanquihue (Fuente: elaboración propia).

Pendiente

Según se observa en la Figura N°52 en el Valle Central no habría limitaciones por pendiente para el desarrollo productivo de la ballica ciclo corto. Los suelos con severas limitaciones se concentran en la zona de piedmont andino y en la cordillera de la Costa. Las categorías utilizadas se encuentran en el Cuadro N°55.

Cuadro N°55. Aptitud por suelos (hectáreas) según pendiente, en las provincias de Osorno y Llanquihue.

Rangos de pendiente	Categoría	Superficie (hectáreas)	Distribución porcentual (%)
1 a 15	Sin Limitaciones	898.690,7	50
15 a 20	Con Limitaciones	111.603,1	6
mayor a 20	Severas Limitaciones	359.667,3	20
	No suelos*	278.993,6	16
	Sin información	146.465,9	8

(*) La categoría No suelos incluye a las categorías No apto y No corresponde/excluido. (Fuente: elaboración propia.)

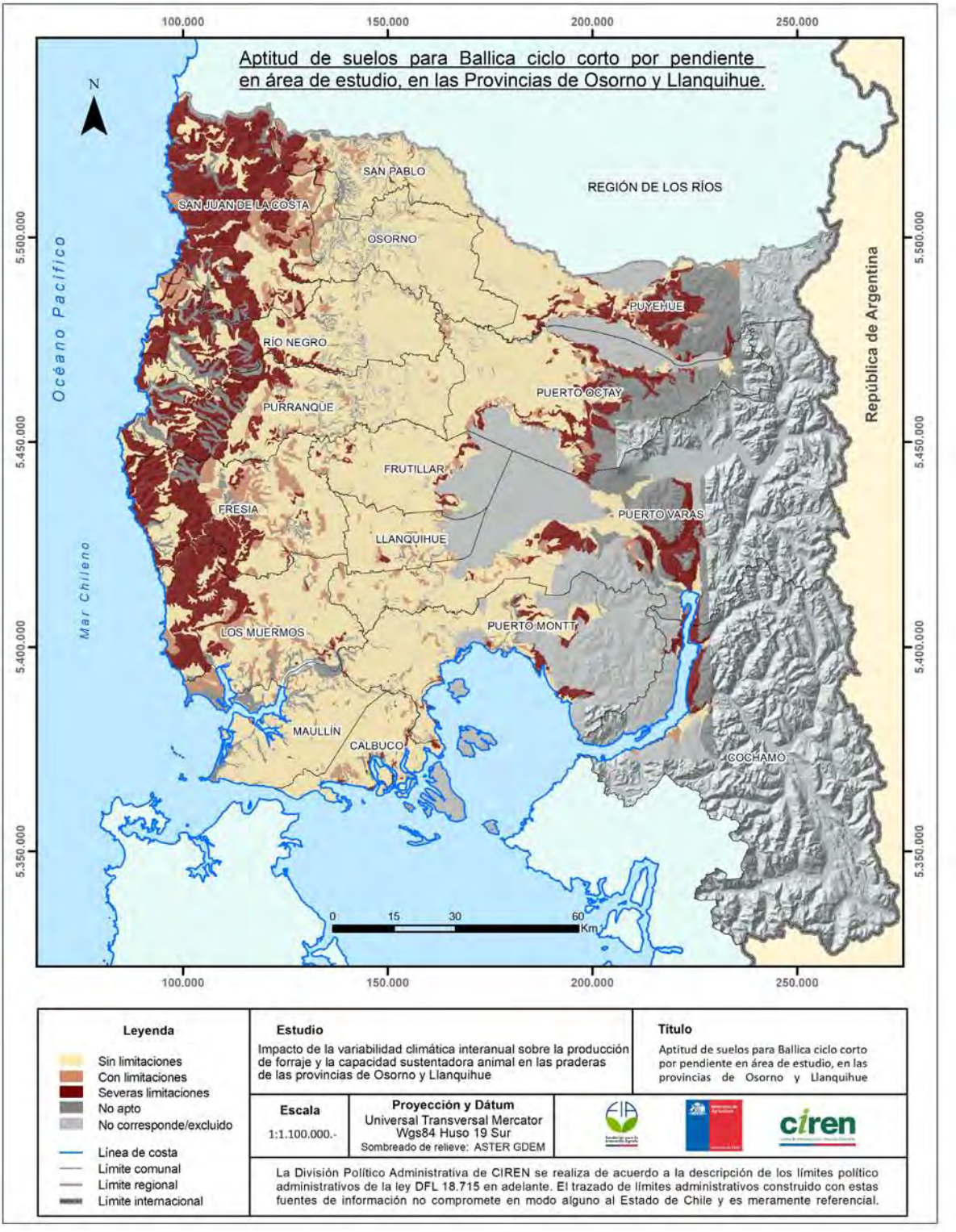


Figura N°52. Aptitud de suelos para ballica ciclo corto según pendiente, en las provincias de Osorno y Llanquihue (Fuente: elaboración propia).

Profundidad

En el área de estudio predominan los suelos sin limitaciones por profundidad para la producción de ballica ciclo corto, los cuales se extienden en una gran área desde la cordillera de la Costa, en el valle central y en el piedmont andino (Figura N°53). En algunos sectores de las comunas de Calbuco y Puerto Montt, las profundidades menores a 75 cm representarían condiciones con limitaciones para el desarrollo de este cultivo. En el Cuadro N°56 se presentan las categorías por rango y superficie.

Cuadro N°56. Aptitud por suelos (hectáreas) según profundidad, en las provincias de Osorno y Llanquihue.

Rangos de profundidad	Categoría	Superficie (hectáreas)	Distribución porcentual (%)
mayor a 75 cm	Sin Limitaciones	1.083.020,5	60
30 a 75 cm	Con Limitaciones	263.439,2	15
menor a 30 cm	Severas Limitaciones	13.098,7	1
	No suelos*	362.123,4	20
	Sin información	73.738,8	4

(*) La categoría No suelos incluye a las categorías No apto y No corresponde/excluido. (Fuente: elaboración propia.)

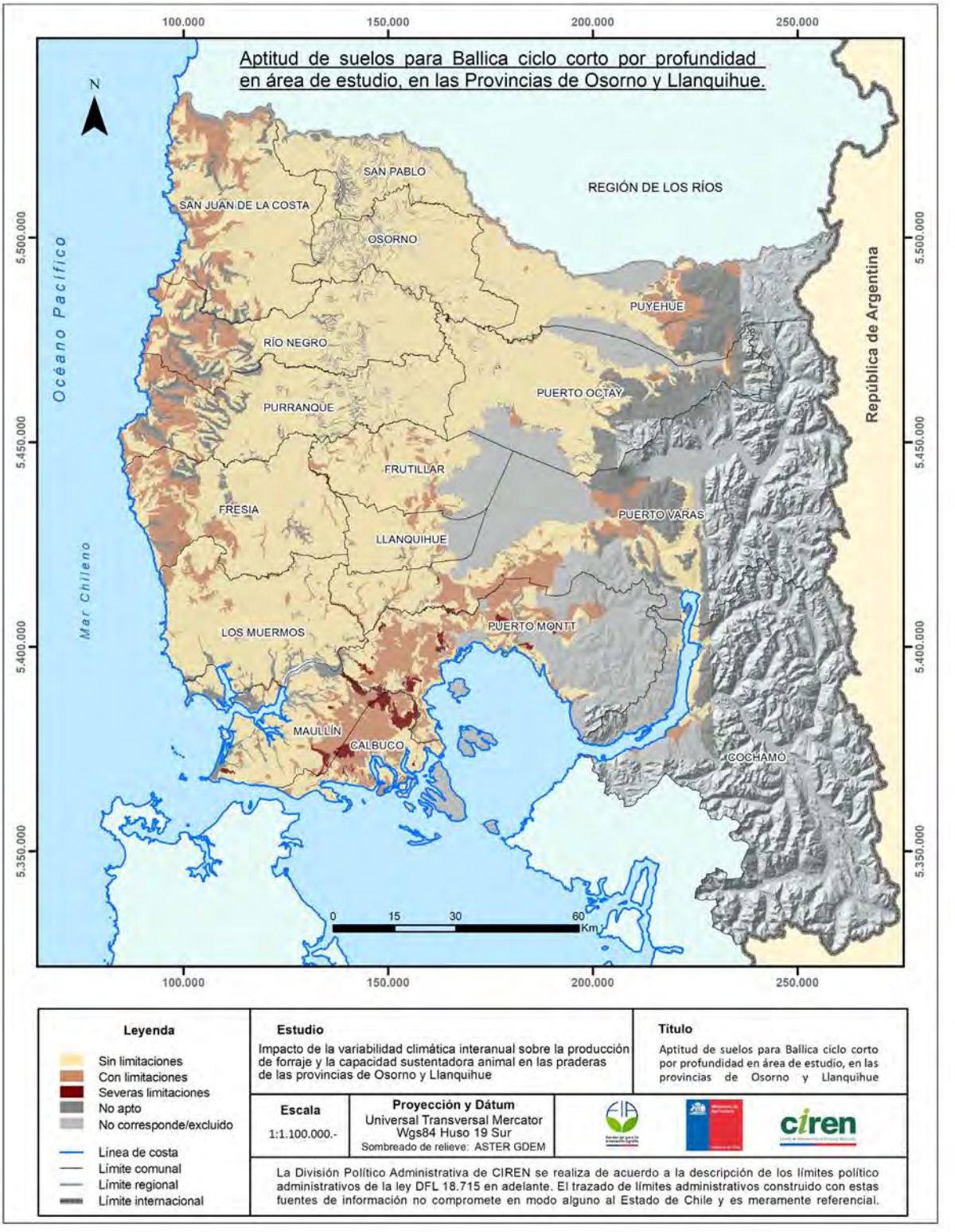


Figura N°53. Aptitud de suelos para ballica ciclo corto por profundidad en área de estudio, provincias de Osorno y Llanquihue (Fuente: elaboración propia).

6.2 POTENCIAL PRODUCTIVO POR CLIMA EN LA PRODUCCIÓN DE ESPECIES SUPLEMENTARIAS

Considerando la importancia de las especies forrajeras en la producción de leche y carne bovina en el sur de Chile como fuente complementaria de alimentación del ganado, se realizó una estimación del potencial productivo para conocer la respuesta de las especies suplementarias a las condiciones climáticas presentes en el área de estudio. El trabajo consideró las áreas correspondientes a la precordillera de la Costa y Valles Centrales, de las provincias de Osorno y Llanquihue. Al igual que en el análisis realizado para las praderas, se excluyó el área correspondiente a la precordillera de los Andes de ambas provincias debido a la falta de estaciones meteorológicas con registros de más de 30 años que permitan realizar un análisis más preciso.

Productividad de maíz para silo corto bajo condiciones climáticas actuales

A continuación se muestran los datos de productividad media anual estimada en kg MS/ha de maíz para silo, para la condición climática actual en las provincias de Osorno y Llanquihue (Cuadro N°57), y su representación en la Figura N°54.

Cuadro N°57. Estimación de la productividad media anual (kg MS/ha) de maiz silo, por unidad fisiográfica en las provincias de Osorno y Llanquihue

	Productividad media anual (kg MS/ha)
Provincia Osorno	
Cordillera de la Costa	15.987
Depresión Intermedia	17.349
Provincia Llanquihue	
Cordillera de la Costa	14.765
Depresión Intermedia	16.691

Fuente: elaboración propia.

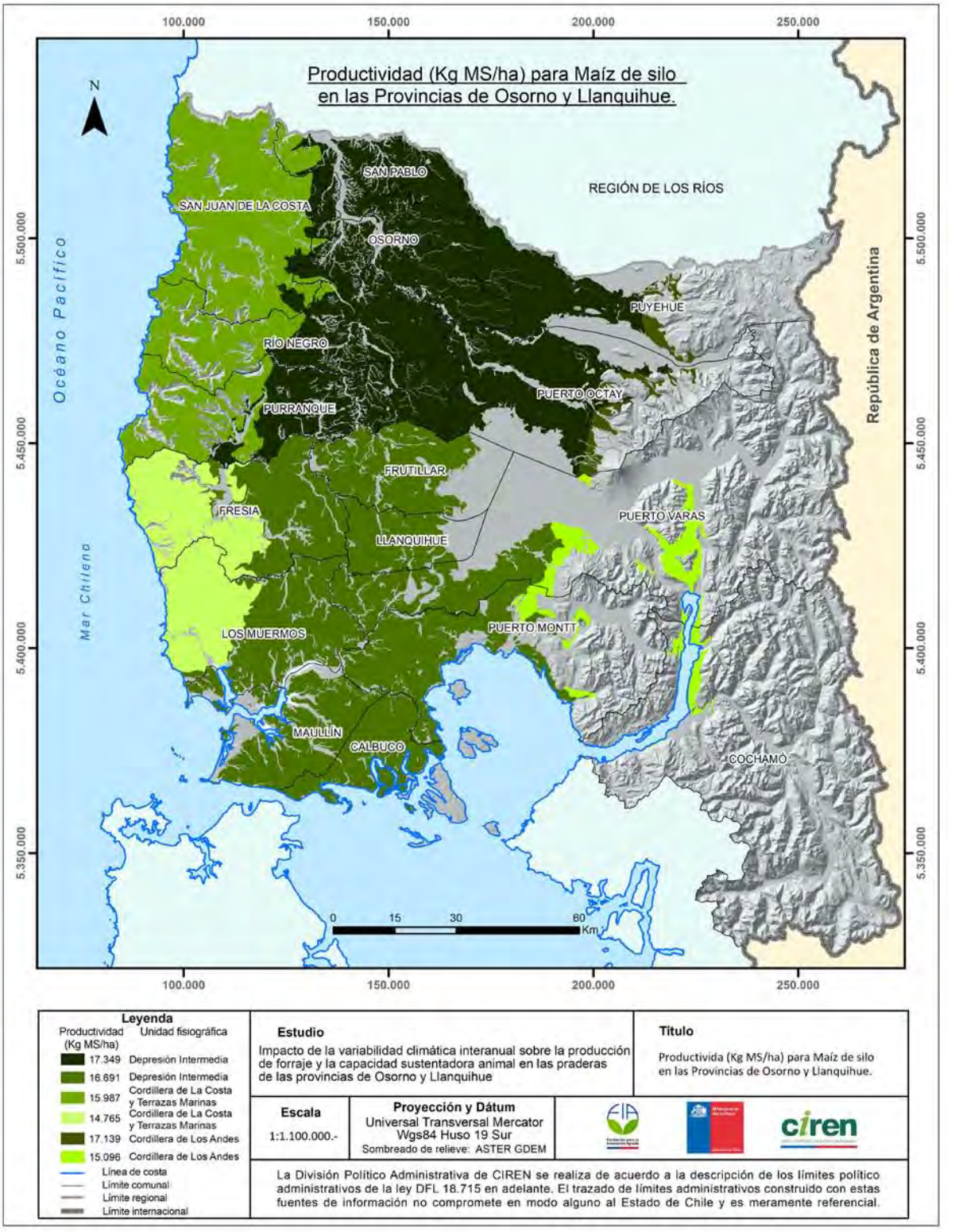


Figura N°54. Productividad media anual estimada (kg MS/ha) de maíz silo, en las provincias de Osorno y Llanquihue (Fuente: elaboración propia).

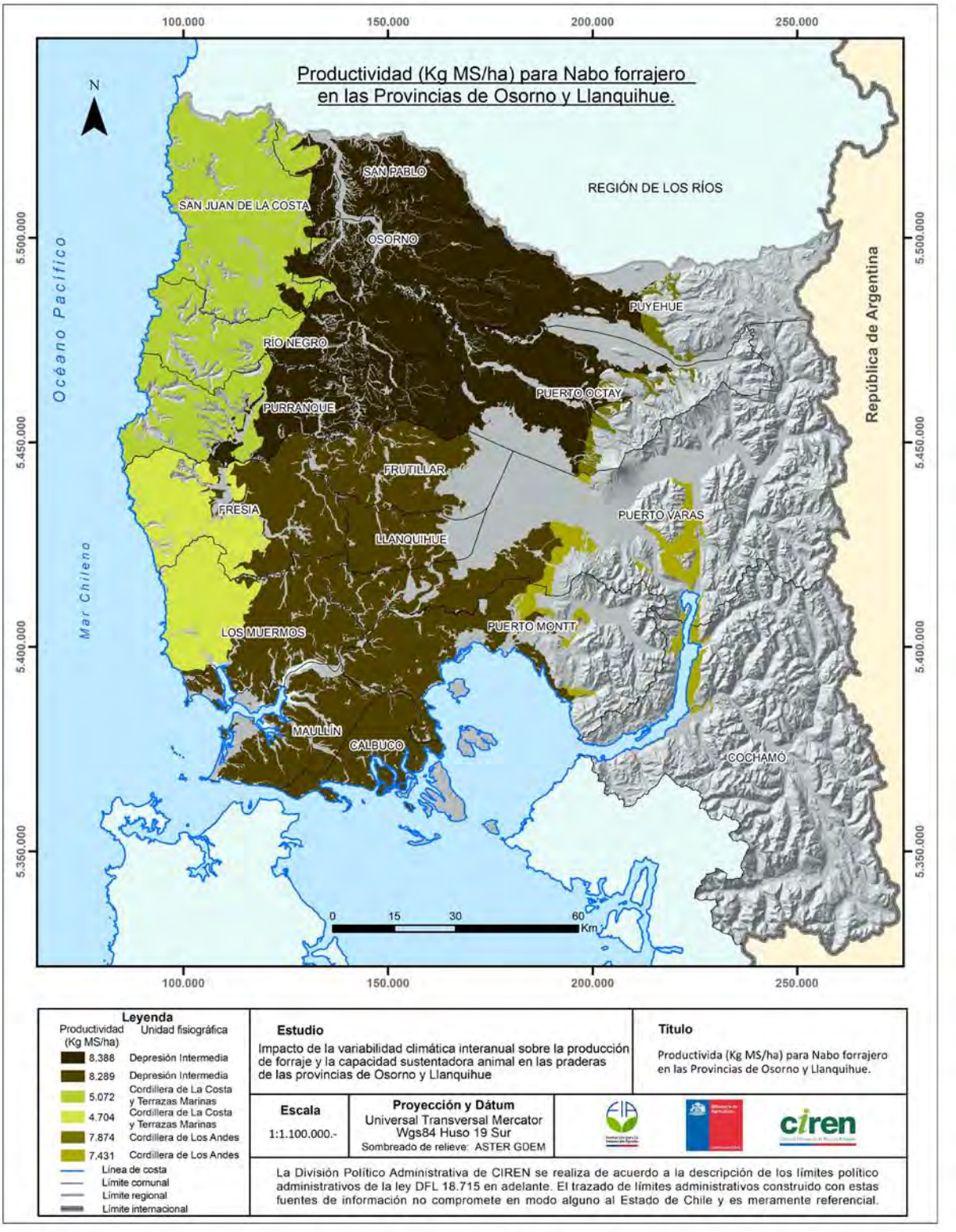


Figura N°55. Productividad media anual estimada (kg MS/ha) de nabo forrajero, en las provincias de Osorno y Llanquihue (Fuente: elaboración propia).

Productividad de nabo forrajero bajo condiciones climáticas actuales

A continuación se muestran los datos de productividad media anual estimada en kg MS/ha de nabo forrajero, para la condición climática actual en las provincias de Osorno y Llanquihue (Cuadro N°58), y su representación en la Figura N°55.

Cuadro N°58. Estimación de la productividad media anual (kg MS/ha) de nabo forrajero, por unidad fisiográfica en las provincias de Osorno y Llanquihue.

	Productividad media anual (kg MS/ha)
Provincia Osorno	
Cordillera de la Costa	5.072
Depresión Intermedia	8.388
Provincia Llanquihue	
Cordillera de la Costa	4.704
Depresión Intermedia	8.289

(Fuente: elaboración propia.)

Productividad de ballica ciclo corto bajo condiciones climáticas actuales

A continuación se muestran los datos de productividad media anual estimada en kg MS/ha de ballica ciclo corto, para la condición climática actual en las provincias de Osorno y Llanquihue (Cuadro N°59), y su representación en la Figura N°56.

Cuadro N°59. Estimación de la productividad media anual (kg MS/ha) de ballica ciclo corto, por unidad fisiográfica en las provincias de Osorno y Llanquihue.

	Productividad media anual (kg MS/ha)
Provincia Osorno	
Cordillera de la Costa	8.253
Depresión Intermedia	11.459
Provincia Llanquihue	
Cordillera de la Costa	8.715
Depresión Intermedia	10.425

(Fuente: elaboración propia)

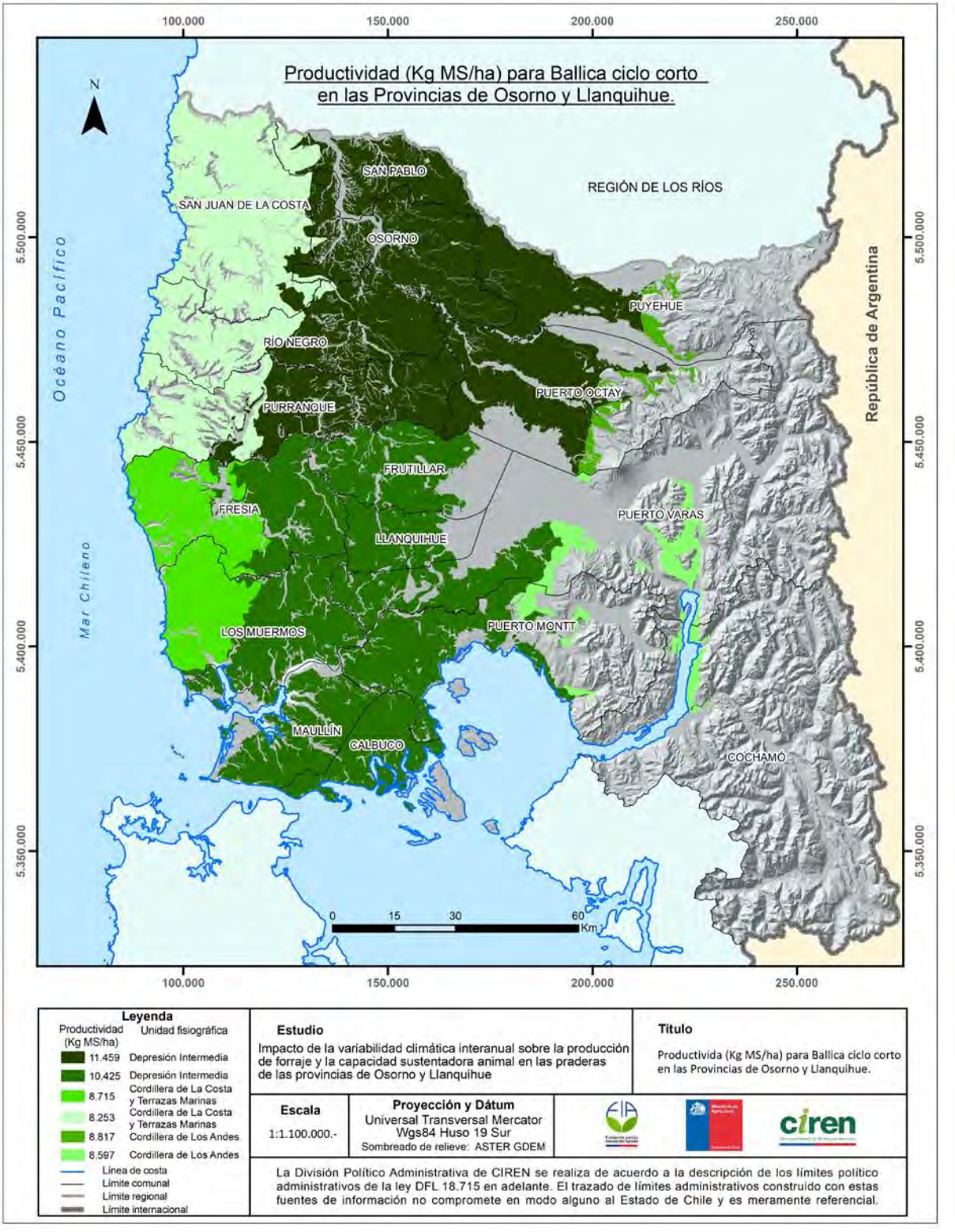


Figura N°56. Productividad media anual estimada (kg MS/ha) de ballica ciclo corto, en las provincias de Osorno y Llanquihue (Fuente: elaboración propia).

6.3 ESTIMACIÓN DE COSTOS DE PRODUCCIÓN DE TRES CULTIVOS FORRAJEROS SUPLEMENTARIOS EN LAS PROVINCIAS DE OSORNO Y LLANQUIHUE

A continuación, se presenta la estructura de estimación de costos directos de producción para los tres cultivos suplementarios considerados en el estudio.

Estimación de costos de producción de maíz para silo

A continuación, se presenta una estimación de costos de producción de maíz silo. Para ello se consideró una producción de 20 ton/ha, variedad precoz, altura promedio de la planta de 3,2 m, tipo de grano semidentado, densidad de plantas de 98.000 plantas/ha y un nivel óptimo de fertilidad de suelos (Cuadro N°60).

Cuadro N°60. Estimación de costos directos de producción para el establecimiento de cultivo de maíz para silo ($/ha).

		Cantidad	Unidad	Precio($/Un)	Valor ($)
Mano de obra	Labores culturales	5	JH	17.000	85.000
	Sellado de silo	1	JH	17.000	17.000
Máquinas y Equipos	Aradura	1	ha	64.000	64.000
	Rastraje	2	ha	32.000	64.000
	Vibrocultivador	1	ha	11.000	11.000
	Sembradora	1	ha	35.000	35.000
	Aplicación agroquímicos	1	ha	16.000	16.000
	Sembradora	1	ha	35.000	35.000
	Acarreo y compactado	1	ha	180.000	180.000
Insumos	Semillas	20	kg	10.000	200.000
Fertilizantes	Mezcla Fertilizante (5-25-20)	600	kg	477	286.200
	Urea	500	kg	480	240.000
Herbicida	Basagran	2	L	9.000	18.000
	Guardian	2	L	6.000	12.000
Insecticida	Troya	4	L	10.000	40.000
Otros	análisis de suelo	1	Unidad	30.000	30.000
Costos Total ($/ha)					**1.333.200**

(Fuente: elaboración propia)

Los principales ítems que estructuran los costos directos de producción del establecimiento y cultivo de maíz silo son: fertilizantes con una participación relativa de 39,5% de los costos directos de producción por hectárea, seguido de máquinas y equipos con 30,4%, compra de semillas con 15% y mano de obra con una participación de 7,7% de los costos totales de producción.

En base a estos datos y el nivel de producción de materia seca, el costo por kg de materia seca se puede estimar en $66,6.

Estimación de costos de producción de nabo forrajero

En cuanto al cultivo de nabo forrajero, para la estimación de los costos de establecimiento y producción de las variedades rival y barkant, se considera una producción de 9 ton de materia seca por hectárea año y un nivel óptimo de fertilidad de suelos (Cuadro N°61).

Cuadro N°61. Estimación de costos directos de producción para el establecimiento y cultivo de nabo forrajero ($/ha).

		Cantidad	Unidad	Precio($/Un)	Valor ($)
Mano de obra	Aradura	0,1	jh	17.000	1.700
	Rastraje	0,25	jh	17.000	4.250
	Siembra	1	jh	17.000	17.000
	Fertilización	0,2	jh	17.000	3.400
	Fumigación	1	jh	17.000	17.000
Máquina y equipos	Sembradora	1	ha	35.000	35.000
	Rodón	1	ha	25.000	25.000
	Rastraje	1	ha	32.000	32.000
	Arado	1	ha	64.000	64.000
	Trompo abonador	1	ha	8.000	8.000
Insumos	Semillas	3	kg	6.500	19.500
Fertilizantes	Superfosfato Triple	390	kg	355	138.450
	Urea	260	kg	317	82.420
	Muriato de potasio	200	kg	327	65.400
Herbicida	Basagran	2	L	9.000	18.000
Otros	Análisis de suelo	1	Unidad	30.000	30.000
Costos Total ($/ha)					**561.120**

(Fuente: elaboración propia)

Los principales ítems que estructuran los costos directos de producción del establecimiento y cultivo de nabo son: fertilizantes con una participación relativa de 54% de los costos directos de producción por hectárea, seguido de máquinas y equipos con 30%, compra de semillas con 9% y mano de obra con una participación de 7% de los costos totales de producción.

Dado los costos directos de producción y el nivel de producción de materia seca, el costo por kg de materia seca se puede estimar en $62.

Estimación de costos de producción de ballica anual

En el Cuadro N°62 se presenta una estimación de costos de establecimiento y producción de una pradera artificial de ballica anual variedad tama. Para la estimación se considera una producción de 10 ton de materia seca por hectárea año y un nivel óptimo de fertilidad de suelos.

Cuadro N°62. Estimación de costos directos de producción para el establecimiento y cultivo de ballica anual ($/ha).

		Cantidad	Unidad	Precio($/Un)	Valor ($)
Mano de obra	Siembra	1	jh	17.000	17.000
	Aplicación de agroquímicos	1	jh	17.000	17.000
Máquinas y equipos	Aradura	1	ha	64.000	64.000
	Rastraje	1	ha	32.000	32.000
	Vibrocultivador	1	ha	11.000	11.000
	Fumigación	1	ha	16.000	16.000
	Sembradora	1	ha	35.000	35.000
	Rodón	1	ha	25.000	25.000
	Trompo abonador	1	ha	8.000	8.000
Insumos	Semillas	25	kg	2.200	55.000
Fertilizantes	Superfosfato Triple	350	kg	680	238.000
	Sulpomag	100	kg	283	28.300
	Muriato de potasio	83	kg	327	27.141
Herbicida	Basagran	2	L	9.000	18.000
Otros	Análisis de suelo	1	Unidad	30.000	30.000
Costos Total ($/ha)					**621.441**

(Fuente: elaboración propia)

Los principales ítems que estructuran los costos directos de producción del establecimiento y cultivo de ballica de anual son: fertilizantes con una participación relativa de 47% de los costos directos de producción por hectárea, seguido de máquinas y equipos con 31%, compra de semillas con 9% y mano de obra con una participación de 5% de los costos totales de producción.

Dado los costos directos de producción y el nivel de producción de materia seca, el costo por kg de materia seca se puede estimar en $62,1.

7.RECOMENDACIONES EN EL MANEJO DE PRADERAS

Las causas por las cuales las praderas se degradan son variadas y complejas. Entre ellas es posible mencionar fallas en la selección de especies, manejo inadecuado de las praderas, fallas en el manejo del pastoreo, factores bióticos como presencia de plagas y enfermedades, factores abióticos como exceso o déficit de lluvias o fallas en el drenaje, entre otras.

De acuerdo con los escenarios futuros modelados bajo condiciones de cambio climático, la disminución en la proporción de forraje producido durante los meses de verano, con respecto al total producido al año, esto es desde un 10,2% en el período presente a un 5,3% en el período futuro lejano, hace necesaria la implementación de diferentes estrategias para asegurar la alimentación del ganado durante el período estival.

Una de las alternativas que ha generado mayor interés en los productores, es la implementación de riego tecnificado en praderas, lo que permite mantener el crecimiento activo en aquellos veranos con déficit hídrico. No obstante, las proyecciones climáticas presentadas en el presente estudio hacen necesario buscar otras alternativas que presenten mayores eficiencias en el uso del agua, como por ejemplo el establecimiento de cultivos suplementarios de verano, como algunas brassicas forrajeras (nabo forrajero), que poseen mayor potencial productivo que las praderas permanentes en ciclos de crecimiento más acotados. De igual manera, el establecimiento de una proporción del predio con ballica anual *(Lolium multiflorum)*, como alternativa suplementaria, permitiría utilizar de manera más eficiente el agua de riego disponible.

Cobra especial relevancia la investigación y desarrollo de planes de manejo que incorporen el establecimiento de especies forrajeras más adaptadas a condiciones de déficit hídrico, como el pasto ovillo *(Dactylis glomerata)*, la festuca (*Festuca arundinacea)*, el bromo (*Bromus valdivianus)* o el festulolium, idealmente establecidas como una pradera mixta, que le entregue a este recurso forrajero mayor resiliencia frente a condiciones climáticas adversas y eventos anómalos de precipitaciones y olas de calor.

A continuación, serán revisadas en mayor detalle algunas recomendaciones que permitan disminuir el riesgo de degradación del recurso pratense y mantener la alimentación del ganado, sobre todo considerando los escenarios a los cuales se verá enfrentado el sector pecuario de las provincias de Osorno y Llanquihue

Uso de especies mejor adaptadas a altas temperaturas y déficit hídrico

Las praderas en el sur de Chile suelen enfrentar períodos de sequía estival con variabilidad entre años, los cuales pueden ser prolongados debido a la disminución de precipitaciones, viéndose afectada la producción de materia seca por hectárea, principalmente por la baja resistencia al déficit hídrico y a las altas temperaturas de las especies que la componen. Esta problemática hace interesante estudiar especies que presenten mayor tolerancia al déficit hídrico y a las altas temperaturas.

Unas de las características que deben presentar las especies para enfrentar la sequía, es la profundidad de las raíces, pues a mayor profundidad la opción de obtener agua es mayor. Dentro de las principales especies que componen las praderas en el sur, está la ballica perenne, la cual presenta muy buenas cualidades tanto en su calidad, palatabilidad, como en su agresividad para establecerse, entre otros. Sin embargo, no tiene la capacidad para crecer en forma abundante en condiciones de déficit hídrico y altas temperaturas como las que se presentan en verano.

Dado lo anterior, la elección de especies forrajeras deberá estar enfocada en el uso de especies forrajeras que soporten de mejor manera el estrés hídrico, y que cuenten con un sistema radical más profundo, por ejemplo, respecto al de ballica perenne, permitiendo la obtención de agua a una mayor profundidad.

Entre las alternativas es posible mencionar algunas especies que son más resistentes al déficit hídrico y a las altas temperaturas, como lo son festuca, bromo, pasto ovillo y festulolium (híbrido entre ballica y festuca).

La festuca *(Festuca arundinacea)* es una especie que registra producción en verano, en especial, en días donde la temperatura supera los 15°C. Su principal limitante es la baja persistencia que presenta en condiciones de acidez del suelo, aun cuando los nuevos cultivares soportan un mayor rango de pH.

Es una planta que se adapta a una gran variedad de suelos y soporta sequías prolongadas superiores a los 4 meses, ya que posee raíces profundas que le permiten obtener agua en estratas inferiores de suelo, permitiéndole un rápido rebrote.

El festulolium corresponde a un híbrido interespecífico entre los géneros festuca y lolium *(Lolium spp x Festuca spp)*. Dependiendo del aporte de cada especie, es el comportamiento agronómico que puede tener el cultivar. El objetivo de obtener especies por cruzamiento es que los cultivares que se originen, presenten las mejores características de los padres, es decir, buena tolerancia al déficit hídrico, rusticidad y buena calidad nutritiva y palatabilidad. El festulolium tiene alta resistencia a periodos secos.

El pasto ovillo *(Dactylis glomerata)* es una gramínea perenne de alta rusticidad. Se adapta a una gran diversidad de suelos y climas. Es de lento establecimiento, pero a partir del segundo año productivo, se comporta como una planta muy agresiva y competitiva. Domina la composición botánica de las pasturas cuando estas son sometidas a periodos prolongados de rezago. Se caracteriza por presentar una alta tolerancia a períodos de déficit hídrico, resiste pastoreos intensos, es capaz de soportar condiciones de baja fertilidad, acidez y contenido mo-

derado de aluminio en el suelo. Los cultivares de pasto ovillo se caracterizan por presentar una buena productividad estival, otoñal y una menor productividad en primavera, con una calidad nutritiva inferior a ballica perenne, calidad que puede mejorarse al sembrar esta especie en mezcla con otra gramínea de lento establecimiento como festuca o una leguminosa como trébol blanco.

Bromo (*Bromus valdivianus)* son gramíneas poco adaptadas a suelos con problemas de anegamiento o que presenten una textura pesada, sean muy ácidos, o que tengan niveles moderados a altos de aluminio. Estas especies presentan un enraizamiento moderadamente profundo con alta tolerancia a sequías. Entre las especies que se comercializan en el país, destaca *Bromus stamineus* Desv., especie perenne natural de Chile, que se encuentra formando parte de las praderas de la zona centro-sur y sur del país. La tolerancia al estrés hídrico de esta especie le permite generar pasturas densas en áreas de secano desde las regiones del Biobío a Los Lagos. Es una planta que presenta la estacionalidad característica de las gramíneas de la zona templada, que concentra su producción en primavera, pero con un interesante crecimiento en verano-otoño. Se caracteriza por su resistencia a gusanos blancos, su elevada persistencia, su adaptación al pastoreo intensivo y frecuente, ya que es una especie que presenta un rápido rebrote post utilización.

Las especies antes mencionadas, no se encuentran ampliamente establecidas en la región de Los Lagos y son preferidas en menor medida por los agricultores, ya que tienen algunas limitantes como marcado crecimiento estacional, menor palatabilidad, calidad y lento establecimiento. Sin embargo, estas han sido significativamente mejoradas con nuevas variedades. La menor velocidad de su establecimiento y su menor competencia inicial con las malezas, pueden ser solucionadas con una buena preparación de suelo, siembra oportuna y las alternativas de control químico existentes hoy en día.

Estas especies en cuanto a sus requerimientos y las condiciones climáticas a las cuales se está viendo enfrentada la región, serían alternativas viables en cuanto a rendimiento, para los productores ganaderos en reemplazo de algunas especies actualmente existentes y que están mostrando desde ya señales de daño por estrés hídrico, lo que se ha visto reflejado en sus menores rendimientos.

Uso de cultivos suplementarios

Durante el periodo estival, los sistemas pastoriles se ven enfrentados a una reducción en el consumo de materia seca debido a una restringida disponibilidad de la pradera, ya que la oferta forrajera presenta una marcada estacionalidad, disminuyendo la producción y calidad de éstas hacia fines de verano, producto de las deficiencias hídricas del suelo. Al respecto, los cultivos suplementarios, como su nombre lo indica, van a suplementar o complementar los déficits que ocurren en los periodos de escasez de forraje, ya sea en invierno o en verano.

En el presente estudio fueron analizados tres cultivos suplementarios (nabo forrajero, ballica ciclo corto, maíz para silo), los cuales son opciones que actualmente se están utilizando en la región. Mayor detalle se encuentra en el Capítulo 6 de la presente guía.

Fertilización de praderas como práctica anual

La fertilización es una práctica de manejo que contribuye a aumentar la producción de forraje, mejorar su distribución y elevar la calidad nutritiva de la pradera, y con ello, la productividad animal e ingresos de los productores (Moscoso *et al.*, 2020).

La respuesta de la pradera a la fertilización, medida como el incremento del rendimiento de materia seca, está sujeta a múltiples variables tanto climáticas como de manejo. Sin embargo, siempre una mayor fertilidad permitirá un mejor desempeño de la pradera bajo condiciones adversas, incluso, una fertilización adecuada es capaz de atenuar la estacionalidad de la producción y disminuir el efecto del ataque de diferentes plagas (gusano blanco, cuncunilla negra, etc.) (Ponce, 2000b).

Las recomendaciones de fertilización para las praderas comúnmente están orientadas a fertilización de corrección, fertilización de producción y/o fertilización de mantención. En el Cuadro N°63 se pueden apreciar algunas dosis anuales de fertilización de mantención o de corrección, dependiendo del nivel de fertilidad del suelo en que está establecida una pradera y las parcializaciones en que se deben aplicar los distintos fertilizantes (Bernier y Undurraga, 2006).

Cuadro N°63. Dosis anual (kg/ha) para fertilización de mantención para un nivel óptimo de fertilidad y corrección para un nivel medio y bajo de fertilidad en un suelo con praderas.

	Fertilización de mantención		Fertilizaciones de corrección			
	Pradera alta fertilidad	Parcialización (%) Otoño-primavera	Pradera media fertilidad	Parcialización (%) Otoño-primavera	Pradera baja fertilidad	Parcialización (%) Otoño-primavera
Nitrógeno (N)	110-120	30-35-35	100-120	30-35-35	50-60	40-60
Fósforo (P_2O_5)	90-110	40-60	110-120	40-60	110-120	40-60
Potasio (K_2O)	40-60	40-60	50-60	40-60	50-60	40-60

Fuente: Adaptado a partir de Bernier y Undurraga, 2006.

En la fertilización de mantención se recomiendan al menos 2 parcializaciones. Una a fines de febrero a primera quincena de marzo, con el objeto de estimular el crecimiento de la pradera a la salida del período estival (verano). La otra, según las condiciones climáticas imperantes, se recomienda realizarla a salidas de invierno o principios de primavera, ya que las condiciones climáticas del invierno en la región no favorecen el crecimiento de las praderas producto de las bajas temperaturas que, además, no favorecen la mineralización de nutrientes del suelo y las precipitaciones que producen la lixiviación de algunos de ellos.

En el caso de praderas en fertilidad media se aplican dosis más altas de fertilizantes para corregir gradualmente las deficiencias y luego aplicar las dosis de mantención. En caso de niveles muy bajos de fertilidad se recomienda realizar la corrección en forma paulatina, en dos a tres años.

Es fundamental mejorar la fertilidad del suelo. Las espe-

cies forrajeras en un suelo con mayor contenido de nutrientes consiguen que sus raíces aumenten en profundidad y, por tanto, sean más tolerantes a la sequía (Torres, 1999).

El nitrógeno es el nutriente directamente responsable del rendimiento vegetal, pero su respuesta depende del buen nivel de los otros nutrientes (fósforo, potasio, calcio, etc.) y correcciones de la acidez y del aluminio en el suelo. Además, la respuesta de la pradera al nitrógeno aplicado en el verano es buena, pero muy dependiente de la disponibilidad de agua en el suelo (Teuber, 1999). De mantenerse la condición de sequía, no debe realizarse, pues por falta de humedad, disminuye en forma importante la solubilidad de los fertilizantes aplicados y la absorción de nutrientes por parte de las plantas (Torres, 1999). En períodos en que el aporte de la pradera se torna insuficiente, se puede acelerar su crecimiento mediante la fertilización estratégica con nitrógeno (25 a 30 kg de N/ha cada 30 a 45 días), siempre y cuando las condiciones de temperatura, humedad y fertilidad del suelo no sean limitantes (Parga, 2009).

La fertilización como herramienta de manejo de una pradera en pastoreo, exige mayor preocupación para mejorar la eficiencia de utilización del forraje producido. Esto permitirá, también, un aumento en la carga animal y, por tanto, un aumento en la producción por unidad de superficie.

Debido al déficit hídrico estival muchos agricultores tienen que utilizar los forrajes conservados que tenían destinados para la alimentación del ganado en el invierno, por lo que es necesario conservar forraje para el verano e invierno, lo cual en parte se soluciona aplicando nitrógeno extra en los potreros que se destinan a conservación. Se estima que en primavera se producen 12 kg de materia seca por kilógramo extra de nitrógeno aplicado (Dumont, 2008). Ante esto, se deben tomar medidas de manejo de post sequía, dentro de las cuales se encuentran:

- En las mejores praderas y en suelo de media a buena fertilidad, aplicar fertilización completa o sólo nitrógeno en dosis de 30 a 40 kg/ha. Esta aplicación se debe realizar lo antes posible en otoño.

- Potreros con menor fertilidad pueden ser regenerados o sembrados con avena o ballica anual o de rotación corta. También se puede asociar avena - ballica para tener un buen volumen de forraje en el primer pastoreo y, posteriormente quedar sólo con ballica.

- La fertilización de establecimiento debe ser de alrededor de 40 a 50 kg/ha de nitrógeno, 120 a 150 kg/ha de fósforo y 40 a 50 kg/ha de potasio.

- Regeneración de praderas permanentes de buena fertilidad que han sido degradadas por sequía. Junto a las semillas se debe aplicar una fertilización de mantención de otoño que consiste en 30 a 40 kg/ha de nitrógeno, 100 a 120 kg/ha de fósforo y 30 a 40 kg/ha de potasio.

  Pese al costo inicial que significa, la fertilización es una inversión, ya que un aumento en la productividad primaria puede incrementar la productividad animal, y con ello los ingresos económicos de los agricultores (Moscoso, 2020).

Manejo del pastoreo con déficit hídrico

El crecimiento de las plantas está condicionado por la cantidad de energía que aportan los azúcares (glucosa) que son el producto del proceso de fotosíntesis que ocurre en las hojas verdes expuestas a la radiación solar (Teuber *et al.*, 2007).

Una pradera intensamente pastoreada (entre rangos prácticos), soporta una mayor carga animal, debido a que una proporción más alta de su producción es cosechada. En estas condiciones la pradera presenta una mayor cantidad de hojas y puede llegar al verano con menor producción de macollos reproductivos, ya que estos son controlados mediante este tipo de pastoreo. Por otro lado, en un pastoreo liviano, los residuos son altos, la pradera se deteriora y la carga es baja.

El pastoreo prematuro y continuado, especialmente en primavera, genera el agotamiento de las reservas almacenadas en las plantas, disminuyendo su capacidad de rebrote. Por esto último, la población de especies nobles disminuye, dando espacio para el establecimiento de malezas, acelerando la degradación de la pradera. El pastoreo tardío también afecta la capacidad de producción de forraje de la pradera. Bajo esta situación los animales consumen un alimento sobre maduro, lo que hace disminuir su capacidad de producción de carne o leche (Ponce, 2000a).

Las condiciones de sequía afectan la productividad de las praderas. La falta de humedad detiene el crecimiento de las plantas y retarda el desarrollo de las raíces. Sin un sistema de raíces adecuado, las plantas no pueden extraer agua y nutrientes del suelo, lo cual limita aún más el crecimiento. Para sobrevivir, las plantas dependen de las pocas hojas que tienen para captar la energía solar y producir azúcares en el proceso de la fotosíntesis. Estos azúcares, junto con las pequeñas cantidades de reservas, son utilizados para mantener las funciones básicas de vida (Warren y Aravis, 2003).

Las disponibilidades de forraje prepastoreo recomendadas para verano fluctúan entre 2.000 y 2.400 kg de MS/ha, siempre y cuando no se sobrepase los 35 días de descanso, para evitar pérdidas importantes de calidad. Bajo condiciones climáticas favorables, la frecuencia de pastoreo debiera variar entre 20 y 30 días (Praga, 2009). En veranos muy secos, en que la pradera detiene su crecimiento, lo más aconsejable es suspender temporalmente el pastoreo rotativo en franjas, para evitar el sobrepastoreo y destrucción de las praderas mejoradas. En localidades con déficit hídrico o déficit severos de humedad del suelo, el intervalo entre pastoreo puede prolongarse hasta 50 días o más, en caso de que la sequía sea extrema (Teuber *et al.*, 2007).

Mientras dure la sequía, las vacas pueden permanecer y ser suplementadas en uno o dos potreros con pradera de menor calidad, manejados como potreros de semi sacrificio, los que posteriormente deberán ser regenerados temprano en el otoño. Una vez finalizado el período de sequía, se deberá retomar gradualmente el pastoreo en franjas, asignando no más de un 3 a 5% de la superficie disponible cada día, de manera de lograr intervalos entre pastoreos de 20 a 30 días (Praga, 2009).

En base a los antecedentes anteriores, el manejo del pastoreo bajo condiciones de déficit hídrico tiene como principales aspectos a considerar los siguientes:

- Asegurar que después de cada pastoreo, las especies que componen la pradera estén en condiciones de iniciar un vigoroso rebrote
- Permitir la sobrevivencia y desarrollo de nuevos tallos, macollas y estolones.
- Controlar la intensidad de pastoreo, que determina la cantidad de residuo postpastoreo y, en consecuencia, el consumo realizado por los animales, evitando el sobrepastoreo.
- Manejar el pastoreo permitirá optimizar tanto rendimiento, persistencia y calidad de la pradera, maximizando la producción animal por hectárea.

Riego de praderas

La pradera tiene necesidades de agua para la producción de biomasa total, de acuerdo con objetivos productivos donde interesa aquella biomasa útil de características especiales para la alimentación de animales. Por lo tanto, la importancia del agua sobre la fisiología de las especies que constituyen la pradera determina de una u otra manera la producción y permanencia de estas especies a través del tiempo (Aedo, 2010).

De acuerdo a lo señalado por Robert (2008) en praderas de la región de Los Ríos, el déficit hídrico del suelo en los periodos estivales es uno de los principales factores que afecta a la disminución de la producción, ya que los demás factores para un óptimo desarrollo pueden estar dados en esta época del año. Por la mayor sensibilidad que presentan las especies más nobles, una sequía afecta más a una pradera artificial que a una natural, comprometiendo la inversión realizada.

El déficit de agua en el suelo se puede suplir con riego. El riego es la aplicación artificial del agua a los cultivos, a fin de suplir el déficit que se produce entre los requerimientos del vegetal y los aportes naturales a través de las lluvias, niveles freáticos, etc. (Jerez y Ortega, 1996). Por lo tanto, el objetivo del riego es suministrar agua suficiente para el crecimiento de las praderas en épocas del año en que las precipitaciones son insuficientes o poco confiables. La aplicación del suministro hídrico, además de producir diferencias en el rendimiento de las plantas, produce una diferencia en la calidad del forraje obtenido (Ortega, 1992). Existen dos sistemas de riego para las praderas: riego por tendido y el riego por aspersión.
En el sistema de riego por tendido se aplica al cultivo el agua de forma gravitacional por inundación superficial. La inundación se logra transportando el agua a la zona de cultivo a través de una acequia cabecera, desde la cual procede la inundación gravitacional de la pradera o cultivo deseado. El riego por tendido es el sistema de riego más antiguo que existe, pero a su vez el más ineficiente en el uso del agua, pues solo se utiliza el 30% de esta (Mancilla, 2009).

Este sistema presenta restricciones topográficas, por lo que se realizó una revisión de la distribución por categoría de riego gravitacional a partir del Estudio Agrológico realizado por CIREN para la región de Los Lagos. A partir de este estudio, se obtuvo que en las provincias de Osorno y Llanquihue un 1% equivalente a 3.900 hectáreas, presentan condiciones muy aptas para utilizar este tipo de riego gravitacional, ya que tienen escasas limitaciones que restringen su uso. Son suelos casi planos, profundos, permeables y bien drenados y con una buena capacidad de retención de agua (Figura N°57).

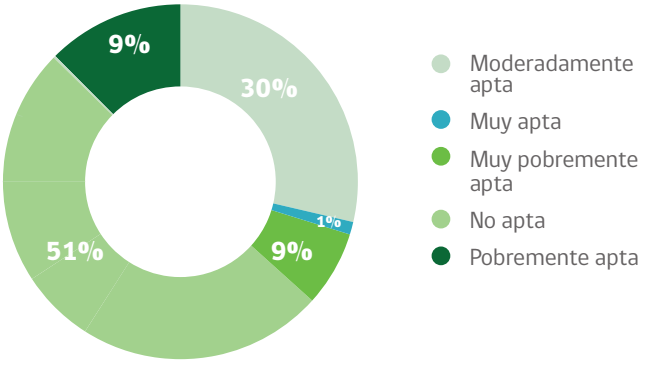


Figura N°57. Distribución porcentual de categorías de riego gravitacional en suelos de las provincias de Osorno y Llanquihue (Fuente: elaboración propia)

El sistema más utilizado para el riego de praderas en el Sur de Chile es el riego por aspersión (Nissen y Mancilla, 2009). La adopción de este sistema obedece fundamentalmente a las condiciones de topografía de la zona, debido a que, por la irregularidad del relieve y las altas pendientes, la aplicación de agua no es posible en forma superficial (Ortega, 1992). Según Ortíz, 2008, este tipo de riego busca aplicar el agua como una lluvia uniforme sobre la pradera con el objetivo que ésta infiltre en el mismo punto donde toca el suelo. Para ello, es necesaria una red de distribución que permita que el agua llegue con una presión uniforme a los emisores encargados de aplicar el riego.

En un estudio realizado en la zona sur de Chile (Sube *et al.*, 2016), el riego tuvo un efecto positivo en la producción de fitomasa aérea, con un aumento en rendimiento de entre 3 y 4 ton MS/ha durante el periodo estival 2012 - 2013. Además, tuvo un efecto importante en el número de macollos por m2 de la pradera, lo que sin duda otorga una mayor persistencia de las praderas permanentes. A continuación, se muestra la gráfica de dicha investigación (Figura N°58).

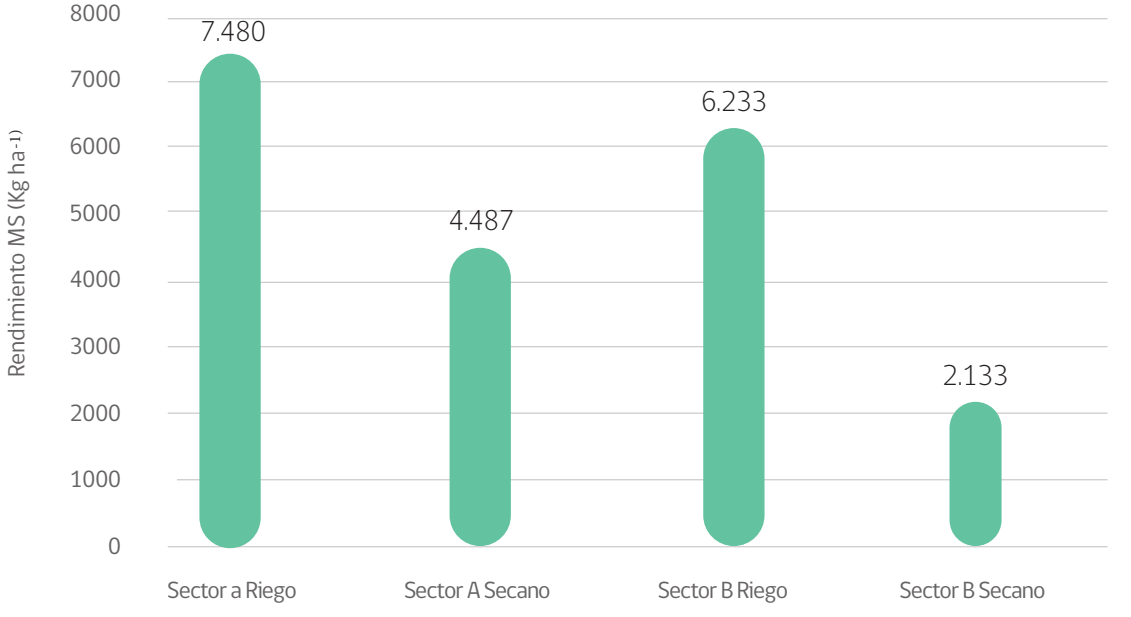


Figura N°58. Producción MS promedio en la pradera regada y sin riego en dos localidades del sur de Chile (Fuente: Sube et al., 2016).

Otro estudio realizado en la provincia de Ranco (Robert, 2008; Nissen y Robert, 2009) tuvo resultados similares, aumentando el rendimiento de las praderas durante el periodo estival entre 1.500 y 2.600 kg MS por efecto del riego, equivalente a 4,6 y 8 kg MS/mm riego/ha, y obteniendo un efecto significativo en la calidad nutricional de la materia seca. Por lo que, además del aumento en la producción de la pradera, el riego permite mantener con mayor seguridad los niveles de producción de pasto, mejorando así la planificación de reserva de forraje.

En la actualidad, los sistemas mecanizados de riego más

utilizados en praderas son el pivote central y el sistema de riego por aspersión K-Line (Sube *et al.*, 2016).

El pivote central, consiste en una tubería de gran longitud instalada en una estructura sobre ruedas y que gira describiendo un círculo sobre un eje fijo. Sobre la tubería se instalan aspersores de baja presión, aplicando caudales que van en aumento desde el eje hasta el extremo del brazo (Snellen, 1997 citado por Mancilla, 2009).

El sistema K-Line, es relativamente nuevo. Creado en Nueva Zelanda, presenta una línea de riego de polietileno flexible, que hace posible arrastrarlo por una cuadrimoto sin dejar de regar, permitiendo una disminución en los tiempos de cambio de posición y además en la mano de obra necesaria (Nissen y Mancilla, 2009).

Los beneficios del sistema K – Line son: baja inversión inicial, bajo costos de operación (1 operario y cuadrimoto), presión de operación baja, fácil instalación y reparación de líneas de riego, bajo tiempo de operación, permite la fertirrigación a través del riego, trabaja bien en todos los tipos de suelos, terrenos y tamaños de predios, disminución de las pérdidas de agua y energía en el riego por la baja velocidad de aplicación (2 a 4 mm/hr). Además, es un sistema que se adapta a los recursos hídricos disponibles, opera con fuentes de agua que pueden ser aguas superficiales y subterráneas como esteros, ríos, lagos, pozos profundos, tranques de acumulación, entre otros (Avilés, 2011). En un estudio realizado por Mancilla (2009), se determinó que, para las praderas permanentes del sur de Chile, el sistema de riego K-Line fue el más rentable, debido a menores costos tanto de inversión como operacionales en comparación con el pivote central.

De acuerdo con lo anteriormente mencionado, se prevé que el riego se convertirá en una práctica habitual y necesaria para mantener el rendimiento y calidad de las praderas durante toda la estación de crecimiento en el Sur de Chile, sin embargo, se deberá estimar cuál es la superficie bajo riego que se necesitará para aumentar la producción de forraje del predio y, por ende, el volumen de producción de leche. Con esta información, se podría regar un porcentaje del predio, tomado como opción, las mejores praderas, los terrenos más fértiles y sin limitaciones de nutrientes, ni problemas de acidez, de manera de justificar el alto costo que tendría el riego.

Drenaje, con el objetivo de potenciar las praderas en periodo estival

El término drenaje tiene dos acepciones. Por un lado, es el movimiento del agua en dirección al agua freática y por otro, es la acción de bajar artificialmente la cota de nivel de dicha agua freática, para mejorar las condiciones para el desarrollo vegetal. El objetivo es facilitar la salida del agua, acortando los caminos hacia los cursos libres mediante canales o tuberías con poca resistencia al flujo, por lo cual es necesario planificarlo en términos hidrológicos (Contreras, 2004).

Para que las semillas germinen, las plantas crezcan, se desarrollen adecuadamente y produzcan buenos rendimientos, es necesario que en el suelo coexistan adecuadamente tres fases: una fase sólida, representada por las partículas del suelo; una fase líquida, representada por el agua; y una fase gaseosa, representada por el aire (Jerez y Ortega, 1996). El drenaje es una tecnología que tiene como objetivo fundamental, disminuir el exceso de agua acumulada, tanto en la superficie como en el interior del suelo, con el fin de mantener las condiciones óptimas de aireación y actividad biológica indispensables para los procesos fisiológicos de crecimiento y desarrollo radicular (Salgado y Ortega, 2001).

Situación regional

En la zona sur, el problema de mal drenaje que presentan los suelos es de tipo superficial, es decir, se produce sobresaturación del suelo por causa de una recarga superficial de origen pluvial y escurrimiento de áreas adyacentes a las depresiones del terreno (Ortega, 1992).

De acuerdo al estudio Agrológico de la región de Los Lagos, considerando las provincias de Osorno y Llanquihue, se registraron 594.413 hectáreas con limitaciones y severas limitaciones por drenaje, de las cuales un 46% representa un drenaje imperfecto, que es una condición donde no se evacua el agua dentro del perfil pudiendo dejar un nivel freático a poca profundidad, pero que en un corto período de tiempo esa agua se evacuará; un 22% representa un excesivo drenaje; un 18% moderadamente bueno y el 14% restante con severas limitaciones de drenaje, lo que se puede ver en la Figura N°59.

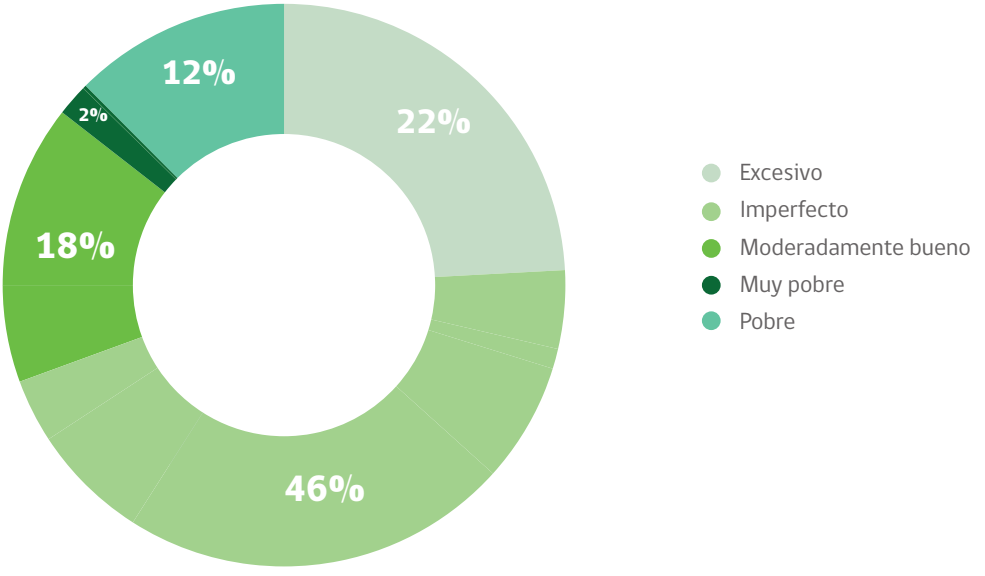


Figura N°59. Distribución porcentual de categorías de drenaje con limitaciones y severas limitaciones para praderas en suelos de las provincias de Osorno y Llanquihue (Fuente: elaboración propia).

Técnicas utilizadas

Drenaje superficial es la remoción de los excesos de agua acumulados sobre la superficie del terreno, a causa de lluvias muy intensas y frecuentes, topografía muy plana e irregular y suelos poco permeables. Se justifica en zonas donde los factores climáticos, las condiciones hidrológicas, las características de los suelos, la topografía y la utilización del suelo, dan lugar a que el agua permanezca inundando la superficie del suelo, durante un tiempo superior al que los cultivos pueden soportar (Contreras, 2004).

Un sistema de drenaje superficial tiene dos componentes: el primero es la red colectora y el segundo consiste en diversas prácticas de acondicionamiento superficial

del terreno, con tal de facilitar el flujo del exceso de agua hacia los colectores. El primer componente, la red colectora, consiste en zanjas y tuberías y el segundo componente, depende del relieve del terreno, por lo cual es el más complejo. Se utilizan métodos de acondicionamiento superficial, que modifican la topografía y el microrelieve del terreno, a fin de proporcionar pendientes que permitan una rápida evacuación de las aguas. Para esto último se utilizan los drenes topos, que cumplen el objetivo de recolectar y conducir el agua de saturación hacia los colectores (Salgado y Ortega, 2001).

Cuadro N°64. Técnicas más recomendadas según tipo de suelo y/o condición freática.

Suelos Ñadis	Sistema zanja colectora con drenes topo, limpieza y ampliación de cauces
Suelos Hualves	Zanjas, drenes en V, o drenes de tubería enterrada
Suelo Vegas	Dren interceptor, Sistema zanja – dren topo
Napa freática alta	Zanja y/o tuberías de drenaje

(Fuente: adaptado de Salgado y Ortega, 2001.)

El sistema de drenaje más utilizado por los agricultores son los drenes topo combinado con una zanja, siendo el más apropiado para la zona y es posible de optimizar incorporando algunos estándares para ciertos parámetros de diseño.

El impacto productivo del mejoramiento del drenaje se da por un aumento en los rendimientos, que se debe fundamentalmente a la expresión del potencial de crecimiento y desarrollo radical, lo cual se hace posible por la eliminación del agua de saturación presente en el suelo. Además, es posible alcanzar un nivel tecnológico mayor de los sistemas de producción prediales, e incluso, diversificar la producción, ya que permitirá la incorporación de cultivos en rotación, y en sistemas ganaderos, posibilita un aumento de carga animal, con la consecuente mayor producción pecuaria.

8. PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA DE MONITOREO ANUAL DE PRODUCTIVIDAD DE PRADERAS

El incremento en la variabilidad climática inter- e intra-anual en la zona de estudio y, por tanto, en la productividad de las praderas, genera la necesidad de contar con herramientas de gestión predial que permitan monitorear el crecimiento de las praderas, idealmente en tiempo real (mediante modelación), y así contar con información que les permita a los productores y asesores prediales tomar medidas de manejo tendientes a disminuir la incertidumbre en la construcción de los balances forrajeros.

A continuación, se representa a través del siguiente diagrama, una propuesta de sistema de monitoreo para la producción de praderas en las provincias de Osorno y Llanquihue.

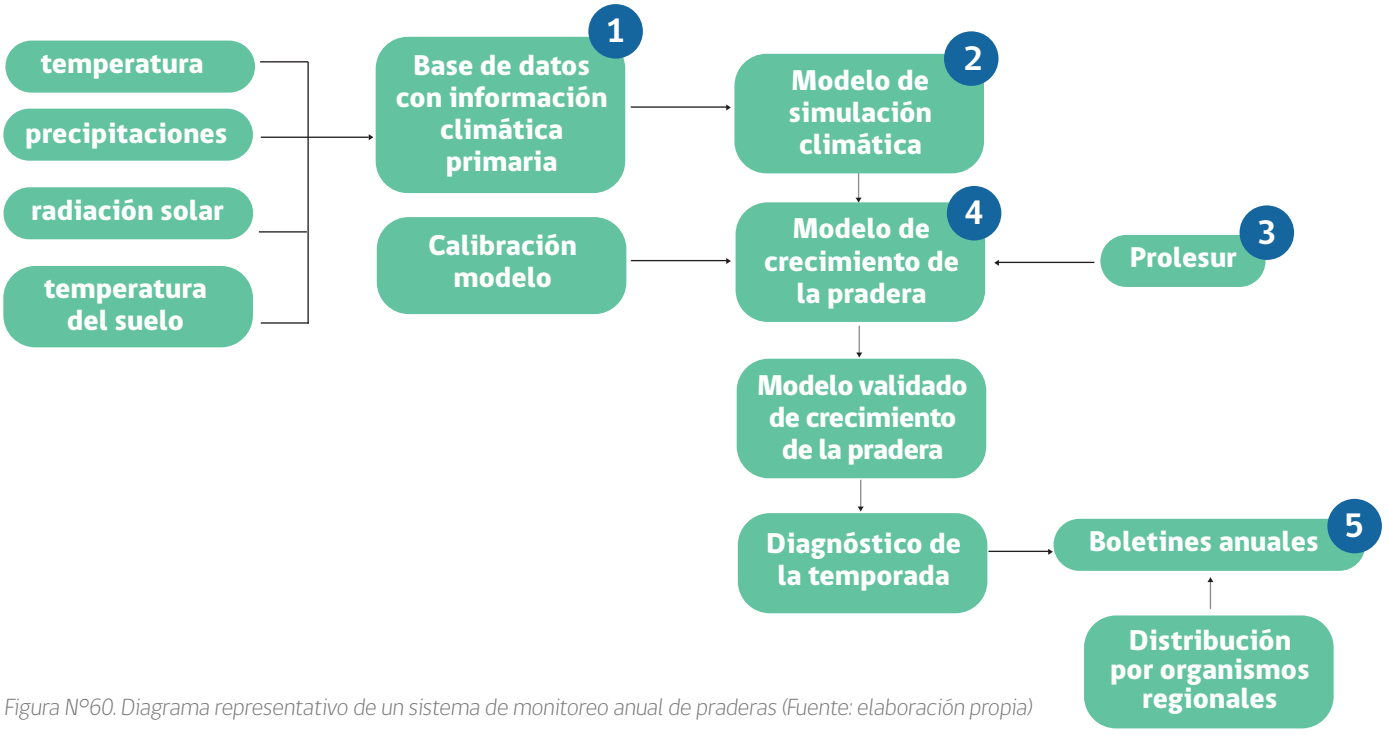


Figura N°60. Diagrama representativo de un sistema de monitoreo anual de praderas (Fuente: elaboración propia)

De acuerdo con lo señalado en la Figura N°60:

1. La información climática a utilizar será la generada por el proyecto bajo los escenarios climáticos simulados. A esta se incluirá la información obtenida de la Red Agroclima de las provincias de Osorno y Llanquihue. El sistema de la Red Agroclima se constituyó a partir de un convenio de colaboración entre distintas instituciones, estas son Fundación para el Desarrollo Frutícola (FDF), Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) y la Dirección Meteorológica de Chile (DMC). Esta es administrada por la FDF siendo su objetivo potenciar y contribuir al desarrollo de diversas actividades tantos productivas como de investigación. Esta red cuenta con 8 estaciones ubicadas en las comunas de Osorno, Purranque, Puerto Octay, Frutillar, Fresia y Llanquihue. A partir de un acuerdo o convenio con esta Red se podría obtener la información climática de temperatura, temperatura del suelo, radiación solar y precipitaciones, para la preparación de una base de datos con información climática simulada.

2. La información primaria alimentará al modelo predictivo utilizado en el presente proyecto.

3. Prolesur, es la Sociedad Procesadora de Leche del Sur S.A., cuyo compromiso es apoyar técnicamente a los agricultores ganaderos en temas como bienestar animal y manejo de praderas, con el fin de lograr una producción de leche basada en las praderas. Para esto último, cuenta con puntos de medición forrajera mediante jaulas de exclusión, con lo cual mensualmente entregan las tasas de crecimiento por localidad. Esta sociedad podría ser invitada a participar en el sistema de monitoreo y aportar con información mensual de tasas de crecimiento para incorporarlos en el modelo. También se podría considerar a Barenbrug Chile, una de las empresas líderes del mercado en el desarrollo de nuevas variedades forrajeras. Ellos se han preocupado por años de generar alternativas que permitan alcanzar buenas producciones y de utilizar de la mejor manera este recurso.

4. El modelo de crecimiento de la pradera se calibrará con las tasas de crecimiento de praderas obtenidas de Prolesur y/o Barenbrug Chile. Con esta información calibrada, se podrán generar diagnósticos para la temporada.

5. La plataforma podría operar bajo dos sistemas de información:
El primero en "tiempo real", con información climática y productiva generada en el corto plazo (días o semanas). El segundo, con información climática en un rango de aproximadamente 5 años (información generada por el proyecto). Esto permitiría entregar al productor información de la temporada en curso y de lo que viene a futuro, pero con un horizonte cercano.

6. A partir de los diagnósticos se podrán preparar boletines anuales de divulgación y/o publicaciones en revistas del agro dirigidos a productores ganaderos de las provincias de Osorno y Llanquihue. Esta información sería de gran importancia para el sector, ya que les permitiría llevar un seguimiento de su pradera y, por tanto, saber cómo se viene la temporada de manera anticipada y junto con ello, poder estar más preparados. Con ambas visiones, en "tiempo real" y a futuro (horizonte cercano), los productores podrán tomar medidas de establecimientos de cultivos forrajeros, destinar más o menos superficie a ensilaje y resembrar praderas, entre otros.

Si bien es factible instalar un sistema de estas características en la región de Los Lagos que permita ir haciendo un seguimiento de las praderas y junto con ello una predicción de una temporada a otra, su funcionamiento y la efectiva entrega de información a los agricultores requerirá el compromiso de varias entidades. Por un lado, los que aporten la información de insumo al sistema (información climática y productividad de praderas) y por otro, que se mantenga el sistema (mantención de plataforma para estos fines, encargado de ingreso de información y preparación de resultados bajo un formato preestablecido).

9.CONSIDERACIONES FINALES

La región de Los Lagos sustenta gran parte de la producción de leche y carne del país. La mayor parte de estos sistemas productivos se apoyan en la utilización directa de la pradera, por lo que una disminución o un cambio en la distribución de las precipitaciones, incidirá directamente en la disponibilidad de forraje para los animales. Esta situación no sólo tiene un efecto inmediato, que es la falta de alimento en el período estival, sino también que, para enfrentar este déficit, se deben utilizar las reservas de forraje destinadas al invierno.

A través de las tendencias proyectadas, se observa que los eventos climáticos adversos para el crecimiento de la pradera irán en aumento. En cuanto a la estacionalidad de la pradera, los resultados muestran que en la medida en que avancen los años, esta tenderá a producir una mayor proporción de la biomasa en el período de primavera, adelantándose las fases de desarrollo, pero con una tendencia a la disminución de la productividad en el periodo de verano. Esto hace necesario la actualización de los planes de manejo alimenticio y de los balances forrajeros prediales, con el propósito de encontrar soluciones sustentables y sostenibles para la alimentación de los animales en el período de mayor déficit hídrico del año.

Dado lo anterior, los productores ganaderos deberán considerar que la falta de forraje y disminución en el crecimiento de sus praderas durante el período estival será una normalidad. Por ello, el presente estudio consideró además incluir tres opciones de cultivos suplementarios, estos son maíz para silo, ballica ciclo corto y nabo forrajero, los que fueron analizados desde el punto de vista de su potencial productivo por suelos y clima en las provincias de Osorno y Llanquihue, junto a una revisión de los costos de producción.

De acuerdo al análisis climático, la disminución de los eventos de heladas y el incremento paulatino de las temperaturas, hará posible la incorporación de nuevas zonas al establecimiento de maíz para ensilaje, una alternativa forrajera que permitirá diversificar la oferta de forrajes conservados en la zona en estudio con un cultivo altamente productivo y de buena calidad nutricional, particularmente en el aporte de energía metabolizable a los animales. La utilización de agua de riego para un cultivo como el maíz para ensilaje en relación con una pradera permanente, se vislumbra como una alternativa más sustentable a largo plazo, en la medida en que las condiciones edafoclimáticas permitan el establecimiento de dicho cultivo.

En síntesis, la disminución de las precipitaciones en las provincias de Osorno y Llanquihue, particularmente en el verano, es un fenómeno que llegó para quedarse y, por lo tanto, se deberán tomar medidas para enfrentar dicha situación. Ya no sólo bastará con comprar forraje si la situación lo amerita, sino que se deberán tomar las acciones para que la solución venga desde el interior del predio. Esta problemática no solo debe ser considerada a nivel de productor, sino también por las empresas e instituciones vinculadas al rubro pecuario y, en la medida que se genere más información que les permita tomar decisiones basadas en datos fiables y adaptados a su realidad, podrán proyectarse con una mayor seguridad. En este sentido, el uso de herramientas de gestión predial que permitan monitorear el crecimiento de las praderas, idealmente en tiempo real (mediante modelación), posibilitará que productores y asesores prediales cuenten con información que les permita tomar medidas de manejo tendientes a disminuir la incertidumbre en la construcción de los balances forrajeros, lo que constituye una medida de adaptación al cambio climático.

BIBLIOGRAFÍA

- Aedo, H. 2010. Efecto de la frecuencia de riego y el manejo de corte sobre la producción de una pradera sembrada de ballica perenne en la comuna de Panguipulli. Tesis de grado, Universidad de Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- Avilés, H. 2011. Riego en praderas, exitosa experiencia sureña. En: Rentabilidad del riego de praderas. Revista Cooprinsem. Edición N°104.
- Barry, T.N., 2013. The feeding value of forage brassica plants for grazing ruminant livestock. Animal Feed Science and Technology 181, 15-25.
- Bernier, R., P. Undurraga. 2006. Fertilización de praderas permanentes para la producción de leche. En: Manual de producción de leche para pequeños y medianos productores. Boletín INIA N°148. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA Remehue. Osorno, Chile.
- Brereton, A.J., Danielov, S.A. and Scott, D. 1996. Agrometeorology of Grass and Grasslands for Middle Latitudes. Technical Note No. 197. Geneva: World Meteorological Organization.
- Castellaro, G., Aguilar, C., Vera, R. and Morales, L. A simulation model of mesophytic perennial grasslands. Chilean Journal of Agricultural Research 72(3): 388-396.
- CEPAL. 2012. La economía del cambio climático en Chile. Santiago, Naciones Unidas, 367 p. http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/35372/S2012058_es.pdf?sequence=12494.2007.00575.x. Revisado el 20 de marzo de 2021.
- Contreras, C. 2004. Drenaje y manejo agronómico de praderas en mallines de la zona húmeda (Región de Aysén). Boletín N°118. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. Coyhaique, Chile.
- Demanet, R., 2009. Pastizales en el sur de Chile. Publicaciones docentes, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad de la Frontera.
- Demanet, R., 2019. Manual de especies forrajeras 2019. Tercera edición, 266p. Chile.
- Demanet, R. y Canales, C. s/a. Establecimiento, cultivo y producción de nabo forrajero suplemento alimenticio de buenas perspectivas. Programa Desarrollo Productores. Departamento Agropecuario Loncoleche. https://www.consorciolechero.cl/chile/documentos/fichas-tecnicas/24junio/establecimiento-cultivo-y-produccion-de-nabo-forrajero-suplemento-alimenticio-de-buenasperspectivas.pdf Revisado el 10 de marzo de 2021.
- Dirección Meteorológica de Chile. https://climatologia.meteochile.gob.cl/ revisado el 25 de febrero de 2021.
- Dumont, J., F. Lanuza, N. Teuber, A. Torres. 2008. Medidas de manejo para período post sequía. Informativo N°63. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. Osorno, Chile.
- Filippi, R. (2017). Enmiendas calcáreas. https://www.watts.cl/docs/default-source/charlas-a-productores/enmienda-calcarea.pdf?sfvrsn=4 Revisado el 10 de enero de 2021.
- García, S., 2012. Efecto de estrés térmico sobre el crecimiento y habilidad de competencia de Lolium perenne L. y Bromus valdivianus Phill. Tesis de grado, Universidad de Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- Jerez, J., Ortega, L. 1996. Riego y Drenaje en praderas. In: I. Ruiz (Ed). Praderas para Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. p. 240 - 264.
- Jouven, M., Carrére, P. and Baumont, R. 2006. Model predicting dynamics of biomass, structure and digestibility of herbage in managed permanent pastures. 1. Model description. Grass and Forage Science 61: 112-124.
- Lanuza, F., 2011. Suplementos Alimenticios, in: Pulido, R., Parga, J., Lanuza, F., Balocchi, O. (Eds.), Suplementación de vacas lecheras a pastoreo. Consorcio Tecnológico de la Leche S.A. Osorno, Chile. pp. 21-48.
- López, H. 1996. Especies forrajeras mejoradas. In: I. Ruiz (Ed). Praderas para Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. p. 45 - 108.

- Mancilla, M. 2009. Factibilidad técnica y económica de implementar riego por aspersión en praderas, para lecherías del sur de Chile. Tesis de grado, Universidad de Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- Márquez, R., 2012. Evaluación de la resilencia post estrés hídrico de praderas de Lolium perenne L. y Bromus valdivianus Phill en competencia. Tesis de grado, Universidad de Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- Moscoso, C., Canto, F., 2015. Las mejores opciones de forraje para enfrentar el déficit hídrico. Instituto de Investigaciones Agropecuaria, INIA Remehue.
- Moscoso, C., Peña, G., Canto, F., Martínez, M. 2020. Estrategias de fertilización sobre la productividad de una pradera naturalizada en Chiloé. Informativo N°233. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA Remehue. Osorno, Chile.
- Nissen, J., Robert, L., 2009. Efecto del riego, frecuencia de corte y fertilización nitrogenada en una pradera artificial de la Región de Los Rios. Agro Sur 37 (1) 41 - 51.
- Ortega, L. 1992. Drenaje y riego de praderas permanentes. Serie Remehue N°31. Centro Regional de Investigación Remehue, Osorno.
  Ortega, L. 1996. Diagnóstico y consecuencias del mal drenaje en el sur de Chile. Comisión Nacional de Riego (CNR), Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA Remehue).
- Ovalle, C., s/a. Especies y variedades de praderas permanentes para sistemas silvopastorales en la zona centro sur de Chile. Recomendaciones de praderas para sistemas silvopastorales en la zona centro sur de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuaria, INIA Quilamapu.
- Parga, J. 2009. Manejo del pastoreo en vacas lecheras. Informativo N°75. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA Remehue. Osorno, Chile.
- Parga, J. 2008. Ballicas de rotación corta asociadas con avena. Informativo INIA N°64, año 2008. https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/4276/NR35840.pdf?sequence=1&isAllowed=y Revisado el 12 abril de 2021
- Parga, J., Lanuza, F., Pulido, R., Balocchi, O., Canto, F., Campo, R., Uribe, C. 2009. Suplementación estival de vacas lecheras a pastoreo con nabo forrajero (Brassica rapa L.). Resúmenes del XXXIV Congreso Anual de la Sociedad Chilena de Producción Animal, Pucón, Chile. Pp 66 - 67.
- Parga, J., Lanuza, F., Pulido, R., Balocchi, O., Canto, F., Campo, R., Uribe, C. 2010. Suplementación estival de vacas lecheras a pastoreo con nabo forrajero (Brassica rapa L.): Respuesta productiva. Resúmenes del XXXV Congreso Anual de la Sociedad Chilena de Producción Animal, Pucón, Chile. Pp 117 - 118.
- Pinochet, D. (2011). Uso del modelo de fertilización racional de praderas. file:///C:/Users/cc/Downloads/11_Charla_Dante_Pinochet%20(1).pdf Revisado el 10 febrero de 2021.
- Ponce, M. 2000a. Sistemas de pastoreo. 2001. Informativo N°18. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Remehue. Osorno, Chile.
- Ponce, M. 2000b. Aspectos económicos de la fertilización de praderas y cultivos. En: Seminario taller para productores "Técnicas de diagnóstico de fertilidad de suelo, fertilización de praderas, cultivos y mejoramiento de praderas". Serie actas N°4. Centro Regional de Investigación Remehue. Osorno, Chile.
- Robert, L. 2008. Manejo del riego, frecuencia de corte y fertilización nitrogenada en una pradera artificial de la Región de Los Ríos. Tesis Licenciado en Agronomía. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. Valdivia, Chile.
- Ruelle, E., Hennessy, D. and Delaby, L. 2018. Development of the Moorepark St Gilles grass growth model (MoSt GG model): A predictive model for grass growth for pasture based systems. European Journal of Agronomy 99: 80-91.
- Saavedra, G. y González, M. 2014. El cultivo del maíz choclero y dulce. Santiago: Boletin INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 303. https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/7802 Revisado el 31 mayo 2021.
- Salgado, L., Ortega, L. 2001. Drenaje en suelos agrícolas. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. Temuco, Chile.
- Sube, A., Aguirre; C., Dec, D., Balocchi, O., Alonso, M.F.

2016. Rendimiento y calidad de praderas de Lolium perenne L. Bajo riego en la Zona Sur de Chile. Agro Sur 44(3):19-27, 2016.

- Teuber, N. 1999. Forraje extra con nitrógeno. Instituto de Investigaciones Agropecuarias - Centro Regional de Investigación Remehue. Osorno, Chile. Informativo N° 1.
- Teuber, N., Balocchi, O., Parga, J. (eds). 2007. Manejo del Pastoreo. Fundación para la Innovación Agraria (FIA).
- Torres, A. 1999. ¿Cómo enfrentar una sequía en campos ganaderos?. Informativo Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA Remehue N°6. Osorno, Chile
- Torres, A., Lobos, I. 2015. Nabo Forrajero, un cultivo suplementario de verano. Ficha técnica N°3, Instituto de Investigaciones agropecuarias, INIA Remehue. Osorno, Chile.
- Torres, A., Moscoso, C. 2019. Praderas mejor adaptadas a las condiciones producidas por el cambio climático. Instituto de Investigaciones Agropecuaria, INIA Remehue. Informativo N°210.
- Undurraga, P; & Bernier, R. (2001). Estrategias de Fertilización de Praderas Permanentes. https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/8743/NR26893.pdf?sequence=1&isAllowed=y Revisado el 10 de febrero de 2021.
- Vera, R. (2004). Estudio de la homogeneidad del aluminio extractable de un Andisol de la X Región de Chile utilizando parámetros geoestadísticos. http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2004/fav473e/pdf/fav473e-TH.back.1.pdf Revisado el 10 de febrero de 2021.
- Villaseca, S. 1987. Requerimientos de suelo y clima del maíz. IPA La Platina N°43. https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/34373/NR05871.pdf?sequence=1&isAllowed=y Revisado el 31 de mayo de 2021.
- Warren, L., P. Aravis. 2003. Manejo de parcelas pequeñas de pastos durante y después de la sequía. Series de recursos naturales 4/03. Colorado State University Extension.