

37

Nota Informativa **ENCCRV**

■ Enero 2021



En esta edición

Actualización a escala nacional de los mapas de Desertificación, Degradación de las Tierras y Sequía (DDTS) de Chile

Unidad de Cambio Climático y Servicios Ambientales (UCCSA)
Gerencia de Desarrollo y Fomento Forestal (GEDEFF)
Corporación Nacional Forestal (CONAF)
Ministerio de Agricultura de Chile





ENCORV

ESTRATEGIA NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO Y RECURSOS VEGETACIONALES

**Estrategia Nacional de Cambio
Climático y Recursos Vegetacionales**

ISSN: 0719-7446

Corporación Nacional Forestal

Enero 2021

Santiago, Chile



Actualización a escala nacional de los mapas de Desertificación, Degradación de las Tierras y Sequía (DDTS) de Chile

Agradecimientos

Se agradece al Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (ONU Ambiente) y al Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF, por su sigla en inglés) por el aporte al financiamiento de este estudio, el cual fue adjudicado por licitación pública a INFODEP SpA, bajo el título de “Estimación a escala nacional de la Neutralidad en la Degradación de las Tierras (NDT) y actualización del mapa de Desertificación, Degradación de las Tierras y Sequía (DDTS) para Chile”, ID N° 33-19-LE19, licitada por la Corporación Nacional Forestal (CONAF).

Equipo de Medición Reporte y Verificación (MRV) de la Unidad de Cambio Climático y Servicios Ambientales (UCCSA) de CONAF

Daniel Montaner. Ingeniero Forestal, Magíster en Teledetección.

César Mattar. Médico Veterinario, Magíster en Medio Ambiente, Dr. en Cs. Silvoagropecuarias.

Georgina del Pilar Trujillo. Geógrafo, Magíster en Teledetección.

Cristóbal Puelma. Ingeniero en Recursos Naturales Renovables.

Equipo técnico de Información Agroclimática para el Desarrollo Productivo (INFODEP)

Fernando Santibáñez. Ingeniero Agrónomo, Dr. en Bioclimatología.

Paula Santibáñez. Ingeniero Civil, Dra. en Ciencias Silvoagropecuarias.

Javier Franchi. Ingeniero en Recursos Naturales Renovables.

Pablo Perry. Ingeniero en Recursos Naturales Renovables.

Participaron en la edición del documento

Wilfredo Alfaro. Ingeniero Forestal. Master of Science in Engineering Hydrology.

Gabriela Soto. Médico Veterinario. Master of Science. Magister en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza.

CONTENIDO

Introducción	6
1. Actualización del Mapa de Desertificación, Degradación de las Tierras y Sequía en Chile (DDTS)	7
1.1 Modificaciones a la metodología aplicada en CONAF (2016)	8
1.1.1 Riesgo de Desertificación y Degradación de las Tierras	8
2 Riesgo de Desertificación	10
2.1 Índice Intensidad de la Aridez (IIA)	11
2.2 Evaluación de la Erosión Actual de los Suelos	13
2.3 Incendios Forestales	13
2.4 Índice de Presión Humana (IDH)	15
2.5 Índice de Densidad Poblacional Rural (DR)	17
2.6 Índice de Intensidad de Uso de Suelo Rural (IUS)	19
2.7 Índice de Pobreza (IP)	21
2.8 Conclusión	22
3 Riesgo Degradación de las Tierras	23
3.1 Tasa de variación del déficit hídrico	23
3.2 Conclusión	26
4 Índice de Sequía	27
4.1 Índice de Precipitación Estandarizado (IPE)	28
4.1.1 Tratamiento estadístico de datos pluviométricos	28
4.1.2 Transformación a grados de desviación estándar	28
4.1.3 Espacialización de los datos	28
4.2 Índice de Vegetación de Diferencias Normalizada de NDVI	30
4.3 Conclusión	31
5 Riesgo integrado Desertificación, Degradación de las Tierras y Sequía en Chile (DDTS)	33
5.1 Conclusión	34
6. Bibliografía	35
7. Anexos	36
Anexo 1	36
Tablas de resultados regionales	36

Cómo citar este documento:

CONAF. 2021. Actualización a escala nacional de los mapas de Desertificación, Degradación de las Tierras y Sequía (DDTS) de Chile. Unidad de Cambio Climático y Servicios Ambientales (UCCSA). Gerencia de Desarrollo y Fomento Forestal (GEDEFF). Corporación Nacional Forestal (CONAF). Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile. 46 pp.



Introducción

El cumplimiento de los compromisos internacionales adquiridos por el país por medio de la actualización de la Contribución Nacional Determinada (NDC, acrónimo en inglés) está fuertemente vinculado con el éxito que tengan las políticas públicas tendientes a reducir las emisiones originadas por la deforestación, la degradación de las masas forestales, así como a los aumentos de los reservorios de carbono, la gestión sustentable de los bosques y la conservación (enfoque REDD+). El mencionado enfoque depende de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) la cual fue ratificada por Chile el año 1995. Adicionalmente, Chile también ha adherido a la Agenda 2030 de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles y a la Convención de Lucha Contra la Desertificación (CNULD), considerando, por medio de ésta el concepto de Degradación Neutral de la Tierra (LDN, por sus siglas en inglés). Cabe mencionar que tanto para la CNULD y para el enfoque REDD+ la Corporación Nacional Forestal (CONAF) es el Punto Focal Nacional.

Considerando lo anterior, CONAF a través de su Unidad de Cambio Climático y Servicios Ambientales (UCCSA), se formuló la Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (ENCCRV) 2017 - 2025, la cual tiene como objetivo "Disminuir la vulnerabilidad social, ambiental y económica que genera el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras y la sequía sobre

los recursos vegetacionales y comunidades humanas que dependen de éstos, a fin de aumentar la resiliencia de los ecosistemas y contribuir a mitigar el cambio climático fomentando la reducción y captura de emisiones de gases de efecto invernadero en Chile" (CONAF, 2016).

Un sistema de evaluación y monitoreo de la desertificación, la degradación de tierras y sequías debe contribuir a crear capacidades para anticipar los potenciales efectos que pueden tener estos fenómenos sobre la productividad silvoagropecuaria, la cual es una dimensión económica social y sobre la conservación de las especies y ecosistemas, la cual es la dimensión ambiental del problema.

Para elaborar políticas eficaces en dicha dirección, es indispensable contar con evaluaciones y zonificaciones de la dinámica de la desertificación y la degradación de tierras, así como del impacto de las sequías. Esto último es particularmente importante en Chile, dadas las evidencias de cambio en los regímenes pluviométricos e hidrológicos que estamos observando en las últimas décadas.

En este estudio CONAF presenta la metodología y los resultados de información mejorada, actualizada y espacializada a nivel nacional, que permita abordar para un nuevo periodo el enfoque de Desertificación, Degradación de las Tierras y Sequía (DDTS) al año 2018 en Chile.



1. Actualización del Mapa de Desertificación, Degradación de las Tierras y Sequía en Chile (DDTS)

En el marco de la alineación de los contenidos del actual “Programa de Acción Nacional contra la Desertificación (PANCD Chile 2016–2030)” con los de “La Estrategia Decenal” de la CNULD¹, se elaboraron los mapas con la estimación de la Desertificación, Degradación de las Tierras y Sequía en Chile (DDTS), con un detalle de escala comunal (CONAF, 2016²). El trabajo que se presenta a continuación expone la metodología y los resultados de una actualización y mejora metodológica de estos mapas.

De acuerdo a la CNULD (1994), la degradación de las tierras se define como la reducción o pérdida, en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, de la productividad biológica o económica y la complejidad de las tierras agrícolas de secano, de cultivo de regadío o las dehesas, los pastizales, los bosques y las tierras arboladas, a causa de un proceso o una combinación de procesos y sistemas de utilización de la tierra, incluidos los resultantes de actividades humanas y pautas de poblamiento, tales como:

- i) La erosión del suelo causada por el viento y el agua.
- ii) El deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas o de las propiedades económicas del suelo.
- iii) La pérdida duradera de vegetación natural.

A su vez, la desertificación es definida por la CNULD (1994) como “la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas producida por diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas”.

En términos generales, el riesgo de desertificación y de degradación de tierras se calculó en base a sus componentes principales que incluyen erosión actual, presión humana, incendios e índice de aridez en tierras secas (CONAF, 2016).

Para el caso del cálculo del índice de riesgo de degradación, se reemplazó el índice de aridez por el índice de xerofitismo, lo cual introduce un aspecto dinámico con mayor fundamento ecofisiológico en la interpretación de la aridez. Este índice es particularmente sensible en la discriminación de grados de aridez en regiones deficitarias en agua. En regiones con alta concentración de la lluvia, como es el caso de la zona árida en Chile, el índice de aridez no representa correctamente del grado de la aridez, por cuanto no considera la distribución estacional de la lluvia.

Para el análisis de las sequías se utilizó la metodología del Índice de Precipitación Estandarizado (IPE), el cual cuantifica el déficit de precipitación para distintas escalas de tiempo. Se eligió el índice IPE para caracterizar la intensidad y la duración de las sequías, dado que es de amplio uso por el Ministerio de Agricultura a través de la Sección de Emergencias y Gestión de los Riesgos Agrícolas.



¹ PANCD disponible en el siguiente link: <https://www.enccrv.cl/pancd>

² CONAF. 2016. Disponible en el siguiente link: <https://www.enccrv.cl/nota-informativa-5>

1.1 Modificaciones a la metodología aplicada en CONAF (2016)

Para la evaluación y monitoreo de la desertificación, la degradación de las tierras y sequías, se usó un enfoque similar a la metodología desarrollada anteriormente en CONAF (2016). Esta nueva propuesta plantea una metodología que utiliza información actualizada, de mayor resolución espacial y algunas modificaciones que permiten evaluar de mejor manera los índices de desertificación y degradación de las tierras con información disponible al año 2018.

1.1.1 Riesgo de Desertificación y Degradación de las Tierras

Para determinar el riesgo de desertificación se consideró en el cálculo el "Índice de Intensidad de la Aridez" (IIA), el cual representa la susceptibilidad de un área para convertirse en

una zona hiperárida. En la metodología anterior este índice fue denominado "Tierras secas" y excluía valores inferiores a 0,05 (hiperáridos) y superiores a 0,65 (húmedos). En el IIA se incluyó en el análisis el sector situado sobre 0,65 dado que las zonas húmedas en la actualidad están sujetas a un proceso de aridización muy acelerado. Muchas áreas que hoy son consideradas húmedas podrían pasar a una condición subhúmeda o subhúmeda seca, lo que no hace conveniente excluirlas de este análisis, la zona de Valdivia ha perdido unos 1.000 mm de precipitación en un siglo (González-Reyes y Muñoz, 2013). A modo de ejemplo véase los cambios en el régimen pluviométrico en zonas consideradas húmedas en Chile (Figura 1). El hecho de que el acelerado aumento de las temperaturas está produciendo un aumento en la tasa de evapotranspiración, agudiza la sequía estival en regiones húmedas de Chile, factor fuertemente determinante en el crecimiento de especies naturales y exóticas (ver Figura 2).

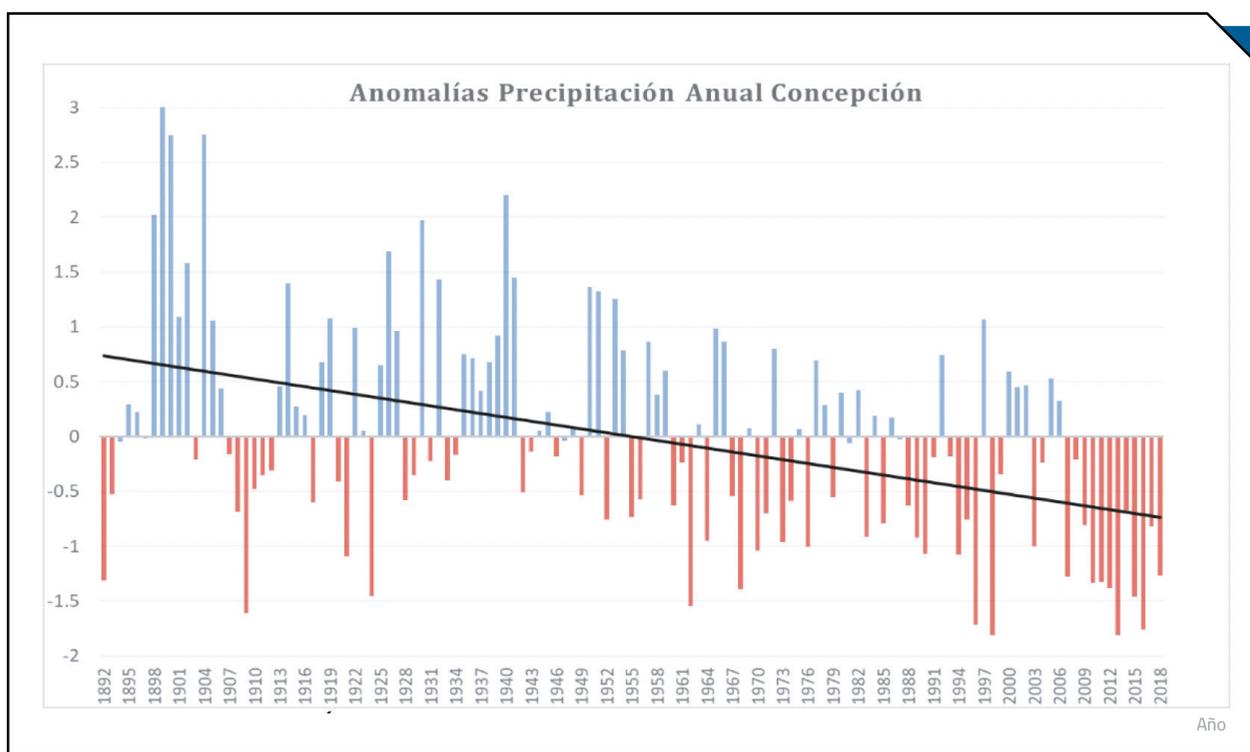


Figura 1. Índice de Precipitación Estandarizada para la ciudad de Concepción (Santibáñez *et al.*, 2017).

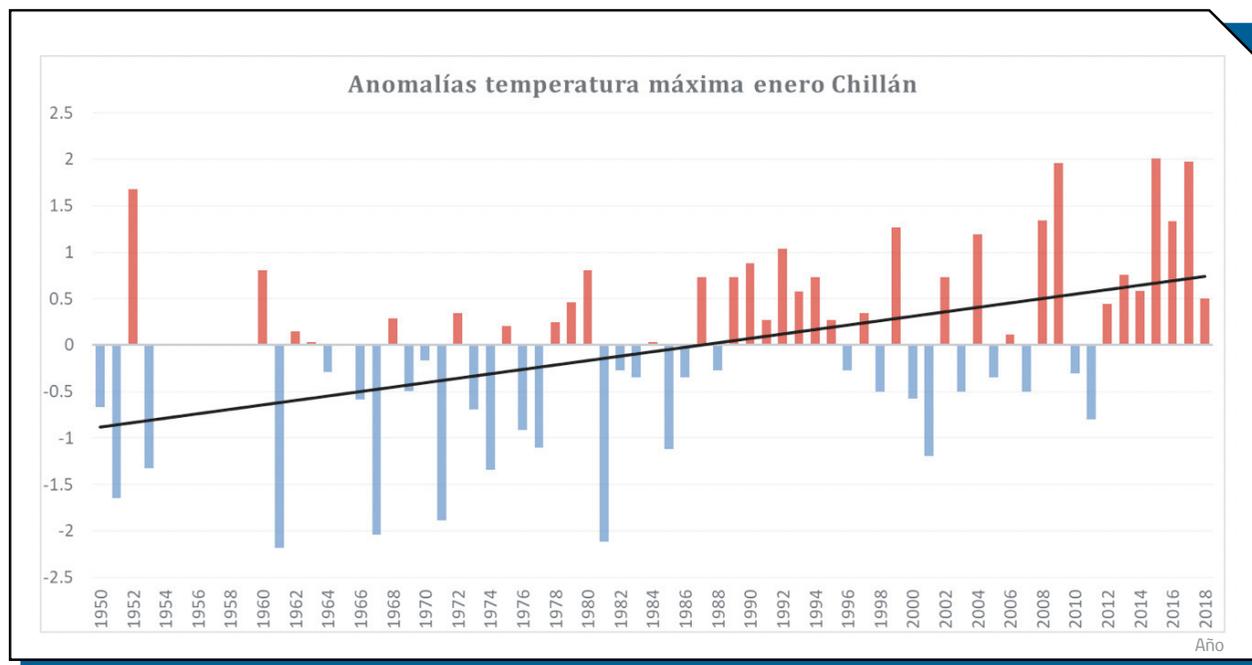


Figura 2. Anomalías temperaturas máximas del mes más cálido Chillán (Santibáñez *et al.*, 2017).

Adicionalmente, dentro del cálculo del riesgo de desertificación y degradación se incluyó un índice de presión humana en reemplazo de la pobreza en consideración a que la degradación de los recursos naturales no necesariamente está vinculada a un índice de pobreza sino más bien a la intensidad y tecnología de los recursos naturales. Esto permite capturar el efecto de la agricultura industrial, así como de la instalación de asentamientos humanos en el territorio los cuales pueden intensificar el uso del suelo, aguas, especies y del patrimonio viviente.

Por otra parte, se decidió recalcular la erosión actual de suelos, ya que los cambios recientes del clima (megasequía para el período 2010-2019) no están incluidos en el análisis de CIREN (CIREN, 2010) y se constató que este fenómeno ha tenido un fuerte impacto en la cubierta vegetal.

Los datos climáticos utilizados para los cálculos de los diferentes índices se actualizaron al período 1988-2018. Estos datos provienen de estaciones meteorológicas de la Dirección Meteorológica de Chile, Dirección General de Aguas, Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas e Instituto

de Investigaciones Agropecuarias. Para la interpolación de estos datos se utilizó el método de regresiones múltiples que considera las variables de latitud, distancia al mar y elevación (Santibáñez *et al.*, 2017).

Para el cálculo del índice de degradación no se usó el índice de aridez en su valor estático, sino más bien el cambio que se espera del déficit hídrico, lo cual recoge de mejor manera la presión que el cambio climático ejercerá sobre la cobertura vegetal provocando degradación de los ecosistemas. Debe notarse que el déficit hídrico, que combina los cambios en precipitación y evapotranspiración simultáneamente, es un potente indicador de la posible degradación de la cobertura vegetal a futuro.

Una diferencia importante con el estudio previo es que solo se consideraron a nivel comunal las variables socioeconómicas debido a que ellas están referidas de esa manera en los censos. Para el resto de las variables el análisis se hizo a nivel de la resolución espacial de cada fuente, la cual varió entre 90 y 250 metros. Este procedimiento entrega mucho mayor detalle espacial que el estudio previo.



2. Riesgo de Desertificación

El modelo que se utilizó para determinar el riesgo de desertificación consideró 4 variables (Figura 3). Estas fueron: Índice de Intensidad de aridez, riesgo de erosión actual, el factor de incendio forestal y el Índice de Presión Humana vinculado al factor socio-económico. El riesgo de erosión actual se elaboró con las variables de erosividad de la lluvia (Factor R), Longitud - Pendiente (Factor LS), erodabilidad del suelo (Factor K) y cubierta vegetal (Factor CV, Cubierta Vegetal).

Una mayor ponderación se le asignó al IIA debido a que el riesgo de desertificación está expresando la susceptibilidad de un área a la aridización. Al factor Riesgo de Erosión Actual se le dio menor ponderación debido a que exagera mucho la erosión de zonas de cordillera. Este error se origina en que los estudios de suelo tienen baja resolución espacial por lo que zonas rocosas con altas pendientes, donde no existe suelo, quedan mezcladas con áreas más planas donde sí existe suelo. Como resultado de esto, en algunas zonas de cordillera, aparecen valores de pérdida de suelo muy elevada siendo que corresponde a áreas donde no existe suelo (zonas rocosas).

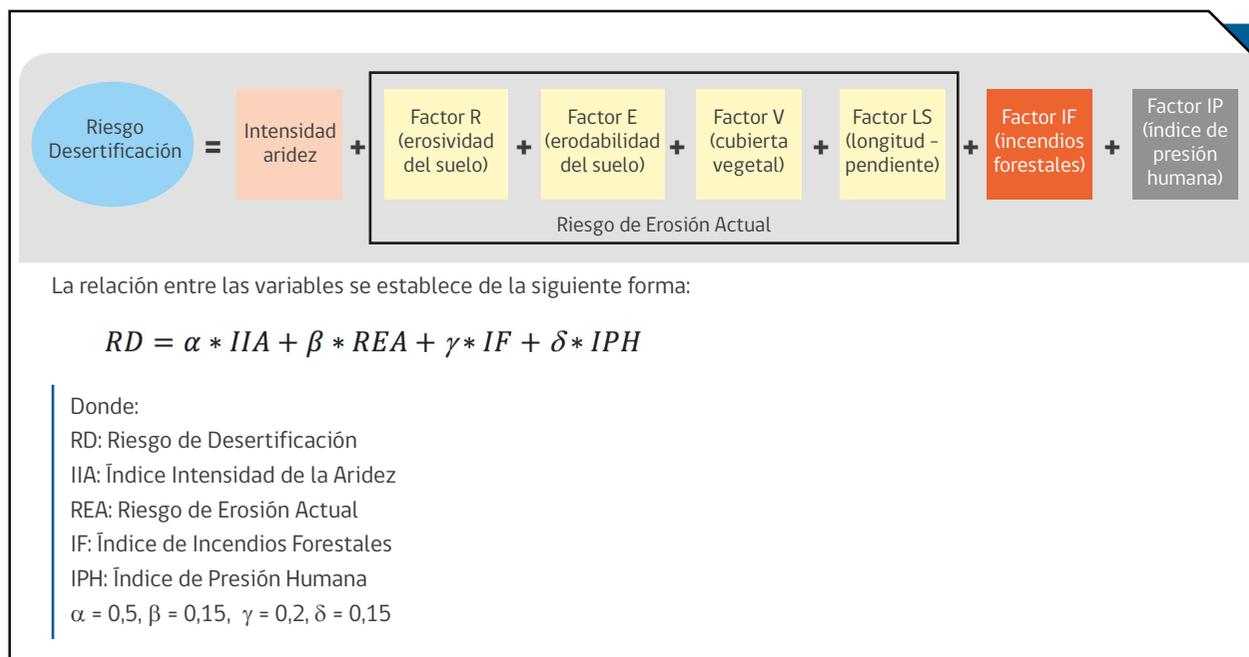


Figura 3. Modelo para estimar el riesgo de desertificación

2.1 Índice Intensidad de la Aridez (IIA)

Este índice representa la susceptibilidad de un área para convertirse en una zona hiper árida. El régimen hídrico se clasifica según su grado de aridez y se subdividen en zonas hiper áridas, áridas, semiáridas o secas subhúmedas en las que la proporción de precipitación media anual y evapotranspiración potencial es menor a 0,65 (UNEP, 1997).

Un indicador ampliamente utilizado para determinar el grado de aridez del clima, según Santibáñez *et al.* (2014), es el criterio adoptado por las UNEP (1997), el cual permite tipificar los regímenes de humedad considerando el cociente anual de precipitación (PP) y la Evapotranspiración Potencial (ETP). La Tabla 1 consigna los grados de aridez según este índice.

Tabla 1. Clases de Aridez (UNEP 1997)

PP/ETP	Clasificación
< 0,05	Híper-árido
0,05 - 0,20	Árido
0,20 - 0,50	Semi-árido
0,50 - 0,65	Sub-húmedo seco
0,65 - 1	Sub-húmedo húmedo
> 1	Húmedo

Para el cálculo del riesgo de desertificación se omitirán todas las zonas climáticas que poseen un índice de aridez menor a 0,05 debido a que se encuentran en zonas climáticas hiperáridas.

El índice de intensidad de la aridez (Ecuación 1) se calculó en función del índice de aridez (IA, Figura 4), normalizando los valores entre 0,05 y 5 a una escala de 0 a 1, donde 0 representa bajo riesgo y 1 riesgo muy alto. Esta normalización se hizo a través de la siguiente función:

$$IIA = 1 - \frac{Valor IA - IA \text{ mínimo}}{IA \text{ máximo} - IA \text{ mínimo}}$$

Ec. 1

Donde:
 IA máximo= Índice de Aridez máximo = 5
 IA mínimo = Índice de Aridez mínimo 0,05

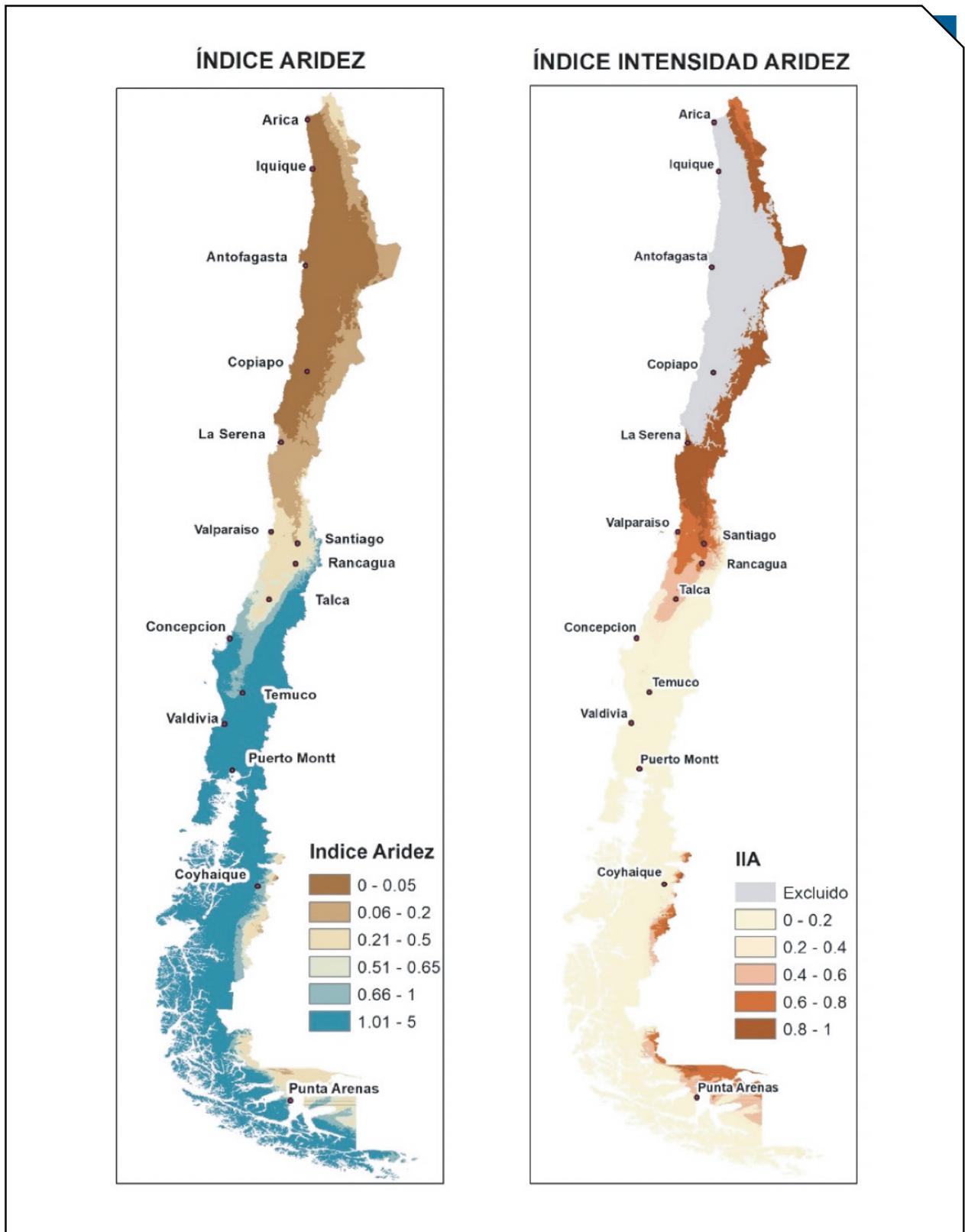


Figura 4. Índice de aridez calculados a través de modelación utilizando datos de estaciones meteorológicas promediados para el periodo 1988-2018, e índice de intensidad de la aridez (IIA). En el IIA, los valores cercanos a 0 indican bajo riesgo y los cercanos a 1, un alto riesgo.

2.2. Evaluación de la Erosión Actual de los Suelos

El régimen de precipitaciones de un lugar crea riesgos de erosión en la medida de que los suelos estén desprotegidos frente a lluvias intensas. Debido a esto, se determinaron las zonas más vulnerables de sufrir procesos erosivos mediante un índice de riesgo de erosión actual del suelo obtenido a partir de los factores de la ecuación RUSLE (Wishmeier y Smith, 1978).

La aplicación a gran escala de este modelo se realizó por medio del cálculo de índices de vegetación NDVI de imágenes satelitales MODIS (composición de 16 días de 250 metros de resolución espacial) para el periodo 2010-2018, que permiten determinar la cobertura vegetal, y por otra parte se utilizó un modelo digital de elevación con resolución espacial de 90 metros el que permite determinar los efectos de la topografía sobre el riesgo de erosión de los suelos.

2.3. Incendios Forestales

Una importante causa de desertificación en Chile se atribuye a los incendios forestales. De acuerdo con un estudio realizado por la Universidad de Chile (2013), los principales factores que afectan a la desertificación y sequía en Chile son los incendios forestales, la deforestación y los procesos posteriores sobre el cambio de uso de suelo. La información sobre incendios forestales se obtuvo a través de la CONAF.

Se determinó un índice de incendios forestales (Ecuación 2) que utilizó el número de incendios por comuna ponderado por la superficie comunal. Posteriormente este índice fue normalizado entre valores de 0 y 1 (Ecuación 2).

$$IF = 1 - \frac{\text{Valor IF-IF mínimo}}{\text{IF máximo-IF mínimo}}$$

Ec. 2

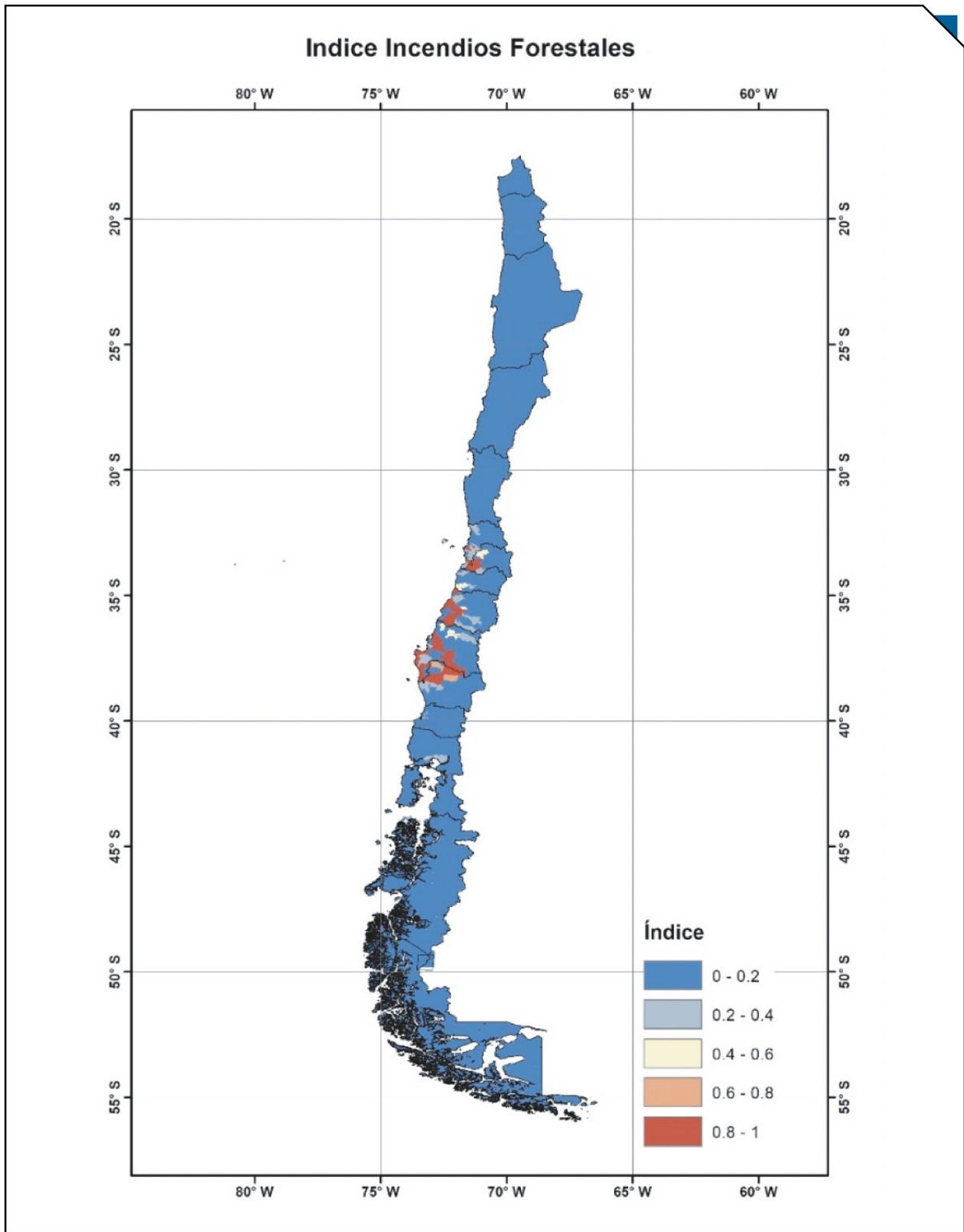


Figura 5. Índice de incendios forestales. Los valores cercanos a 0 indican bajo riesgo y los cercanos a 1 alto riesgo.

2.4. Índice de Presión Humana (IDH)

Las presiones que el ser humano ejerce sobre los recursos del territorio son sistémicas y cruzan a los diferentes recursos naturales y a las diferentes actividades que las comunidades humanas realizan. En el medio rural, la conexión entre las actividades ejercidas por los habitantes y el medio son directas. Muchas de estas acciones se sustentan en el uso extractivo de algún recurso natural desde donde obtienen una materia prima (agua, forraje, combustible) o simplemente un producto mercadeable (madera, leña, especies ornamentales, alimentos). La presión ejercida sobre el medio físico y biológico por los habitantes del territorio depende entonces del tipo de actividad en que se sustenta su economía. En el medio rural, la actividad dominante es la silvoagropecuaria de modo que el tipo e intensidad de la actividad agrícola, pecuaria o forestal representa un indicador que explica en gran medida la presión que los habitantes ejercen sobre su medio. La información socioeconómica fue obtenida, a través del Observatorio Social del Ministerio de Desarrollo Social. Para esta propuesta se utilizó el promedio del periodo 2011 - 2018.

Sin embargo, el solo tipo e intensidad de una actividad no explica completamente el nivel de presión que esta ejerce sobre el ambiente, también depende de la tecnología empleada en su materialización. La tecnología usada tiende a ser insustentable cuando no existen los recursos para invertir en sustentabilidad, lo que tiende a ocurrir con mayor frecuencia en áreas rurales pobres.

En síntesis, los tres mayores factores que explican en alta medida la presión de la actividad silvoagropecuaria sobre el medio son: el tipo e intensidad de uso del suelo, la densidad de la población rural y el nivel de pobreza.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente se elaboró la ecuación 3, agrupando estos tres factores, con el fin de representar el efecto de la presión humana sobre la degradación y desertificación del territorio chileno.

Para la integración de las variables, se utilizó un algoritmo aditivo, donde cada variable cuenta con un factor que permite darle diferente ponderación a cada una de ellas.

$$IPH = DR * K_1 + IUS * K_2 + IP * K_3$$

Ec. 3

Donde,
 IPH: Índice de presión humana sobre los recursos del territorio
 DR: Índice de densidad de la población rural
 IUS: Índice de intensidad de uso de suelo rural
 IP: Índice de pobreza

K1, K2 y K3 son factores de ponderación asignados a las variables en base a su nivel de impacto sobre el índice de presión humana en la comuna. En este caso se determinó que K1 tiene valor de 0,444, K2 un valor de 0,333 y k3 un valor de 0,222, lo que mantiene una proporción 3:2:1.

Los resultados obtenidos del índice de presión humana sobre los recursos del territorio se presentan en Figura 6 mediante una distribución comunal a nivel país.

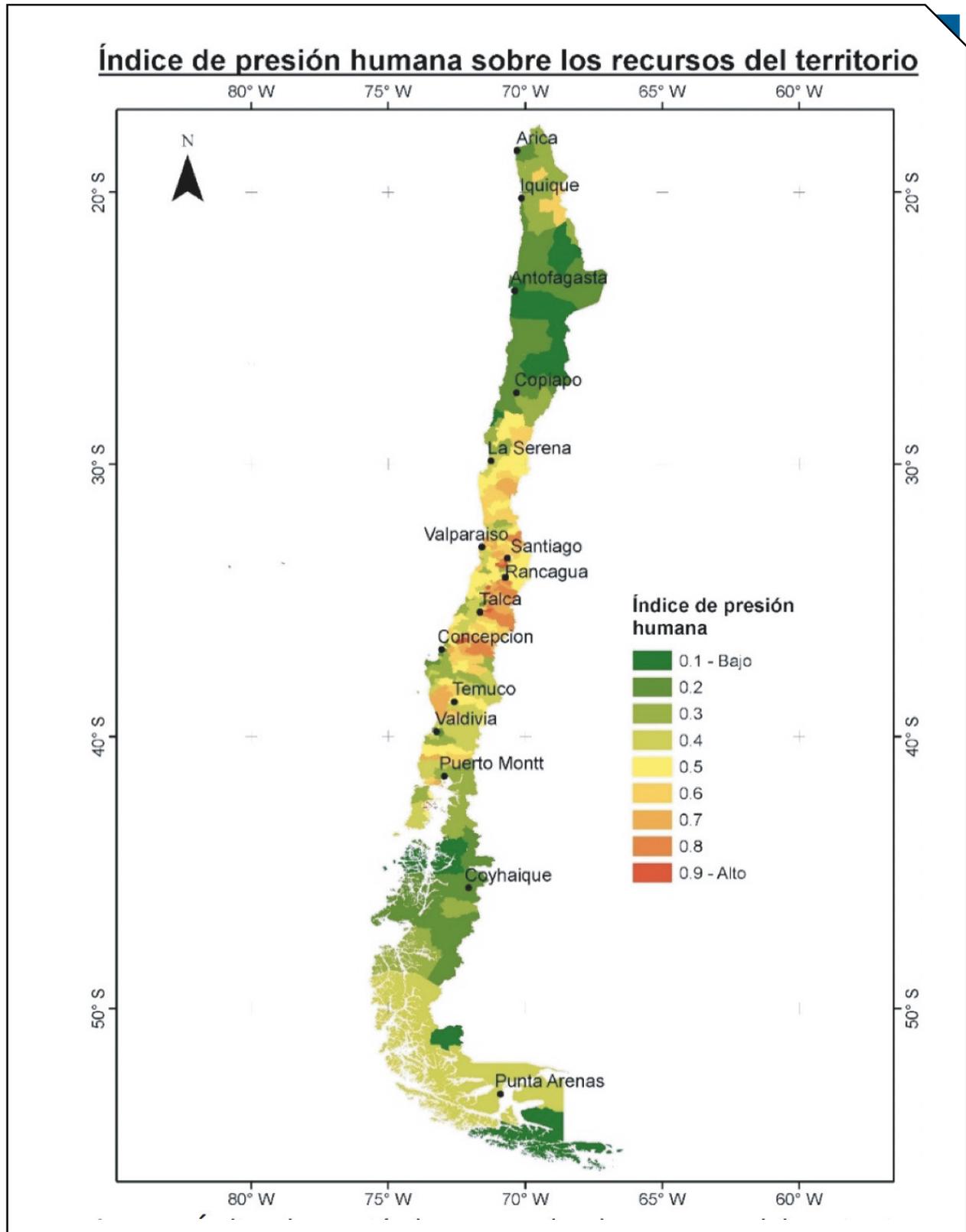


Figura 6. Índice de presión humana sobre los recursos del territorio por comuna..

2.5. Índice de Densidad Poblacional Rural (DR)

Para el cálculo del Índice de densidad poblacional rural (Ecuación 4) se utilizó la información a nivel de comuna de la población total, población urbana, superficie total y superficie urbana, extraídos del censo de Población y Vivienda del año 2017, realizados por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE).

$$DR = \frac{PT - PU}{ST - SU}$$

Ec. 4

Donde,

DR: Densidad poblacional rural;

PT: Población total;

PU: Población urbana;

ST: Superficie total

SU: Superficie urbana

Calculado el índice de densidad poblacional rural por comuna se continuó con la reorganización de los valores obtenidos, mediante la ecuación de distribución normal, con el fin de reagrupar los valores entre 0 y 1. En la Figura 7 se observa la distribución comunal de esta variable a nivel país.

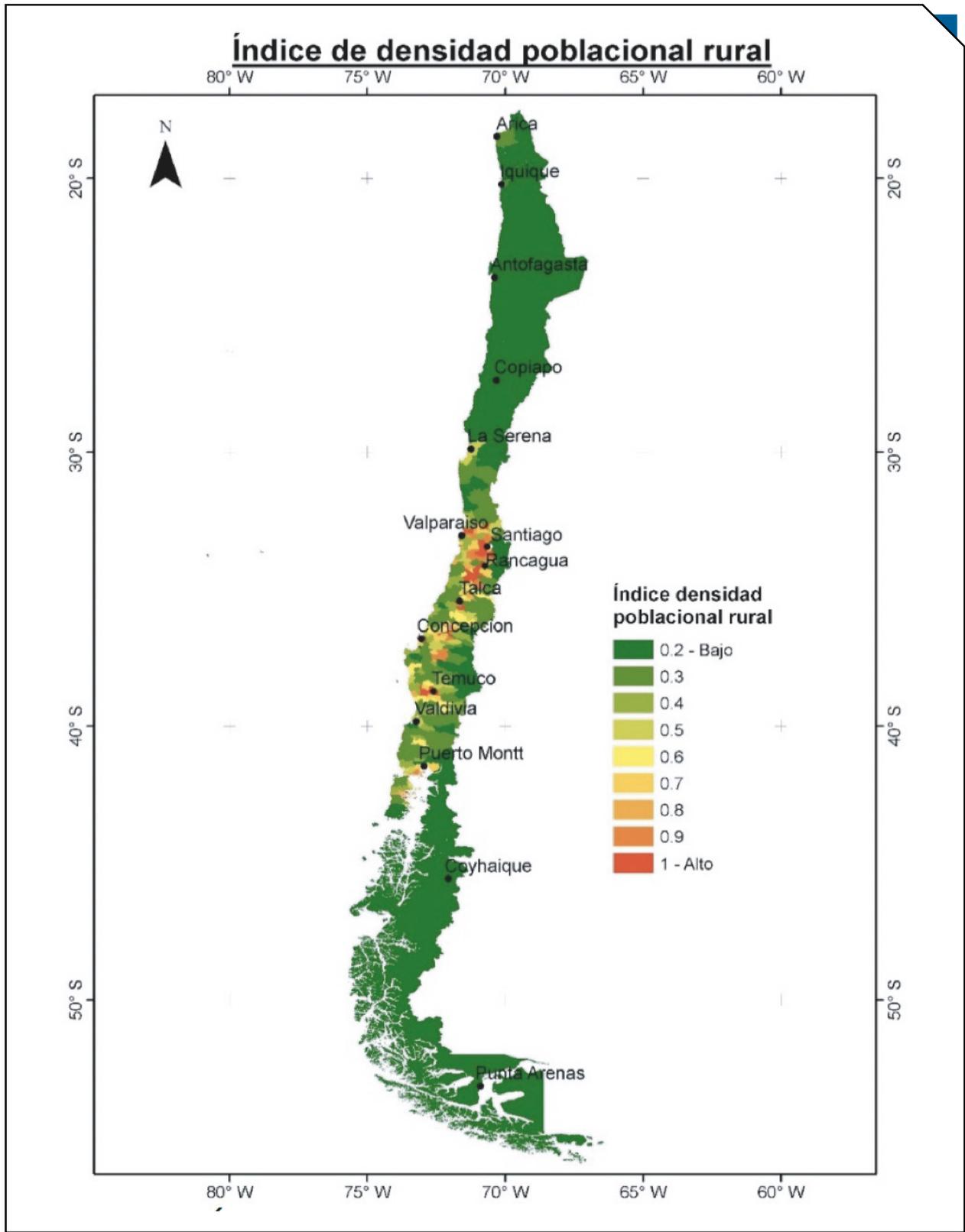


Figura 7. Índice de Densidad poblacional rural por comuna

2.6 Índice de Intensidad de Uso de Suelo Rural (IUS)

Para el cálculo del índice de intensidad de uso de suelo rural (Ecuación 5) se utilizó la información a nivel de comuna de la superficie de suelo utilizada para uso agrícola, ganadero, forestal e infraestructura (construcciones, caminos, embalses, etc.), información obtenida del censo agropecuario y forestal realizado en 2006-2007 por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE). Además, se utilizó la información de superficie urbana y superficie total antes mencionadas. En el caso de la superficie total, solo se consideró la superficie de uso silvoagropecuario y la potencialmente utilizable (suelo con altitud bajo los 1.500 msnm).

Una vez recopilada la información se procedió a determinar el índice de intensidad de uso de suelo rural mediante la ecuación 5.

$$IUS = \frac{a * SA + b * SG + c * SF}{ST - (SU - SI)}$$

Ec. 5

Donde,

IUS: Índice de intensidad de uso de suelo rural

SA: Superficie de uso agrícola (cultivos anuales y permanentes)

SG: Superficie de uso ganadero (praderas anuales, praderas permanentes y terrenos de pastoreo)

SF: Superficie de uso forestal (plantaciones)

ST: Superficie total comunal bajo los 1.500 msnm

SU: Superficie urbana

SI: Superficie de infraestructura

Los factores a, b y c son la ponderación que se asignaron a las 3 variables, considerando el impacto que genera ese uso en la erosión del suelo de la comuna, para lo cual se le asignó a "a" un valor de 3, a "b" un valor de 2 y a "c" un valor de 1.

Una vez calculado el índice de intensidad de uso de suelo por comuna se continuó con la reorganización de los valores obtenidos, mediante la ecuación de distribución normal, con el fin de reagrupar los valores entre 0 y 1. En la Figura 8 se observa la distribución comunal de esta variable a nivel país.

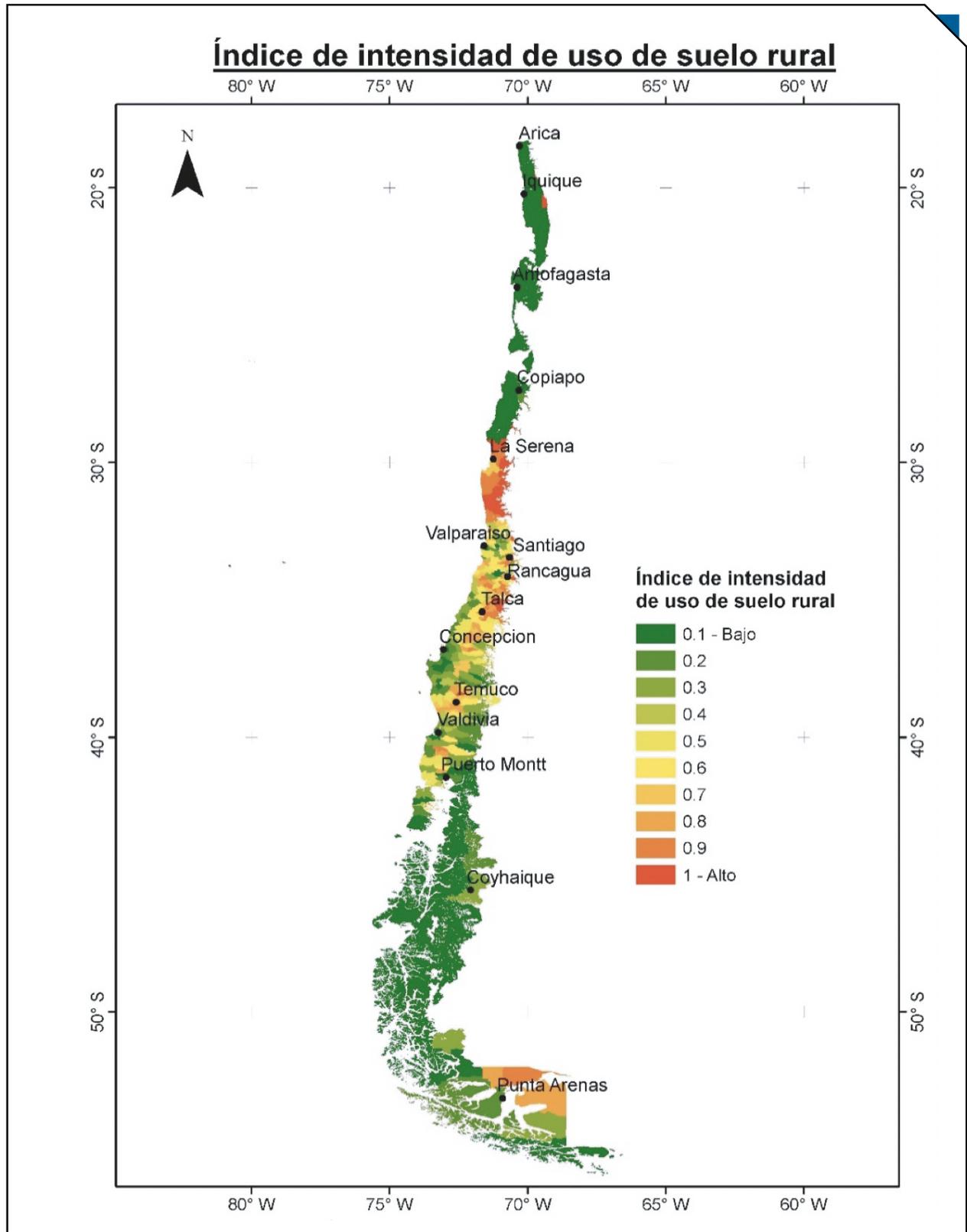


Figura 8. Índice de intensidad de uso de suelo por comuna

2.7. Índice de Pobreza (IP)

El índice de pobreza por comuna se determinó utilizando los datos extraídos de la encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN) (Ministerio de Desarrollo Social, 2017). Los datos que se utilizaron corresponden al porcentaje de personas en situación de pobreza multidimensional de 2017, el cual considera los factores de educación, salud, vivienda, trabajo y seguridad social.

Los valores de índice de pobreza se reorganizaron mediante la ecuación de distribución normal, con el fin de reagrupar los valores entre 0 y 1. En la Figura 9 se observa la distribución comunal de esta variable a nivel país.

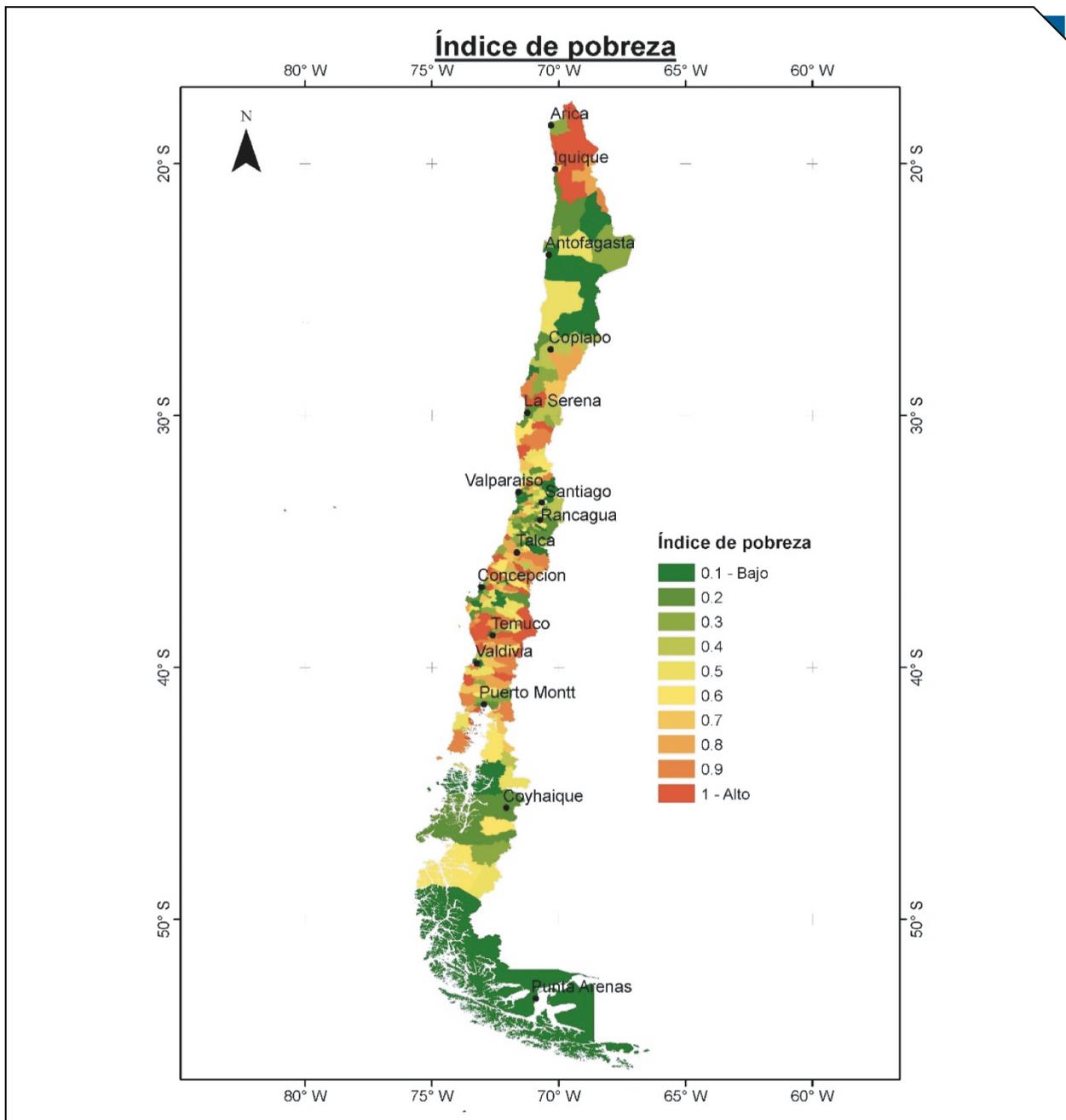


Figura 9. Índice de pobreza por comuna

Finalmente, el mapa de desertificación que integra los componentes de aridez, erosión de suelo, presión humana e incendios forestales se muestra en la Figura 10. La tabla con

las superficies en riesgo de desertificación por región se encuentra en Anexo 1.

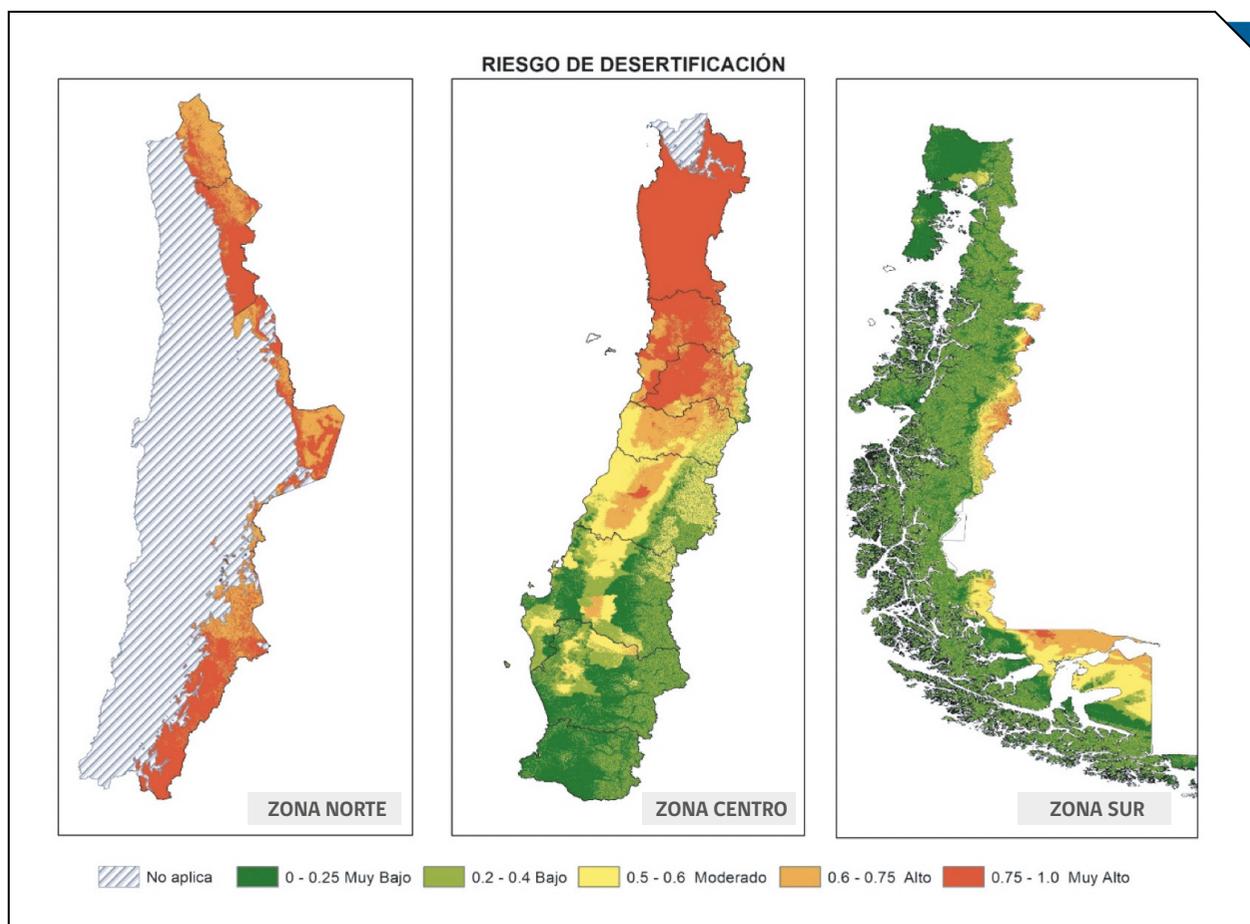


Figura 10. Mapa de riesgo de Desertificación

2.8. Conclusión

La dinámica de la desertificación opera en Chile con más fuerza en el borde sur del desierto de Atacama lo cual se va atenuando hacia el sur siguiendo una gradiente climática en la cual la mayor pluviometría va aliviando la presión que el clima ejerce sobre el medio. Es así como, la Región de Coquimbo es la región más fuertemente presionada por el clima hacia la desertificación, por tanto, esta región representa el borde sur del desierto de Atacama, el cual se estaría desplazando en dirección polar a una tasa de varios cientos de metros por año.

Ya en la Región de Valparaíso se nota una ligera atenuación del riesgo en la alta cordillera y en la costa producto de la mayor pluviometría y tasa de evaporación. Por el interior de esta región el mapa muestra similares riesgos que en la Región

de Coquimbo. La misma tendencia se observa en la Región Metropolitana con valores muy cercanos a los de Valparaíso, no obstante, el riesgo comienza a disminuir notablemente desde la precordillera hacia el este.

En la Región de O'Higgins el riesgo aún se mantiene en niveles altos en una importante proporción de los sectores interiores, pero baja a categoría moderado en un corredor costero del orden de 30 kilómetros. Análogamente en las zonas precordilleranas y cordilleras el riesgo cae de moderado hasta bajo en los sectores más altos.

En la Región del Maule los índices se mantienen bastante elevados en el valle central cayendo a valores moderados en

todo el secano costero e interior y en precordillera. Los altos niveles del valle central están asociados a elevados niveles de presión humana más que a factores climáticos por cuanto es una región con alta intensidad de agricultura.

En Ñuble y Biobío el riesgo se concentra en niveles moderados solo en sectores interiores lo que probablemente está asociado a un incipiente avance de la agricultura en estas regiones y a una mayor incidencia de incendios forestales. Cabe destacar un núcleo de niveles altos de riesgo en torno a Los Ángeles y Nacimiento el cual está asociado a incendios forestales, una agricultura intensiva y condiciones particulares de aridez debido al efecto de sombra de lluvia. Debe destacarse además un cierto aumento en los riesgos de desertificación hacia la costa de Arauco lo cual está asociado

a incendios forestales además de altos niveles de riesgo de erosión asociados a pluviometrías de 1.000 mm por año.

Ya en la Región de La Araucanía los riesgos quedan confinados a los sectores interiores mayormente asociados a usos agrícolas y forestales, además de las pérdidas de suelo por erosión debido a una topografía ondulada.

En la Región de Los Ríos y Los Lagos los riesgos se mantienen bajos a muy bajos debido a la mayor cobertura vegetal y menor intensidad de la actividad silvoagropecuaria. En la Patagonia los riesgos retoman niveles moderados y altos en los sectores orientales, debido fundamentalmente a una mayor aridez que provoca una menor cobertura vegetal.



3. Riesgo Degradación de las Tierras

3.1. Tasa de variación del déficit hídrico

Se ha propuesto cambiar el índice de aridez por la tasa de cambio en el déficit hídrico medido en dos periodos de referencia, lo cual introduce un aspecto dinámico al índice. Estos periodos de referencia serán la línea base (2000–2018), comparado con un periodo pasado y uno futuro en base a las proyecciones de cambio climático para el escenario 2050 basadas en los modelos climáticos mundiales.

Para generar los escenarios climáticos futuros se utilizó un ensamble con 19 de los modelos de circulación general de (MCG) la atmósfera que se han incluido en el Quinto Informe

de Evaluación (AR5, 2014) del IPCC. Estos modelos se han generado originalmente considerando la trayectoria de concentración de gases de efecto invernadero (Representative Concentration Pathway) RCP 8.5 para el año 2050, lo que significa que para ese entonces la atmósfera terrestre absorberá y convertirá en calor 8.5 watts/m² en promedio. Dicho escenario corresponde al rango más alto de aumento en el forzamiento radiativo de los 4 existentes (RCP 2.6, 4.5, 6.0 y 8.5)³ y que ha demostrado ser el de mayor probabilidad de ocurrencia en consideración a las tendencias actuales de las emisiones de gases de efecto invernadero en el planeta.



³ Más información sobre escenarios RCP disponible en el siguiente link https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_SPM_es.pdf

Tabla 2. Modelos de circulación general de la atmósfera utilizados.

Escenarios MCG		
ACCESS1-0	GFDL-ESM2G	IPSL-CM5A-LR
BCC-CSM1-1	GISS-E2-R	MIROC-ESM-CHEM
CCSM4	HadGEM2-AO	MIROC-ESM
CESM1-CAM5-1-FV2	HadGEM2-CC	MIROC5
CNRM-CM5	HadGEM2-ES	MPI-ESM-LR
GFDL-CM3	INMCM4	MRI-CGCM3
		NorESM1-M

El cambio del índice de aridez por el uso del déficit hídrico se basa en que este último es más sensible que el anterior a pequeñas variaciones del régimen de lluvias (Figura 12). En regiones con alta concentración de la lluvia, cual es el caso de la zona árida chilena, el índice de aridez no da cuenta correctamente del grado de la aridez, por cuanto considera que toda el agua es útil, aun en los meses muy lluviosos. Ocurre que el índice de aridez, por ser un cálculo anual, es insensible a los cambios de estacionalidad de las lluvias en la medida que el total anual no cambie, mientras que el déficit hídrico, que es calculado mensualmente, es sensible tanto al monto de lluvia como a la estacionalidad o concentración de las

precipitaciones (fenómeno que se está observando en Chile).

Se le dio más ponderación a la presión humana (ver Figura 11) ya que genera directa presión sobre los ecosistemas debido a actividades humanas y económicas, factores más degradantes y con potencial de producir cambios en el corto plazo. Se generó un índice para el déficit hídrico que considera la variación relativa de este hacia el escenario 2050. El valor 1 se asignó a las áreas con cero déficit hídrico. El valor 0 se asignó a las áreas con máximo déficit hídrico (Figura 12). La Figura 13 muestra el mapa de riesgo de degradación de tierras.

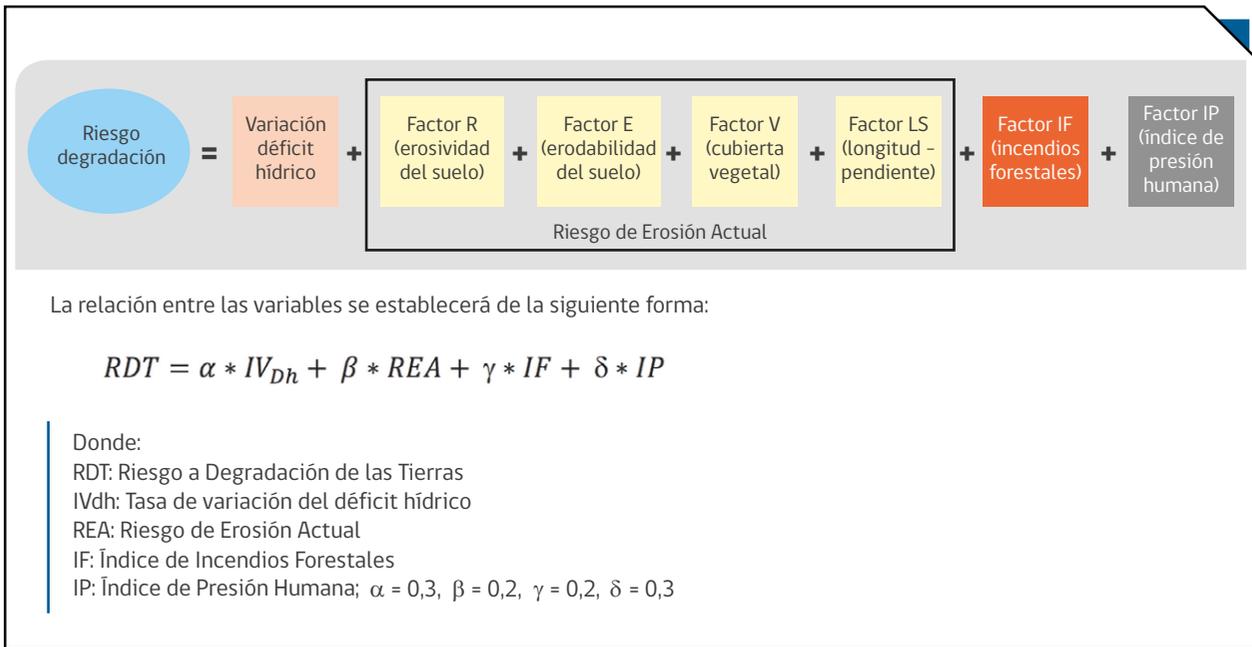


Figura 11. Modelo para estimar el riesgo de degradación de las Tierras.

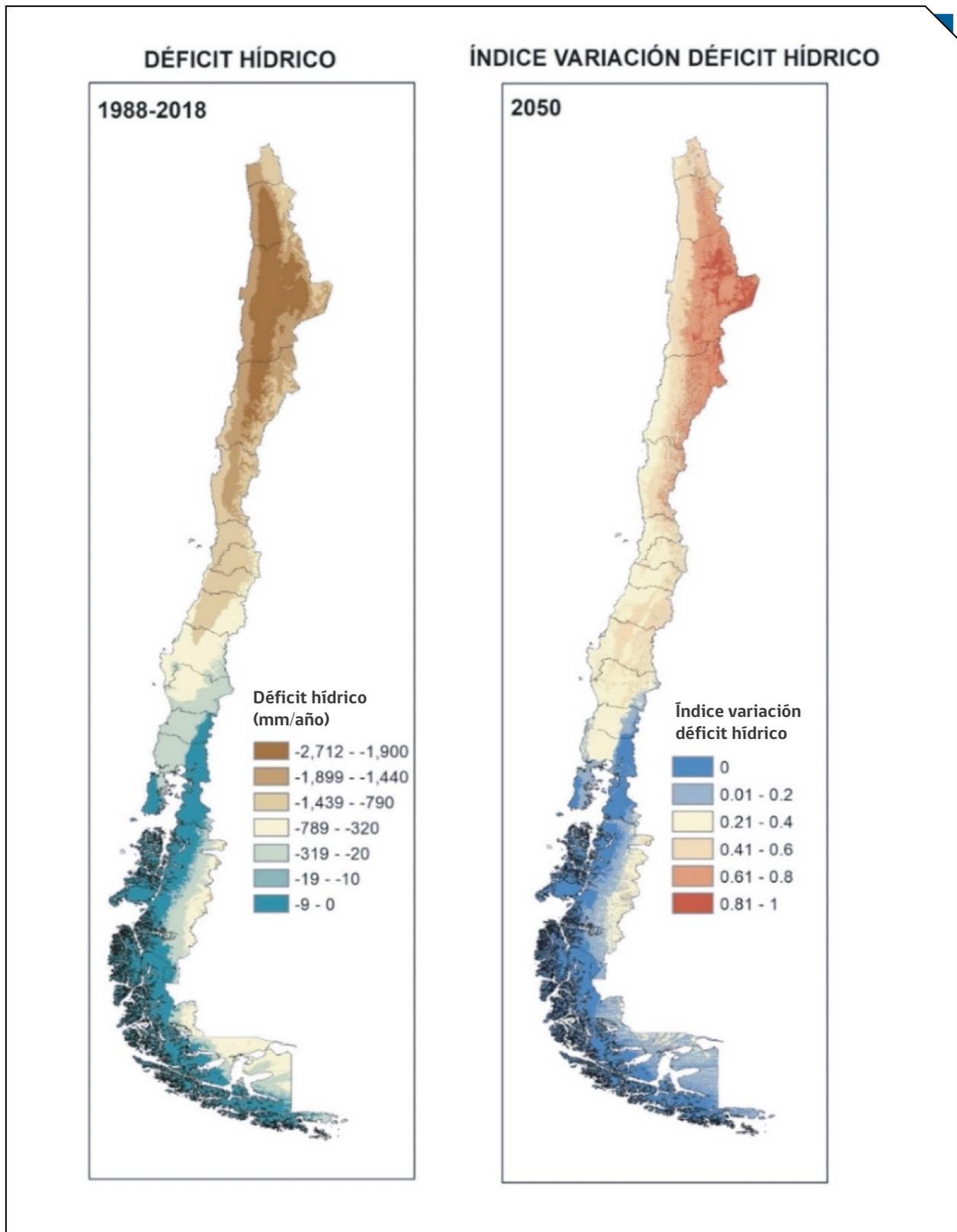


Figura 12. Déficit hídrico línea base e Índice de variación del déficit hídrico respecto al año 2050. En la simbología 1 corresponde a zonas con mayor variación a deficit hídrico.

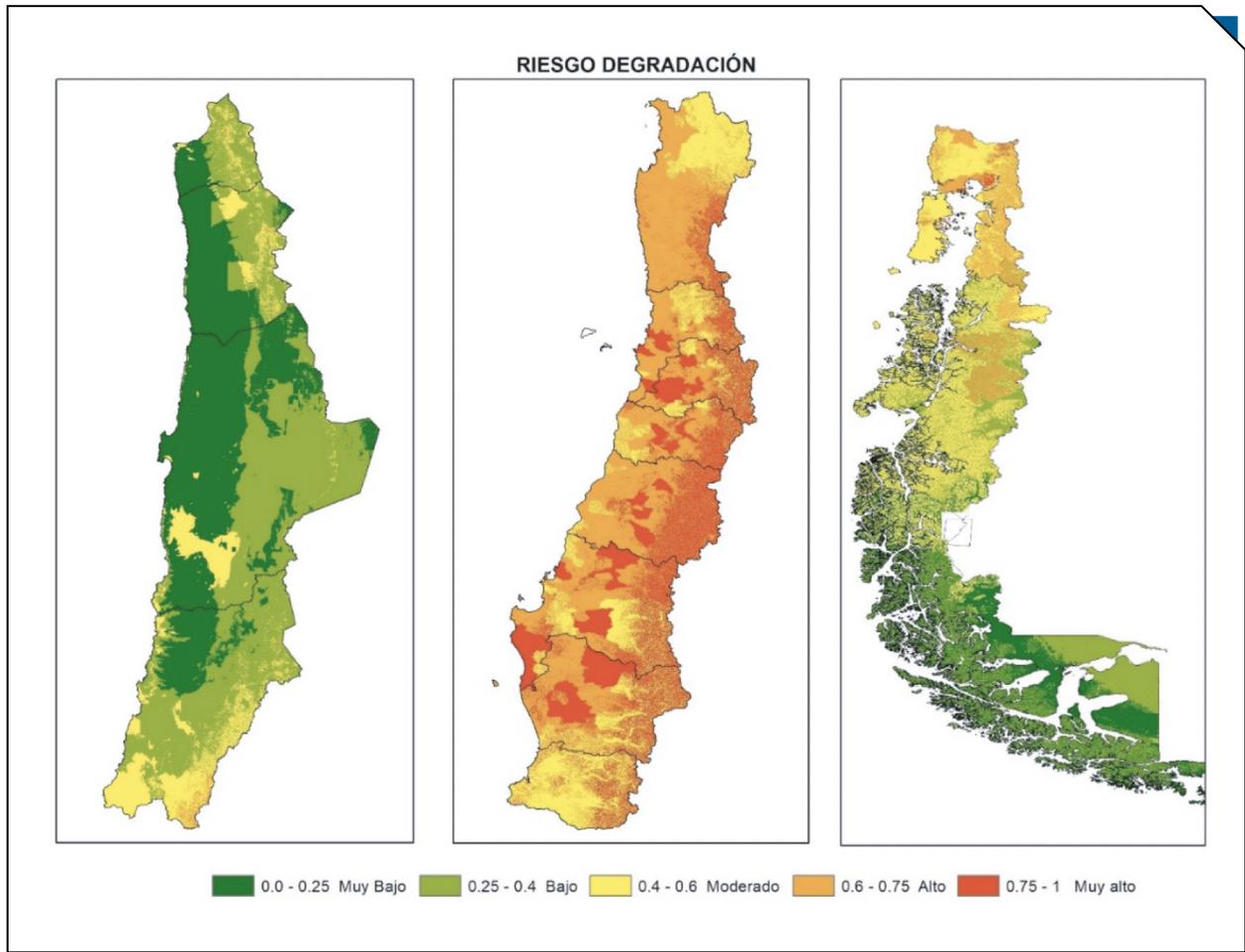


Figura 13. Mapa de Riesgo de Degradación

3.2. Conclusión

A diferencia del riesgo de desertificación cuya principal causal es el clima, en este caso la mayor causa de degradación es la actividad humana. En la región desértica por su extrema aridez aparece como estable con niveles muy bajos y bajos en sectores precordilleranos y cordilleranos. Ya en la Región de Atacama los riesgos comienzan a tomar valores bajos y moderados en todo su territorio, lo que se debe a una mayor presencia humana.

Hacia la Región de Coquimbo se generalizan los riesgos altos debido a una actividad agrícola más intensiva y a una tendencia creciente del déficit hídrico debido a la disminución de la precipitación y al aumento de la evapotranspiración.

En la Región de Valparaíso comienzan a aparecer los primeros núcleos de riesgo en la categoría de muy alto coincidentes

con conglomerados humanos y a una agricultura que se hace más intensiva, lo que contribuye a la intensificación de incendios forestales.

La Región Metropolitana análogamente tiene un núcleo de alto riesgo en el valle del Maipo debido a la presencia humana, alta frecuencia de incendios forestales y una agricultura muy intensiva.

Una situación similar se observa en la Región de O'Higgins, donde el valle central tiene riesgos muy altos de degradación debido a la intensa actividad agrícola, mientras que en zonas cordilleranas el riesgo aumenta como consecuencia de un elevado riesgo de erosión por cuanto las pluviometrías superan los 800 mm.

En la Región del Maule persisten núcleos muy altos de degradación en el valle central. Se mantienen los altos niveles en la cordillera y en la costa. Esta región parece conjugar los más altos niveles de riesgo por cuanto se combina una agricultura intensiva, elevados riesgos de incendios forestales, una decreciente tendencia pluviométrica y elevados niveles de erosión de suelos.

En Ñuble y Biobío aparecen núcleos importantes de riesgo muy alto asociados a incendios forestales, particularmente en la península de Arauco, bajando estos riesgos en regiones precordilleranas. La cordillera mantiene elevados niveles debido a los riesgos de erosión de suelos.

En la Región de La Araucanía el panorama es similar al de Biobío apareciendo dos núcleos extensos con muy alto nivel de riesgo en torno a Collipulli y Ercilla, lo que está asociado

a elevados incendios forestales, actividad agrícola y riesgos de erosión debido a una topografía ondulada. Un núcleo de similares condiciones aparece en la cuenca del río Toltén al oeste de Temuco.

Hacia la Región de Los Ríos y Los Lagos los riesgos se mantienen en niveles moderados desde la costa al interior subiendo ligeramente hacia los sectores cordilleranos debido a los mayores riesgos de erosión.

En Aysén los riesgos comienzan a bajar en la costa occidental debido a la baja o nula presencia humana, la inactividad agropecuaria y la elevada cobertura vegetal. Contrariamente, hacia el este, hacia los sectores trasandinos, los riesgos de degradación aumentan debido a la mayor presencia humana y a la menor cobertura vegetal. Magallanes mantiene similar tendencia.



4. Índice de Sequía

Para el desarrollo del índice de sequía se utilizará el índice combinado de sequía, el cual integra indicadores de sequía meteorológica, medida a través del Índice de Precipitación Estandarizado (IPE) y sequía agrícola, estimada a través del Índice de Vegetación de Diferencias Normalizada (NDVI, siglas en inglés).

Para el índice de Precipitación Estandarizado se utilizó una base de datos de precipitaciones entre el periodo 1980 y 2018. Las anomalías de NDVI se determinaron utilizando la información de imágenes satelitales MODIS, disponibles desde el año 2000 al 2018. Para ambos índices el periodo actual corresponde al promedio de anomalías entre el 2013 y 2018.

4.1 Índice de Precipitación Estandarizado (IPE)

El IPE define como el valor numérico que representa el número de desviaciones estándar de la precipitación anual, respecto de la media, una vez que la distribución original de la precipitación ha sido transformada a una distribución normal (Ecuación 6).

$$IPE_i = (PP_i - PP_{prom}) / Desvest$$

Ec. 6

Donde:

IPE_i = Índice de precipitación estandarizado año "i"

PP_i = precipitación anual año "i"

PP_{prom} = Promedio de las precipitaciones anuales para el periodo 1980-2018

Desvest = desviación estándar para el periodo 1980-2018

Para establecer una representatividad de las condiciones de precipitaciones a nivel nacional, se seleccionaron 172 estaciones pluviométricas con más de 20 años de datos, y evitando series de datos discontinuas o datos cuestionables, a lo largo de Chile. Esta selección se realizó de forma visual, tratando de representar de forma homogénea los diferentes climas del país (Figura 14).

4.1.1. Tratamiento estadístico de datos pluviométricos

Para asegurar la calidad de los datos pluviométricos se analizó la normalidad de los datos de precipitaciones anuales entregados por cada una de las estaciones pluviométricas seleccionadas utilizando el periodo comprendido entre los años 1988 - 2018. Con este fin se aplicó la prueba de contraste estadístico de Shapiro Wilk que a través del análisis de la media y varianza muestral permite establecer si la muestra analizada se comporta de forma normal o no.

Para establecer la normalidad de una variable la prueba de Shapiro Wilk toma como hipótesis nula que las muestras se distribuyen de forma normal, por lo que si su valor p es igual o menor que 0,005 se rechaza esta hipótesis. Al analizar los datos de las 172 estaciones seleccionadas, 162 obtuvieron un valor p mayor a 0,05 por lo que se pudo confirmar su comportamiento normal.

En caso de que los datos de una estación no se ajustaran a una distribución normal, primero se procedió a eliminar los datos anómalos o extremos para volver a aplicar la prueba de Shapiro Wilk y volver a analizar su normalidad.

A través de esto solo se logró normalizar la estación Belén (Altiplano Región de Arica y Parinacota), pasando de un valor p inicial de 0,047 a 0,225.

En caso de que la eliminación de datos extremos no funcionara, se aplicó la función de logaritmo natural permitiendo normalizar estos datos. Dado que no es necesario establecer la variación de la pluviometría a través de los años y no sus volúmenes, este proceso no altera el resultado final.

4.1.2 Transformación a grados de desviación estándar

Con el fin de analizar la variación de las precipitaciones por año de forma estandarizada, se calculó para cada estación la desviación estándar de cada una de las estaciones, estableciendo una media igual a 0 para cada una de las estaciones. Lo anterior permite evaluar la variabilidad en las precipitaciones de una forma local, eliminando el ruido que generan las diferencias de volumen de precipitaciones dependiendo de la ubicación geográfica de cada estación. Este proceso llevo todos los montos de precipitación a montos entre -3,54 como mínimo y 4,96 como máximo.

4.1.3 Espacialización de los datos

Con los datos anuales estandarizados de precipitaciones de las estaciones seleccionadas, se procedió a espacializar la información a través de bases de datos SIG (Sistema de Información Geográfica), para luego ser interpolada a través del método "Vecino más cercano", que asigna valores a los pixeles en función de la cercanía a alguno de los puntos desplegados.

Con este proceso se obtuvieron coberturas de tipo raster para la variabilidad de las precipitaciones anuales en grados de desviación estándar con media 0 para el intervalo de años desde el 2010 al 2018.

El índice de sequía se calculó mediante la integración del IPE (Figura 14) y las anomalías del NDVI (Figura 15), los cuales fueron promediados.

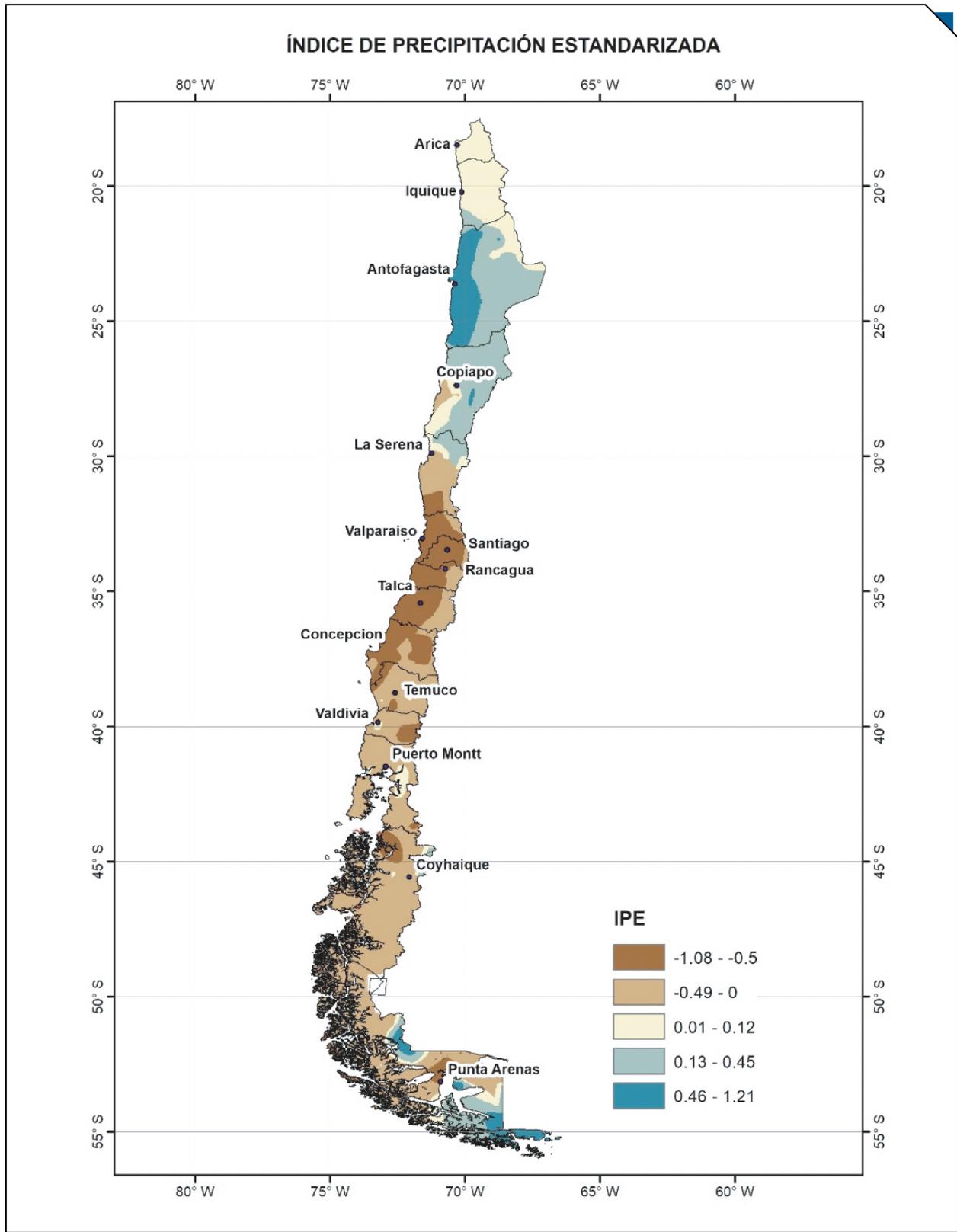


Figura 14. Índice de precipitación estandarizada, promedio de anomalías 2013-2018 respecto al periodo 1980-2018.t

4.2 Índice de Vegetación de Diferencias Normalizada de NDVI

Las anomalías de NDVI se determinaron utilizando la información de imágenes satelitales MODIS disponibles desde el año 2000 al 2018. El valor de la anomalía queda dado por la diferencia entre el valor NDVI actual y el promedio

del periodo, dividido por la desviación estándar. El valor actual considera el promedio de las anomalías entre el 2013 y 2018. La Figura 15 muestra las anomalías en las regiones de Coquimbo y Biobío.

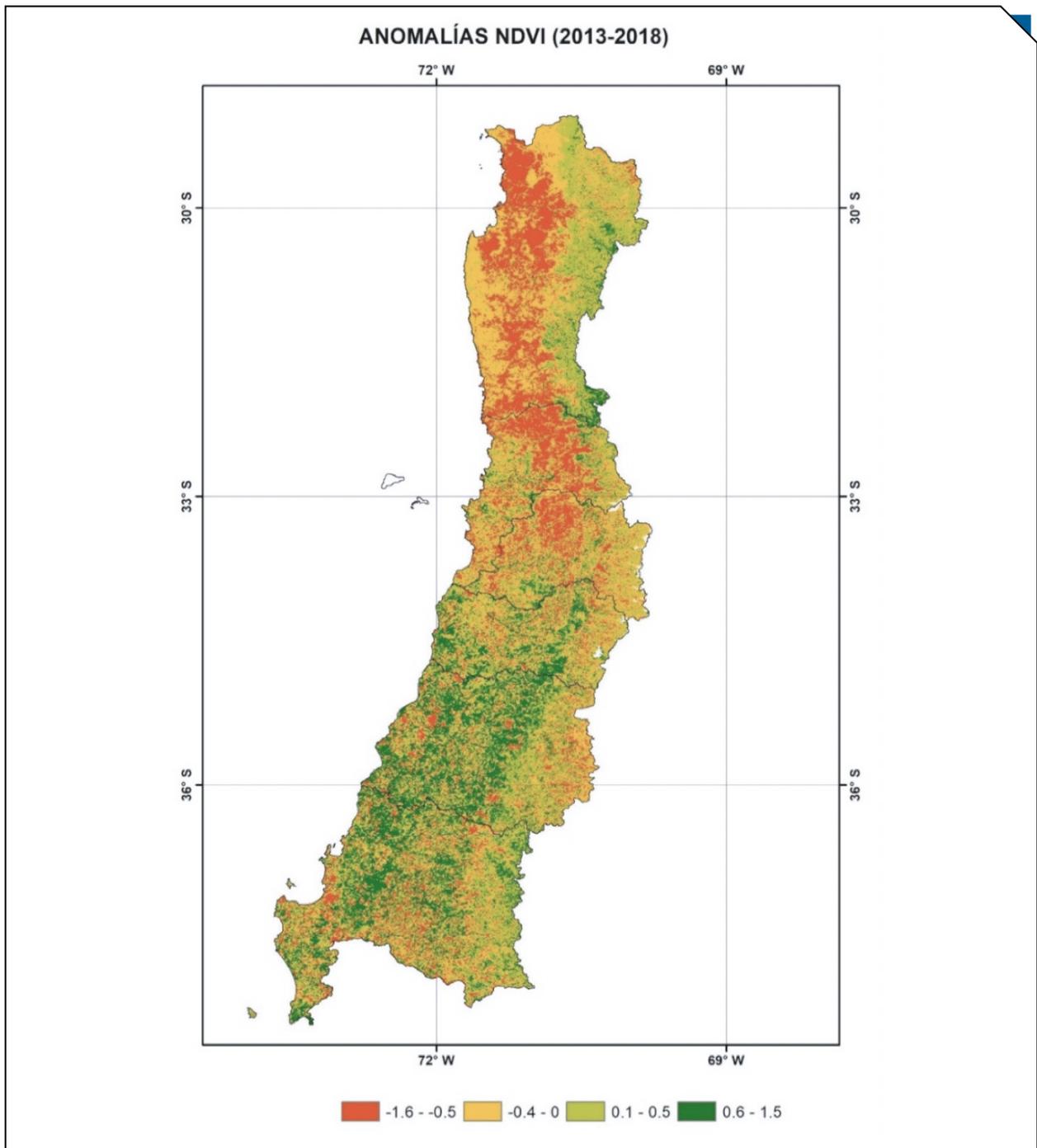


Figura 15. Anomalía de NDVI para el periodo 2013-2018, respecto al periodo 2000-2018. Los valores en rojo muestran las áreas con anomalías NDVI más altas.

4.3 Conclusión

En las zonas desérticas no se estiman tendencias significativas en el índice de sequía, apreciándose una alternancia entre áreas con tendencia positiva (disminución de sequías) y áreas con tendencias negativas (aumento de las sequías, Figura 16). Cabe notar que en los últimos años se ha observado un aumento en las lluvias estivales incluso en regiones costeras lo que en términos estadísticos hace disminuir las sequías en lo que respecta a sus estimadores.

A partir de la Región de Coquimbo se aprecia una intensificación del riesgo de sequía como consecuencia de la disminución de las precipitaciones y un deterioro de la cubierta vegetal, situación que se extiende hasta la Región de Valparaíso y parte norte de la cuenca de Santiago. Esta tendencia está asociada probablemente a un desplazamiento del límite austral del desierto de Atacama, lo que estaría asociado a una tendencia secular en la posición del anticiclón del Pacífico. A partir de la Región de O'Higgins la intensidad de las sequías se atenúan ligeramente, si bien se mantienen altas en una proporción significativa del territorio. En las zonas costeras y precordillerana de O'Higgins y Maule el riesgo tiende a bajar a niveles moderados. Esto último es probablemente debido no a una condición climática sino a una mayor presencia de vegetación arbórea con cierta resiliencia frente al déficit hídrico.

En las regiones de Ñuble y Biobío se produce una intensificación de los riesgos de sequías lo que puede estar asociado a una intensificación negativa de la precipitación y a una mayor incidencia de incendios forestales que tiende a reducir los valores de cobertura vegetal.

Se mantienen valores predominantes alto de riesgo de sequías por el interior de las regiones de Los Ríos y Los Lagos, atenuándose ligeramente hacia la costa. Cabe notar que el extremo sur de la isla de Chiloé presenta intensidades altas en contraposición de la parte norte de la isla que presenta niveles moderados. Esto podría deberse no a una tendencia climática sino más bien a una deforestación acelerada.

En la Región de Aysén tienden a predominar niveles altos en la región occidental más húmeda mientras que en el sector oriental predominan los niveles más moderados, esto igualmente podría estar señalando un efecto humano combinado con cambio climático sobre la vegetación templado húmedo de esta región.

En la Región de Magallanes los niveles muy altos de sequía se instalan en el sector oriental más árido hacia la entrada del estrecho de Magallanes lo cual podría deberse a un origen climático que por una parte estaría afectando negativamente a las precipitaciones y por otra a la vegetación por la vía de la intensa erosión eólica que están sujetas estas tierras planas.

Cabe destacar que en el extremo austral de la Región de Magallanes se aprecia un aumento de las precipitaciones lo que se refleja en las tendencias a la disminución del índice de sequías (Figura 16).

Los datos regionalizados del índice de sequía se presentan en el Anexo 1.

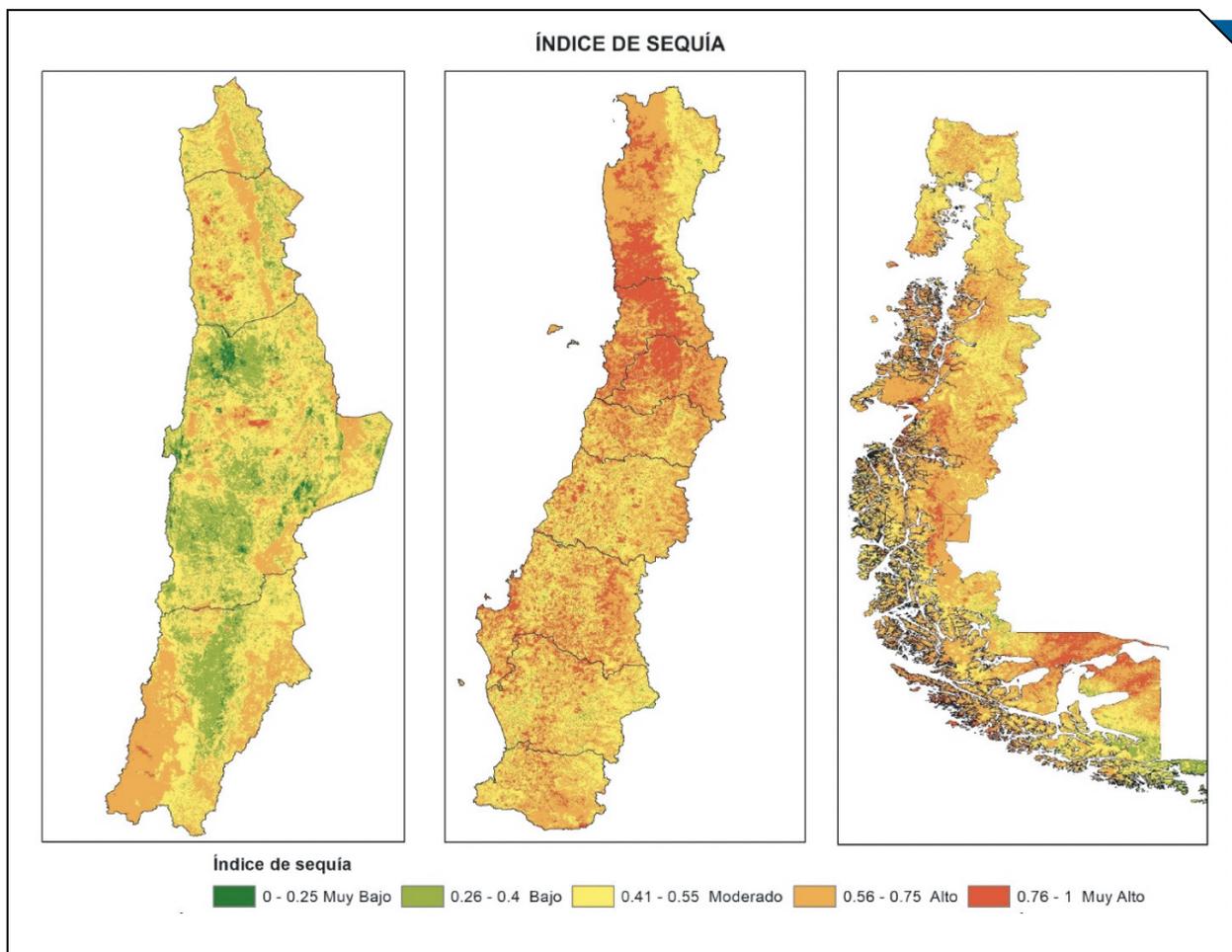


Figura 16. Índice de sequía compuesto por el índice estandarizado de precipitaciones e Índice de anomalías Vegetación de Diferencias Normalizada de NDVI.



5 Riesgo integrado Desertificación, Degradación de las Tierras y Sequía en Chile (DDTS)

Con el objetivo de generar un instrumento de gestión técnico que permita monitorear la evolución integrada de la desertificación, la degradación de las tierras y la sequía, se generó un índice que combina los riesgos estimados de estas tres evaluaciones (Figura 17). Para la integración se ponderó la desertificación por 0,3, la degradación por 0,5 y la sequía por 0,2, la ponderación de cada variable fue definida de acuerdo con el criterio de expertos. Al índice de degradación se le dio una mayor ponderación considerando que este integra una causal climática extremadamente potente como es la

variación temporal que experimenta el déficit hídrico, el que combina los efectos de los cambios en la precipitación y las tasas de evapotranspiración. De alguna manera las tendencias en el déficit hídrico incluyen a las tendencias en el índice de aridez y al riesgo de sequías por cuanto el aumento del déficit hídrico necesariamente refleja un cambio en el régimen de aridez paralelamente con una disminución de la pluviometría

La tabla regionalizada de este índice se encuentra en el Anexo 1.



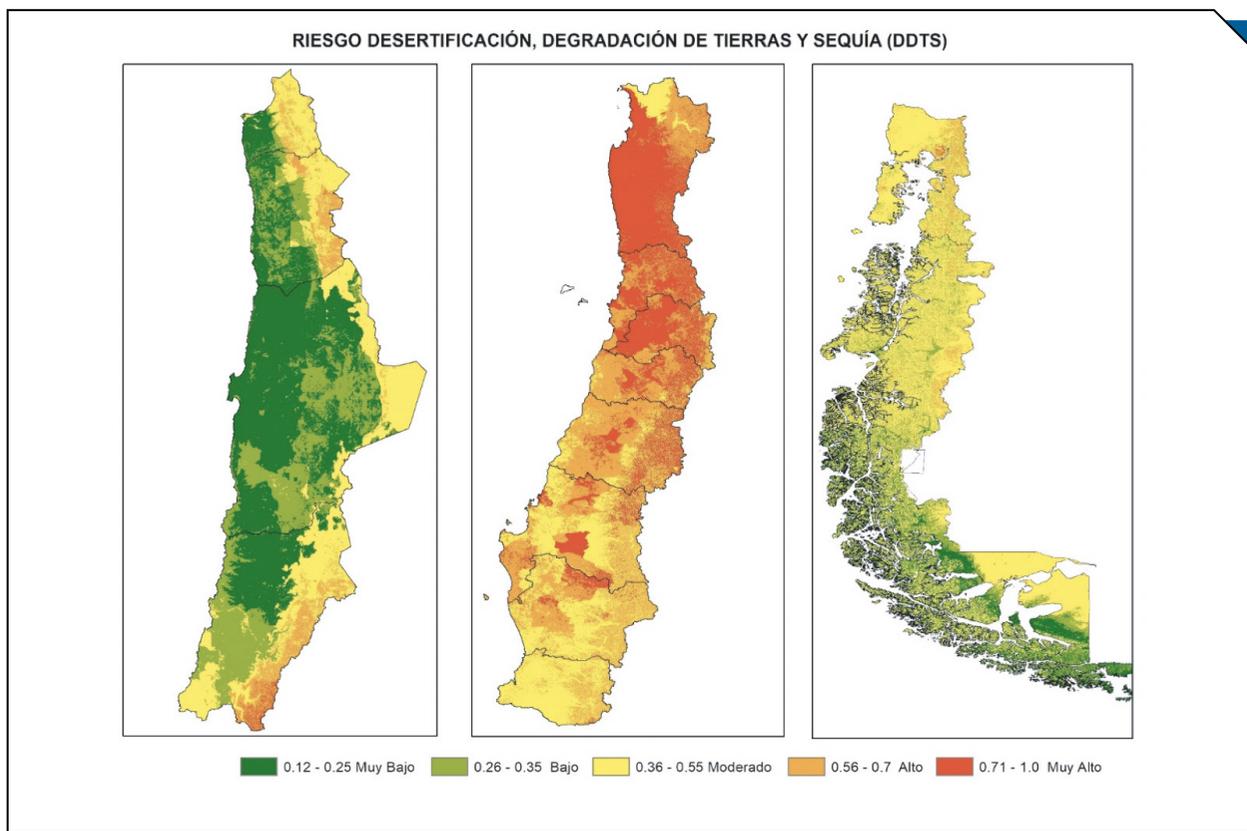


Figura 17. Riesgo integrado de desertificación, degradación de las Tierras y Sequía.

5.1. Conclusión

El índice integrado de riesgo de desertificación degradación y sequías muestra una situación relativamente estable incluso positiva en todo el desierto normal y marginal bajo particularmente en zonas costeras las cuales de Caldera al norte estarían moviéndose hacia una situación ecológicamente más favorable. En las zonas altiplánicas por el contrario este índice muestra tendencias moderadas y solo ocasionalmente altas hacia la degradación lo cual esta probablemente asociado a un efecto humano negativo sobre la vegetación.

En la Región de Coquimbo dominan los riesgos muy altos en toda la región con la sola excepción del extremo norte donde los valores caen a altos y moderados. Esto se asocia a una tendencia negativa en la precipitación y una fuerte degradación de la cubierta vegetal.

En las regiones Valparaíso y Metropolitana el territorio es compartido por índices altos y muy altos lo cual sería efecto de la fuerte disminución de las precipitaciones que ha afectado a estas regiones.

Ya en la Región de O'Higgins se nota una atenuación en los valores de riesgo siendo solo muy alto en sectores del valle central coincidentemente con los suelos que sostienen una intensiva agricultura. Hacia los sectores costeros dominan los valores altos igualmente los sectores precordilleranos.

En la Región del Maule se aprecia igualmente una muy alta intensidad de este índice en el valle central cultivado, atenuándose ligeramente hacia los sectores costeros y precordilleranos, tendencia que se mantiene el Ñuble y Biobío. En esta última región aparece un foco de alta degradación en la península de Arauco lo cual esta probablemente asociado a incendios forestales y erosión de los suelos.

En la Región del Biobío aparece un segundo foco importante en la zona de Los Ángeles-Nacimiento. Asimismo, otro foco se encuentra al oeste de Temuco, lo cual está asociado a incendios forestales y degradación del suelo debido a una intensa actividad agrícola. En las regiones de Los Ríos y Los Lagos dominan los valores moderados, mientras que en Aysén y Magallanes se instalan en los sectores más áridos hacia el este atenuándose la degradación hacia el borde más húmedo del Pacífico.

6. Bibliografía

CIREN. 2010. Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile. Centro de Información en Recursos Naturales, Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. 292 pp. de Agricultura. Gobierno de Chile 292 pp.

CONAF. 2016. Actualización del Riesgo de Desertificación, Degradación de las Tierras y Sequía en Chile, bajo el marco del Programa de Acción Nacional Contra la Desertificación (PANCD-Chile 2016 - 2030) y la estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (ENCCRV) (2017 - 2025). Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales. Corporación Nacional Forestal (CONAF), Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. 44 pp.

CONAF. 2016. Estrategia Nacional de Cambio climático y Recursos Vegetacionales (ENCCRV) (2017 - 2025). Unidad de Cambio Climático y Servicios ambientales (UCCSA). Gerencia de Desarrollo y Fomento Forestal (GEDEFF). Corporación Nacional Forestal (CONAF). Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile. 44 pp.

CNULD. 1994. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD) in Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa. Article 1. <http://www.unccd.int/en/about-the-convention/Pages/Text-Part-I.aspx>

González-Reyes A, Muñoz A. 2013. Precipitation changes of Valdivia city (Chile) during the past 150 years. BOSQUE 34(2): 191-200.

MDS. 2017. Encuesta CASEN 2017. Elaborado por el Centro de Encuestas y Estudios Longitudinales de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Ministerio de Desarrollo Social (MDS), Gobierno de Chile.

Santibáñez F, Santibáñez P, Caroca C, González P. 2017. Atlas agroclimático de Chile. Centro AGRIMED. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile Santiago de Chile.

UNEP. 1997. World Atlas of Desertification. 2nd. ed. United Nations Environment Programme (UNEP). Oxford University Press United Nations Environment Programme (UNEP). 182 pp.

Universidad de Chile. 2013. Informe País, Estado del Medio Ambiente en Chile 2012. Centro de Análisis de Políticas Públicas, Instituto de Asuntos Públicos. Universidad de Chile Santiago, Chile. 589 pp.

Wischmeier WH, Smith DD. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning. The USDA Agricultural Handbook No. 537, Maryland.

7. Anexos

Anexo 1.

Tablas de resultados regionales

Tabla 3. Superficie Riesgo de Desertificación por región

Región	RDST	Área (Ha)	%
Arica y Parinacota	Muy Bajo	609.207	36,1
	Bajo	85	0
	Moderado	16.114	1
	Alto	478.536	28,4
	Muy Alto	577.263	34,2
Tarapacá	Muy Bajo	2.844.060	67,3
	Bajo	197	0
	Moderado	645	0
	Alto	87.466	2,1
	Muy Alto	1.293.300	30,6
Antofagasta	Muy Bajo	10.653.500	84,5
	Bajo	235	0
	Moderado	1.100	0
	Alto	15.969	0,1
	Muy Alto	1.927.860	15,3
Atacama	Muy Bajo	4.645.130	61,4
	Bajo	11	0
	Moderado	228	0
	Alto	496	0
	Muy Alto	2.913.190	38,5
Coquimbo	Muy Bajo	375.495	9,3
	Bajo	375	0
	Moderado	9	0
	Alto	12.717	0,3
	Muy Alto	3.664.710	90,3
Valparaíso	Muy Bajo	2.685	0,2
	Bajo	10.290	0,6
	Moderado	59.039	3,6
	Alto	416.208	25,5
	Muy Alto	1.105.600	67,7
Metropolitana de Santiago	Muy Bajo	31.341	2
	Bajo	85.868	5,6
	Moderado	169.342	11
	Alto	371.148	24,1
	Muy Alto	881.653	57,2

Región	RDST	Área (Ha)	%
Libertador General Bernardo O'Higgins	Muy Bajo	46.482	2,8
	Bajo	44.105	2,7
	Moderado	690.747	42,3
	Alto	777.073	47,5
	Muy Alto	75.311	4,6
Maule	Muy Bajo	404.482	13,3
	Bajo	527.398	17,4
	Moderado	1.498.690	49,4
	Alto	551.770	18,2
	Muy Alto	47.654	1,6
Ñuble	Muy Bajo	382.030	29,2
	Bajo	415.311	31,7
	Moderado	494.669	37,8
	Alto	17.430	1,3
	Muy Alto	21	0
Biobío	Muy Bajo	892.046	37,1
	Bajo	1.078.410	44,9
	Moderado	347.959	14,5
	Alto	80.581	3,4
	Muy Alto	223	0
La Araucanía	Muy Bajo	1.446.160	45,4
	Bajo	1.391.370	43,7
	Moderado	314.911	9,9
	Alto	30.125	0,9
	Muy Alto	98	0
Los Ríos	Muy Bajo	1.351.000	73,6
	Bajo	479.912	26,2
	Moderado	1.562	0,1
Los Lagos	Muy Bajo	3.152.180	65
	Bajo	1.626.710	33,6
Aysén	Moderado	43.783	0,9
	Muy Bajo	4.483.770	41,9
	Bajo	4.993.840	46,7
	Moderado	598.164	5,6
	Alto	410.246	3,8
	Muy Alto	105.189	1
Magallanes	Muy Bajo	5.131.677	40,1
	Bajo	5.103.449	39,9
	Moderado	1.549.002	12,1
	Alto	952.035	7,4
	Muy Alto	69.370	0,5

Tabla 4. Riesgo de Degradación de Tierras por región

Región	RDGT	Área (ha)	%
Arica y Parinacota	Muy Bajo	492.317	29,2
	Bajo	946.012	56,1
	Moderado	239.070	14,2
	Alto	7.374	0,4
Tarapacá	Muy Bajo	2.255.010	53,3
	Bajo	1.487.060	35,2
	Moderado	472.517	11,2
	Alto	13.344	0,3
Antofagasta	Muy Bajo	6.412.080	50,9
	Bajo	5.405.520	42,9
	Moderado	785.749	6,2
Atacama	Muy Bajo	1.317.690	17,4
	Bajo	4.311.600	57,0
	Moderado	1.781.510	23,5
	Alto	139.212	1,8
	Muy Alto	13.025	0,2
Coquimbo	Bajo	150	0,0
	Moderado	1.093.460	26,9
	Alto	2.641.800	65,1
	Muy Alto	321.735	7,9
Valparaíso	Moderado	315.169	19,3
	Alto	860.606	52,7
	Muy Alto	420.077	25,7
Metropolitana	Moderado	268.768	17,4
	Alto	524.840	34,1
	Muy Alto	746.382	48,5
Libertador General Bernardo O'Higgins	Moderado	211.094	12,9
	Alto	864.511	52,9
	Muy Alto	558.798	34,2
Maule	Moderado	66.552	2,2
	Alto	1.834.160	60,5
	Muy Alto	1.131.080	37,3
Ñuble	Moderado	121.996	9,3
	Alto	680.844	52,0
	Muy Alto	507.100	38,7
Biobío	Moderado	579.040	24,1
	Alto	805.580	33,5
	Muy Alto	1.017.100	42,3
La Araucanía	Moderado	570.687	17,9
	Alto	1.245.840	39,1
	Muy Alto	1.367.110	42,9
Los Ríos	Moderado	1.121.320	61,1
	Alto	330.344	18,0
	Muy Alto	382.360	20,8
Los Lagos	Bajo	78.091	1,6
	Moderado	2.597.250	53,6
	Alto	2.014.640	41,6
	Muy Alto	149.435	3,1
Aysén	Muy Bajo	214.377	2,0
	Bajo	4.161.824	39,0
	Moderado	5.208.759	48,8
	Alto	1.083.139	10,1
Magallanes	Muy Bajo	5.909.167	46,1
	Bajo	6.085.597	47,5
	Moderado	983.274	7,7

Tabla 5. Índice de Sequía

Región	Riesgo Sequía	Área (ha)	%
Arica y Parinacota	Muy Bajo	919	0,1
	Bajo	220.577	13,1
	Moderado	877.403	52,0
	Alto	578.612	34,3
	Muy Alto	5.375	0,3
Tarapacá	Muy Bajo	13.239	0,3
	Bajo	612.393	14,5
	Moderado	1.994.180	47,2
	Alto	1.511.410	35,7
	Muy Alto	92.328	2,2
Antofagasta	Muy Bajo	380.158	3,0
	Bajo	4.401.210	34,9
	Moderado	5.550.060	44,0
	Alto	2.188.100	17,4
	Muy Alto	74.346	0,6
Atacama	Muy Bajo	47.204	0,6
	Bajo	1.497.070	19,8
	Moderado	2.898.470	38,3
	Alto	3.077.370	40,7
	Muy Alto	36.716	0,5
Coquimbo	Muy Bajo	108	0,0
	Bajo	36.448	0,9
	Moderado	1.064.200	26,2
	Alto	2.105.460	51,9
	Muy Alto	846.851	20,9
Valparaíso	Bajo	2.576	0,5
	Moderado	118.398	7,3
	Alto	694.517	42,5
	Muy Alto	778.187	47,7
Metropolitana de Santiago	Bajo	1.747	0,1
	Moderado	105.849	6,9
	Alto	827.391	53,7
	Muy Alto	604.648	39,3
Libertador General Bernardo O'Higgins	Bajo	29.811	1,8
	Moderado	434.852	26,6
	Alto	934.263	57,2
	Muy Alto	234.626	14,4
Maule	Muy Bajo	38	0,0
	Bajo	127.040	4,2
	Moderado	1.159.980	38,3
	Alto	1.422.090	46,9
	Muy Alto	320.742	10,6

Región	RDGT	Área (ha)	%
Ñuble	Bajo	39.024	3,0
	Moderado	467.895	35,7
	Alto	595.758	45,5
	Muy Alto	206.632	15,8
Biobío	Bajo	41.088	1,7
	Moderado	675.033	28,1
	Alto	1.189.220	49,5
	Muy Alto	493.593	20,5
La Araucanía	Muy Bajo	384	0,0
	Bajo	206.178	6,5
	Moderado	1.412.370	44,4
	Alto	1.253.480	39,4
	Muy Alto	309.944	9,7
Los Lagos	Muy Bajo	427	0,0
	Bajo	191.475	4,0
	Moderado	2.493.140	51,4
	Alto	1.957.760	40,4
	Muy Alto	178.469	3,7
Los Ríos	Muy Bajo	20	0,0
	Bajo	43.862	2,4
	Moderado	648.320	35,3
	Alto	979.811	53,4
	Muy Alto	160.566	8,8
Aysén	Muy Bajo	380	0,0
	Bajo	129.288	1,2
	Moderado	2.752.760	25,7
	Alto	6.754.600	63,1
	Muy Alto	956.067	8,9
Magallanes	Muy Bajo	20.818	0,2
	Bajo	963.202	7,5
	Moderado	3.894.460	30,4
	Alto	6.703.500	52,3
	Muy Alto	1.237.628	9,7

Tabla 6. Riesgo de Desertificación, Degradación de Tierras y Sequía (DDTS)

Región	DDST	Área (ha)	%
Arica y Parinacota	Muy Bajo	438.258	26
	Bajo	154.057	9
	Moderado	843.006	50
	Alto	237.882	14
	Muy Alto	1.269	1
Tarapacá	Muy Bajo	1.414.800	33
	Bajo	1.245.750	29
	Moderado	932.052	22
	Alto	616.998	15
	Muy Alto	9.573	0
Antofagasta	Muy Bajo	7.194.570	57,1
	Bajo	3.448.750	27,4
	Moderado	1.877.730	14,9
	Alto	59.879	0,5
	Muy Alto	791	0,0
Atacama	Muy Bajo	1859.540	24,6
	Bajo	2.038.630	26,9
	Moderado	2.390.230	31,6
	Alto	1.147.660	15,2
	Muy Alto	113.881	1,5
Coquimbo	Bajo	441	0,0
	Moderado	377.255	9,3
	Alto	933.434	23,0
	Muy Alto	2.735.750	67,7
Valparaíso	Moderado	9.710	0,6
	Alto	600.974	36,8
	Muy Alto	979.205	60,0
Metropolitana	Moderado	60.315	3,9
	Alto	449.657	29,2
	Muy Alto	1.029.420	66,8
Libertador General Bernardo O'Higgins	Moderado	106.774	6,7
	Alto	1.003.350	61,4
	Muy Alto	521.846	31,9
Maule	Moderado	474.005	15,8
	Alto	1.811.620	59,7
	Muy Alto	740.656	24,4

Región	RDGT	Área (ha)	%
Ñuble	Moderado	466.358	35,6
	Alto	610.371	46,6
	Muy Alto	231.448	17,7
Biobío	Moderado	959.741	39,9
	Alto	1.119.960	46,6
	Muy Alto	313.302	13,0
La Araucanía	Bajo	190	0,1
	Moderado	1.448.720	45,5
	Alto	1.523.770	47,9
	Muy Alto	208.741	6,6
Los Lagos	Bajo	318.545	6,6
	Moderado	3.756.730	77,5
	Alto	696.989	14,4
	Muy Alto	26.372	0,5
Los Ríos	Bajo	405	0,0
	Moderado	1.414.800	77,1
	Alto	404.977	22,1
	Muy Alto	9.996	0,5
Aysén	Muy Bajo	37.775	1,0
	Bajo	2.429.970	22,7
	Moderado	7.681.290	71,8
	Alto	348.191	3,3
	Muy Alto	784	0,0
Magallanes	Muy Bajo	3.564.070	27,8
	Bajo	3.612.340	28,2
	Moderado	5.423.240	42,4
	Alto	3.695	0,0
	Muy Alto	8	0,0

Siglas

CASEN	Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional
CIREN	Centro de Información de Recursos Naturales
CMNUCC	Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CNULD	Convención de Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación
CONAF	Corporación Nacional Forestal
DDTS	Desertificación, Degradación de las Tierras y Sequía
DGA	Dirección General de Aguas
DMC	Dirección Meteorológica de Chile
DR	Índice de Densidad Poblacional Rural
ENCCRV	Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales
EVP	Evapotranspiración Potencial
FDF	Fundación para el Desarrollo Frutícola
GEDEFF	Gerencia de Desarrollo y Fomento Forestal
GEF	Fondo para el Medio Ambiente Mundial (siglas en inglés)
IDH	Índice de Presión Humana
IIA	Índice de Intensidad de la Aridez
INE	Instituto Nacional de Estadísticas
INFODEP	Información agroclimática para el Desarrollo Productivo
IP	Índice de Pobreza
IPE	Índice de Precipitación Estandarizado
IPE	Índice de Precipitación Estandarizado
IUS	Índice de Intensidad de Uso de Suelo Rural
MRV	Monitoreo, Reporte y Verificación
NDT	Neutralidad en la Degradación de las Tierras
NDVI	Índice de Vegetación de Diferencias Normalizada (siglas en inglés)
UCCSA	Unidad de Cambio Climático y Servicios Ambientales







Corporación Nacional Forestal

Unidad de Cambio Climático y Servicios Ambientales (UCCSA)

Gerencia de Desarrollo y Fomento Forestal (GEDEFF)

Corporación Nacional Forestal (CONAF)

Ministerio de Agricultura de Chile

www.enccrv.cl

www.conaf.cl

Paseo Bulnes 377, Oficina 207

Santiago de Chile