

La vulnerabilidad de las tierras desertificadas

frente a escenarios de cambio climático
en América Latina y el Caribe



Guillermo Dascal



NACIONES UNIDAS

CEPAL



THE GLOBAL
MECHANISM

UNITED NATIONS CONVENTION
TO COMBAT DESERTIFICATION

La vulnerabilidad de las tierras desertificadas frente a escenarios de cambio climático en América Latina y el Caribe

Guillermo Dascal



Este documento ha sido preparado por Guillermo Dascal, consultor de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en el marco del proyecto "Valoración económica de la degradación de las tierras ante escenarios alternativos de cambio climático", llevado a cabo por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) en asociación con el Mecanismo Mundial, órgano subsidiario de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación (CLD). Este estudio ha sido coordinado por José Luis Samaniego, Director de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la CEPAL, y César Morales, consultor de la CEPAL. Se desea agradecer al Sr. David Candia, consultor del ILPES, por su apoyo en la transferencia de conocimientos, así como en la orientación para el procesamiento y tratamiento de las imágenes producidas por el sistema de información geográfico utilizado en el estudio. Se agradecen especialmente a las personas siguientes sus comentarios, sugerencias y revisiones del documento: Heitor Matallo, Coordinador de la Unidad de Coordinación Regional de la CLD en América Latina y el Caribe, y los puntos focales nacionales de la CLD en la Argentina (José Cueva), Chile (Wilfredo Alfaro), Colombia (Zoraida Fajardo), el Paraguay (Graciela Miret) y el Perú (Sonia González).

Las opiniones expresadas en el presente documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de la exclusiva responsabilidad del autor y pueden no coincidir con las de la organización. Las denominaciones empleadas en los mapas de este documento y la forma en que aparecen presentados los datos que contienen no implican, de parte de la Secretaría de las Naciones Unidas, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras y límites.

Publicación de las Naciones Unidas

LC/W.496

Copyright © Naciones Unidas, septiembre de 2012. Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile

Índice

I.	Presentación	5
II.	Desertificación, clima y cambio climático	7
III.	Metodología	11
	III.1. Fuentes de información	11
	III.2. Hipótesis y metodología	18
IV.	Principales resultados.	23
	IV.1. Análisis de la desertificación ante escenarios de cambio climático en la Argentina	24
	IV.2. Análisis de la degradación de las tierras y la desertificación ante escenarios de cambio climático en Chile.	44
	IV.3. Análisis de la desertificación ante escenarios de cambio climático en Colombia	59
	IV.4. Análisis de la degradación de las tierras y la desertificación ante escenarios alternativos de cambio climático en el Paraguay	71
	IV.5. Análisis de la degradación de las tierras y la desertificación ante escenarios alternativos de cambio climático en el Perú	79
V.	Conclusiones	97
	Bibliografía	99

I. Presentación

El presente estudio se enmarca en el proyecto “Valoración económica de la degradación de tierras ante escenarios alternativos de cambio climático”, iniciativa llevada a cabo conjuntamente por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y el Mecanismo Mundial de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CLD), y ha sido coordinado por César Morales.

El objeto del estudio es analizar los niveles de vulnerabilidad de las tierras degradadas y desertificadas ante los efectos del cambio climático en países seleccionados de América Latina y el Caribe.

Con ese fin se aisló el factor clima como una de las causas de la desertificación y la degradación de las tierras, sin considerar los factores antrópicos, que habitualmente tienen mayor incidencia en los procesos de desertificación.

Los datos climáticos corresponden al modelo PRECIS y fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE) del Brasil. Por tratarse de un modelo climático mundial que sirve para obtener información hasta el año 2100, las proyecciones presentan niveles de incertidumbre razonables. A esto se le agrega que dichas proyecciones se han establecido sobre la base de escenarios que no representan necesariamente la complejidad de la realidad futura.

Por otra parte, los datos climáticos corresponden a puntos situados a 50 kilómetros de distancia entre sí. Las interpolaciones realizadas para medir superficies y observar la evolución del clima pueden producir un cierto grado de distorsión en la información. Además, dada la escasa red de estaciones meteorológicas presentes en zonas áridas de la región, se han tomado como línea de base los datos proporcionados por el propio modelo PRECIS, lo que también podría tener algún efecto en la calidad de los resultados.

Desde otro ángulo, la cartografía que se ha podido obtener acerca de la desertificación y la degradación de las tierras en los países de la región está solo actualizada o validada en pocos casos, lo que ha repercutido en el trabajo realizado al imponer limitaciones al estudio.

En la Argentina, Chile, Colombia, el Paraguay y el Perú se ha podido completar el análisis con mayor nivel de detalle. En cambio, dados los diferentes enfoques, prioridades y

políticas públicas de los países de la región en torno al tema, no ha sido posible armar un mosaico cartográfico para América Latina y el Caribe de los efectos del cambio climático en la desertificación y la degradación de las tierras.

Por todo ello, resulta más conveniente para el análisis reflejar las tendencias más que los valores absolutos de los elementos del clima considerados en el modelo. No obstante, el estudio reviste gran importancia por ser una de las primeras aproximaciones al análisis de las relaciones entre la desertificación y el cambio climático en América Latina y el Caribe.

Se ha partido de la hipótesis de que las tierras desertificadas serán más vulnerables si están afectadas por niveles más elevados de concentración e intensidad de las precipitaciones y si su balance hídrico anual o mensual es más deficitario o más prolongado en el tiempo.

Los indicadores empleados son el índice de concentración de las precipitaciones, el índice de aridez, el índice de Fournier o índice de agresividad climática y el índice de número de meses secos. No se tuvieron en cuenta los efectos de fenómenos extremos, cuya inclusión se ha reservado para estudios que puedan llevarse a cabo en el futuro, habida cuenta de la complejidad que entrañan su utilización, análisis e interpretación.

Los índices mencionados fueron seleccionados y, en algunos casos, adaptados de una batería de indicadores propuestos y aplicados en la región por el Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC).

Se comparó su aplicación en el período medio mensual de 2001-2008 (línea de base) con los períodos 2046-2050 y 2096-2100. Se midieron superficies desertificadas y degradadas afectadas por los indicadores en los períodos mencionados y se analizó su evolución.

Las conclusiones, como ya se ha señalado, deben considerarse como una primera aproximación y un reflejo de las tendencias que allí se señalan.

Consideramos que este trabajo representa el primero paso en una serie de investigaciones que permitirán lograr una mejor comprensión de los efectos del cambio climático en las tierras desertificadas y degradadas. Esperamos que sus conclusiones, necesariamente provisionales, sirvan de punto de partida para investigaciones futuras que posibiliten perfeccionar y conferir mayor solidez a los resultados obtenidos.

II. Desertificación, clima y cambio climático

En la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CLD) se define la desertificación como “la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas resultante de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas”. Por degradación de las tierras se entiende “la reducción o la pérdida de la productividad biológica o económica” de las mismas (parte I, artículo 1 de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación).

Por consiguiente, el clima es el principal factor que determina en qué zonas de la Tierra tiene lugar el proceso de desertificación (zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas). En la Convención se ha restringido la aplicación de este concepto a dichas zonas, por cuanto son estas las más frágiles frente al proceso de degradación de las tierras.

Desde un punto de vista técnico, en la propia Convención se definen esas zonas como aquellas “en las que la proporción entre la precipitación anual y la evapotranspiración potencial está comprendida entre 0,05 y 0,65, excluidas las regiones polares y subpolares” (*ibíd.*). En esta definición se emplean los criterios propuestos por Hassan y Dregne (1997), que se aplicaron en el *Atlas Mundial de la Desertificación* (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 1997) para el índice denominado índice de aridez.

El empleo de dicho índice es de vital importancia para delimitar las zonas en las que puede tener lugar un proceso de desertificación. Sin embargo, los datos disponibles son escasos. “La densidad espacial de las observaciones *in situ* es, a menudo, inadecuada para caracterizar (y, por lo tanto, comprender) el estado y la evaluación de las tierras secas, o para evaluar la utilidad de la información obtenida a través de satélites en dichas zonas” (Verstraete et al., 2011). Este mismo autor señala que “cuando estos datos están disponibles, la cobertura es habitualmente limitada a tiempos cortos, discontinuos”.

Por otra parte, “[e]l número, el tipo y la calidad de los datos existentes son insuficientes o se concentran en aquellas variables que son más fácilmente evaluables que aquellas que son más pertinentes para las tierras secas” (*ibíd.*). Cabe mencionar, asimismo, que, para medir la evapotranspiración, se requieren datos de radiación solar, temperatura del aire, humedad y velocidad del viento. A fin de velar por la integridad de los cálculos, las mediciones deben realizarse a una altura de dos metros o convertirse a esa altura (CAZALAC, 2006).

Esto fue determinante a la hora de definir la línea de base del presente estudio y, como se verá más adelante, se optó por utilizar el modelo PRECIS.

El clima y la desertificación interactúan en distinto grado por medio de una compleja serie de ciclos de alimentación y retroalimentación que todavía se comprende solo parcialmente (Williams, 2001).

De los elementos adecuados para ser objeto de un análisis en relación con el clima y el cambio climático destacan, en primer lugar, las precipitaciones (Sivakumar *et al.*, 2007). Las tierras secas existen porque la evapotranspiración anual excede las precipitaciones (*ibíd.*), por lo que la evolución del índice de aridez, que pone en relación ambos conceptos, constituye un instrumento de análisis ideal en este tipo de estudios.

Es importante, además, considerar las precipitaciones a diferentes escalas, desde la anual y decenal hasta la escala del minuto (Stroonsijder, 2007), para comprender mejor las relaciones entre el clima y la desertificación.

Williams (2001) insiste en que las fluctuaciones en la biomasa de las zonas secas están estrechamente relacionadas con las variaciones estacionales de las precipitaciones. En consecuencia, a los efectos de este estudio, se ha incluido un índice que mide la distribución de las precipitaciones a lo largo del año e identifica, de este modo, aquellas situaciones que pueden afectar a la cubierta vegetal de las zonas secas por la falta de lluvias.

Con el fin de profundizar más, si cabe, en el análisis estacional de las fluctuaciones climáticas, en el presente estudio se contempló realizar un análisis del balance hídrico mensual mediante la transformación del índice de aridez en el índice de número de meses secos.

Por otra parte, hay consenso entre los autores en que la intensidad de las precipitaciones es el factor más importante que puede erosionar el suelo, lo que genera desertificación (Sivakumar *et al.*, 2007). Este fenómeno puede ser estudiado aplicando índices que relacionan la intensidad de las precipitaciones con una unidad de tiempo, como es el índice de Fournier, que se explicará a continuación.

En cualquier caso, según G. Pickup (1998), el análisis es complejo. No resulta tan fácil medir la relación entre el cambio climático y la degradación de las tierras debido a que dicha relación depende de las características particulares de cada ecosistema.

Por un lado, los datos de precipitaciones proporcionados por los modelos mundiales de proyecciones climáticas son menos sólidos que las proyecciones de temperaturas. No obstante, el incremento de la temperatura en las tierras secas juega un papel considerable en el aumento de la evapotranspiración y, por tanto, genera cambios en el balance hídrico (Sorensen *et al.*, 2009).

Por otro, existe una gran dificultad para establecer rangos, categorías u otras clasificaciones similares. “Suele carecerse de normas, buenas prácticas, unidades comunes de medición, protocolos de análisis comparado y procedimientos de control de la calidad, formatos universales y políticas de datos claras, lo que dificulta el intercambio, la interpretación, la validación y la explotación de esos datos y productos” (Verstraete *et al.*, 2011).

Además, una de las principales dificultades para cuantificar las relaciones entre la desertificación y el cambio climático está relacionada con la calidad variable de los datos sobre la extensión, la gravedad y las tendencias de las distintas formas de desertificación (Williams, 2001), así como con los bajos niveles de certidumbre de los modelos mundiales que predicen el clima.

En ese sentido, una de las principales recomendaciones del taller internacional sobre el clima y la degradación de la tierra, celebrado en Tanzania en diciembre de 2006 y organizado por la CLD, la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el Fondo de la OPEP para el Desarrollo Internacional, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y

la Cultura (UNESCO), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el Organismo Meteorológico de Tanzania, fue la de promover en los países la ampliación de la cobertura de las estaciones meteorológicas en las tierras secas y en la esfera internacional, así como la normalización de los datos, de modo que se puedan establecer redes de datos y de equipos de investigación capaces de avanzar en la comprensión de la compleja relación entre la desertificación y el cambio climático.

III. Metodología

III.1. Fuentes de información

Para analizar los efectos del cambio climático en la desertificación y la degradación de las tierras en países de América Latina y el Caribe es necesario, en primer lugar, contar con dos tipos de información básicos. Por un lado, un mapa de desertificación o degradación de las tierras –según sea el caso¹– y, por el otro, información de datos climatológicos reales y proyectados a una escala apropiada. Además, ambas bases de datos deben poder ser utilizadas por medio de sistemas de información geográfica, de manera que sea posible medir las superficies afectadas por los procesos mencionados y obtener resultados cuantificables.

III.1.a. Cartografía disponible de la desertificación o la degradación de las tierras

Ahora bien, muy pocos países de la región cuentan con mapas de desertificación y degradación de las tierras. Y es aún menor el número de los que cuentan con una cartografía actualizada. En el cuadro 1 se presenta la situación actual en países seleccionados de la región.

Entre los esfuerzos realizados a nivel mundial para elaborar una cartografía de la desertificación y la degradación de las tierras destaca la “Evaluación mundial de la degradación de las tierras”. En este estudio se utilizó información satelital y se midió, en 1983 y 2003, qué cambios había habido en la productividad neta primaria. Al tratarse de un indicador sustitutivo, sus resultados son limitados y han sido cuestionados en muchos países de la región.

¹ Algunos países de la región centran sus acciones en la lucha contra la desertificación, en tanto que otros prefieren hacer frente al problema de la degradación de las tierras en su conjunto. Cabe mencionar que, conforme a la definición de “degradación de las tierras” oficialmente aprobada en el marco de la CLD, por tal se entiende la “pérdida de la productividad biológica o económica [] de las tierras”, mientras que “desertificación” se define como “la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas”.

CUADRO 1
CARTOGRAFÍA DISPONIBLE DE LA DESERTIFICACIÓN Y LA DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

País/región	Cartografía disponible
Argentina	Cuenta con un mapa de desertificación de 2010, realizado en el marco del proyecto “Evaluación de la degradación del suelo en zonas áridas”, financiado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
Bolivia (Estado Plurinacional de)	El mapa de degradación de las tierras data de 1996 y no ha sido validado por el punto focal nacional de la CLD y los expertos locales en la materia.
Chile	Posee un mapa preliminar de desertificación, que data de 1992, elaborado a nivel comunal.
Colombia	Cuenta con un mapa de desertificación, que data de 2006, debidamente validado.
Ecuador	No posee mapas actualizados de desertificación ni de degradación de las tierras del país ni de las regiones más afectadas.
Paraguay	No posee ni un mapa de desertificación ni uno de degradación de las tierras. En el marco del proyecto de la CEPAL y el Mecanismo Mundial, se realizaron talleres y se confeccionó un mapa preliminar.
Perú	No posee un mapa de desertificación actualizado. En el marco del proyecto de la CEPAL y el Mecanismo Mundial, se realizaron talleres y se confeccionó un mapa actualizado del país.
Centroamérica	No posee un mapa de degradación de las tierras. Algunos países, excepcionalmente, cuentan con bases de datos con información parcial.

Fuente: Elaboración propia.

Para este trabajo de consultoría se ha intentado emplear mapas de la “Evaluación mundial de la degradación de las tierras” en el caso del Ecuador y de Centroamérica. Esta información presenta varias limitaciones: a) no se definen zonas degradadas o desertificadas, sino puntos en donde ha habido un proceso de degradación, lo cual es de vital importancia, puesto que pueden existir zonas afectadas por un proceso de degradación rápido, pero que no se encuentran muy degradadas, y otras zonas degradadas que, dado su nivel de deterioro, presentan tasas de degradación bastante bajas; b) se miden, en última instancia, los cambios en la cubierta vegetal al considerar que, cuanto mayor es el “verdor”, menor es el grado de degradación de las tierras. Este supuesto tiene una validez muy limitada dado que pueden realizarse plantaciones forestales o cultivos que deterioran los suelos o, incluso, sobre suelos degradados, lo que puede llevar a conclusiones erróneas; c) no se mide el conjunto de las tierras degradadas o desertificadas, sino el deterioro de dicho conjunto.

En este contexto, existían tres situaciones:

- a) Países que contaban con un mapa validado localmente: la Argentina, Chile y Colombia.
- b) Países que contaban con mapas no actualizados, cuya cartografía fue actualizada y perfeccionada por medio de talleres con expertos locales realizados en el marco del proyecto de la CEPAL y el Mecanismo Mundial: el Paraguay y el Perú². La metodología empleada incluyó un fuerte componente cualitativo, habida cuenta de que el trabajo se basó en la experiencia de expertos locales, que definieron las zonas degradadas o desertificadas sobre la base de la cartografía temática disponible (mapas de aridez, de erosión, de uso del suelo y de tipos de suelos, entre otros), fotografías aéreas, Google Earth y su experiencia sobre el terreno. Los resultados alcanzados son, por lo tanto, necesariamente provisorios y deberán perfeccionarse los mapas mediante instrumentos o metodologías complementarios.

² En los capítulos sobre el Paraguay y el Perú se proporciona información más pormenorizada.

- c) Países que no contaban con una cartografía actualizada y validada localmente: Bolivia, el Ecuador y Centroamérica.

En el marco del presente trabajo de consultoría pudo realizarse el estudio completo de los efectos del cambio climático en la degradación de las tierras o en la desertificación respecto de los dos primeros grupos.

III.1.b. Información sobre del modelo empleado acerca del cambio climático

PRECIS es un sistema de modelización del clima regional, desarrollado por el Centro Hadley para Investigación y Predicciones Climáticas del Reino Unido, que permite aplicar el modelo regional HadRM3P en cualquier parte de la Tierra. Para el presente estudio se utilizó una resolución espacial de 50 kilómetros y 1 día de resolución temporal, y los datos resultantes se integraron en promedios mensuales para facilitar su manejo e interpretación.

Como línea de base se adoptó el escenario climático B2 por considerar que, al tratarse de un escenario prudente, puede reflejar la situación actual más apropiadamente que otros escenarios en los que se estiman situaciones más pesimistas. Cabe señalar que se realizó un ejercicio de validación, consistente esencialmente en la comparación de los datos del modelo con los datos observados sobre el terreno, con el fin de conocer sus niveles de confiabilidad. Con miras a nuevos estudios se hace necesario ampliar esta labor de validación para aumentar la solidez de los resultados alcanzados.

En el marco de los escenarios planteados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), existe un cierto consenso entre los científicos especialistas en que el escenario climático A2 es el más apropiado para medir proyecciones del cambio climático dado el grado de avance del calentamiento de la Tierra. Por este motivo se seleccionó el escenario A2 para las proyecciones realizadas.

III.1.c. Línea de base

Al inicio del estudio fue necesario decidir cuál sería la línea de base. Esta podría basarse en datos de la realidad, suministrados por estaciones meteorológicas, o en los datos que proporciona el modelo PRECIS.

Si bien existen antecedentes de trabajos con datos de la realidad en la región (Mendelsohn *et al.*, 2009), tras un pormenorizado análisis se optó por considerar como línea de base la información del modelo PRECIS en atención a las consideraciones siguientes:

1. Los datos de la realidad, obtenidos a través de estaciones meteorológicas, en algunos casos pueden ser poco confiables.
2. En algunos países existen pocas estaciones con mucho tiempo de medición continua.
3. Generalmente, en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas no hay estaciones meteorológicas debido a que, por razones económicas y vinculadas a procesos agroproductivos, los países prefieren instalarlas en aquellas zonas donde la información suministrada posee mayor valor agregado.
4. Además, cuando hay oasis productivos en zonas áridas, la información suele ser muy diferente de la obtenida en los desiertos o semidesiertos que los rodean.
5. A modo de ejemplo puede señalarse que en el Paraguay hay 11 estaciones que reúnen los datos que el estudio requiere y, en su casi totalidad, se encuentran en el Paraguay Oriental, por lo que no se dispone de suficiente información meteorológica sobre el Chaco, la zona emblemática de la desertificación en ese país.
6. En ese mismo país, el modelo PRECIS cuenta con 175 puntos con información meteorológica.

7. Entre los datos que se requieren para elaborar los indicadores figuran la temperatura media, la temperatura máxima, la temperatura mínima, las precipitaciones, los vientos (la dirección y la intensidad) y la insolación. En este sentido, si las estaciones se encuentran alejadas de las zonas objeto de interés, las interpolaciones pueden dar resultados poco fiables.
8. Resultaba de interés práctico trabajar con la línea de base proporcionada por el modelo PRECIS porque esa referencia permitía analizar la evolución del comportamiento de los mismos puntos a lo largo del tiempo.

Se efectuó una comparación entre la línea de base utilizada y una estación meteorológica próxima del Paraguay, que se presenta en el punto siguiente. Cabe señalar que, de las 11 estaciones, solo 1 permitía una comparación directa, debido a que se trató de evitar interpolaciones. Este ejercicio permitió apreciar que tanto la temperatura máxima, como la temperatura mínima, presentaban grandes coincidencias, mientras que las precipitaciones estaban sobrestimadas en el modelo PRECIS.

Habrían podido realizarse más comparaciones, pero, por razones prácticas, no fue posible, dado que hacerlo hubiera sobrepasado los objetivos, los recursos y la duración del estudio.

En consecuencia, y reconociendo que siempre deberían preferirse los datos reales a los obtenidos con modelos, existían las tres opciones siguientes:

- a. No realizar el estudio.
- b. Limitar el estudio a aquellos pocos países que cuentan con suficientes estaciones meteorológicas en tierras secas.
- c. Realizarlo como un estudio exploratorio, advirtiendo al lector de la metodología utilizada y las limitaciones de sus conclusiones.

La última fue la opción adoptada en el presente estudio.

III.1.d. Comparación entre la información climatológica sobre el terreno y el modelo empleado en el trabajo de consultoría y validación

Con arreglo al manual técnico del sistema PRECIS, las validaciones de los escenarios climáticos regionales deben hacerse mediante la comparación de, “por lo menos, estadísticas anuales o estacionales como, por ejemplo, las de precipitaciones estivales”. Además, se señala que “huelga decir que ningún modelo permitirá una perfecta validación en relación con la climatología o las observaciones” (Centro Hadley, 2004).

En el presente estudio, con el fin de conocer el nivel de confiabilidad de la línea de base empleada, se procedió a comparar los datos del modelo utilizados (el escenario climático B2, de tipo prudente, como línea de base) con la información proporcionada por estaciones meteorológicas.

Ese ejercicio consistió en el examen de las diferentes características de las fuentes de información disponibles. En el cuadro que se presenta a continuación figuran aspectos destacables de la información utilizada, con fines comparativos, en el caso del Paraguay. Se eligió este país porque disponía de datos de sus estaciones meteorológicas.

CUADRO 2
CARACTERÍSTICAS DE LAS FUENTES DE INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA
UTILIZADAS EN EL EJERCICIO COMPARATIVO SOBRE EL PARAGUAY

	Estaciones meteorológicas	Modelo PRECIS
Localización	Definida según políticas públicas e intereses económicos.	Un punto cada 50 kilómetros.
Obtención	Observación directa.	Modelo basado en información satelital y fuentes de información climática de los países. No incluiría observaciones sobre el terreno en el Paraguay.
Número de fuentes de información	Existen 11 estaciones con información de temperatura y 14 con información de precipitaciones (la primera cuenta con registros desde 1929 y la última, desde 1992). En algunos casos, la información es discontinua.	Hay 178 puntos con información sobre las precipitaciones y las temperaturas máximas y mínimas en el territorio del Paraguay.
Fuentes	Información de las estaciones meteorológicas de la Dirección de Meteorología e Hidrología del Paraguay.	Base de datos en formato CSV, elaborada por el INPE del Brasil por encargo de la CEPAL. Proporciona información relativa a los escenarios climáticos B2 y A2 .

Fuente: Elaboración propia.

Para la realización de ese ejercicio se consideraron una a una las estaciones meteorológicas y se observó: a) el período en que cuentan con información continua; b) el tipo de información disponible, ya que, por ejemplo, algunas estaciones solo proporcionan datos de temperatura media y precipitaciones; y c) su emplazamiento.

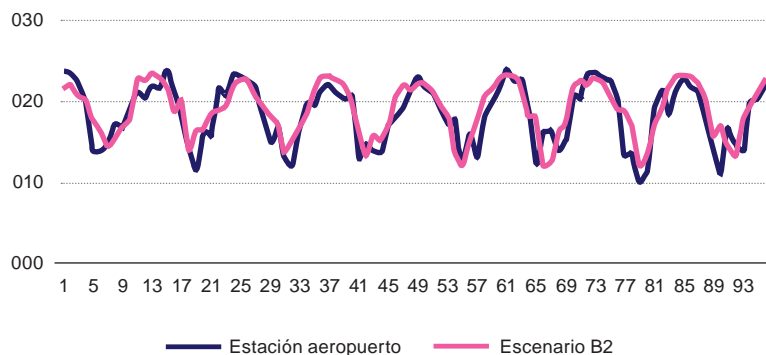
Como resultado de ese análisis, se constató que la estación meteorológica ubicada en el Aeropuerto Internacional de Asunción era la más apropiada por la cantidad de datos que proporciona y por su ubicación, en la latitud 25,24 S y la longitud 57,51 W. En efecto, esa estación se encuentra próxima al punto -25,5 / -57,5 del modelo PRECIS. Cabe mencionar, asimismo, que no se encontró otra estación con esas características.

Para el análisis comparativo se escogieron tres variables de importancia fundamental para el estudio: la temperatura máxima, la temperatura mínima y las precipitaciones. Se seleccionó, además, un período equivalente a la línea de base utilizada para la medición de los indicadores de vulnerabilidad: 2001-2008. Por último, se tomó en consideración la información media mensual del período, lo que representa un total de 96 datos para cada una de las 3 variables mencionadas. Los resultados fueron los siguientes:

III.1.d.1. Temperaturas mínimas

Como se puede observar en el gráfico 1, existe una gran coincidencia entre los datos que proporciona el modelo PRECIS y los reunidos en la estación meteorológica del Aeropuerto Internacional de Asunción. La media mensual observada en los 8 años examinados es de 18,48°C, mientras que la del modelo PRECIS es de 19,23°C en el mismo período.

GRÁFICO 1
TEMPERATURAS MÍNIMAS MENSUALES DEL PERÍODO 2001-2008 COMPARADAS



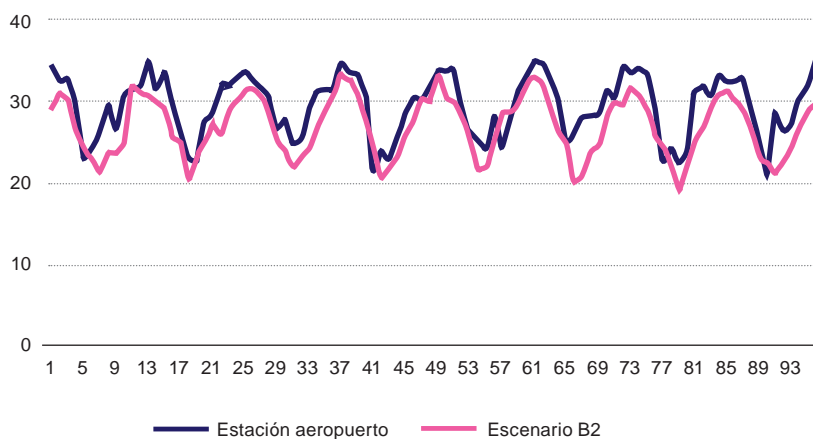
Fuente: Elaboración propia.

Nota: El eje vertical corresponde a temperaturas (°C) y el eje horizontal a meses.

III.1.d.2. Temperaturas máximas

En el gráfico 2 se presentan las mediciones de las temperaturas máximas mensuales durante esos 8 años (96 mediciones). Si consideramos la media mensual de ese período, la estación meteorológica registró 29,32°C, mientras que con el modelo PRECIS se estimó una media de 26,85°C para el escenario B2. En conclusión, en el modelo se subestimaron las temperaturas máximas mensuales en un promedio de 2,48°C. No obstante, los ciclos de evolución mensual de las temperaturas guardan una gran correspondencia entre sí, como se puede ver en el cuadro mencionado.

GRÁFICO 2
TEMPERATURAS MÁXIMAS DEL PERÍODO 2001-2008 COMPARADAS



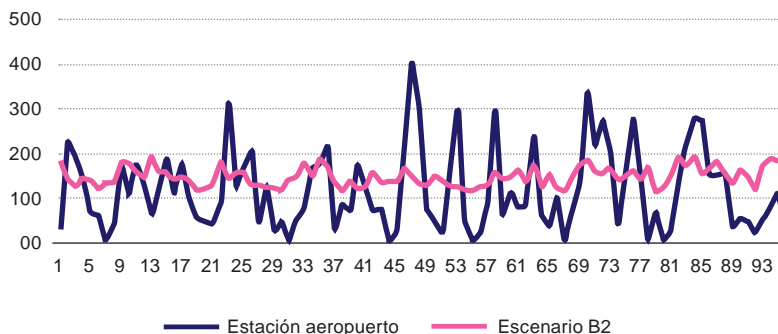
Fuente: Elaboración propia.

Nota: El eje vertical corresponde a temperaturas (°C) y el eje horizontal a meses.

III.1.d.3. Precipitaciones

En el gráfico 3 se exponen los resultados de la comparación realizada entre ambas fuentes de datos de precipitaciones mensuales. Como se puede observar, en el escenario B2 tiende a homogeneizarse los datos medios mensuales obtenidos en la estación meteorológica, lo que comporta importantes diferencias entre las dos fuentes.

GRÁFICO 3
PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES EN EL PERÍODO 2001-2008 COMPARADAS

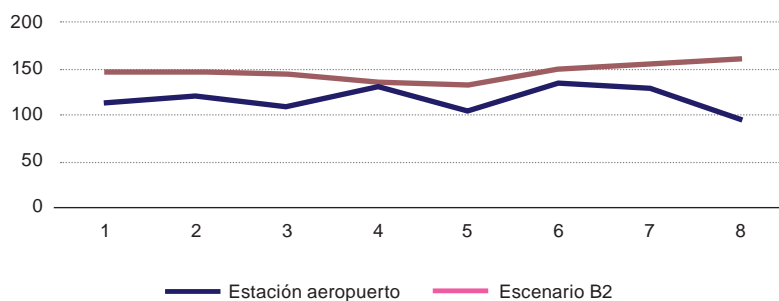


Fuente: Elaboración propia

Nota: El eje vertical corresponde a precipitaciones (mm) y el eje horizontal a meses.

No obstante, en el gráfico 4, en que se comparan las precipitaciones medias anuales, se observa una mayor similitud entre ambas fuentes. Como puede verse en ese cuadro, la información del modelo en su escenario B2 incluye una sobrestimación de las precipitaciones y tiende a homogeneizar los datos, lo que comporta que se reflejen en menor medida las fluctuaciones anuales a que dan lugar los datos proporcionados por la estación meteorológica. Mientras que la estación registró una media mensual de 116,41 milímetros en el período en cuestión, en el escenario B2 del modelo PRECIS se estimó que esa media era de 145,82 milímetros.

GRÁFICO 4
PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES DEL PERÍODO 2001-2008 COMPARADAS



Fuente: Elaboración propia.

Nota: El eje vertical corresponde a precipitaciones (mm) y el eje horizontal a años.

III.1.e. Conclusiones

- En primer lugar, es necesario apuntar que las presentes conclusiones se refieren solo a un punto del modelo PRECIS en su escenario climático B2, al compararlo con una estación meteorológica situada próxima a ese punto, durante un período limitado y con respecto a un conjunto seleccionado de variables: la temperatura máxima, la temperatura mínima y las precipitaciones, en sus promedios mensuales.
- En segundo lugar, se desconoce el equipo existente en la estación meteorológica escogida y, por tanto, no es posible estimar los niveles de confiabilidad de los resultados obtenidos. Tampoco se dispone de los metadatos necesarios para verificar si la información proporcionada por el modelo PRECIS se corresponde con la obtenida sobre el terreno. Señalamos, a modo de ejemplo, que mientras que la temperatura media se mide a 1,5 metros de altura del suelo, las temperaturas máxima y mínima suelen medirse, por su interés para la agricultura, a ras del suelo. Se desconocen los parámetros aplicados en este ámbito por el modelo PRECIS en sus estimaciones.
- En resumen, los datos de temperatura mínima observados en la estación meteorológica del Aeropuerto Internacional de Asunción guardan una gran similitud con los proporcionados por el escenario B2 del modelo PRECIS. Si consideramos el promedio mensual del período, la diferencia es de tan solo un 4,03%. Al revisar los datos mes a mes, se observa una gran correspondencia entre ambos datos.
- Con respecto a las temperaturas máximas, la situación es semejante: los datos mensuales se corresponden unos con otros. La diferencia entre ambas fuentes en cuanto al promedio mensual del período en cuestión es algo mayor, de un 8,45%.
- Las precipitaciones están sobrestimadas en el escenario B2 del modelo PRECIS. La comparación de los promedios anuales del período arroja una diferencia de un 25,26% entre los valores obtenidos por ambas fuentes.
- Por otra parte, el modelo no refleja apropiadamente las fluctuaciones mensuales observadas en la estación meteorológica.

III.2. Hipótesis y metodología

III.2.1. Hipótesis

Conforme a la hipótesis que orienta el presente trabajo, las tierras desertificadas o degradadas pueden resultar afectadas por el cambio climático principalmente por efecto de los factores siguientes:

- a) el número de meses en que el balance hídrico es negativo. Las zonas desertificadas o degradadas serán más vulnerables cuanto mayor sea el número máximo de meses definidos como secos;
- b) la evolución del índice de aridez. Las tierras desertificadas o degradadas más áridas son más vulnerables;
- c) la concentración de las precipitaciones. Se verán afectadas negativamente las tierras desertificadas o degradadas en las que se registre una distribución más estacional de las precipitaciones; y
- d) la intensidad de las precipitaciones. Unas precipitaciones más intensas generan procesos más erosivos, por lo que causan una mayor degradación de las tierras o desertificación.

Existen otros factores que inciden en los procesos de desertificación y degradación de las tierras, como los cambios en las temperaturas mínimas, máximas o medias (dependiendo de los ecosistemas), así como las precipitaciones y su volumen y distribución, la humedad relativa o los vientos.

No obstante, se ha preferido seleccionar los cuatro factores citados más arriba por su efecto directo en la cubierta vegetal. Se considera que los ecosistemas (dependiendo, evidentemente, de las características y la intensidad de los procesos, así como de los ecosistemas de que se trate) podrían soportar más fácilmente los cambios graduales en la temperatura, la humedad relativa o las precipitaciones que las modificaciones en los balances hídricos o en la intensidad y la concentración de las precipitaciones.

De este modo, y siguiendo los criterios y lineamientos considerados por el Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC), se han adoptado y adaptado algunos indicadores compuestos, utilizados por dicha institución, con el fin de analizar los cuatro factores seleccionados.

III.2.2. Metodología

La metodología consiste, grosso modo, en comparar una línea de base con períodos proyectados utilizando el sistema ArcGIS y procediendo a cartografiar y medir los cambios en la superficie de las zonas degradadas y desertificadas afectadas por los cuatro factores mencionados: el balance hídrico mensual, el índice de aridez, la concentración de las precipitaciones y la intensidad de estas.

Con este propósito se agrupó la información climatológica y se calcularon los promedios de varios años a fin de integrar adecuadamente los efectos de períodos con fenómenos meteorológicos o climatológicos extremos, irregulares o periódicos, como El Niño/Oscilación Austral.

Por ese motivo se escogió como línea de base el promedio de la información mensual relativa al período 2001-2008, y para las proyecciones se tomó el período quinquenal 2096-2100 y un período intermedio correspondiente al promedio mensual de los años 2046 a 2050. En iniciativas futuras, se podría a) incrementar el número de años utilizados en la línea de base con objeto de dotarla de mayor solidez, y b) incorporar períodos intermedios en cuanto a las proyecciones climáticas realizadas.

Como se mencionó en el punto anterior, se tomó como línea de base el escenario climático B2 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y el escenario A2 para las proyecciones.

El proceso de preparación de los datos climatológicos fue el siguiente:

- El sistema original PRECIS que se ha utilizado para América del Sur, que ocupa 4,97 GB, contiene un conjunto de datos, en formato CSV, que son agrupados en archivos a modo de cuadros con información mensual correspondiente a períodos de 5 años. Cada archivo remite a una variable diferente. Existen archivos de datos de temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura media, humedad relativa, vientos y precipitaciones. Cada cuadro cuenta con 778.381 filas.
- Los archivos se traspasan más tarde al formato .txt para su manipulación y ordenación y, posteriormente, son transformados en archivos .dbf, que pueden utilizarse con el sistema ArcGIS. Las bases de datos en formato .dbf se organizan de modo que puedan ser leídas por el sistema ArcGIS. Para ello es necesario eliminar el encabezado de los cuadros y ordenar la latitud, la longitud y la información en columnas, con una extensión apropiada.

Seguidamente se presentan las fórmulas correspondientes a los cuatro indicadores analizados, tomados y adaptados con arreglo a los sugeridos por el CAZALAC para su utilización en la región, con los promedios de los períodos analizados para la línea de base y las proyecciones de cada uno de los puntos localizados a 50 kilómetros de distancia entre sí. A continuación se presentan las fórmulas empleadas:

III.2.2.a. Índice de concentración de las precipitaciones (ICP)

$$ICP = 100 \frac{\sum P_i^2}{P^2}$$

Donde:

P_i = precipitación mensual (en milímetros)

P = precipitación anual (en milímetros)

Fuente: Oliver, 1980, citado por el CAZALAC, s/i.

Los resultados de su aplicación son clasificados conforme al cuadro siguiente:

ICP	Clasificación
8,3 - 10	Uniforme
10 - 15	Moderadamente estacional
15 - 20	Estacional
20 - 50	Altamente irregular
50 - 100	Irregular

III.2.2.b. Índice de Fournier modificado (IFM) o índice de agresividad climática

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P}$$

Donde:

P_i = precipitación mensual (en milímetros)

P = precipitación anual (en milímetros)

Fuente: Arnoldus, 1980, citado por el CAZALAC, s/i.

Los resultados de su aplicación son clasificados conforme al cuadro siguiente:

IFM	Clasificación
0 - 60	Muy bajo
60 - 90	Bajo
90 - 120	Moderado
120 - 160	Alto
> 160	Muy alto

III.2.2.c. Índice de aridez

$$\frac{P_m}{ET_0}$$

Donde:

P_m = precipitación media del período (en milímetros)

ET_0 = evapotranspiración de referencia del período (en milímetros)

Fuente: PNUMA, 1997, citado por el CAZALAC, s/i.

Los resultados de su aplicación son clasificados conforme al cuadro siguiente:

P/ET	Zonas
< 0,05	Hiperáridas
0,05 < 0 20	Áridas
0,20 < 0,50	Semiáridas
0,50 < 0,65	Subhúmedas secas
0,65 a 1	Subhúmedas húmedas
> 1	Húmedas

III.2.2.d. Índice de número de meses secos

$$LP_d = P < 0,5 ET_0$$

Donde:

LP_d = longitud del período con déficit de agua

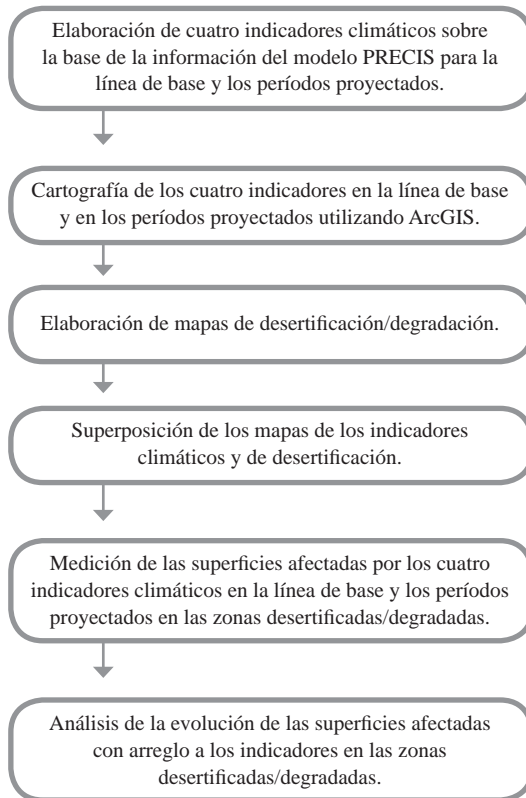
ET_0 = evapotranspiración de referencia del período

Los resultados se clasifican según el número de meses secos al año (de 1 a 12 meses / año)

Fuente: CAZALAC, s/i.

Para cada uno de estos índices se preparan mapas en los que se refleja su distribución en el territorio de los países examinados, en los períodos de la línea de base y de las proyecciones, por medio de la interpolación de los datos obtenidos para cada uno de los puntos ubicados a 50 kilómetros de distancia entre sí.

Luego se superponen los mapas a las zonas de cada país definidas como desertificadas o degradadas y se elaboran cuadros en los que se señala la superficie en la que se registran esos índices, con arreglo a la línea de base y a los períodos 2046-2050 y 2096-2100, a fin de analizar e interpretar su evolución.

Diagrama sinóptico de la metodología utilizada

IV. Principales resultados

Se presentan a continuación los resultados relativos a los países en los que se analizaron los efectos del cambio climático en la desertificación o la degradación de las tierras.

Los criterios, los enfoques y la metodología para determinar las zonas degradadas y desertificadas, así como los resultados alcanzados en cuanto a la vulnerabilidad de esas zonas ante escenarios de cambio climático, fueron validados por los respectivos países.

A ese respecto destacan los aspectos siguientes:

- a) En algunos países, como la Argentina y Colombia, se prefirió el término desertificación a la expresión “degradación de las tierras”. En otros se emplean desertificación y degradación de las tierras o esta última expresión. Esas preferencias guardan relación con las políticas públicas y las prioridades que cada país determina en esta esfera.
- b) Los datos climáticos proporcionados por el INPE del Brasil no comprenden la totalidad del subcontinente, lo que repercutió en los estudios de la Argentina, Chile y Colombia. En el caso de la Argentina se contó con una base de datos cedida por la Universidad de Buenos Aires, con información cada 40 kilómetros, que abarca la casi totalidad del país. En cuanto a Chile, hubo que prescindir del extremo austral del país. En Colombia, lamentablemente, no se pudo incluir la península de La Guajira, zona emblemática del país aquejada de altos niveles de desertificación.
- c) En el caso de la Argentina, se acordó un análisis más profundo de dos provincias, habida cuenta de que, dada la extensión del semiárido argentino, en las mediciones se producía la agregación de resultados de zonas con el mismo nivel de desertificación pero localizadas en ecosistemas con condiciones muy distintas. Esta desagregación permitió alcanzar resultados más confiables.
- d) Los países estudiados están compuestos por una importante diversidad de ecosistemas. Aún es insuficiente la producción científica que permite elaborar líneas de base de las tierras, en zonas prístinas o poco manipuladas por la acción humana de cada uno de los ecosistemas regionales, que faciliten la comparación con las tierras degradadas. Ante esa circunstancia, se prefirió evitar la elaboración de escalas para medir los grados de vulnerabilidad de las tierras degradadas.

- e) Por último, los diversos criterios utilizados impiden la integración de los resultados en un mapa de la desertificación de la región. En efecto, en algunos casos se emplearon los límites administrativos para definir los niveles de desertificación; en otros, solo se tuvieron en cuenta las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas, lo que contrasta con los casos en los que se incluyó la totalidad del territorio nacional, por mencionar solo algunos aspectos.

IV.1. Análisis de la desertificación³ ante escenarios de cambio climático en la Argentina

IV.1.1. Presentación

El Gobierno de la Argentina, en el marco del proyecto internacional “Evaluación de la degradación del suelo en zonas áridas” (conocido también por sus siglas inglesas “LADA”) y con el apoyo de la FAO y otros organismos, ha elaborado recientemente un mapa de la desertificación del país, en el que se señalan las zonas, la intensidad, los grados, el estado, las causas y otros aspectos pertinentes relacionados con la degradación de las tierras en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de la Argentina.

Dicha cartografía es fruto de varios años de trabajo conjunto, en el que han participado diversas universidades y centros de investigación de varias regiones del país.

En el marco del proyecto conjunto de la CEPAL y el Mecanismo Mundial titulado “Valoración económica de la degradación de las tierras ante escenarios alternativos de cambio climático”, y con el apoyo de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (SAyDS), se ha puesto en marcha una nueva iniciativa que tiene por objeto medir, de forma aproximada, los efectos del cambio climático sobre la desertificación.

En el marco de esa iniciativa se ha convocado a varias instituciones nacionales, entre las que destaca el Centro de Investigación del Mar y la Atmósfera (CIMA) del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de la Argentina (CONICET) y la Universidad de Buenos Aires (UBA), el cual ha proporcionado modelos de proyección climatológica que han sido utilizados en el estudio de la Argentina⁴.

En este documento se presenta, en primer lugar, información acerca de las tierras aquejadas de procesos de desertificación, su superficie y su importancia en las diferentes regiones argentinas afectadas para, a continuación, centrarse en el análisis preliminar de la vulnerabilidad de las tierras desertificadas ante el cambio climático.

IV.1.2. La desertificación en la Argentina

Los resultados de la evaluación de la desertificación en la Argentina se presentan en el gráfico IV.1. La zona objeto de estudio comprende las tierras secas del territorio situado al oeste de la isoyeta de 600 mm de precipitación anual, que se extiende por el 70% aproximadamente del territorio nacional.

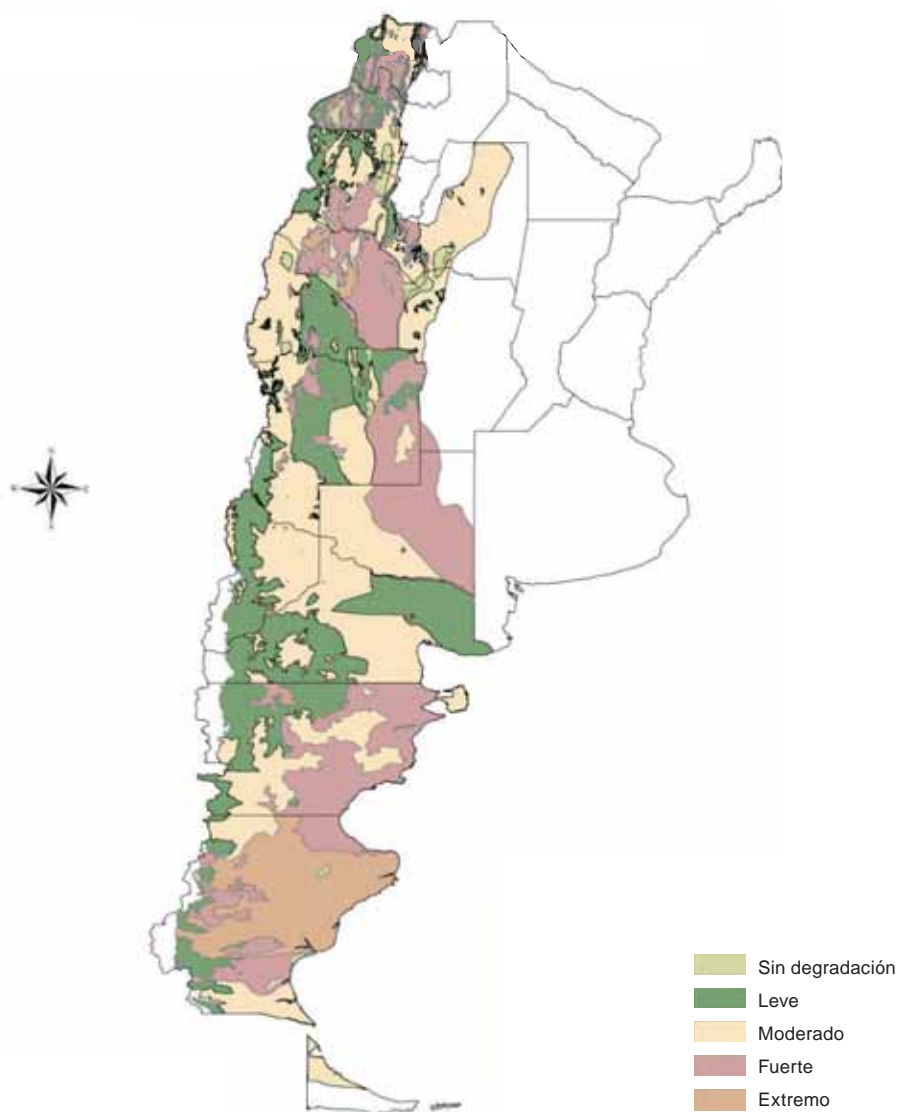
El mapa 1 fue compuesto en el marco del proyecto “Evaluación de la degradación del suelo en zonas áridas” (LADA), ejecutado con la FAO, de evaluación de la desertificación en la Argentina⁵.

³ La desertificación es la degradación de las tierras de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas (CLD). La degradación de las tierras es la pérdida de la productividad biológica o económica de las tierras (CLD).

⁴ Para la realización de este trabajo se contó también con el apoyo del proyecto “Construcción de alianzas estratégicas financieras para la consolidación del PAN”, programa que recibe financiamiento del Mecanismo Mundial de la CLD.

⁵ “Evaluación de la desertificación en la Argentina. Resultados del Proyecto LADA/FAO (2011)”, Buenos Aires, 481 págs.

MAPA 1 MAPA DE LA DESERTIFICACIÓN EN LA ARGENTINA



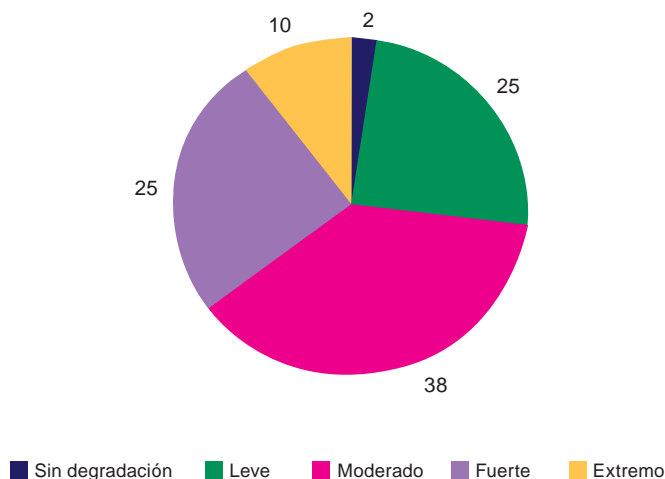
Fuente: Proyecto LADA Argentina.

Los cuadros que siguen a continuación fueron elaborados en el marco del presente proyecto con la información obtenida en el proyecto “Evaluación de la degradación del suelo en zonas áridas”⁶. La metodología de medición de las superficies se preparó con el programa ArcGIS de información geográfica.

De acuerdo al procedimiento utilizado, se puede apreciar que un 10% de las tierras secas presenta procesos de desertificación de nivel extremo; un 25%, de nivel fuerte; y un 38%, de nivel moderado. Solo un 2% de las tierras secas no está afectado por la desertificación; en este porcentaje están comprendidos, además, espejos lacustres y salitrales (véanse el gráfico 5 y el cuadro 3).

⁶ Los valores de las superficies son aproximativos y podrían observarse diferencias no significativas con las superficies reales de las regiones y del país. Esto se debe a motivos relacionados con las proyecciones utilizadas, las escalas aplicadas y el alcance y las restricciones del sistema ArcGIS empleado. Se sugiere al lector que se guíe preferiblemente por los valores porcentuales y no por los valores absolutos.

GRÁFICO 5
LA DESERTIFICACIÓN EN LA ARGENTINA
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de la información del proyecto. “Evaluación de la degradación del suelo en zonas áridas”.

CUADRO 3
LA DESERTIFICACIÓN EN LA ARGENTINA
(En kilómetros cuadrados)

Desertificación	Total
Sin degradación	35 234,68
Leve	389 563,83
Moderada	597 902,47
Fuerte	397 940,86
Extrema	159 355,40
Total	1 579 997,24

Fuente: Elaboración propia sobre la base de la información del proyecto. “Evaluación de la degradación del suelo en zonas áridas”.

En el cuadro 4 se muestra la superficie afectada con arreglo a los niveles de desertificación definidos por la “Evaluación de la degradación del suelo en zonas áridas” para cada una de las regiones argentinas, delimitadas por el Consejo Federal de Medio Ambiente (COFEMA). Estas regiones están integradas por las siguientes provincias:

- Región del Noroeste (NOA): Jujuy, Salta, Tucumán, Santiago del Estero y Catamarca
- Región del Nuevo Cuyo (CUY): Mendoza, San Juan, San Luis y La Rioja
- Región del Centro: Córdoba, Buenos Aires y Capital Federal
- Región del Comahue: Neuquén, Río Negro y La Pampa
- Región de la Patagonia: Chubut, Santa Cruz y Tierra del Fuego

Las regiones más afectadas por este proceso son la Patagonia y el Nuevo Cuyo, con niveles de desertificación extremo o fuerte, en tanto que las regiones del Noroeste y del Comahue presentan un nivel moderado.

CUADRO 4
TIERRAS CON PROCESOS DE DESERTIFICACIÓN EN LA ARGENTINA,
POR REGIÓN Y NIVEL DE DEGRADACIÓN
(En kilómetros cuadrados)

Región		Sin degradación	Leve	Moderado	Fuerte	Extremo	Total
Noroeste	NOA	18 480,6	45 722,0	114 976,3	48 855,3	0,0	228 034,2
Nuevo Cuyo	CUY	11 190,7	106 471,4	145 159,2	115 871,6	9 080,4	387 773,3
Centro	CEN	2 813,7	1 406,8	19 695,6	3 197,3	0,0	27 113,4
Comahue	COM	511,6	150 530,7	196 252,7	69 510,2	127,9	416 933,1
Patagonia	PAT	2 238,1	85 432,9	121 818,6	160 506,4	150 147,1	520 143,2
Total		35 234,7	389 563,8	597 902,5	397 940,9	159 355,4	1 579 997,2

Fuente: Elaboración propia sobre la base de la información del proyecto “Evaluación de la degradación del suelo en zonas áridas”.

En el cuadro 5 se aprecia la importancia relativa de las regiones afectadas por la desertificación. Así, se puede ver que el 32,9% de las tierras degradadas se encuentra en la Patagonia; el 26,4%, en el Comahue; y el 24,6%, en el Nuevo Cuyo.

CUADRO 5
TIERRAS CON PROCESOS DE DESERTIFICACIÓN EN LA ARGENTINA, POR REGIÓN (2010)
(En porcentajes)

Región		Porcentaje
Noroeste	NOA	14,4
Nuevo Cuyo	CUY	24,6
Centro	CEN	1,7
Comahue	COM	26,4
Patagonia	PAT	32,9
Total		100,0

Fuente: Elaboración propia sobre la base de la información del proyecto “Evaluación de la degradación del suelo en zonas áridas”.

Si consideramos los diferentes niveles de la desertificación, la Patagonia aparece como la región en la que se concentra la casi totalidad de las zonas con procesos de desertificación de un nivel extremo (94,2%) y el mayor porcentaje de las tierras con un fuerte nivel de degradación (40,3%), seguida del Nuevo Cuyo (29,1%) (véase el cuadro 6).

CUADRO 6
TIERRAS CON PROCESOS DE DESERTIFICACIÓN, POR REGIÓN Y NIVEL DE
DESERTIFICACIÓN, EN LA ARGENTINA
(En porcentajes)

Región		Sin degradación	Leve	Moderado	Fuerte	Extremo
Noroeste	NOA	52,5	11,7	19,2	12,3	0,0
Nuevo Cuyo	CUY	31,8	27,3	24,3	29,1	5,7
Centro	CEN	8,0	0,4	3,3	0,8	0,0
Comahue	COM	1,5	38,6	32,8	17,5	0,1
Patagonia	PAT	6,4	21,9	20,4	40,3	94,2
Total		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fuente: Elaboración propia sobre la base de la información del proyecto “Evaluación de la degradación del suelo en zonas áridas”.

Ahora bien, si analizamos los niveles de degradación de cada una de las regiones afectadas, se observa que la situación es variada. En el cuadro 7 se presenta la superficie afectada (en kilómetros cuadrados y porcentajes) en cada una de las regiones que cuentan con tierras secas. En el caso de las regiones que se encuentran solo parcialmente dentro de las tierras secas argentinas, únicamente se ha tomado la porción correspondiente de dicha entidad.

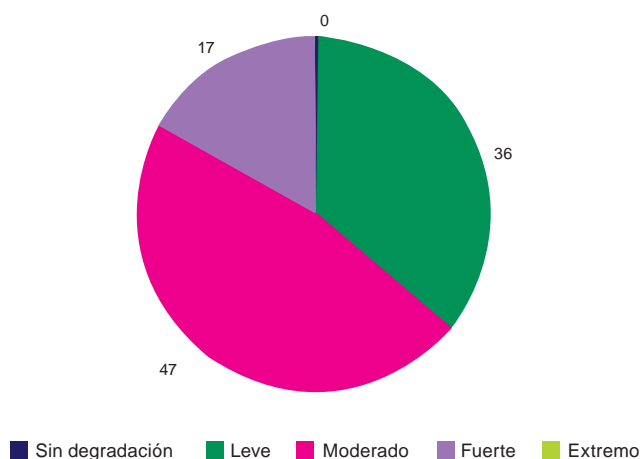
CUADRO 7
SUPERFICIE AFECTADA POR DESERTIFICACIÓN EN LA ARGENTINA, POR REGIÓN
(En kilómetros cuadrados y porcentajes)

Región		Sin degradación	Leve	Moderado	Fuerte	Extremo	Total
Noroeste	NOA	18 480,6	45 722,0	114 976,3	48 855,3	0,0	228 034,2
	Porcentaje	8,1	20,1	50,4	21,4	0,0	100,0
Nuevo Cuyo	CUY	11 190,7	106 471,4	145 159,2	115 871,6	9 080,4	38 7773,3
	Porcentaje	2,9	27,5	37,4	29,9	2,3	100,0
Centro	CEN	2 813,7	1 406,8	19 695,6	3 197,3	0,0	271 13,4
	Porcentaje	10,4	5,2	72,6	11,8	0,0	100,0
Comahue	COM	511,6	150 530,7	196 252,7	69 510,2	127,9	416 933,1
	Porcentaje	0,1	36,1	47,1	16,7	0,0	100,0
Patagonia	PAT	2 238,1	85 432,9	121 818,6	160 506,4	150 147,1	520 143,2
	Porcentaje	0,4	16,4	23,4	30,9	28,9	100,0
Total		35 234,7	389 563,8	597 902,5	397 940,9	159 355,4	1 579 997,2
	Porcentaje	2,2	24,7	37,8	25,2	10,1	100,0

Fuente: Elaboración propia sobre la base de la información del proyecto “Evaluación de la degradación del suelo en zonas áridas”.

A modo de ejemplo puede señalarse que, en la región del Comahue, en la mitad (47%) de sus tierras con procesos de desertificación estos procesos se encuentran en un nivel moderado.

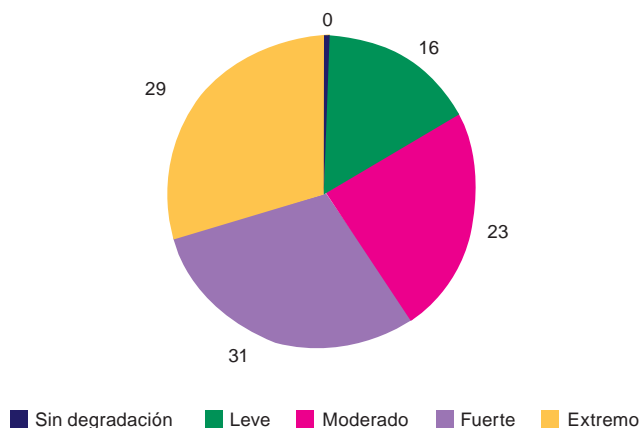
GRÁFICO 6
DISTRIBUCIÓN DE LAS TIERRAS CON PROCESOS DE DESERTIFICACIÓN, POR NIVEL, EN LA REGIÓN DEL COMAHUE (ARGENTINA)
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de la información del proyecto “Evaluación de la degradación del suelo en zonas áridas”.

En la región de la Patagonia, la situación es bien diferente (véase el gráfico 7). Existe un 28,87% de sus tierras que presenta un nivel de degradación extremo, así como un 30,86% de tierras con un nivel grave de degradación.

GRÁFICO 7
DISTRIBUCIÓN DE LAS TIERRAS CON PROCESOS DE DESERTIFICACIÓN, POR NIVEL,
EN LA REGIÓN DE LA PATAGONIA (ARGENTINA)
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de la información del proyecto “Evaluación de la degradación del suelo en zonas áridas”.

IV.1.3. La desertificación, la degradación de tierras y el cambio climático

Para conocer los posibles efectos del cambio climático sobre la desertificación en la Argentina, se han formulado y aplicado varios indicadores obtenidos de variables meteorológicas provenientes de una reducción dinámica de la escala, la cual se efectuó utilizando los resultados de modelos mundiales que simulan el clima en el escenario A2 del IPCC (2000).

Dada la diversidad de ecosistemas presentes en un país tan extenso como la Argentina, se optó por realizar un análisis a dos escalas. En primer lugar, se analizó la evolución de los indicadores siguientes a nivel del país⁷:

- el índice de concentración de las precipitaciones; y
- el índice de agresividad climática o índice de Fournier modificado.

Con el fin de alcanzar una mayor precisión en la medición de la superficie afectada y su vulnerabilidad ante fenómenos asociados al cambio climático, se decidió realizar un trabajo más pormenorizado en dos provincias afectadas en su totalidad por la desertificación: Mendoza y Catamarca. Estas dos provincias se escogieron por a) encontrarse completamente al oeste de la isoyeta de 600 mm de precipitación anual; b) no ser colindantes entre sí; y c) no presentar problemas técnicos de superposición entre la cartografía que muestra los límites administrativos provinciales y la que proporciona las superficies definidas con un nivel distinto de procesos de desertificación.

⁷ Véase el capítulo II.2.2. Metodología, que contiene una descripción de los indicadores, las fórmulas conexas y las fuentes utilizadas.

En este análisis provincial se aplicaron los indicadores siguientes:

- el índice de aridez; y
- el índice de número de meses secos⁸.

Es importante señalar que, en el caso de la Argentina, se adoptaron dos proyecciones diferentes. Para el análisis a nivel nacional se tomaron los datos de proyecciones climáticas proporcionadas por el CIMA (Chou *et al.*, 2011), con información obtenida en puntos localizados a 40 kilómetros de distancia entre sí.

Para el estudio a nivel provincial se examinaron datos del modelo PRECIS proporcionados por el INPE del Brasil, que abarcan la casi totalidad de América del Sur (a excepción de la Patagonia y el norte de Venezuela y Colombia). Esos datos corresponden a puntos que distan 50 kilómetros de distancia entre sí.

La elección de las proyecciones proporcionadas por el CIMA para el nivel nacional se debe a su amplitud geográfica, dado que abarcan casi por entero el territorio argentino. En cambio, en los datos proporcionados por el INPE está comprendida parte de la región del Comahue pero no la Patagonia. No obstante, se escogió esta última proyección para los estudios provinciales por una razón práctica: los índices de aridez y de número de meses secos, de engorrosa elaboración, habían sido preparados con esta base para toda América del Sur.

Cabe señalar que no se ha hecho un análisis comparativo de ambas proyecciones. Se espera poder llevarlo a cabo en el marco de investigaciones futuras.

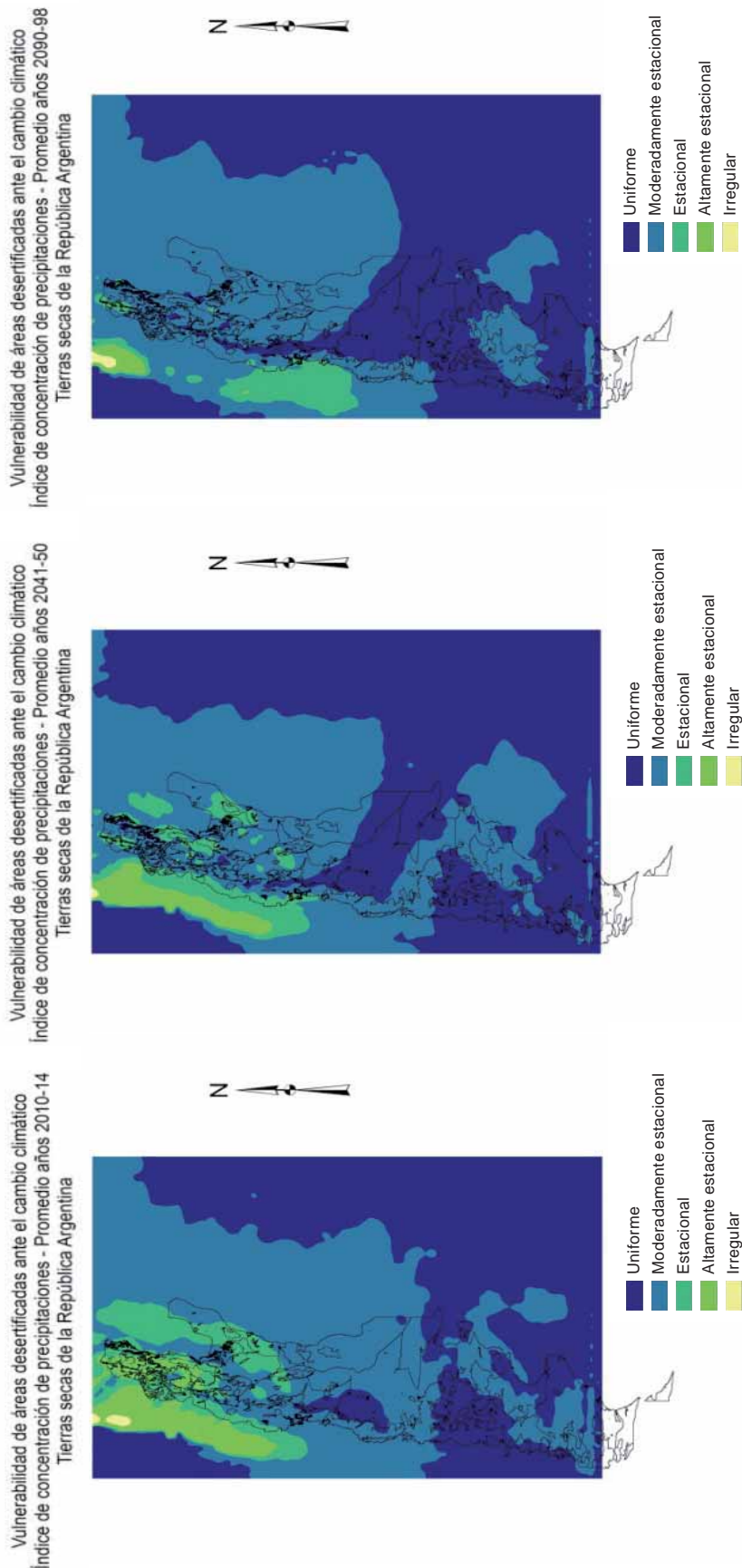
IV.1.3.a. Índice de concentración de las precipitaciones (análisis a nivel del país)

Este índice relaciona las precipitaciones mensuales con las anuales y las clasifica en las cinco categorías siguientes: uniforme, moderadamente estacional, estacional, altamente estacional e irregular. En el mapa 2 se muestra la evolución del índice en los tres períodos analizados

En una primera lectura de la cartografía elaborada se puede apreciar que las precipitaciones presentan una posible reducción de su nivel de estacionalidad y que se vuelven más uniformes. De hecho, la superficie afectada por un régimen altamente estacional en 2010-2014 desaparece completamente de las tierras secas en los períodos posteriores analizados. En el cuadro 8 se proporciona información más detallada y expresada en kilómetros cuadrados.

⁸ Se prescindió de los estudios realizados sobre la base de los indicadores de concentración de precipitaciones y de agresividad climática por presentar estas distorsiones significativas debidas principalmente a la reducción de la escala original, de nivel planetario, al nivel provincial.

MAPA 2
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE CONCENTRACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES EN LA ARGENTINA: PROMEDIO DE LOS PERÍODOS 2010-2014, 2041-2050 Y 2090-2098 EN EL ESCENARIO CLIMÁTICO A2



Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos proporcionados por el CIMA (Chou *et al.*, 2011).
 Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

CUADRO 8
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE AFECTADA POR EL ÍNDICE DE CONCENTRACIÓN DE
LAS PRECIPITACIONES, POR NIVEL DE DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS EN LA
ARGENTINA EN EL ESCENARIO CLIMÁTICO A2
(Expresado en kilómetros cuadrados)

2010-2014					
	Uniforme	Moderadamente estacional	Estacional	Altamente estacional	Total
Sin degradación	1 512,79	8 320,34	17 775,28	5 799,03	33 407,44
Leve	132 243,03	191 304,85	38 702,20	17 901,34	380 151,42
Moderado	132 369,09	318 000,98	93 162,63	21 305,12	564 837,82
Fuerte	64 167,49	245 639,21	50 678,45	22 187,58	382 672,74
Extremo	66 058,48	89 065,49	2 584,35	0,00	157 708,32
Total	396 350,88	852 330,88	202 902,91	67 193,07	1 518 777,74
2041-2050					
	Uniforme	Moderadamente estacional	Estacional	Altamente estacional	Total
Sin degradación	2 206,15	18 405,61	12 795,68	0	33 407,44
Leve	171 260,39	181 345,65	27 545,38	0	380 151,42
Moderado	220 173,92	278 542,39	66 121,51	0	564 837,82
Fuerte	109 109,95	252 888,00	20 674,79	0	382 672,74
Extremo	136 277,13	21 431,19	0,00	0	157 708,32
Total	639 027,55	752 612,83	127 137,36	0	1 518 777,74
2090-2098					
	Uniforme	Moderadamente estacional	Estacional	Altamente estacional	Total
Sin degradación	2 962,55	30 444,89	0,00	0	33 407,44
Leve	200 759,79	174 349,00	5 042,63	0	380 151,42
Moderado	274 886,48	278 479,35	11 471,99	0	564 837,82
Fuerte	123 040,22	255 598,41	4 034,11	0	382 672,74
Extremo	124 048,75	33 659,57	0,00	0	157 708,32
Total	725 697,78	772 531,23	20 548,73	0	1 518 777,74

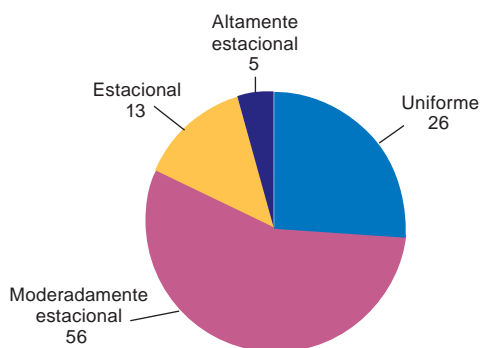
Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos proporcionados por el CIMA (Chou *et al.*, 2011).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

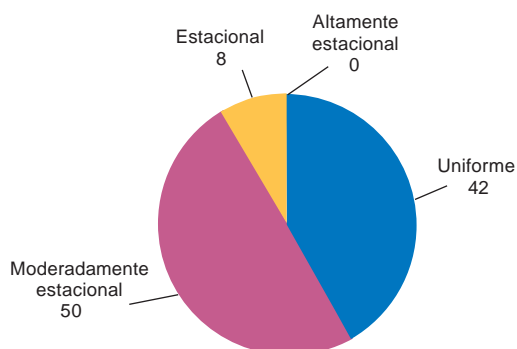
En el gráfico 8 se ilustra este proceso de posible reducción de la estacionalidad de las precipitaciones con arreglo al índice aplicado. La superficie correspondiente a un régimen uniforme pasaría del 26% al 48% de la superficie de las tierras secas, mientras que la referida al régimen altamente estacional, que en el período 2010-2014 representaba el 5%, quedaría sin presencia en las tierras secas ya en el período 2046-2050. Análogamente, la superficie con régimen estacional pasaría del 13% a tan solo el 1% en el período 2090-2098.

GRÁFICO 8
EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE SUPERFICIE DE LAS ZONAS DE TIERRAS SECAS
CON ARREGLO AL NIVEL DEL ÍNDICE DE CONCENTRACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES
EN EL ESCENARIO A2

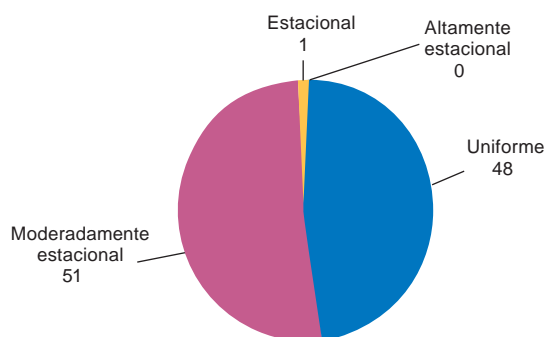
Distribución del índice de concentración de precipitaciones en tierras secas
(superficie afectada, en %)
2010-2014



Distribución del índice de concentración de precipitaciones en tierras secas
(superficie afectada, en %)
2041-2050



Distribución del índice de concentración de precipitaciones en tierras secas
(superficie afectada, en %)
2090-2098



Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos proporcionados por el CIMA (Chou *et al.*, 2011).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

Ahora bien, si se consideran exclusivamente las zonas con procesos de desertificación de nivel alto, se observa una tendencia similar de distribución más homogénea de las precipitaciones durante el año (cuadro 9), aunque con mayor intensidad entre los períodos 2010-2014 y 2041-2050, para luego estabilizarse, como se ve al compararlos con el período 2090-2098.

CUADRO 9
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE CONCENTRACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES EN LAS ZONAS CON PROCESOS DE DESERTIFICACIÓN DE NIVEL EXTREMO EN LA ARGENTINA EN EL ESCENARIO CLIMÁTICO A2
(En kilómetros cuadrados)

	Uniforme	Moderadamente estacional	Estacional	Altamente estacional	Total
2010-2014	66 058,48	89 065,49	2 584,35	0	157 708,32
2046-2050	136 277,13	21 431,19	0	0	157 708,32
2090-2098	124 048,75	33 659,57	0	0	157 708,32

Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos proporcionados por el CIMA (Chou *et al.*, 2011).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

A modo de conclusión puede afirmarse que la distribución de las precipitaciones durante el año sería progresivamente más homogénea en las tierras secas. La superficie correspondiente a un régimen uniforme pasaría del 26% al 48%, mientras que la referida al régimen altamente estacional, que en el período 2010-2014 representaba el 5%, quedaría sin presencia ya en el período 2046-2050. De manera análoga, la superficie con un régimen estacional pasaría del 13% a tan solo el 1% en el período 2090-2098. Este índice no hace referencia al volumen de precipitaciones, sino a la distribución de estas.

IV.1.3.b. Índice de agresividad climática (Índice de Fournier modificado (IFM))

Este índice relaciona la ocurrencia de precipitaciones con su promedio anual. Mide la intensidad con que tienen lugar las precipitaciones, lo que repercute en los suelos, ya que las lluvias intensas favorecen los procesos erosivos, muy especialmente en las zonas con grandes pendientes.

El análisis comparativo de la evolución de este índice en los períodos examinados muestra una posible gran estabilidad y se aprecia una ligera tendencia a que aumente la superficie afectada por niveles altos o muy altos de desertificación (véanse el cuadro 10 y el gráfico 9).

CUADRO 10
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE AFECTADA POR EL ÍNDICE DE AGRESIVIDAD CLIMÁTICA EN LA ARGENTINA, POR NIVEL DE DEGRADACIÓN, EN EL ESCENARIO CLIMÁTICO A2
(En kilómetros cuadrados)

Promedio del período 2010-2014 en el escenario climático A2

	Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto	Total
Sin degradación	18 279,54	6 366,32	7 879,11	882,46	0,00	33 407,44
Leve	289 825,28	67 003,97	20 422,66	2 458,28	441,23	380 151,42
Moderado	435 431,28	93 225,66	25 528,32	9 454,94	1 197,63	564 837,82
Fuerte	275 453,78	64 734,79	37 000,31	5 483,86	0,00	382 672,74
Extremo	155 123,97	2 395,25	189,10	0,00	0,00	157 708,32
Total	1 174 113,84	233 726,00	91 019,51	18 279,54	1 638,86	1 518 777,74

(continúa)

Cuadro 10 (conclusión)

Promedio del período 2041-2050 en el escenario climático A2

	Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto	Total
Sin degradación	20 044,46	8 446,41	4 916,57	0,00	0,00	33 407,44
Leve	321 341,73	47 841,97	7 753,05	2 521,32	693,36	380 151,42
Moderado	457 807,96	81 312,44	21 116,02	3 277,71	1 323,69	564 837,82
Fuerte	311 067,36	51 876,08	19 729,30	0,00	0,00	382 672,74
Extremo	156 132,49	1 575,82	0,00	0,00	0,00	157 708,32
Total	1 266 394,00	191 052,72	53 514,93	5 799,03	2 017,05	1 518 777,74

Promedio del período 2090-98 en el escenario climático A2

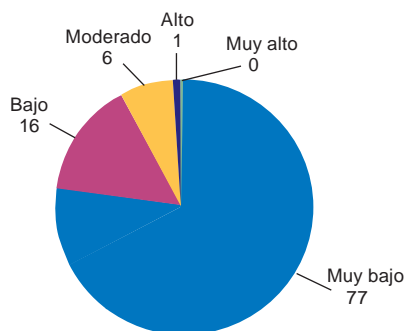
	Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto	Total
Sin degradación	19 035,94	3 971,07	7 942,15	2 458,28	0,00	33 407,44
Leve	302 242,76	56 477,48	17 334,05	3 340,74	756,39	380 151,42
Moderado	431 712,34	64 545,69	52 947,64	13 489,04	2 143,12	564 837,82
Fuerte	261 712,60	78 854,16	35 991,79	6 114,19	0,00	382 672,74
Extremo	155 502,17	2 143,12	63,03	0,00	0,00	157 708,32
Total	1 170 205,80	205 991,52	114 278,65	25 402,26	2 899,51	1 518 777,74

Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos proporcionados por el CIMA (Chou *et al.*, 2011).

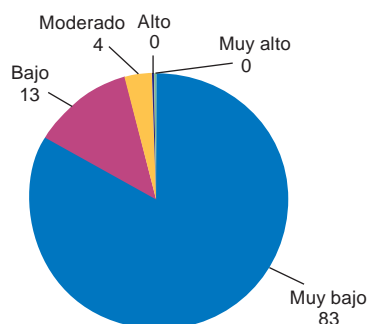
Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

GRÁFICO 9
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE AFECTADA POR EL ÍNDICE DE AGRESIVIDAD CLIMÁTICA EN LA ARGENTINA, POR NIVEL DE DEGRADACIÓN, EN EL ESCENARIO CLIMÁTICO A2
(En porcentajes)

Distribución del índice de agresividad climática en tierras secas (superficie afectada, en %) 2010-2014



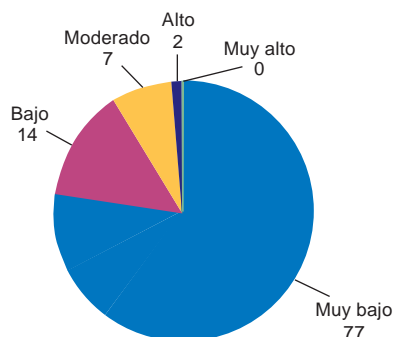
Distribución del índice de agresividad climática en tierras secas (superficie afectada, en %) 2041-2050



(continúa)

Gráfico 9 (conclusión)

**Distribución del índice de agresividad climática en tierras secas
(superficie afectada, en %)
2090-2098**



Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos proporcionados por el CIMA (Chou *et al.*, 2011).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

En cuanto a las zonas con procesos de desertificación de nivel extremo, el índice también se presentaría estable, sin variaciones significativas, en comparación con los períodos seleccionados (véase el cuadro 11)

CUADRO 11
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE AGRESIVIDAD CLIMÁTICA EN ZONAS CON PROCESOS
DE DESERTIFICACIÓN DE NIVEL EXTREMO EN LA ARGENTINA
EN EL ESCENARIO CLIMÁTICO A2
(En kilómetros cuadrados)

	Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto	Total
2010-2014	155 124,0	2 395,25	189,1	0	0	157 708,3
2041-2050	156 132,5	1 575,82	0	0	0	157 708,3
2090-2098	155 502,2	2 143,12	63,03	0	0	157 708,3

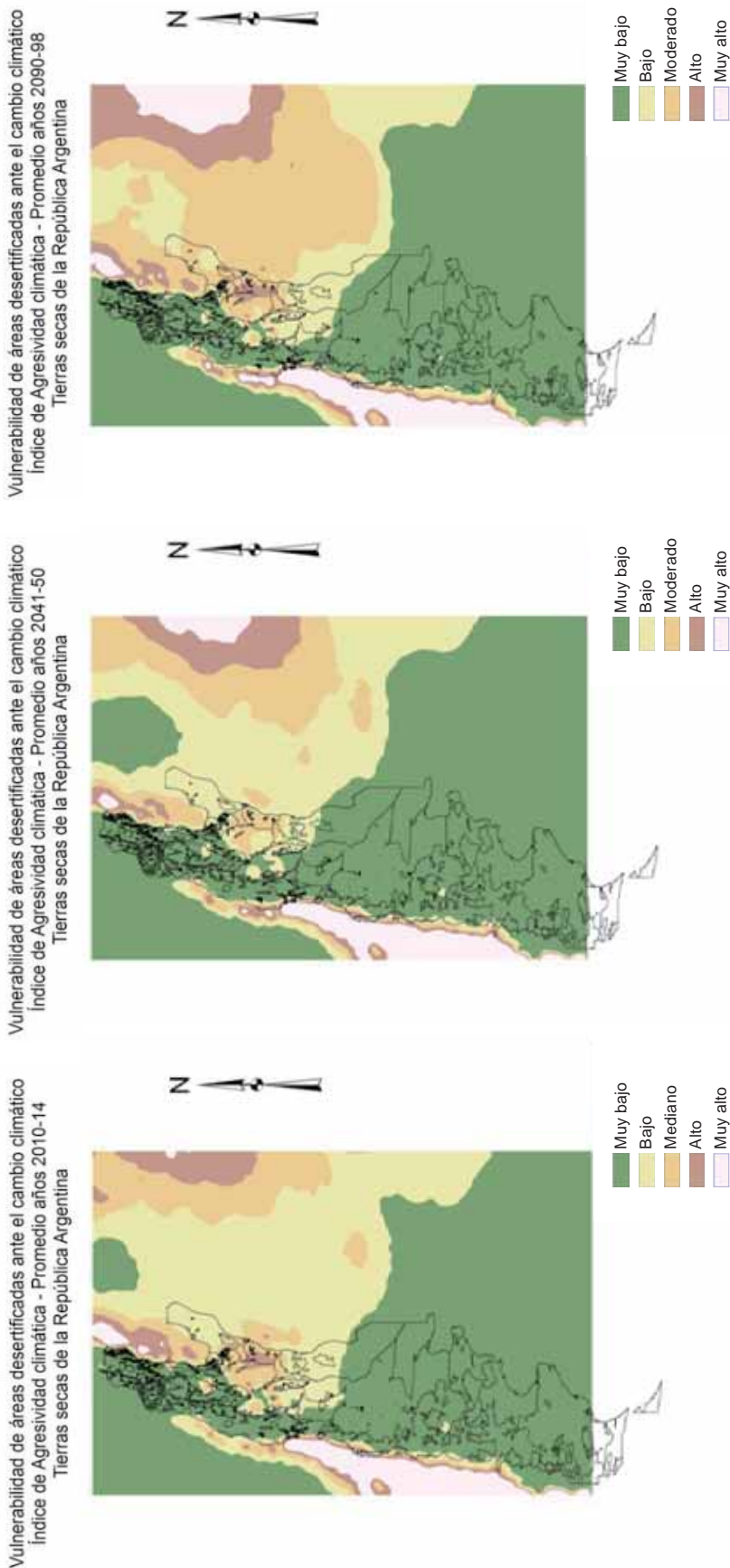
Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos proporcionados por el CIMA (Chou *et al.*, 2011).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

En conclusión, no se observa la posibilidad de que ocurran variaciones significativas en la distribución espacial del índice de Fournier o índice de agresividad climática al comparar la aplicación de dicho índice en los períodos 2010-2014, 2041-2050 y 2090-2098.

Se presenta, a continuación, la cartografía correspondiente a la evolución de este índice durante los períodos seleccionados en el escenario climático A2 (véase el mapa 3).

MAPA 3
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE AGRESIVIDAD CLIMÁTICA EN LA ARGENTINA: PROMEDIOS DE LOS PERÍODOS 2001-2008, 2046-2050 Y 2096-2100 EN EL ESCENARIO CLIMÁTICO A2



Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos proporcionados por el CIMA (Chou *et al.*, 2011).
 Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

IV.1.4. Análisis de la vulnerabilidad de la desertificación en las provincias de Catamarca y Mendoza (Argentina)

IV.1.4.a. Índice de aridez

Este índice, que mide la relación anual entre las precipitaciones y la evapotranspiración, no reflejaría grandes cambios al relacionar los tres promedios de los períodos analizados en las provincias de Catamarca (véase el cuadro 12) y Mendoza (véase el cuadro 13), tanto para el conjunto de su superficie como para las zonas con los procesos de desertificación más acusados⁹.

Es importante recordar que, para este análisis, se empleó una fuente de datos diferente de la utilizada en el estudio realizado a nivel del país. Para el estudio a nivel provincial, se consideraron datos del modelo PRECIS proporcionados por el INPE, Brasil, (Chou et al., 2011) que abarcan casi totalmente América del Sur (exceptuando la Patagonia y el norte de Venezuela y Colombia). Dichos datos corresponden a puntos a 50 km de distancia entre sí.

Por otra parte, en el proceso de reducción de la escala de los datos climatológicos elaborados a escala planetaria (que luego fueron procesados a nivel continental) para su utilización en el plano provincial, habitualmente pueden detectarse distorsiones en los resultados, razón por la cual el análisis pondrá el acento en las tendencias más que en los valores absolutos obtenidos

CUADRO 12
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE, POR NIVEL DE ARIDEZ, EN LA PROVINCIA DE CATAMARCA (ARGENTINA), CONSIDERANDO LOS NIVELES DE DESERTIFICACIÓN EN EL ESCENARIO A2
(En kilómetros cuadrados)

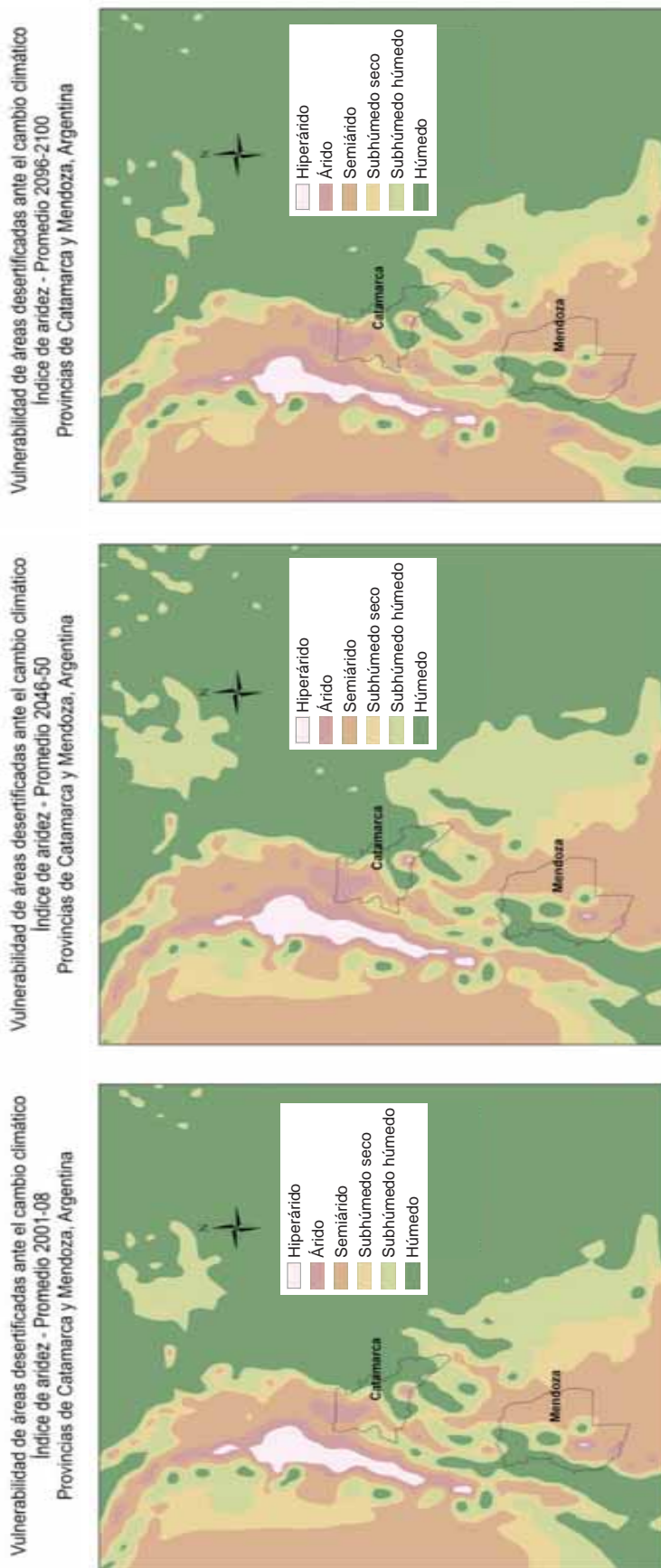
Total de la provincia de Catamarca	2001-2008	2046-2050	2096-2100
Hiperbárico	400	400	800
Árido	11 600	16 800	15 600
Semiárido	22 000	19 600	26 400
Subhúmedo seco	8 800	11 600	7 600
Subhúmedo húmedo	17 600	16 000	12 000
Húmedo	27 600	23 600	25 600
Total	88 000	88 000	88 000
Zonas con procesos de desertificación de nivel fuerte	2001-2008	2046-2050	2096-2100
Hiperárido	0	0	0
Árido	0	0	0
Semiárido	2 000	2 000	3 200
Subhúmedo seco	2 400	2 800	2 400
Subhúmedo húmedo	4 000	4 400	3 600
Húmedo	12 000	11 200	11 200
Total	20 400	20 400	20 400

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

⁹ En Catamarca, el nivel más acusado detectado en el proceso de desertificación es el “fuerte”, mientras que, en Mendoza, existen tierras que alcanzan el máximo nivel, denominado “extremo”

MAPA 4
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE ARIDEZ EN LAS PROVINCIAS ARGENTINAS DE CATAMARCA Y MENDOZA:
PROMEDIOS DE LOS PERÍODOS 2001-2008, 2046-2050 Y 2096-2100 EN EL ESCENARIO CLIMÁTICO A2



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

CUADRO 13
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE, POR NIVEL DE ARIDEZ, DE LA PROVINCIA DE
MENDOZA (ARGENTINA), TENIENDO EN CUENTA LOS NIVELES DE DESERTIFICACIÓN
EN EL ESCENARIO A2
(En kilómetros cuadrados)

Total de la provincia de Mendoza	2001-2008	2046-2050	2096-2100
Hiperárido	800	800	0
Árido	7 200	6 800	6 000
Semiárido	68 000	69 200	72 400
Subhúmedo seco	11 600	10 000	10 800
Subhúmedo Húmedo	21 600	23 200	22 000
Húmedo	35 600	34 800	33 600
Total	144 800	144 800	144 800
Zonas con procesos de desertificación de nivel extremo	2001-2008	2046-2050	2096-2100
Hiperárido	0	0	0
Árido	0	0	0
Semiárido	4 400	4 000	4 000
Subhúmedo seco	0	400	400
Subhúmedo húmedo	3 600	3 600	2 800
Húmedo	5 200	5 200	6 000
Total	13 200	13 200	13 200

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

La cartografía elaborada es consonante con lo señalado (véase el gráfico IV.9).

IV.1.4.b. Número de meses secos

Este indicador refleja la relación existente entre las precipitaciones y la evapotranspiración, medida mensualmente. Estos meses secos adquieren especial importancia para los suelos, ya que favorecen la erosión y la consiguiente pérdida de su capa superficial.

Según las estimaciones realizadas, si se comparan los resultados obtenidos para la provincia de Catamarca en los períodos 2001-2008 y 2096-2100, se puede apreciar una posible tendencia hacia la reducción de las situaciones extremas. En primer lugar, tendría lugar una disminución de la superficie afectada por 12 meses secos, proceso que iría acompañado de un fuerte aumento de la superficie afectada por 8, 9, 10 u 11 meses secos. Por otra parte, disminuiría la superficie que en la línea de base contaba con 1, 2 o 3 meses secos (véase el cuadro 14).

CUADRO 14
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE AFECTADA POR EL NÚMERO DE MESES SECOS
EN LA PROVINCIA DE CATAMARCA (ARGENTINA)
(En kilómetros cuadrados)

Número de meses	2001-2008	2046-2050	2096-2100
1	22 000	13 600	8 000
2	4 000	6 000	1 200
3	6 000	8 400	4 000
4	4 000	4 800	5 200
5	4 000	4 400	4 800

(continúa)

Cuadro 14 (conclusión)

Número de meses	2001-2008	2046-2050	2096-2100
6	5 600	5 200	4 000
7	6 000	5 600	7 600
8	6 000	6 000	11 600
9	5 200	6 000	15 200
10	5 200	6 000	15 200
11	4 800	5 200	7 600
12	15 200	16 800	3 600
Total	88 000	88 000	88 000

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

La situación en Mendoza es diferente de la que se observa en Catamarca. El principal resultado de la comparación entre el período inicial (2001-2008) y el final (2096-2100) es una posible reducción significativa de la superficie afectada por un mes seco y también por dos meses secos, lo que incrementaría la superficie con tres, cuatro, cinco o seis meses secos. La superficie afectada por 8 meses secos se reduciría a la mitad, mientras que las zonas con 10 u 11 meses secos aumentarían muy visiblemente (véase el cuadro 15).

CUADRO 15
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE AFECTADA POR EL NÚMERO DE MESES SECOS EN LA
PROVINCIA DE MENDOZA (ARGENTINA)

(En kilómetros cuadrados)

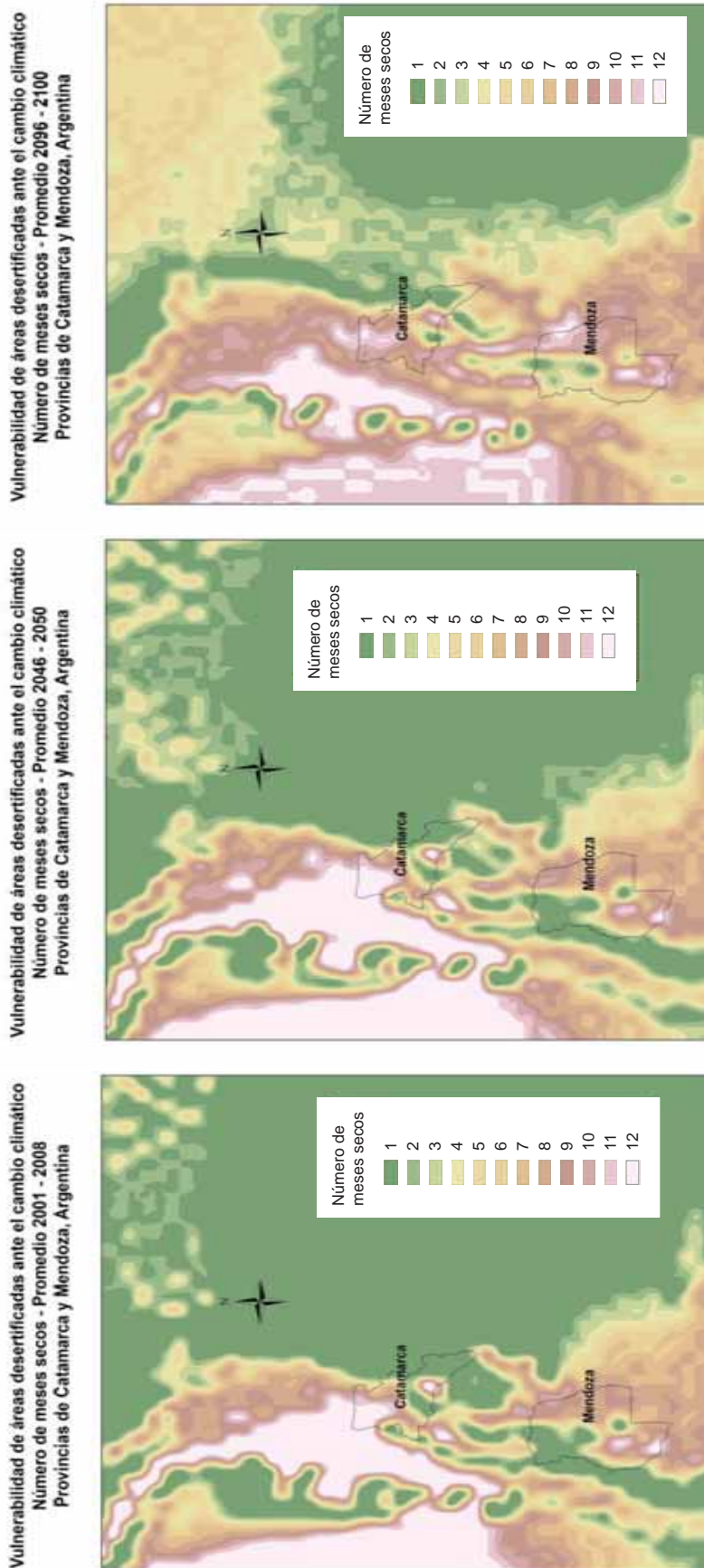
Número de meses	2001-2008	2046-2050	2096-2100
1	30 800	28 000	3 600
2	9 200	11 600	4 400
3	5 200	7 600	14 400
4	8 400	7 200	13 200
5	6 400	5 600	10 800
6	7 600	9 600	12 400
7	11 600	14 000	12 400
8	28 800	29 600	12 400
9	24 800	20 000	23 600
10	5 200	7 200	22 400
11	3 600	3 200	11 600
12	3 200	1 200	3 600
Total	144 800	144 800	144 800

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

La cartografía elaborada refleja los cambios presentados en los cuadros. Conviene señalar al respecto que a) la principal evolución ocurriría entre los períodos 2046-2050 al 2096-00 y que b) fruto de las distorsiones de escala, se aprecia que al aplicar los datos climatológicos en Mendoza para la línea de base y el período intermedio 2046-2050, una gran parte de su superficie presenta un mes seco, situación que no se corresponde con los análisis climatológicos locales que se realizan sobre la base de información meteorológica. Por ello, se insiste en aplicar, con fines analíticos, una mirada centrada en las tendencias y no tanto en los valores absolutos.

MAPA 5
EVOLUCIÓN DEL NÚMERO DE MESES SECOS EN LAS PROVINCIAS DE CATAMARCA Y MENDOZA (ARGENTINA):
PROMEDIOS DE LOS PERIODOS 2001-2008, 2046-2050 Y 2096-2100 EN EL ESCENARIO CLIMÁTICO A2



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información climatológica del INPE (modelo PRECIS)
 Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

IV.1.5. En síntesis

1. Si se considera la superficie afectada identificada en los estudios realizados por los expertos locales en el marco del proyecto “Evaluación de la degradación del suelo en zonas áridas”, las zonas de la Argentina con un nivel extremo o fuerte de desertificación se extienden por gran parte de las tierras secas del país (35%); el 63% de esas tierras presenta un nivel moderado o leve y solo el 2% no está afectado por la desertificación y en él se encuentran espejos lacustres y salitrales.
2. De los dos indicadores examinados para analizar los efectos del cambio climático (escenario A2 del IPCC) sobre las zonas con procesos de desertificación a nivel del país, se desprende lo siguiente:
 - a. Al aplicar el índice de concentración de las precipitaciones, se observa que la distribución de las precipitaciones durante el año sería progresivamente más homogénea en las tierras secas. La superficie correspondiente al régimen uniforme pasaría del 26% al 48%, en tanto que la referida al régimen altamente estacional, que en 2010-2014 representaba el 5%, quedaría sin presencia ya en 2046-2050. Análogamente, la superficie con régimen estacional pasaría del 13% a tan solo el 1% en 2090-2098.
 - b. En cuanto al índice de Fournier o índice de agresividad climática, no se aprecian posibles variaciones significativas en su distribución espacial al comparar la aplicación de dicho índice en los períodos 2010-2014, 2041-2050 y 2090-2098.
3. De los otros dos indicadores aplicados específicamente en las provincias de Catamarca y Mendoza se deduce lo siguiente:
 - a. No habría grandes cambios en la superficie correspondiente a los distintos niveles de aridez al relacionar los tres promedios de los períodos analizados en el caso de las provincias de Catamarca y Mendoza, tanto en lo tocante al conjunto de su superficie provincial como en relación con las zonas afectadas por procesos de desertificación acusados que se localizan en su interior.
 - b. Con respecto al número de meses secos, si se comparan los resultados obtenidos con relación a la provincia de Catamarca en los períodos 2001-2008 y 2096-2100, se puede apreciar una posible tendencia hacia la reducción de las situaciones extremas. En primer lugar, se observa una posible disminución de la superficie con 12 meses secos, proceso que podría estar acompañado de un fuerte incremento de la superficie afectada por 8, 9, 10 u 11 meses secos. Por otra parte, disminuiría la superficie que en la línea de base contaba con 1, 2 o 3 meses secos.
 - c. La situación en Mendoza sería diferente. El principal resultado de la comparación del período inicial (2001-2008) con el final (2096-2100) es una posible reducción de la superficie afectada por 1 mes seco y también por 2 meses secos, lo que comportaría un aumento de la superficie con 3, 4, 5 o 6 meses secos. La superficie con 8 meses secos disminuiría a la mitad, mientras que las zonas con 10 u 11 meses secos podrían experimentar un aumento muy considerable.
4. Lo expuesto en los puntos anteriores no significa que la desertificación en la Argentina no constituya en el futuro un grave problema al que deba prestarse atención. Es importante señalar que, en el curso de esta labor de investigación, se aisló un factor –el clima, a partir de cuatro indicadores– prescindiendo de aquellos factores que más causan la desertificación: las actividades antrópicas. Los efectos de la acción humana (el sobrepastoreo, los cultivos no sostenibles y la deforestación, entre otros) son las actividades que determinan, en gran medida, el futuro de las tierras de la Argentina y del resto del mundo.

IV.2. Análisis de la degradación de las tierras y la desertificación ante escenarios de cambio climático en Chile

IV.2.1. La degradación de las tierras y la desertificación en Chile

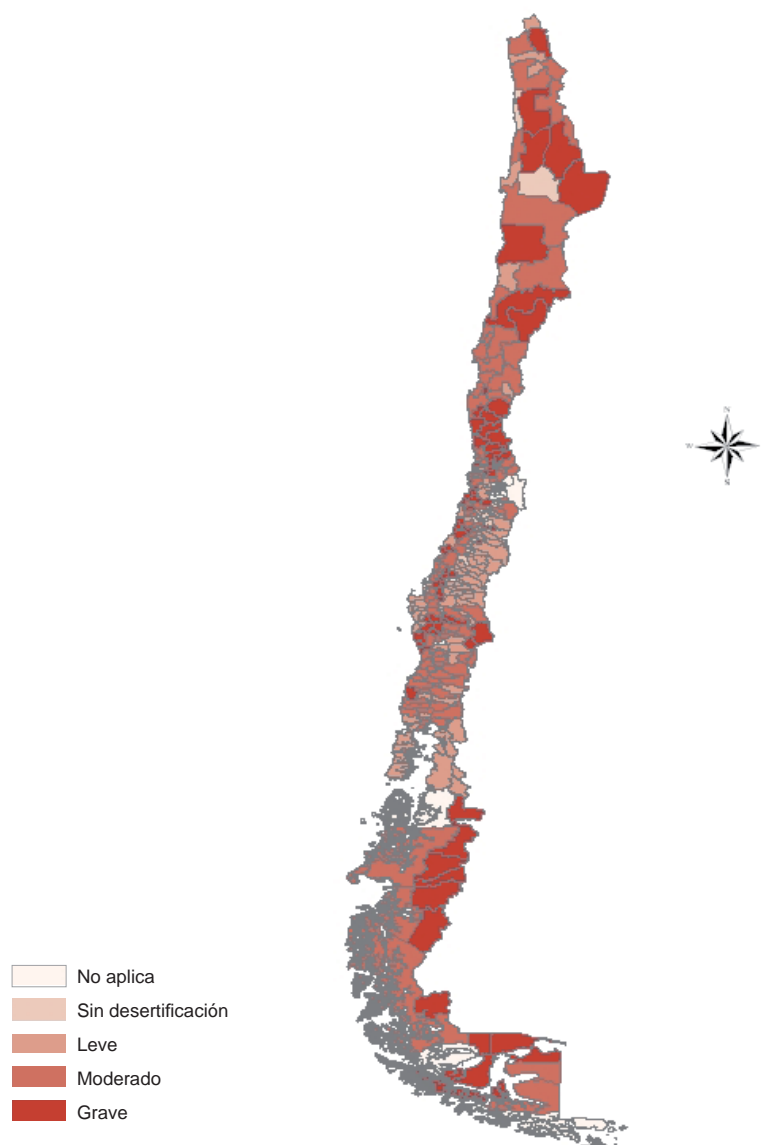
Si bien Chile cuenta con abundante documentación acerca del subsuelo y los suelos de gran parte de su territorio, así como con una reciente cartografía de los procesos erosivos que afectan al país, la información disponible acerca de la desertificación y la degradación de las tierras data de hace algunos años y se ha elaborado a nivel comunal.

En efecto, el Mapa preliminar de la desertificación en Chile - Por comunas, elaborado por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), consiste en una serie de mapas regionales en los que se determinan los niveles de desertificación de cada comuna, sobre la base de un análisis fundamentalmente cualitativo elaborado por expertos en la materia (principalmente funcionarios de dicha institución, con una amplia experiencia en ese campo).

A grandes rasgos, se definen las cuatro categorías o niveles de desertificación siguientes: grave, moderado, leve o sin desertificación y, por último, no clasificado (comuna urbana o de reciente creación).

En el marco del proyecto conjunto de la CEPAL y el Mecanismo Mundial titulado “Valoración económica de la degradación de las tierras ante escenarios alternativos de cambio climático”, y con el apoyo de la Corporación Nacional Forestal del Gobierno de Chile y su Punto Focal Nacional de la Convención de Lucha contra la Desertificación, se ha podido recopilar información y avanzar en la formulación de una cartografía que refleje, aproximadamente, este flagelo que afecta al país (véase el gráfico IV.11).

MAPA 6 MAPA PRELIMINAR DE LA DESERTIFICACIÓN EN CHILE



Fuente: Corporación Nacional Forestal (CONAF) (Chile).

Nota: “No aplica” comprende las comunas urbanas y las de reciente creación.

IV.2.2. La desertificación, la degradación de las tierras y el cambio climático

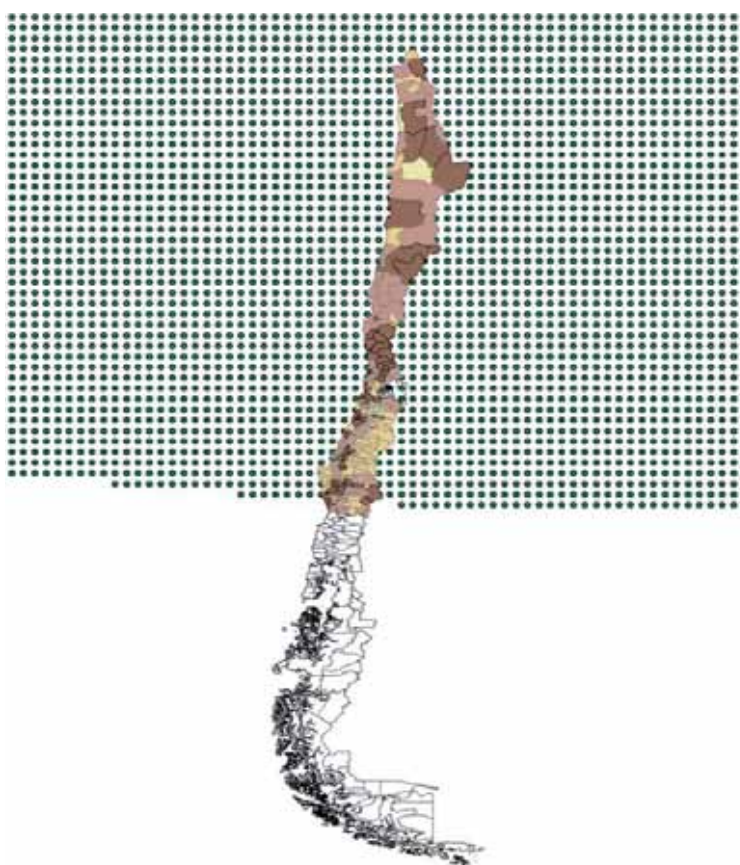
Para conocer los posibles efectos del cambio climático sobre la desertificación y la degradación de las tierras en Chile se han formulado y aplicado los indicadores siguientes sobre la base del escenario A2 de los modelos mundiales proporcionados por el IPCC.

La información acerca de las proyecciones climatológicas ha sido suministrada por el INPE (Brasil), se refiere a la casi totalidad de la región sudamericana y se organiza conforme a puntos localizados a 50 kilómetros de distancia entre sí. Lamentablemente, no abarca la totalidad de Chile, razón por la cual el análisis se ha limitado al territorio nacional que se encuentra al norte de la región de los Ríos.

En el mapa 7 se muestra el alcance geográfico de información climática proyectada hasta el año 2100, representada por puntos a 50 kilómetros de distancia entre sí, superpuesta a un mapa de Chile con la división administrativa municipal. Se puede apreciar que una gran parte del país, de clima templado y frío, pero afectada por la degradación de las tierras en gran medida, no pudo incluirse en el presente estudio.

Por todo ello y por las características propias de la escala, se ha preferido presentar los resultados en porcentajes y no en valores absolutos. De ese modo, pueden apreciarse las tendencias, que constituyen el objetivo principal del presente estudio.

MAPA 7
ZONA PARA LA QUE SE DISPONE DE INFORMACIÓN
CLIMATOLÓGICA EN CHILE



Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos de zonas desertificadas proporcionados por el CONAF y la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

IV.2.2.a. Número de meses secos

Este indicador refleja la relación existente entre las precipitaciones y la evapotranspiración, medida mensualmente. Estos meses secos revisten especial importancia para los suelos, ya que favorecen la erosión y la consiguiente pérdida de su capa superficial.

En el cuadro 16, que se presenta a continuación, se refleja, en valores porcentuales, la superficie afectada, por número de meses secos, en los períodos analizados en el escenario A2. De su examen se desprende lo siguiente:

- No se advierten grandes cambios al comparar el promedio de 2001-2008 con el correspondiente al período 2046-2050. Las modificaciones más importantes se observan al contrastar los datos de esos dos períodos con el promedio del período 2096-2100.
- Las zonas que registran 12 meses secos, que en el período 2001-2008 abarcaban el 38,18% de la superficie del país, se verían reducidas a la mitad en 2100, cuando se extenderían por un 19,12% de esa superficie.
- La superficie caracterizada por 1, 2 o 3 meses secos prácticamente desaparecería en el período 2096-2100 y pasaría de ocupar el 22,36% en el período 2001-2008 a abarcar el 0,98% en el período final analizado en el estudio. Por otra parte, se duplicaría y, en algunos casos, se triplicaría la superficie afectada por entre 5 y 11 meses secos en el período 2096-2100 en comparación con la línea de base.

CUADRO 16
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE AFECTADA POR MESES SECOS EN CHILE
(En porcentajes)

Número de meses	2001-2008	2046-2050	2096-2100
1	13,86	12,88	0,39
2	4,20	3,51	0,39
3	4,30	3,71	0,20
4	4,50	3,41	5,37
5	4,30	4,68	11,12
6	5,67	6,44	9,37
7	5,09	4,78	6,34
8	5,97	6,15	11,90
9	5,19	4,78	16,59
10	4,41	4,68	9,76
11	4,51	5,76	9,46
12	38,18	39,22	19,12
Total	100,00	100,00	100,00

Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos de zonas desertificadas proporcionados por el CONAF y la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: No se han incluido las comunas localizadas en el extremo sur de Chile, desde la región de Magallanes hasta la región de los Ríos. La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

Este fenómeno presenta características particulares en aquellas tierras en las que el nivel de degradación es grave. El cuadro 17 nos permite observar lo siguiente:

- Los principales cambios también ocurrirían en el período 2096-2100 en relación con los otros cortes definidos en el estudio.
- Mientras que, en el período 2001-2008, casi la mitad de la superficie con un nivel grave de desertificación presentaba 12 meses secos (45,99%), este valor se reduciría a la mitad en el período 2096-2100 y alcanzaría el 25,06%.

- Dichos cambios se traducirían en un mayor porcentaje de tierras con un nivel grave de degradación con entre 8 y 11 meses secos. En efecto, se duplicaría e, incluso, se triplicaría dicha superficie al comparar la línea de base con el período 2096-2100.

CUADRO 17
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE AFECTADA POR MESES SECOS EN TIERRAS
CON UN ALTO NIVEL DE DEGRADACIÓN
(En porcentajes)

Número de meses	2001-2008	2046-2050	2096-2100
1	3,10	2,58	0,00
2	2,58	1,81	0,26
3	3,62	2,58	0,26
4	5,17	4,13	2,33
5	5,43	5,68	4,13
6	5,94	7,24	5,94
7	6,98	5,94	7,49
8	6,46	6,20	14,99
9	5,94	4,39	16,54
10	3,62	4,39	10,59
11	5,17	6,98	12,40
12	45,99	48,06	25,06
Total	100,00	100,00	100,00

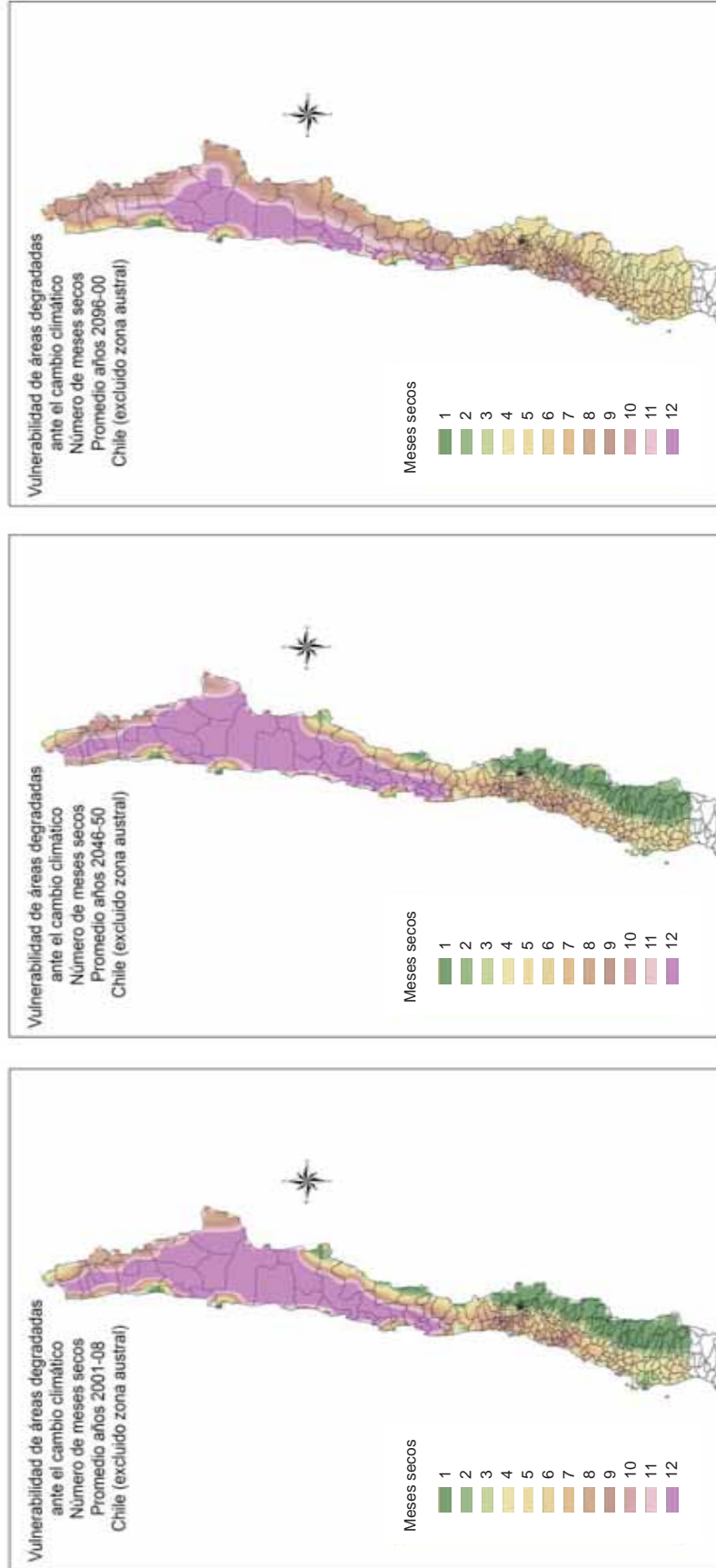
Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos de zonas desertificadas proporcionados por el CONAF y la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: No se han incluido las comunas localizadas en el extremo sur de Chile, desde la región de Magallanes hasta la región de los Ríos. La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

En conclusión, las zonas más degradadas del país sufrirían cambios en la distribución mensual de su balance hídrico: se reduciría a la mitad la superficie con 12 meses secos y se duplicaría e, incluso, se triplicaría la superficie con 8, 9, 10 u 11 meses secos.

En el mapa 8 se reproducen los mapas elaborados para los períodos objeto de análisis, destacándose la evolución del número de meses secos en el país.

MAPA 8
EVOLUCIÓN DEL NÚMERO DE MESES SECOS EN CHILE: PROMEDIO DE LOS PERÍODOS
2001-2008, 2046-2050 Y 2096-2100 EN EL ESCENARIO CLIMÁTICO A2



Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos de las zonas desertificadas proporcionados por el CONAF y la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: No se han incluido las comunas localizadas en el extremo sur de Chile, desde la región de Magallanes hasta la región de los Ríos. La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

IV.2.2.b. Índice de concentración de las precipitaciones (ICP)

Este índice relaciona las precipitaciones mensuales con las anuales y las clasifica en las cinco categorías siguientes:

- Uniforme
- Moderadamente estacional
- Estacional
- Altamente estacional
- Irregular

Los resultados de la aplicación de este índice en los períodos analizados se reproducen en el cuadro 18. Se constata lo siguiente:

CUADRO 18
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE AFECTADA POR EL ÍNDICE DE CONCENTRACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES EN CHILE
(En porcentajes)

ICP total en porcentajes	2001-2008	2046-2050	2096-2100
Uniforme	45,37	71,51	5,27
Moderadamente estacional	47,51	24,88	19,41
Estacional	7,12	3,61	33,56
Altamente estacional	0,00	0,00	41,76
Total	100	100	100

Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos de zonas desertificadas proporcionados por el CONAF y la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: No se han incluido las comunas localizadas en el extremo sur de Chile, desde la región de Magallanes hasta la región de los Ríos. La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

- Se advierte una tendencia a una mayor uniformidad en la distribución de las precipitaciones en el período 2046-2050, para luego, con arreglo al promedio correspondiente al período 2096-2100, evolucionar acusadamente hacia un régimen más estacional.
- Mientras que en 2001-2008 la zona con precipitaciones caracterizadas como de distribución uniforme se extendía por el 45,37% de la superficie de Chile objeto de estudio, este porcentaje se incrementaría hasta el 71,51% en el período 2046-2050, para retroceder posteriormente al 5,27% en el período 2096-2100.
- La zona que presenta precipitaciones de distribución moderadamente estacional iría disminuyendo progresivamente, pasando del 47,51% en el período 2001-2008 al 24,88% en el período 2046-50 y al 19,41% en el período 2096-2100.
- La superficie de las zonas con régimen estacional aumentará en el período 2096-2100 y llegaría a abarcar el 33,56% en ese período. Por último, las zonas con un régimen altamente estacional, inexistentes en los períodos 2001-2008 y 2046-2050, se extenderían por un 41,76% de la superficie del país en el período 2096-2100.

Si se consideran exclusivamente las zonas con un nivel grave de degradación de las tierras, se aprecia una situación similar (véase el cuadro 19). Se advierte que a) la superficie con un nivel uniforme de concentración de las precipitaciones se incrementaría en el período 2046-2050 para,

más tarde, disminuir ostensiblemente en 2096-2100; b) una progresiva disminución de la superficie afectada por el régimen moderadamente estacional; c) un incremento de la superficie caracterizada por una distribución estacional de las precipitaciones; y d) la aparición, en el período 2096-2100, de un 49,27% de la superficie con un nivel de degradación altamente estacional, categoría esta que no existía en los períodos anteriores analizados.

CUADRO 19
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE AFECTADA POR EL ÍNDICE DE CONCENTRACIÓN
DE LAS PRECIPITACIONES EN LAS ZONAS CON UN NIVEL GRAVE DE
DEGRADACIÓN EN CHILE
(En porcentajes)

ICP grave en porcentajes	2001-2008	2046-2050	2096-2100
Uniforme	44,44	60,98	5,17
Moderadamente estacional	40,57	30,23	14,21
Estacional	14,99	8,79	31,27
Altamente estacional	0,00	0,00	49,35
Total	100	100	100,00

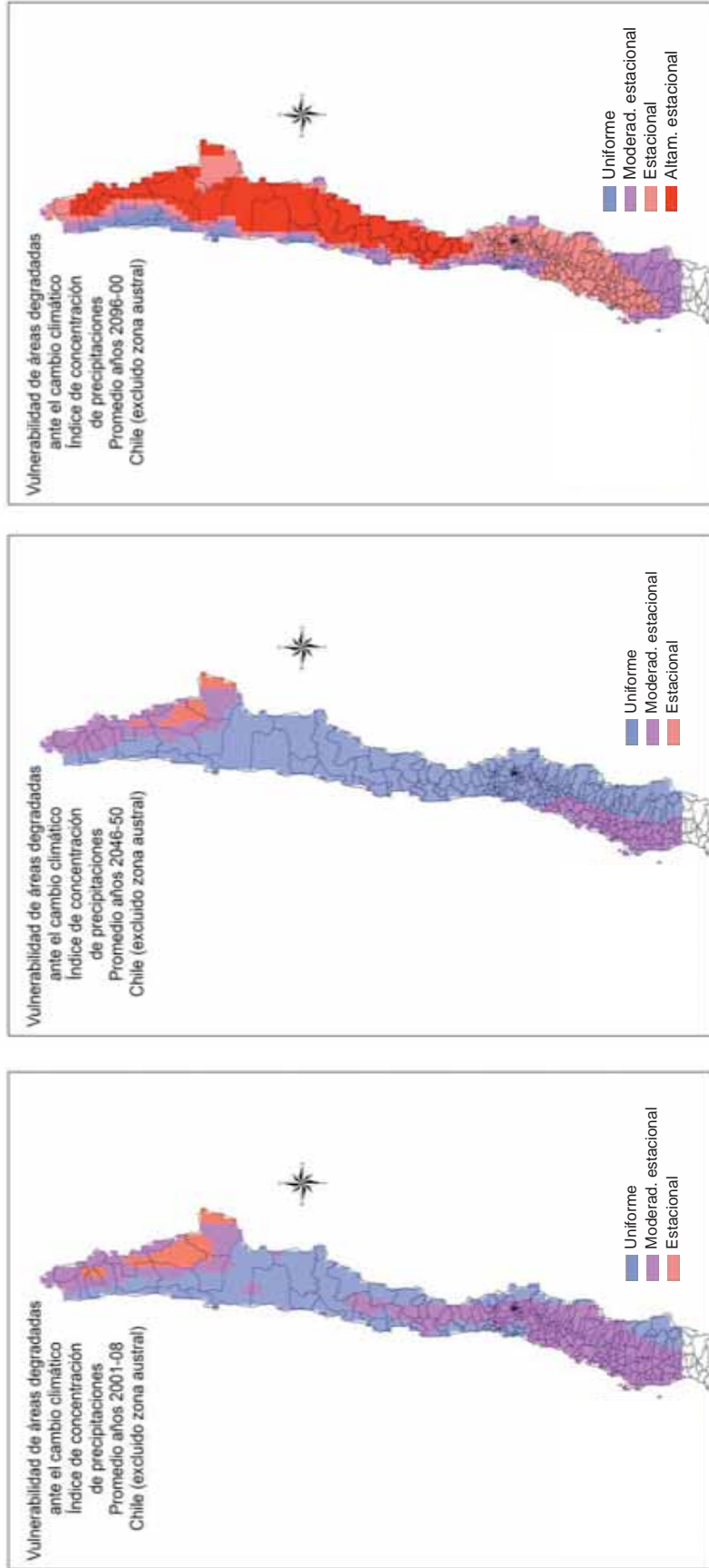
Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos de las zonas desertificadas proporcionados por el CONAF y la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: No se han incluido las comunas localizadas en el extremo sur de Chile, desde la región de Magallanes hasta la región de los Ríos. La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

Puede afirmarse, a modo de conclusión, que las zonas más gravemente degradadas del país se verían afectadas por una mayor estacionalidad de las precipitaciones, pasando del 0% al 49,35% de su superficie en el período 2096-2100, mientras que las zonas con una distribución uniforme se reducirían del 44,44% en el período 2001-2008 a solo el 5,17% en el período 2096-2100

En el mapa 9 se ilustra dicha evolución por medio de la cartografía.

MAPA 9
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE CONCENTRACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES EN CHILE: PROMEDIO DE LOS PERÍODOS
2001-2008, 2046-2050 Y 2096-2100 EN EL ESCENARIO CLIMÁTICO A2



Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos de zonas desertificadas proporcionados por el CONAF y la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: No se han incluido las comunas localizadas en el extremo sur de Chile, desde la región de Magallanes hasta la región de los Ríos. La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

IV.2.2.c. Índice de aridez

Este índice, que mide la relación anual entre las precipitaciones y la evapotranspiración, no refleja grandes cambios al comparar los tres promedios de los períodos analizados para todo el país (véase el cuadro 20) en lo que respecta a las modificaciones en la superficie afectada por los diversos regímenes.

Lo más destacable que se ha apreciado es el incremento del régimen semiárido, que pasaría de ocupar el 23,02% a extenderse por el 30,44% de la superficie del país examinada en este estudio, cuando se comparan los períodos 2001-2008 y 2096-2100, así como la disminución de la zona húmeda, que se contraería del 23,02% al 15,02% entre ambos períodos.

CUADRO 20
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE, POR NIVEL DE ARIDEZ, EN CHILE EN EL
ESCENARIO A2
(En porcentajes)

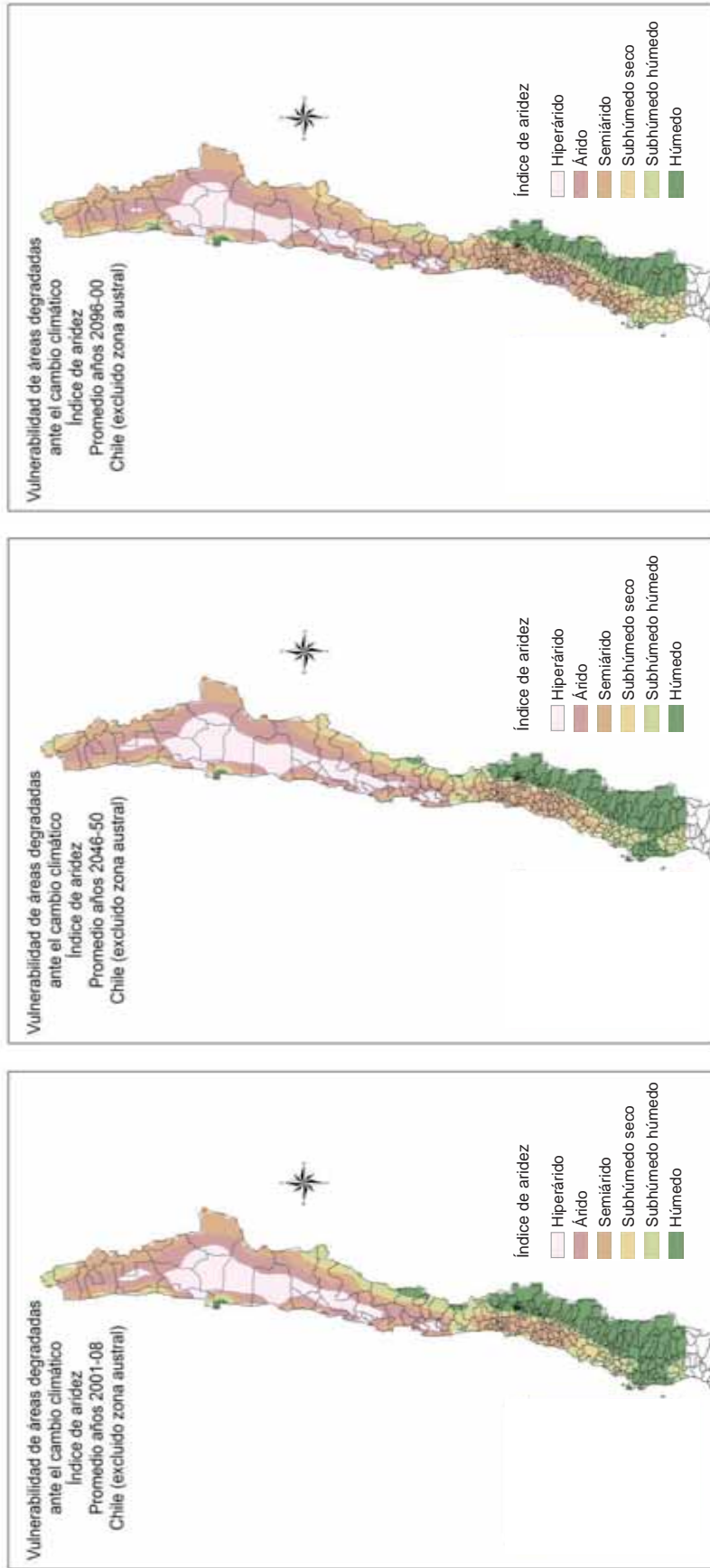
Aridez total en porcentajes	2001-2008	2046-2050	2096-2100
Hiperárido	18,93	20,49	16,00
Árido	19,02	19,41	23,12
Semiárido	23,02	24,78	30,44
Subhúmedo seco	5,27	6,15	7,71
Subhúmedo Húmedo	10,73	8,68	7,71
Húmedo	23,02	20,49	15,02
Total	100	100	100

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los datos proporcionados por el CONAF y la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

La cartografía elaborada es acorde con lo señalado (véase el mapa 10).

MAPA 10
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE ARIDEZ EN CHILE: PROMEDIO DE LOS PERÍODOS
2001-2008, 2046-2050 Y 2096-2100 EN EL ESCENARIO CLIMÁTICO A2



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los datos proporcionados por el CONAF y la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).
 Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

En cuanto a las variaciones en las zonas definidas como zonas con un nivel de degradación grave, en el cuadro 21 se muestran los cambios siguientes:

- Disminuiría la superficie que en el período 2001-2008 presentaba un régimen hiperárido, que pasaría de extenderse por el 23,26% del total de las zonas con un nivel grave de degradación a ocupar el 18,09% de esa superficie en el período 2096-2100.
- Aumentaría la superficie afectada por el régimen árido y semiárido, que pasaría del 23,51% (2001-2008) en ambos casos, al 30,75% y al 32,56%, respectivamente, en el período 2096-2100.
- La superficie de las zonas subhúmedas húmedas con un nivel grave de degradación experimentaría un retroceso del 13,70% en el período 2001-2008 al 5,17% en el período 2096-2100.

CUADRO 21
EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE LA SUPERFICIE DE LAS ZONAS CON UN NIVEL ELEVADO DE DEGRADACIÓN DE CHILE, POR NIVEL DE ARIDEZ, EN EL ESCENARIO CLIMÁTICO A2

Aridez grave en porcentajes	2001-2008	2046-2050	2096-2100
Hiperárido	23,26	25,58	18,09
Árido	23,51	22,74	30,75
Semiárido	23,51	27,13	32,56
Subhúmedo seco	6,98	7,75	9,30
Subhúmedo húmedo	13,70	9,82	5,17
Húmedo	9,04	6,98	4,13
Total	100	100	100

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los datos proporcionados por el CONAF y la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

Puede señalarse, como conclusión, que si se compara el período 2001-2008 con el período 2096-2100 prestando atención a las tierras más gravemente degradadas, la superficie con un régimen semiárido y árido aumentaría en un tercio aproximadamente y las zonas subhúmedas húmedas y las hiperáridas disminuirían.

IV.2.2.d. Índice de agresividad climática (índice de Fournier modificado (IFM))

Este índice relaciona la ocurrencia de precipitaciones con su promedio anual. En otras palabras, mide la intensidad del fenómeno, lo que reviste importancia para los suelos, habida cuenta de que las lluvias intensas favorecen los procesos erosivos, muy especialmente en las zonas desertificadas o degradadas y con grandes pendientes.

El análisis comparativo de la evolución de este índice en los períodos examinados, muestra escasos cambios en la superficie afectada por las distintas categorías definidas para el índice de Fournier o índice de agresividad climática en el país (véase el cuadro 22).

CUADRO 22
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE AFECTADA POR EL ÍNDICE DE
AGRESIVIDAD CLIMÁTICA EN CHILE, POR NIVEL DE DEGRADACIÓN,
EN EL ESCENARIO CLIMÁTICO A2
(En porcentajes)

IFM total en porcentajes	2001-2008	2046-2050	2096-2100
Muy bajo	84,00	86,05	81,56
Bajo	6,54	8,20	9,17
Moderado	5,76	5,66	7,22
Alto	3,71	0,10	1,95
Muy alto	0,00	0,00	0,10
Total	100	100	100

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los datos proporcionados por el CONAF y la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

En cuanto a las zonas con un nivel grave de degradación de las tierras, la evolución del índice es similar y no se detectan cambios significativos (véase el cuadro 23).

CUADRO 23
EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE LA SUPERFICIE DE LAS ZONAS CON UN
ALTO NIVEL DE DEGRADACIÓN EN CHILE, POR NIVEL DE ARIDEZ,
EN EL ESCENARIO CLIMÁTICO A2
(En porcentajes)

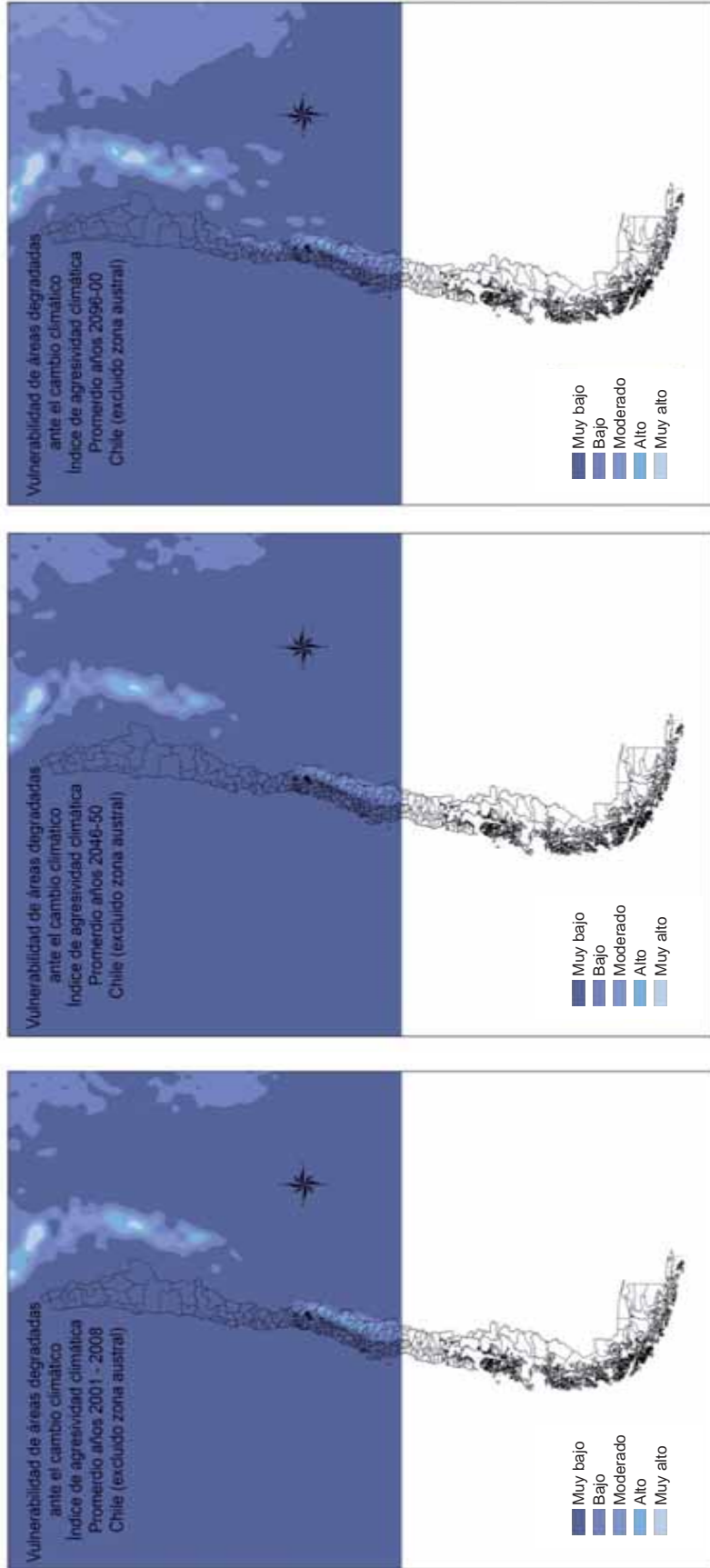
IFM grave, en porcentajes	2001-2008	2046-2050	2096-2100
Muy bajo	96,12	96,64	92,76
Bajo	3,36	3,10	6,98
Moderado	0,52	0,26	0,26
Alto	0	0	0
Muy alto	0	0	0
Total	100	100	100

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los datos proporcionados por el CONAF y la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

Se presenta a continuación la cartografía (véase el mapa 11).

MAPA 11
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE AGRESIVIDAD CLIMÁTICA EN CHILE: PROMEDIO DE LOS PERÍODOS 2001-2008, 2046-2050 Y 2096-2100 EN EL ESCENARIO CLIMÁTICO A2



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los datos proporcionados por el CONAF y la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).
 Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

IV.2.3. A modo de conclusión

5. Del análisis de los cuatro indicadores empleados para examinar los efectos del cambio climático (escenario A2 del IPCC) sobre las zonas degradadas en los promedios correspondientes a los períodos 2001-2008 (línea de base), 2046-2050 y 2096-2100, se desprende lo siguiente:
 - a.) Las zonas degradadas sufrirían cambios en la distribución anual de su balance hídrico. En efecto, si se compara la aplicación del índice de número de meses secos en la línea de base con el período 2096-2100, se observa que la superficie con 12 meses secos se reduciría a la mitad, mientras que se duplicaría y se triplicaría la superficie con 8, 9, 10 u 11 meses secos.
 - b.) Las precipitaciones serían más uniformes en el período 2046-2050 que en la línea de base. No obstante, conforme al promedio del período 2096-2100, las zonas más gravemente degradadas del país se verían afectadas por una mayor estacionalidad de las precipitaciones y pasarían del 0% de su superficie (línea de base) al 49,35% en 2096-2100, en tanto que las zonas con una distribución uniforme disminuirían del 44,44% en el período 2001-2008 a solo el 5,17% en el período 2096-2100.
 - c.) Por otra parte, no se aprecian cambios significativos al aplicar el índice de Fournier, o índice de agresividad climática, en el escenario climático A2 durante los períodos mencionados, lo que significa que, con arreglo a las proyecciones climáticas mencionadas, las precipitaciones no tendrían mayores efectos erosivos por su intensidad.
 - d.) Por último, en lo tocante a las zonas con un nivel grave de desertificación, si se compara el período 2001-2008 con el período 2096-2100, se aprecia que la superficie ocupada por el semiárido y el árido aumentaría en aproximadamente un tercio y disminuirían las zonas subhúmedas húmedas, así como las hiperáridas.
6. El estudio arroja la conclusión de que, en el período 2096-2100, las zonas más gravemente desertificadas verían expuestos sus suelos a precipitaciones más concentradas, aunque no más intensas, y a una modificación del número de meses con balance hídrico negativo (número de meses secos) y del índice de aridez.

IV.3. Análisis de la desertificación ante escenarios de cambio climático en Colombia

IV.3.1. La degradación de las tierras¹⁰ y la desertificación¹¹ en Colombia

Colombia cuenta con abundante documentación acerca del subsuelo y los suelos de gran parte de su territorio, así como con una reciente cartografía de los procesos de desertificación que afectan al país.

En esa cartografía se realiza un análisis de la degradación de las tierras en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas solamente y no se examina el resto del país. Se definen cuatro categorías o niveles de desertificación principales, a saber: desertificación baja, moderada, alta y muy alta (véase el mapa 12).

Si se considera la superficie de las tierras secas, según se ha definido en el mapa de la desertificación en Colombia, se observa que la mitad se encuentra afectada por graves procesos de desertificación. En efecto, el 20,5% de su superficie se encuentra afectada por un nivel de desertificación muy alto; el 35,9% presenta un nivel alto; el 26,2%, moderado; y el 17,4%, bajo (véanse el cuadro 24 y el mapa 12).

En conclusión, la mitad de las tierras secas se encuentra gravemente desertificada, con un nivel muy alto o alto (56,4%), mientras que el resto está afectado por niveles de desertificación inferiores (moderado o bajo).

CUADRO 24
SUPERFICIE AFECTADA POR LA DESERTIFICACIÓN EN COLOMBIA
(En kilómetros cuadrados y en porcentajes)

Desertificación	Área en kilómetros cuadrados	Porcentajes de zonas secas desertificadas
Muy alta	39 677	20,5
Alta	69 537	35,9
Moderada	50 606	26,2
Baja	33 689	17,4
Total de las zonas secas desertificadas	193 510	16,95 ^a

Fuente: Plan de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía en Colombia (2004).

^a Respecto del área total del país.

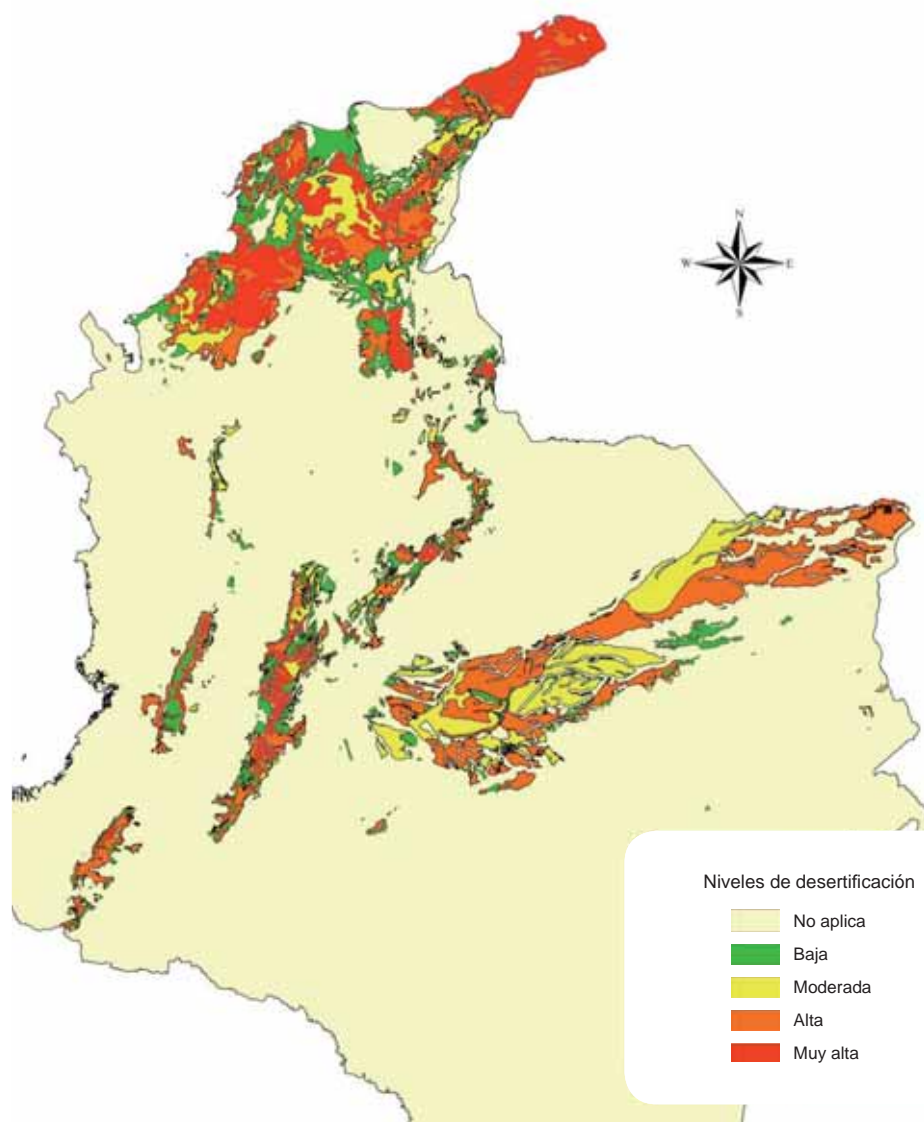
IV.3.2. La desertificación y el cambio climático

Para conocer los posibles efectos del cambio climático sobre la desertificación y la degradación de las tierras en Colombia se han formulado y aplicado los indicadores siguientes sobre la base del escenario A2 de los modelos mundiales proporcionados por el IPCC.

¹⁰ La degradación de las tierras es la pérdida de la productividad biológica o económica de las tierras (CLD).

¹¹ La desertificación es la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas (CLD).

MAPA 12 MAPA DE LA DESERTIFICACIÓN EN COLOMBIA



Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos de las zonas desertificadas proporcionados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia.

La información sobre las proyecciones climatológicas ha sido suministrada por el INPE (Brasil), se refiere a la casi totalidad de la región sudamericana y se organiza conforme a puntos localizados a 50 kilómetros de distancia entre sí. Lamentablemente, no abarca la totalidad de Colombia, razón por la cual se ha excluido del análisis gran parte de la península de La Guajira, territorio que precisamente se encuentra aquejado de los graves efectos de la desertificación, cuyo análisis no podrá, por lo tanto, ser incluido en este estudio.

En el mapa 13 se muestra el alcance de la información climática proyectada hasta el año 2100, representada por puntos que distan entre sí 50 kilómetros, superpuesta a un mapa de Colombia

con las tierras áridas, semiáridas y subhúmedas secas. Se puede apreciar que la península de La Guajira, afectada por la degradación de las tierras en gran medida, no pudo ser analizada en el presente estudio.

Por otra parte, las proyecciones realizadas en este estudio no resultan comparables con la Comunicación Nacional de Cambio Climático de Colombia debido a las metodologías utilizadas.

Por todo lo expuesto en los párrafos precedentes, y por las características propias de la escala, se ha preferido presentar los resultados como porcentajes en lugar de como valores absolutos. De este modo, se pueden apreciar las tendencias, que son fundamentalmente el objetivo del estudio.

MAPA 13
ZONA PARA LA QUE SE DISPONE DE INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA
EN COLOMBIA



Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos de las zonas desertificadas proporcionados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia y de información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: El área cubierta por puntos indica el sector de Colombia del que se cuenta con información climatológica suministrada por INPE. No es posible analizar la península de Guajira, al norte, en el presente estudio.

IV.3.2.a. Número de meses secos

Este indicador refleja la relación existente entre las precipitaciones y la evapotranspiración, medida mensualmente. Esos meses secos revisten especial importancia para los suelos, ya que favorecen la erosión y la consiguiente pérdida de su capa superficial.

En el cuadro 25, que se presenta a continuación, se señala, en valores porcentuales, la superficie afectada, por número de meses secos, en los períodos analizados en el escenario A2. De su lectura se desprende lo siguiente:

- No se vislumbrarían grandes cambios al comparar el promedio del período 2001-2008 con el período 2046-2050. Las modificaciones más importantes se advierten al contrastar los datos de los períodos mencionados con el promedio del período 2096-2100.

- La superficie caracterizada por 1 mes seco, que en 2001-2008 se extendía por el 95,63% del territorio objeto de estudio, disminuiría a la mitad en 2100 y pasaría a ocupar el 46,45% de las tierras secas del país.
- En relación con el punto anterior, se ha observado que la superficie que presenta 2, 3 o 4 meses secos aumentaría significativamente en el período 2096-2100, pasando del 1,64%, el 0,82% y el 0,82%, respectivamente, en el período 2001-2008, al 23,77%, 13,93% y 7,38%, respectivamente, en el período final analizado en el estudio.

CUADRO 25
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE AFECTADA POR MESES SECOS EN LAS TIERRAS
ÁRIDAS, SEMIÁRIDAS Y SUBHÚMEDAS DE COLOMBIA
(En porcentajes)

Número de meses	2001-2008	2046-2050	2096-2100
1	95,63	96,17	46,45
2	1,64	1,09	23,77
3	0,82	0,82	13,93
4	0,82	0,82	7,38
5	0,00	0,00	2,46
6	0,28	0,27	1,64
7	0,00	0,00	0,00
8	0,55	0,55	2,19
9	0,01	0,00	0,82
10	0,00	0,00	0,00
11	0,28	0,00	0,27
12	0,01	0,27	0,55
Total	100,00	100,00	100,00

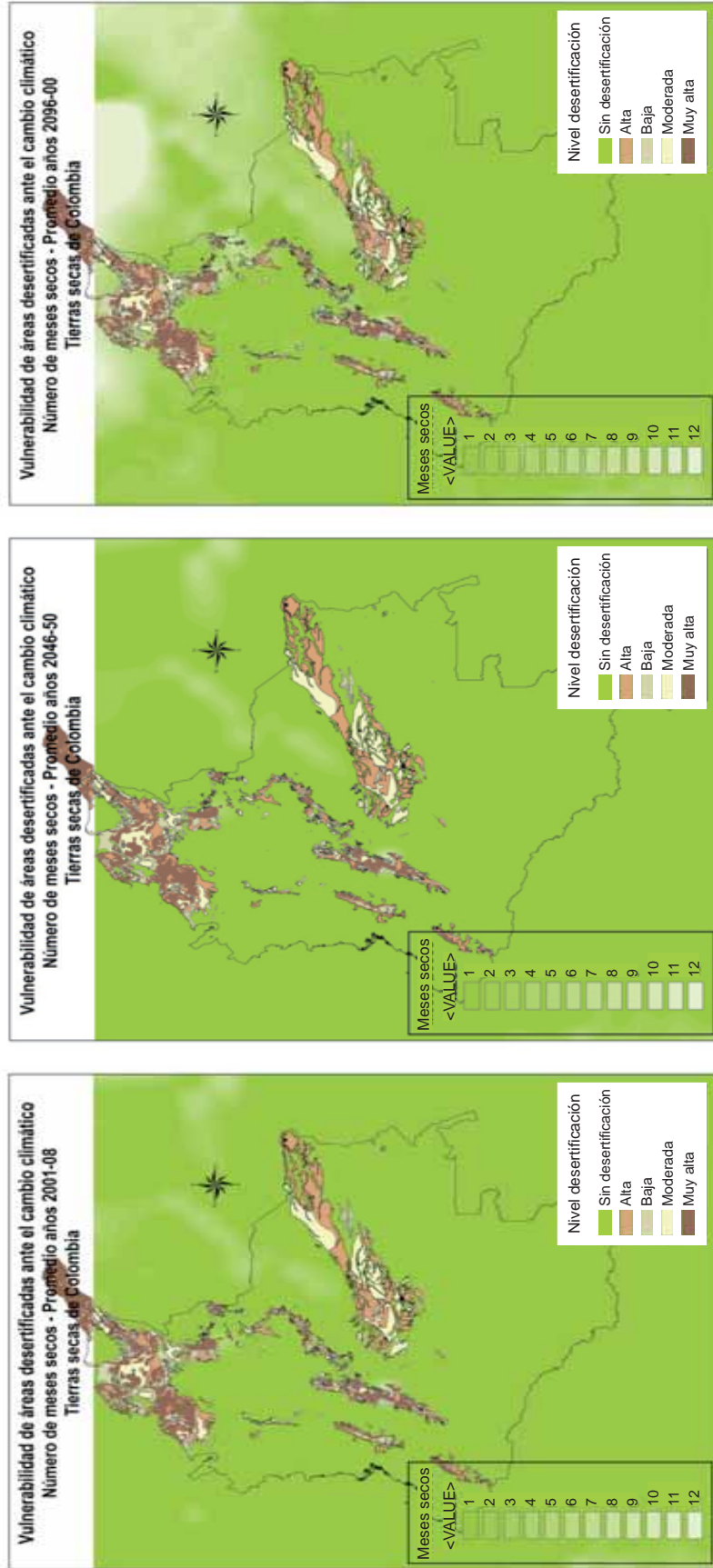
Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos de las zonas desertificadas proporcionados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia y de la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

En conclusión, las zonas más desertificadas del país sufrirían cambios en la distribución mensual de su balance hídrico, a saber: se reduciría a la mitad la superficie de las tierras secas con 1 mes seco, aumentando significativamente, como consecuencia de este proceso, la superficie de las zonas con 2, 3 y 4 meses secos.

En el mapa 14 pueden verse los mapas elaborados para los períodos analizados, con una representación gráfica de la evolución del número de meses secos en el país.

MAPA 14
EVOLUCIÓN DEL NÚMERO DE MESES SECOS EN COLOMBIA: PROMEDIO DE LOS PERÍODOS
2001-2008, 2046-2050 Y 2096-2100 EN EL ESCENARIO CLIMÁTICO A2



Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos de las zonas desertificadas proporcionados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia y de la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

IV.3.2.b. Índice de concentración de las precipitaciones

Este índice relaciona las precipitaciones mensuales con las anuales y las clasifica en las cinco categorías siguientes:

- Uniforme
- Moderadamente estacional
- Estacional
- Altamente estacional
- Irregular

Los resultados de la aplicación de este índice en los períodos analizados se muestran en el cuadro 26. Se constata lo siguiente:

CUADRO 26
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE AFECTADA POR EL ÍNDICE DE CONCENTRACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES EN LAS ZONAS DESERTIFICADAS DE COLOMBIA
(En porcentajes)

Niveles	2001-2008	2046-2050	2096-2100
Uniforme	99,45	98,09	42,62
Moderadamente estacional	0,55	1,91	55,19
Estacional	0,00	0,00	2,19
Total	100,00	100,00	100,00

Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos de las zonas desertificadas proporcionados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia y de la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

- Luego de un período sin cambios significativos, que se observa al comparar la línea de base con el promedio del período 2046-2050, se aprecia una fuerte tendencia a evolucionar hacia un régimen más estacional en el promedio del período 2096-2100.
- Mientras que en el período 2001-2008 las zonas con precipitaciones descritas como de distribución uniforme se extienden por el 99,45% de la superficie del país examinada en el estudio, este valor se mantendría en el 98,09% en el período 2046-2050 para, luego, retroceder hasta el 42,62% en el período 2096-2100.
- La superficie afectada por precipitaciones de distribución moderadamente estacional aumentaría progresivamente y pasaría del 0,55% en el período 2001-2008 al 1,91% en el período 2046-2050 y, más tarde, al 55,19% en el período 2096-2100.

Si se consideran exclusivamente las zonas con un nivel muy alto de desertificación, se advierte una situación más grave con respecto a sus consecuencias para la cubierta vegetal (véase el cuadro 27). Se aprecia que a) la superficie con un nivel uniforme de concentración de las precipitaciones disminuiría significativamente en el período 2096-2100 y pasaría del 100% en el período 2001-2008 a solo el 20% en el último período analizado; b) la superficie afectada por

el régimen moderadamente estacional experimentaría un gran incremento y pasaría del 0% en el período 2001-2008 al 74,55% en el período 2096-2100; y c) aparece, en el período 2096-2100, un 5,45% de la superficie con un nivel de desertificación muy alto y un régimen estacional, categoría esta que no existía en los períodos anteriores analizados.

CUADRO 27
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE AFECTADA POR EL ÍNDICE DE CONCENTRACIÓN
DE LAS PRECIPITACIONES EN LAS ZONAS CON UN NIVEL MUY ALTO DE
DESERTIFICACIÓN DE COLOMBIA
(En porcentajes)

ICP	2001-2008	2046-2050	2096-2100
Uniforme	100,00	94,55	20,00
Moderadamente estacional	0,00	5,45	74,55
Estacional	0,00	0,00	5,45
Total	100,00	100,00	100,00

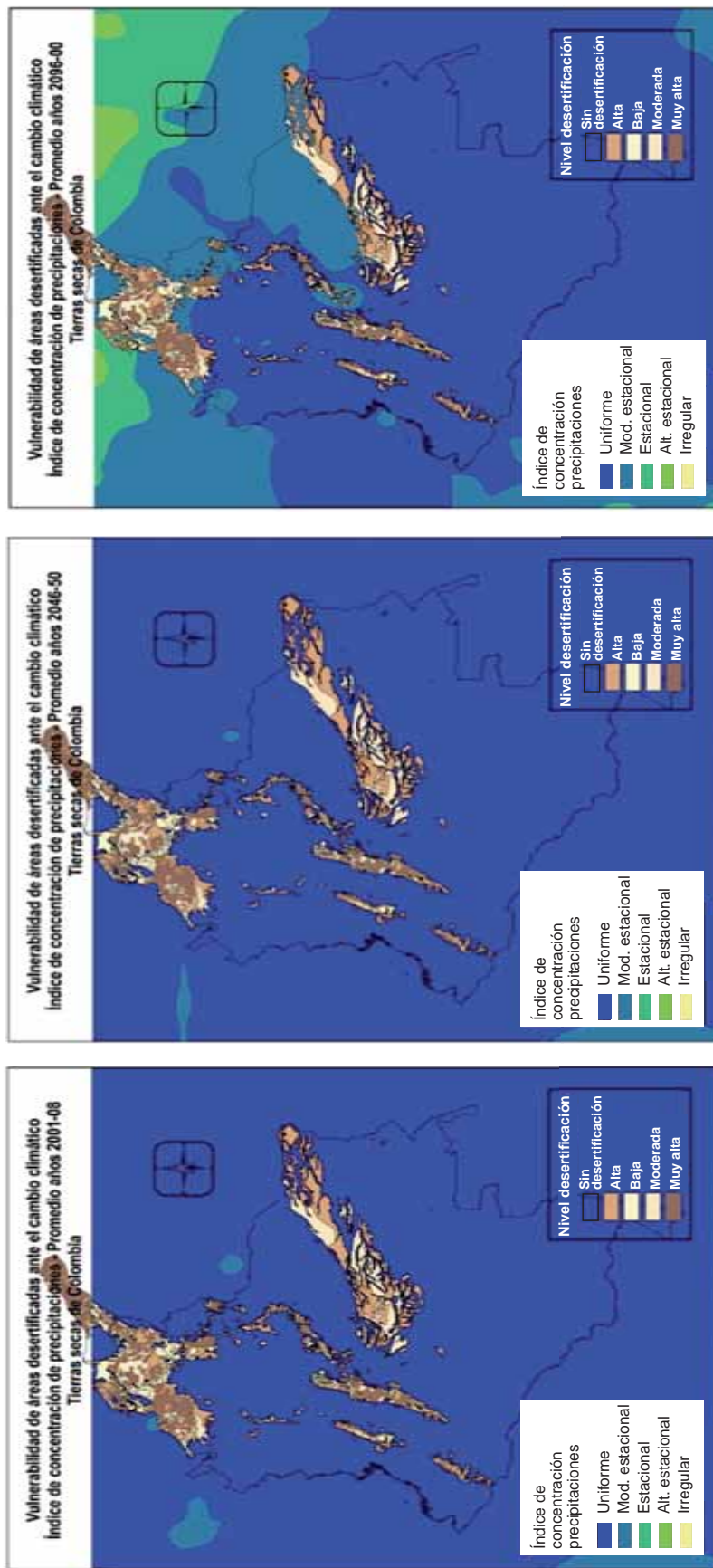
Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos de las zonas desertificadas proporcionados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia y de la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

Puede apuntarse, a modo de conclusión, que las zonas más gravemente desertificadas del país se verían más afectadas que el resto de las tierras secas por una mayor estacionalidad de las precipitaciones, que pasarían a caracterizar del 0% al 74,55% de su superficie en el período 2096-2100, a la vez que las zonas con una distribución uniforme disminuirían del 100% en el período 2001-2008 a solo el 20% en el período 2096-2100.

En el mapa 15 se ilustra esa evolución mediante la cartografía.

MAPA 15
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE CONCENTRACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES EN COLOMBIA: PROMEDIO DE LOS PERÍODOS 2001-2008, 2046-2050 Y 2096-2100 EN EL ESCENARIO A2



Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos de las zonas desertificadas proporcionados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia y de la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

IV.3.2.c. Índice de agresividad climática (índice de Fournier modificado (IFM))

Este índice relaciona la ocurrencia de las precipitaciones con el promedio anual de estas. En otras palabras, mide la intensidad del fenómeno, lo que reviste importancia para los suelos, ya que las lluvias intensas favorecen los procesos erosivos, muy especialmente en las zonas desertificadas o degradadas y con grandes pendientes. El análisis comparativo de la evolución de este índice en los períodos examinados, en las tierras secas de Colombia, revela escasos cambios en la superficie afectada por las distintas categorías definidas para el índice de Fournier o índice de agresividad climática (véase el cuadro 28) cuando se compara el período de línea de base (2001-2008) con el período final del análisis (2096-2100). No obstante, se identifica, en el promedio del período 2046-2050, una situación diferente: prácticamente se duplicaría la superficie de tierras secas afectadas por un índice de agresividad climática de nivel muy bajo en desmedro de aquellas con niveles bajo o moderado.

CUADRO 28
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE AFECTADA POR EL ÍNDICE DE AGRESIVIDAD CLIMÁTICA EN LAS ZONAS DESERTIFICADAS DE COLOMBIA EN EL ESCENARIO A2
(En porcentajes)

IFM	2001-2008	2046-2050	2096-2100
Muy bajo	23,50	39,34	20,77
Bajo	56,28	42,35	51,37
Moderado	16,39	15,03	22,68
Alto	3,83	3,28	4,64
Muy alto	0,00	0,00	0,55
Total	100,00	100,00	100,00

Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos de las zonas desertificadas proporcionados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia y de información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

En cuanto a las zonas con un nivel muy alto de degradación de las tierras, se aprecia un incremento aún mayor de la superficie en la que se registra un nivel muy bajo, que llegaría a triplicarse en el período 2046-2050 respecto de la línea de base (del 23,64% pasaría al 60,0%), para luego disminuir al 20,0% en el período 2096-2100. Esta evolución se refleja, inversamente, en la superficie con el nivel bajo, que es inmediatamente inferior al anterior: los avances y retrocesos del primero hacen que el segundo aumente o disminuya (véase el cuadro 29).

CUADRO 29
EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE LA SUPERFICIE DE LAS ZONAS DE COLOMBIA
CON UN NIVEL MUY ALTO DE DESERTIFICACIÓN, CON ARREGLO AL ÍNDICE DE
AGRESIVIDAD CLIMÁTICA, EN EL ESCENARIO A2
(En porcentajes)

IFM	2001-08	2046-50	2096-00
Muy bajo	23,64	60,00	20,00
Bajo	45,45	14,55	41,82
Moderado	30,91	25,45	34,55
Alto	0,00	0,00	3,64
Muy alto	0,00	0,00	0,00
Total	100,00	100,00	100,00

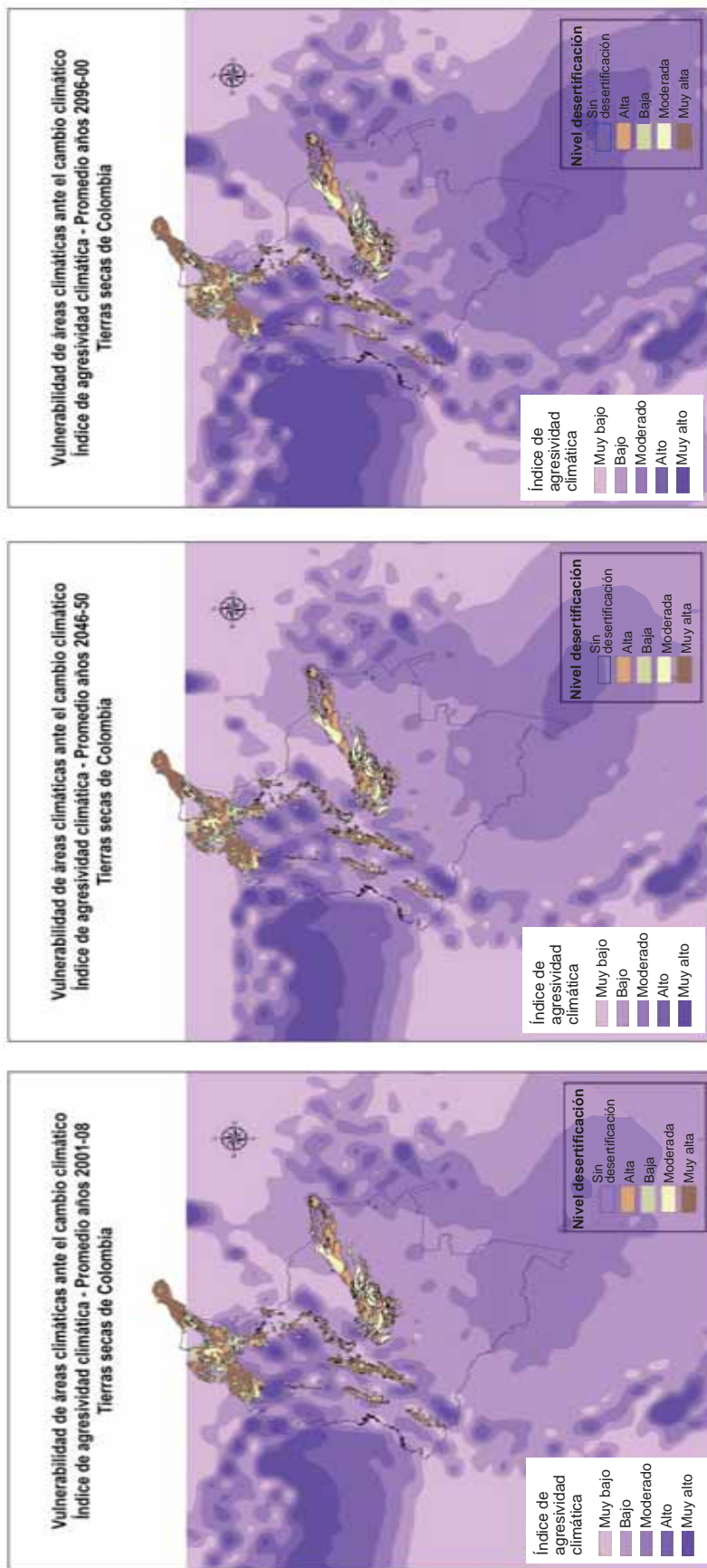
Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos de las zonas desertificadas proporcionados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia y de información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

En conclusión, puede señalarse que en las tierras secas se asistiría a una mejora de la situación en lo concerniente a la intensidad de las precipitaciones medidas con el índice de Fournier durante el período 2046-2050, a la que seguiría un retroceso, en el período 2096-2100, a una situación semejante a la de la línea de base. Este proceso se vería acentuado en las zonas caracterizadas por un nivel muy alto de desertificación, en las que llegaría a triplicarse la superficie con un índice muy bajo en el período 2046-2050, tanto en comparación con el período 2001-2008 como con el período 2096-2100.

A continuación se presenta la cartografía correspondiente (véase el mapa 16).

MAPA 16
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE AGRESIVIDAD CLIMÁTICA EN COLOMBIA: PROMEDIO DE LOS PERÍODOS
2001-2008, 2046-2050 Y 2096-2100 EN EL ESCENARIO CLIMÁTICO A2



Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos de las zonas desertificadas proporcionados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia y de información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

IV.3.d. A modo de conclusión

7. Las zonas desertificadas de Colombia con un nivel muy alto o alto de desertificación ocupan la mitad de las tierras secas del país (56,4%), en tanto que el resto de esas tierras presenta niveles de desertificación menores (moderado o bajo).
8. Sobre la base de los tres indicadores examinados para analizar los efectos del cambio climático (escenario A2 del IPCC) en las zonas desertificadas, los promedios de los períodos 2001-2008 (línea de base), 2046-2050 y 2096-2100 permiten observar lo siguiente:
 - a.) Las zonas degradadas sufrirían cambios en la distribución anual de su balance hídrico. En efecto, al comparar la aplicación del índice de número de meses secos a la línea de base y en el período 2096-2100 se aprecia que la superficie con 1 mes seco disminuiría a la mitad, mientras que aumentaría significativamente, como consecuencia de ese proceso, la superficie con 2, 3 o 4 meses secos. Esta situación hace que las tierras sean más vulnerables, habida cuenta de que su cubierta vegetal podría verse sometida a períodos con un mayor déficit hídrico que en la actualidad.
 - b.) Las precipitaciones sobre las tierras secas serían más estacionales en el período 2096-2100 que en la línea de base. En efecto, la superficie que se caracteriza por un nivel uniforme de concentración de las precipitaciones se reduciría significativamente y pasaría del 99,45% en el período 2001-2008 a solo el 42,62% en el último período analizado.
 - c.) Esta situación tendría consecuencias más graves en las tierras con un nivel alto y muy alto de desertificación. Estas zonas estarían más afectadas debido a una mayor estacionalidad de las precipitaciones: por un lado, las zonas con una distribución uniforme disminuirían del 100% en el período 2001-2008 a solo el 20% en el período 2096-2100, mientras que aquellas zonas con un régimen de precipitaciones moderadamente estacional pasarían del 0% de su superficie en el período 2001-2008 al 74,55% en el período 2096-2100.
 - d.) Por último, en las tierras secas tendría lugar una mejora de la situación en cuanto a la intensidad de las precipitaciones medidas conforme al índice de Fournier durante el período 2046-2050, para luego retroceder, en el período 2096-2100, a una situación semejante a la de la línea de base. Este proceso se acentuaría en las zonas con un nivel muy alto de desertificación, en las que llegaría a triplicarse la superficie con un índice muy bajo en el período 2046-2050 en comparación tanto con el período 2001-2008 como con el período 2096-2100.
9. En conclusión, el estudio ha permitido apreciar que, en las zonas más gravemente desertificadas, los suelos estarían expuestos a un número mayor de meses con déficit hídrico y a precipitaciones más concentradas en ciertos meses del año, lo que podría afectar a la cubierta vegetal y ocasionar una disminución de la productividad biológica y económica de las tierras.

IV.4. Análisis de la degradación de tierras y la desertificación ante escenarios alternativos de cambio climático en el Paraguay

IV.4.1. La degradación de las tierras¹² y la desertificación¹³ en el Paraguay

El Paraguay es un país eminentemente agrícola, con una región oriental con tradición en estas prácticas y una región occidental, el Chaco, que vive un reciente proceso de deforestación, con fines agropecuarios, que va en aumento. No obstante, no contaba con bases de datos, estadísticas o cartografía que pudieran servir para precisar dónde y en qué medida se desarrollan los procesos de degradación de las tierras y de desertificación.

En el marco del proyecto conjunto de la CEPAL y el Mecanismo Mundial “Valoración económica de la degradación de las tierras ante escenarios alternativos de cambio climático”, y con el apoyo de la Asociación Guyra Paraguay y el Gobierno del Paraguay, se ha podido recopilar información y avanzar en la elaboración de una cartografía y una base de datos que reflejen, en una primera aproximación, este flagelo que afecta al país.

El trabajo ha sido posible gracias al apoyo de expertos locales con vínculos diversos con estas cuestiones: ingenieros agrónomos, técnicos de servicios agrícolas y de medio ambiente del Gobierno, profesores universitarios y miembros de ONG y de cámaras de productores, entre otros. Sobre la base del material recopilado, en 2009 se llevó a cabo una serie de talleres con esos expertos a fin de acrecentar los conocimientos y acordar, con arreglo a la experiencia profesional de los asistentes, un mapa preliminar de la degradación de las tierras y la desertificación que sirviera de instrumento para las políticas públicas del país y que pudiera perfeccionarse en el marco de posteriores iniciativas.

La metodología de los talleres consistió en a) la identificación de zonas homogéneas con respecto al estado actual de degradación de las tierras y la desertificación; b) la caracterización de cada una de dichas zonas; c) la determinación, de común acuerdo, de su estado de degradación (nivel alto, medio o bajo); y d) la determinación del ritmo actual del proceso de degradación (alto, moderado o bajo).

Los resultados de esa labor permiten observar un alto nivel de degradación de las tierras, que se concentran en diversas partes del país, a saber: el sector del río Pilcomayo Superior y la zona de canales de drenaje, la zona de colonización antigua del Chaco Central, las lagunas saladas Jakare Sur del mismo sector y, en la región oriental, en el bosque atlántico del Alto Paraná (principalmente en aquellas zonas con suelos de areniscas) y en Azotey (véase el mapa 17).

¹² La degradación de tierras es la pérdida de la productividad biológica o económica de las tierras (CLD).

¹³ La desertificación es la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas (CLD).

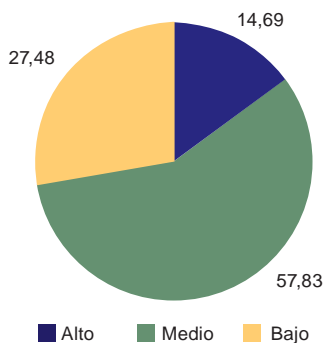
MAPA 17
MAPA PRELIMINAR DE LA DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS Y LA DESERTIFICACIÓN
EN EL PARAGUAY



Fuente: Mapa elaborado en el taller con especialistas locales expertos en desertificación, seleccionados por la contraparte local del proyecto, sobre la base de la documentación cartográfica existente.

La superficie afectada por la degradación es considerable y se extiende por el 72,52% del país si sumamos la zona que se considera afectada por un nivel de degradación alto (14,69%) o medio (57,83%) (véase el gráfico 10).

GRÁFICO 10
SUPERFICIE DEGRADADA Y DESERTIFICADA EN EL PARAGUAY, POR NIVEL
DE DEGRADACIÓN (2009)
(En porcentajes)



Fuente: Mapa elaborado en el taller con especialistas locales expertos en desertificación, seleccionados por la contraparte local del proyecto, sobre la base de la documentación cartográfica existente.

Predominan en el país las zonas degradadas, tal como se puede apreciar en el cuadro 30.

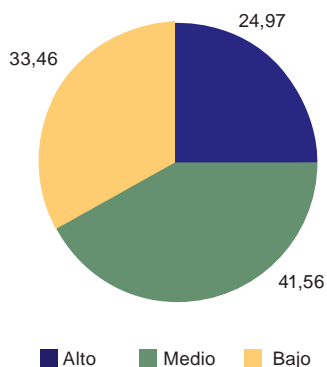
CUADRO 30
ZONAS DEGRADADAS DEL PARAGUAY, POR NIVEL DE DEGRADACIÓN
(En kilómetros cuadrados)

Nivel de degradación de las zonas degradadas: Alto			
Región	Nivel actual	Ritmo	Superficie en kilómetros cuadrados
Bosque Atlántico del Alto Paraná (arenisca)	alto	medio	48 496,37
Pilcomayo	alto	alto	8 264,71
Lagunas saladas Jakare Sur	alto	bajo	456,53
Chaco Central (colonización antigua)	alto	bajo	1 069,83
Azotey	alto	bajo	137,19
Zona de canales de drenaje	alto	bajo	85,71
Total en kilómetros cuadrados			58 510,33
Nivel de degradación de las zonas degradadas: Medio			
Región	Nivel actual	Ritmo	Superficie en kilómetros cuadrados
Bahía Negra	moderado	alto	6 821,53
La Patria (norte)	moderado	alto	10 281,86
Central	moderado	medio	10 109,12
Chaco Central	moderado	medio	22 973,95
Chaco Seco	moderado	bajo	103 388,83
La Patria (sur)	moderado	alto	14 621,95
Fuerte Olimpo	moderado	alto	9 961,59
Chaco Húmedo - Villa Hayes	moderado	bajo	16 242,67
Zona rural antigua - Misiones	moderado	bajo	948,23
Bosque Atlántico del Alto Paraná (basalto)	moderado	medio	34 938,88
Total en kilómetros cuadrados			230 289,00
Nivel de degradación de las zonas degradadas: Bajo			
Región	Nivel actual	Ritmo	Superficie en kilómetros cuadrados
Pastizales del sur de la Región Oriental	bajo	medio	19 405,71
Cerrado - Concepción	bajo	alto	13 964,51
Cerrado - Amambay	bajo	alto	1 609,91
Ñeembucú	bajo	alto	16 148,85
Médanos	bajo	bajo	5 963,77
Chaco Húmedo	bajo	bajo	52 344,47
Total en kilómetros cuadrados			109 437,21

Fuente: Mapa elaborado en el taller con especialistas locales expertos en desertificación, seleccionados por la contraparte local del proyecto, sobre la base de la documentación cartográfica existente.

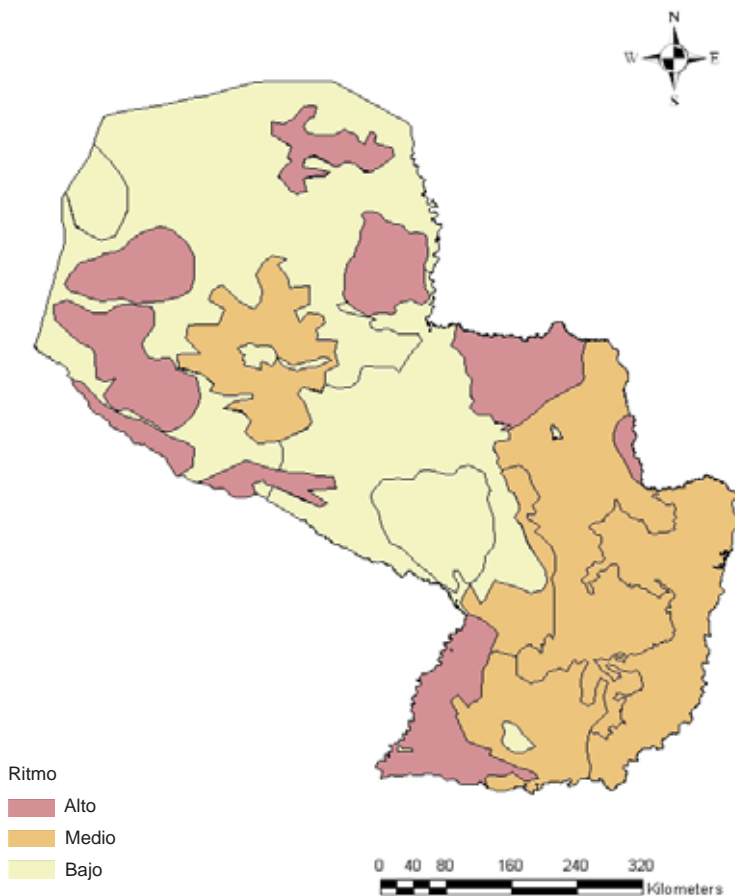
En lo tocante al ritmo de la degradación de las tierras y la desertificación, dos terceras partes (66,54 %) de la superficie paraguaya sufren dicho proceso en niveles altos (24,97%) o medios (41,56%). A este respecto, véanse el gráfico 11 y el mapa 18.

GRÁFICO 11
RITMO DE DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS Y DE DESERTIFICACIÓN EN EL PARAGUAY
(En porcentajes de superficie afectada)



Fuente: Mapa elaborado en el taller con especialistas locales expertos en desertificación, seleccionados por la contraparte local del proyecto, sobre la base de documentación cartográfica existente.

MAPA 18
MAPA DEL PROCESO DE DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS Y DESERTIFICACIÓN DEL PARAGUAY



Fuente: Mapa elaborado en el taller con especialistas locales expertos en desertificación, seleccionados por la contraparte local del proyecto, sobre la base de la documentación cartográfica existente.

De la información obtenida se desprende lo siguiente:

- La mayor parte de las zonas con un ritmo elevado de degradación de las tierras y de desertificación se concentra en los sectores del Chaco y del río Pilcomayo.
- Por otra parte, el sector del río Pilcomayo es el único sector definido por los expertos locales como zona con un alto nivel de degradación y que, al mismo tiempo, presenta un proceso acusado de degradación.
- Otro sector muy degradado y con un ritmo de degradación medio es el del Bosque Atlántico del Alto Paraná (en su sector con suelo de areniscas).

En el cuadro 31 se enumeran las zonas clasificadas por los expertos locales en función de su ritmo de degradación (alto, medio o bajo).

CUADRO 31
RITMO DE DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS Y DE DESERTIFICACIÓN
EN EL PARAGUAY (2009)

(En kilómetros cuadrados de superficie afectada)

Ritmo de degradación en las zonas degradadas: Alto		
Región	Nivel	Superficie en kilómetros cuadrados
Bahía Negra	moderado	6 821,53
La Patria (norte)	moderado	10 281,86
Cerrado - Concepción	bajo	13 964,51
Cerrado - Amambay	bajo	1 609,91
Ñeembucú	bajo	16 148,85
Pilcomayo	alto	8 264,71
La Patria (sur)	moderado	14 621,95
Fuerte Olimpo	moderado	9 961,59
Total		81 674,90
Ritmo de degradación en las zonas degradadas: Medio		
Región	Nivel	Superficie en kilómetros cuadrados
Pastizales del sur de la región Oriental	bajo	19 405,71
Bosque Atlántico del Alto Paraná Arenisca	alto	48 496,37
Central	moderado	10 109,12
Chaco Central	moderado	22 973,95
Bosque Atlántico del Alto Paraná (basalto)	moderado	34 938,88
Total		135 924,01
Ritmo de degradación en las zonas degradadas: Bajo		
Región	Nivel	Superficie en kilómetros cuadrados
Chaco Seco	moderado	103 388,83
Médanos	bajo	5 963,77
Lagunas saladas Jakare Sur	alto	456,53
Chaco Central (colonización antigua)	alto	1 069,83
Chaco Húmedo - Villa Hayes	moderado	16 242,67
Azotey	alto	137,19
Zona de canales de drenaje	alto	85,71
Zona Rural Antigua - Misiones	moderado	948,23
Chaco Húmedo	bajo	52 344,47
Total		180 637,22

Fuente: Mapa elaborado en el taller con especialistas locales expertos en desertificación, seleccionados por la contraparte local del proyecto, sobre la base de documentación cartográfica existente.

IV.4.2. La desertificación, degradación de tierras y el cambio climático

Para conocer los posibles efectos del cambio climático sobre la desertificación y la degradación de las tierras en el Paraguay, se han formulado y aplicado los indicadores siguientes sobre la base del escenario A2 de los modelos mundiales proporcionados por el IPCC.

IV.4.2.a. Número de meses secos

Este indicador refleja la relación existente entre las precipitaciones y la evapotranspiración, medida mensualmente. Estos meses secos revisten especial importancia para los suelos, ya que favorecen la erosión y la consiguiente pérdida de su capa superficial.

Según las estimaciones realizadas, basadas en el período que va del año 2010 al año 2100 en el escenario climático A2 (véase el cuadro 32), a la altura del año 2100, el número de meses secos afectaría a una superficie más extensa del país. En efecto, mientras que en el promedio del período 2001-2008 el 99,30% de la superficie del país tiene hasta 1 mes seco al año, en el período 2091-2100 se esperaría que esa superficie disminuyera al 31,37%.

CUADRO 32
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE AFECTADA POR MESES SECOS EN EL PARAGUAY
(En hectáreas)

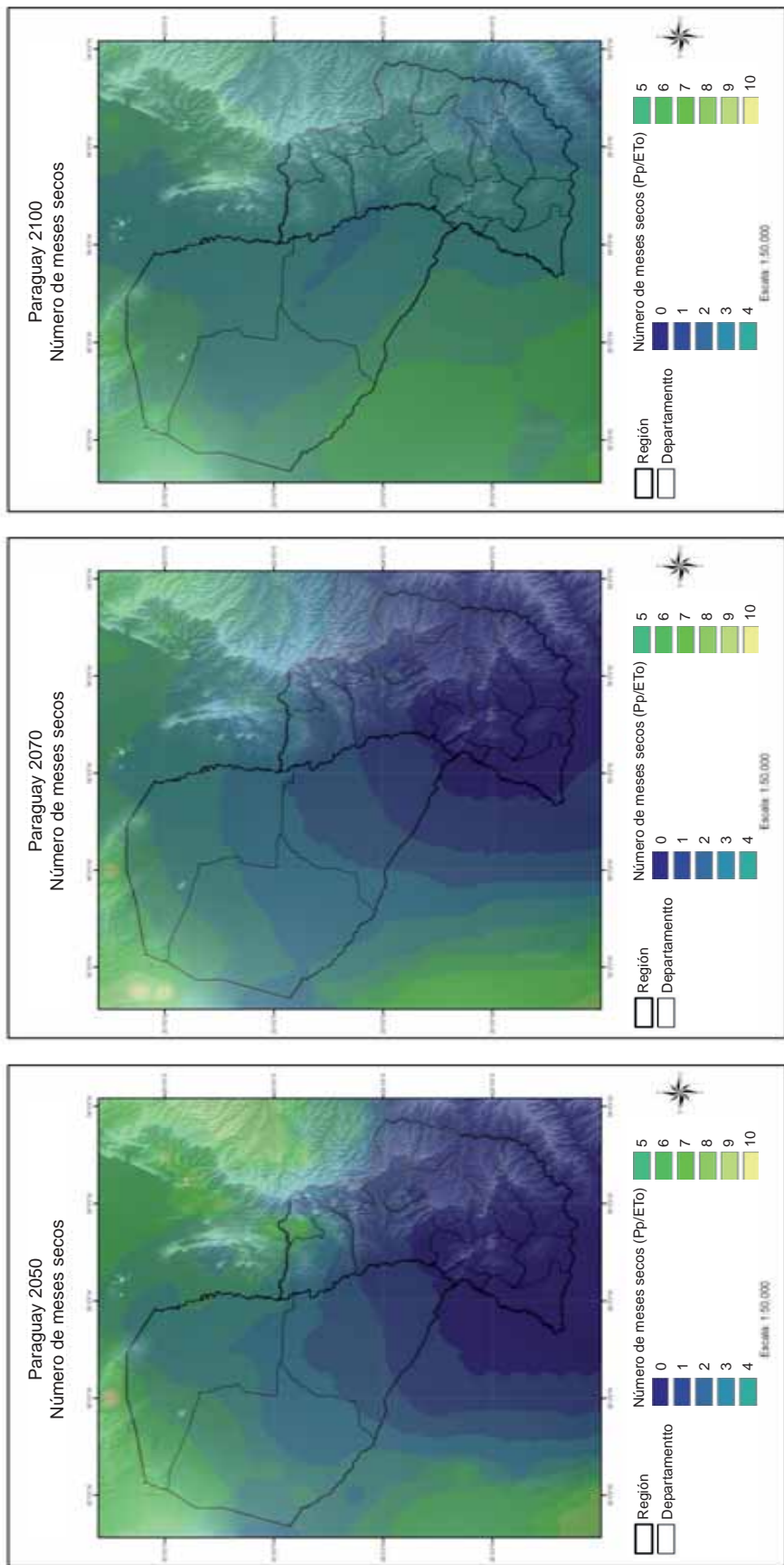
Número de meses secos	1	2	3	4	5
2001-2008	39 622 736	276 496	0	0	0
2046-2050	33 655 538	5 937 608	306 086	0	0
2091-2100	12 513 089	7 745 593	8 256 937	5 013 511	6 370 103

Fuente: Elaboración propia sobre la base de información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

Este proceso afectaría a todo el país, como se puede apreciar en el gráfico siguiente (véase el mapa 19), en el que se presenta la evolución de este proceso a través de cortes en los años 2050, 2070 y 2100.

MAPA 19
EVOLUCIÓN DEL NÚMERO DE MESES SECOS EN EL PARAGUAY EN LOS AÑOS 2050, 2070 Y 2100
EN EL ESCENARIO CLIMÁTICO A2



Fuente: Elaboración propia sobre la base de la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

IV.4.2.b. Índice de concentración de las precipitaciones

Este índice relaciona las precipitaciones mensuales con las anuales, lo que permite construir un índice con las cinco categorías siguientes:

- Uniforme
- Moderadamente estacional
- Estacional
- Altamente estacional
- Irregular

Como resultado del análisis del número de meses secos se ha podido observar que, a la altura del año 2100, las precipitaciones dejarían de ser uniformes para transformarse, en su mayoría, en moderadamente estacionales (véase el cuadro 33). Mientras que, conforme al promedio del período 2001-2008, las precipitaciones uniformes (todo el año) abarcan el 93,85% del territorio nacional, en el período 2096-2100 esa proporción se reduciría al 22,93%.

CUADRO 33
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE AFECTADA POR LA CONCENTRACIÓN DE
PRECIPITACIONES EN EL PARAGUAY
(En hectáreas)

Período	Uniforme	Moderadamente estacional
2001-2008	37 447 174	2 452 058
2046-2050	32 824 548	7 074 684
2096-2100	9 152 629	30 746 603

Fuente: Elaboración propia sobre la base de la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

IV.4.3. A modo de conclusión

- Conforme a los estudios realizados junto a los expertos locales, las zonas degradadas del Paraguay se extienden por el 72,52% de la superficie del país.
- En cuanto al ritmo de la degradación de las tierras y de desertificación, cabe señalar que dos tercios de la superficie del Paraguay (66,54%) sufren dicho proceso en niveles altos (24,97%) o medios (41,56%).
- El cambio climático agravaría más aún esa situación. Según las estimaciones realizadas, el número de meses secos afectaría, en 2100, a más superficie del país. Mientras que en el promedio del período 2001-2008 el 99,30% de la superficie presenta hasta 1 mes seco al año, se prevé que dicha superficie disminuya al 31,37% en el período 2091-2100.
- Análogamente, las precipitaciones estarían más concentradas. Mientras que en el promedio del período 2001-2008 se registran precipitaciones uniformes (todo el año) en el 93,85% del territorio nacional, en el período 2096-2100 esa proporción disminuiría al 22,93%.
- Esta situación se traduce en una mayor exposición de los suelos desnudos a procesos erosivos y, al mismo tiempo, en pérdidas en el rendimiento productivo de las tierras cultivadas.

IV.5. Análisis de la degradación de las tierras y la desertificación ante escenarios alternativos de cambio climático en el Perú

IV.5.1. La degradación de las tierras y la desertificación en el Perú

Desde hace unos años, el Gobierno del Perú realiza esfuerzos para elaborar información y cartografía pertinentes para el conocimiento de los procesos de deforestación, erosión y salinización, entre otros aspectos vinculados con la desertificación. No obstante, el país no contaba con un mapa actualizado que pudiera servir para identificar con precisión dónde y a qué ritmo se desarrollan los procesos de degradación de las tierras y de desertificación.

En el marco del proyecto conjunto de la CEPAL y el Mecanismo Mundial “Valoración económica de la degradación de las tierras ante escenarios alternativos de cambio climático”, y con el apoyo del Ministerio del Ambiente del Gobierno (MINAM) del Perú y su Punto Focal Nacional de la Convención de Lucha contra la Desertificación, se ha podido recopilar información y avanzar en la formulación de una cartografía y una base de datos que reflejen, de forma aproximada, este flagelo que afecta al país.

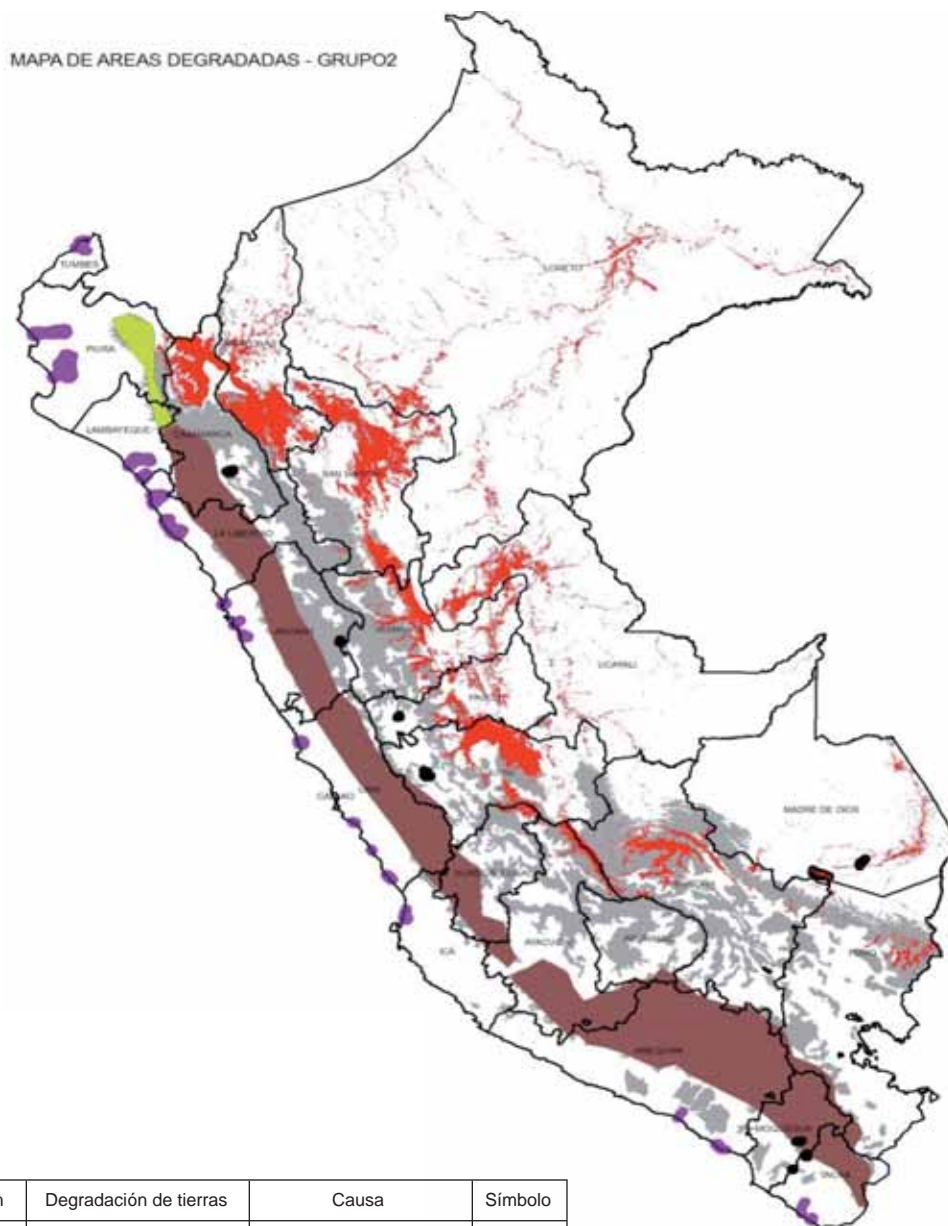
Entre los insumos del estudio destaca la realización del seminario “La degradación de tierras en el Perú. Contribuciones para el análisis del estado actual y su valoración económica” (Lima, mayo de 2010), que contó con la participación de más de 60 expertos de servicios públicos relacionados con este campo, técnicos, profesores universitarios y miembros de ONG y de cámaras de productores.

En la primera parte de ese seminario, que contó con la participación de la Viceministra del Ministerio del Ambiente, el Punto Focal Nacional de la CLD en el Perú y otras autoridades, se compartieron y reelaboraron bases de datos cartográficas de deforestación, salinización de suelos y zonas afectadas por la actividad minera, particularmente en la selva.

Después, se constituyeron dos grupos de trabajo, a los que se encomendó la identificación de zonas degradadas basándose en la información suministrada por el MINAM en la primera parte del seminario, así como aquella información proporcionada por los asistentes.

El primer grupo ubicó territorialmente las zonas afectadas principalmente por los tres procesos siguientes: la deforestación, la erosión y la salinización (véase el mapa 20).

MAPA 20
MAPA DE LAS ZONAS DEGRADADAS POR LA DEFORESTACIÓN, LA EROSIÓN
Y LA SALINIZACIÓN EN EL PERÚ (2010)



Región	Degradación de tierras	Causa	Símbolo
Costa	Salinización	Proyecto de desarrollo Riego	
Sierra	Erosión	Vertiente pacífico aridez y sobrepastoreo	
		Vertiente atlántico pendiente	
Selva	Deforestación	Agricultura pecuaria	

Fuente: Bases de datos y cartografía del Ministerio del Ambiente del Perú.

El segundo grupo elaboró un mapa sinóptico utilizando la división político-administrativa del país, en el que señaló los niveles de degradación de cada departamento del Perú teniendo en cuenta los efectos de la agricultura, la minería, la infraestructura y los procesos de deforestación (véanse el mapa 21 y los cuadros 34 y 35).

Este trabajo presenta mejores condiciones de aplicabilidad para el estudio de valoración económica de la degradación de los suelos habida cuenta de que la información agrícola se presenta con arreglo a la división administrativa del país. Los resultados del trabajo se presentan en el mapa y el cuadro siguientes.

MAPA 21 MAPA DE LA DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS Y LA DESERTIFICACIÓN EN EL PERÚ



Fuente: Ministerio del Ambiente-Perú, CEPAL, Mecanismo Mundial Seminario “La degradación de tierras en Perú”. Lima, Perú, 18 de mayo de 2010.

CUADRO 34
NIVELES DE DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS EN EL PERÚ (2010)

Departamento	Agríc.	Minería	Deforest.	Infraestr.	Suma	Índice	Nivel	Observación
Madre de Dios	1	4	4	2	11	2,75	ALTA	Degradación reciente en la cuenca del río Madre de Dios por minería informal y deforestación
Ancash	3	3	2	2	10	2,5	ALTA	Degradación por minería y desglaciación
Cajamarca	3	3	2	2	10	2,5	ALTA	Degradación por minería
Pasco	3	4	2	1	10	2,5	ALTA	Degradación por minería
Cusco	3	2	2	2	9	2,25	ALTA	Degradación por agricultura y minería
Junín	2	3	3	1	9	2,25	ALTA	Degradación por deforestación y minería
La Libertad	3	3	1	2	9	2,25	ALTA	Degradación por agricultura, salinización y minería
Lima	3	2	1	3	9	2,25	ALTA	Presión demográfica e infraestructura
Arequipa	2	3	1	2	8	2	MEDIA	Degradación por minería
Callao	1	3	0	4	8	2	MEDIA	Presión demográfica e infraestructura
Piura	2	3	1	2	8	2	MEDIA	Degradación por actividad extractiva (hidrocarburos)
Puno	3	3	1	1	8	2	MEDIA	Degradación por minería informal y sobrepastoreo
San Martín	2	1	4	1	8	2	MEDIA	Degradación por deforestación
Ayacucho	3	1	2	1	7	1,75	MEDIA	Degradación por cultivos ilícitos y sobrepastoreo
Huancavelica	3	2	1	1	7	1,75	MEDIA	Degradación por sobrepastoreo
Lambayeque	3	1	1	2	7	1,75	MEDIA	Degradación por salinización y deforestación de bosques secos
Moquegua	3	3	0	1	7	1,75	MEDIA	Degradación por minería
Tacna	3	3	0	1	7	1,75	MEDIA	Degradación por minería y sobreexplotación del acuífero
Ucayali	1	1	4	1	7	1,75	MEDIA	Degradación por deforestación
Amazonas	2	1	2	1	6	1,5	BAJA	Degradación por deforestación y prácticas de conservación de los suelos
Apurímac	3	1	1	1	6	1,5	BAJA	Degradación por sobrepastoreo y malas prácticas agrícolas
Huánuco	2	1	2	1	6	1,5	BAJA	Degradación por deforestación
Ica	3	2	0	1	6	1,5	BAJA	Degradación por explotación de aguas subterráneas
Loreto	1	1	3	0	5	1,25	BAJA	Degradación por deforestación
Tumbes	1	0	1	1	3	0,75	BAJA	Degradación por riego con agua contaminada

Fuente: Mapa elaborado en el taller con especialistas locales expertos en desertificación, seleccionados por la contraparte local del proyecto. Basado en la documentación cartográfica existente.

CUADRO 35
SUPERFICIE AFECTADA POR LA DEGRADACIÓN EN EL PERÚ, POR NIVEL DE
DEGRADACIÓN (2010)
(En hectáreas)

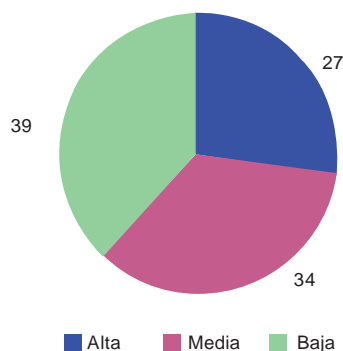
Departamento	Hectáreas	Nivel
Ancash	3 596 224,60	Alta
Cajamarca	3 304 465,55	Alta
Cusco	7 207 614,24	Alta
Junín	4 399 729,22	Alta
La Libertad	2 529 596,88	Alta
Lima	3 498 999,43	Alta
Madre de Dios	8 504 586,57	Alta
Pasco	2 411 394,89	Alta
Total	35 452 611,38	Alta

Departamento	Hectáreas	Nivel
Arequipa	6 325 588,94	Media
Ayacucho	4 350 381,78	Media
Callao	14 140,95	Media
Huancavelica	2 206 503,88	Media
Lambayeque	1 434 230,80	Media
Moquegua	1 580 730,98	Media
Piura	3 606 506,68	Media
Puno	6 796 281,70	Media
San Martín	5 096 125,90	Media
Tacna	1 608 306,71	Media
Ucayali	10 534 176,38	Media
Total	43 552 974,68	Media

Departamento	Hectáreas	Nivel
Amazonas	3 930 646,57	Baja
Apurímac	2 111 415,17	Baja
Huánuco	3 720 052,60	Baja
Ica	2 108 076,66	Baja
Loreto	37 511 598,87	Baja
Tumbes	469 026,01	Baja
Total	49 850 815,88	Baja

Fuente: Mapa elaborado en el taller con especialistas locales expertos en desertificación, seleccionados por la contraparte local del proyecto. Basado en la documentación cartográfica existente.

GRÁFICO 12
SUPERFICIE DE LAS TIERRAS EN EL PERÚ AFECTADA POR LA DEGRADACIÓN (2010)
(En porcentajes)



Fuente: Mapa elaborado en el taller con especialistas locales expertos en desertificación, seleccionados por la contraparte local del proyecto. Basado en la documentación cartográfica existente.

CUADRO 36
SUPERFICIE AFECTADA POR LA DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS EN EL PERÚ (2010)
(En kilómetros cuadrados y porcentajes)

Nivel	Hectáreas	Porcentaje
Alta	35 452 611,4	27,51
Media	43 552 974,7	33,80
Baja	49 850 815,9	38,69
Total	128 856 402	100,00

Fuente: Mapa elaborado en el taller con especialistas locales expertos en desertificación, seleccionados por la contraparte local del proyecto. Basado en la documentación cartográfica existente.

De estos cuadros y gráficos se desprende lo siguiente:

- La degradación de niveles alto o medio se extiende por más de la mitad del territorio peruano (61,31%) si se examina la superficie de los departamentos afectados (véase el gráfico 12).
- Las zonas descritas como más degradadas se concentran en el sector costero central, en la sierra central y en el departamento de Madre de Dios, en la selva (véase el mapa 21).
- La agricultura y la deforestación serían las actividades con mayor responsabilidad en el proceso de degradación de las tierras, sumando 59 y 54 puntos respectivamente, según la calificación otorgada por el colectivo de expertos locales (cuadro 38).
- La degradación de las tierras se manifiesta de manera diferente en las distintas zonas del país. En la costa, el principal proceso es la salinización; en la sierra, la erosión y la deforestación; y en la selva, la deforestación y contaminación por la actividad minera.

IV. 5.2. La desertificación, la degradación de las tierras y el cambio climático

Para conocer los posibles efectos del cambio climático sobre la desertificación y la degradación de las tierras en el Perú, se han formulado y aplicado los indicadores siguientes sobre la base del escenario A2 de los modelos mundiales proporcionados por el IPCC.

IV.5.2.a. Número de meses secos

Este indicador expresa la relación existente entre las precipitaciones y la evapotranspiración, medida mensualmente. Estos meses secos revisten especial importancia para los suelos, ya que favorecen la erosión y la consiguiente pérdida de su capa superficial.

Según las estimaciones realizadas, con arreglo al escenario A2 del IPCC, hacia el año 2100 el número de meses secos afectaría a una mayor superficie del país. En efecto, mientras que en el promedio del período 2001-2008 854.000 kilómetros cuadrados tienen hasta 1 mes seco al año, en el período 2096-2100 se espera que esa superficie disminuya a 589.200 kilómetros cuadrados (véase el cuadro 37). Asimismo, se aprecia un posible aumento de la superficie afectada por dos, tres o cuatro meses secos en ese mismo período.

CUADRO 37
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE AFECTADA POR EL NÚMERO DE MESES SECOS
(En kilómetros cuadrados)

Núm. de meses	2001-2008	2046-2050	2096-2100
0	854 000	856 400	589 200
1	36 800	42 800	116 800
2	25 600	20 400	136 800
3	20 000	21 600	60 800
4	15 600	15 600	43 600
5	13 200	13 200	24 800
6	13 600	13 200	25 200
7	15 200	19 200	28 000
8	14 400	13 600	16 400
9	16 400	14 000	11 600
10	9 600	9 600	7 200
11	31 200	10 000	4 400
12	0	16 000	800
Total	1 065 600	1 065 600	1 065 600

Fuente: Elaboración propia sobre la base de la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

Este fenómeno afectaría particularmente a las zonas con un nivel alto de degradación. En el cuadro 38 se muestra que en esas zonas, que en el período 2001-2008 contaban de media con un 82,09% de su superficie caracterizado por menos de un mes seco, ese porcentaje se reduciría al 42,88% en el período 2096-2100. En el mapa 22, que se presenta en la página siguiente, se muestra lo expuesto precedentemente.

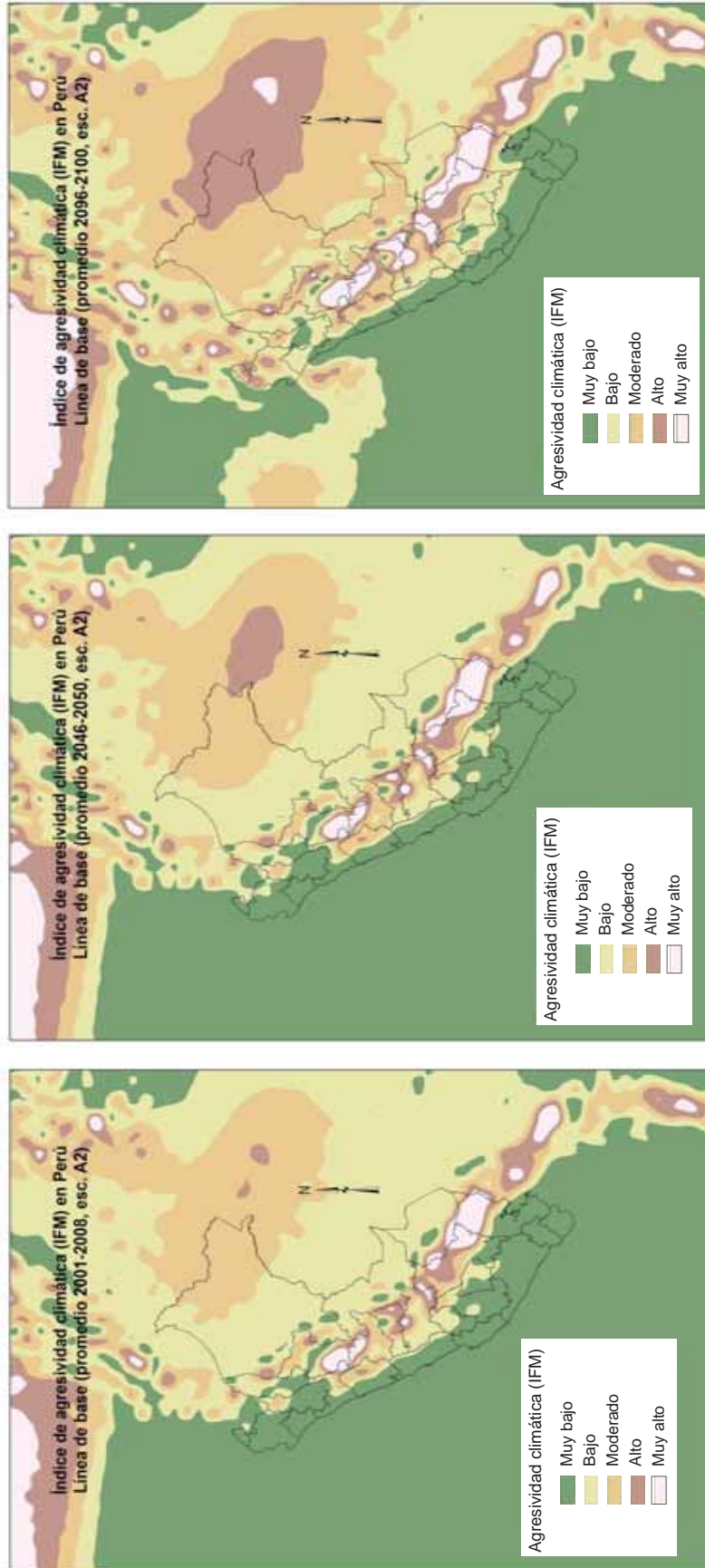
CUADRO 38
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE AFECTADA POR EL NÚMERO DE MESES SECOS
EN LASTIERRAS CON UN NIVEL ALTO DE DEGRADACIÓN
(En porcentajes)

Núm. de meses	2001-2008	2046-2050	2096-2100
0	82,09	82,36	42,88
1	5,02	6,51	13,16
2	2,99	2,31	20,90
3	3,26	2,85	11,40
4	0,95	0,68	6,11
5	0,68	0,68	2,58
6	0,95	0,81	1,49
7	1,22	1,22	0,95
8	0,95	0,81	0,41
9	0,54	0,54	0,14
10	0,27	0,14	0,00
11	1,09	0,68	0,00
12	0,00	0,41	0,00
Total	100,00	100,00	100,00

Fuente: Elaboración propia sobre la base de la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

MAPA 22
EVOLUCIÓN DEL NÚMERO DE MESES SECOS EN EL PERÚ: PROMEDIO DE LOS PERÍODOS
2001-2008, 2046-2050 Y 2096-2100 EN EL ESCENARIO CLIMÁTICO A2



Fuente: Elaboración propia sobre la base de la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

IV.5.2.b. Índice de concentración de las precipitaciones (ICP)

Este índice relaciona las precipitaciones mensuales con las anuales y las clasifica en las cinco categorías siguientes:

- Uniforme
- Moderadamente estacional
- Estacional
- Altamente estacional
- Irregular

Al analizar el número de meses secos se ha podido apreciar que, en el período 2096-2100, las precipitaciones dejarían de ser uniformes para pasar a moderadamente estacionales en su mayoría. En efecto, mientras que, en el promedio del período 2001-2008, las precipitaciones uniformes (todo el año) son características de 858.400 kilómetros cuadrados, en el período 2096-2100 esa superficie se reduciría a 451.200 kilómetros cuadrados (véanse el cuadro 39 y el mapa 23).

CUADRO 39
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE AFECTADA POR EL ÍNDICE DE CONCENTRACIÓN
DE LAS PRECIPITACIONES, POR NIVEL DE DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS,
EN EL PERÚ EN EL ESCENARIO CLIMÁTICO A2
(En kilómetros cuadrados)

2001-2008	Alta	Media	Baja	Total
Uniforme	201 200	261 600	395 600	858 400
Moderadamente estacional	93 600	103 200	10 400	207 200
Total	294 800	364 800	406 000	1 065 600
2046-2050	Alta	Media	Baja	Total
Uniforme	198 400	261 600	396 400	856 400
Moderadamente estacional	96 400	103 200	9 600	209 200
Total	294 800	364 800	406 000	1 065 600
2096-2100	Alta	Media	Baja	Total
Uniforme	42 400	61 600	347 200	451 200
Moderadamente estacional	250 800	274 800	56 000	581 600
Estacional	1 600	18 000	1 200	20 800
Altamente estacional	0	10 400	1 600	12 000
Total	294 800	364 800	406 000	1 065 600

Fuente: Elaboración propia sobre la base de la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

Si se consideran exclusivamente las zonas con un nivel alto de degradación de las tierras, se observa una situación similar (véase el cuadro 40).

CUADRO 40
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE CONCENTRACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES EN
LAS ZONAS CON UN ALTO NIVEL DE DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS
EN EL PERÚ EN EL ESCENARIO CLIMÁTICO A2
(Superficie expresada en porcentajes)

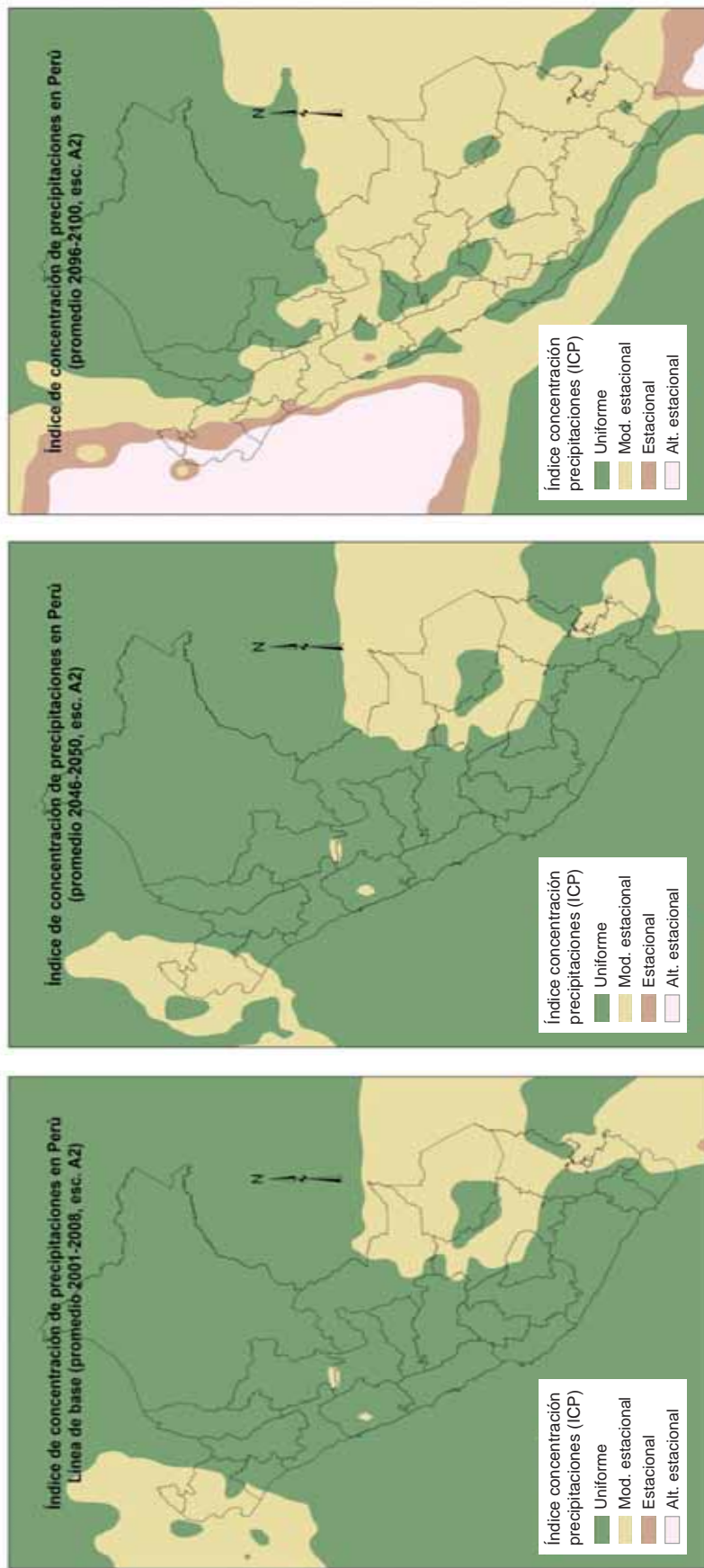
2001-2008		Alta
Uniforme	201 200	68,25%
Moderadamente estacional	93 600	31,75%
Total	294 800	100,00%
2046-2050		Alta
Uniforme	198 400	67,30%
Moderadamente estacional	96 400	32,70%
Total	294 800	100,00%
2096-2100		Alta
Uniforme	42 400	14,38%
Moderadamente estacional	250 800	85,07%
Estacional	1 600	0,54%
Altamente estacional	0	0,00%
Total	294 800	100,00%

Fuente: Elaboración propia sobre la base de la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

Mientras que en el período 2001-2008 un 68,25 % de la superficie de los departamentos con un alto nivel de degradación de las tierras presentaba un régimen de precipitaciones uniforme, este porcentaje se reduciría a un 14,38% en el período 2096-2100.

MAPA 23
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE CONCENTRACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES EN EL PERÚ: PROMEDIO DE LOS PERÍODOS 2001-2008, 2046-2050 Y 2096-2100 EN EL ESCENARIO A2



Fuente: Elaboración propia sobre la base de la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

IV.5.2.c. Índice de aridez

Este índice, que mide la relación anual entre las precipitaciones y la evapotranspiración, no reflejaría grandes cambios al relacionar los tres promedios de los períodos analizados para todo el país (véase el cuadro 41).

CUADRO 41
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE, POR NIVEL DE ARIDEZ, EN EL PERÚ CON ARREGLO
A LOS NIVELES DE DEGRADACIÓN EN EL ESCENARIO A2
(En kilómetros cuadrados)

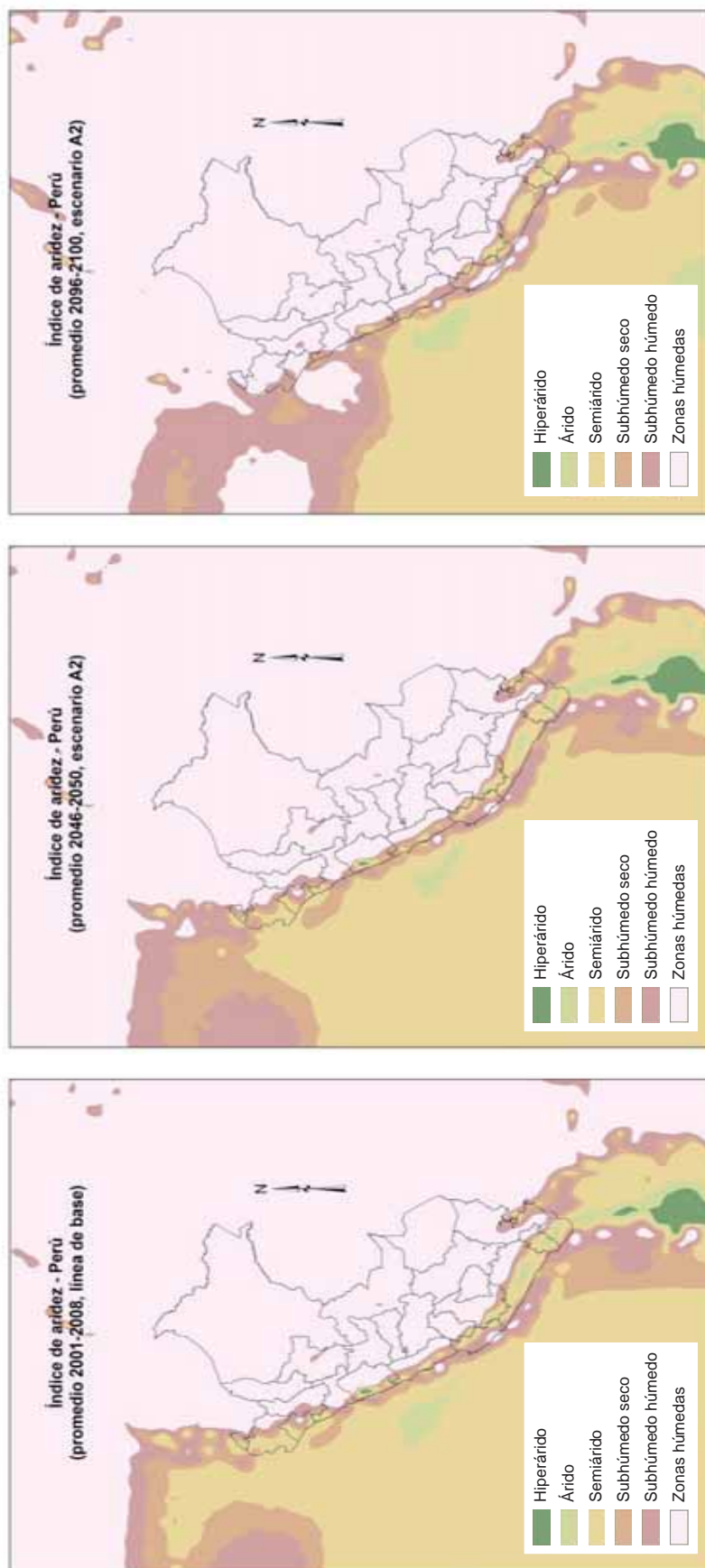
Aridez 2001-2008	Alta	Media	Baja	Total
Hiperárida	1 200	800	0	2 000
Árida	800	10 800	400	12 000
Semiárida	10 000	56 800	8 000	74 800
Subhúmeda seca	11 600	18 400	2 800	32 800
Subhúmeda húmeda	13 200	32 800	8 400	54 400
Húmeda	258 000	245 200	386 400	889 600
Total	294 800	364 800	406 000	1 065 600
Aridez 2046-2050	Alta	Media	Baja	Total
Hiperárida	800	400	0	1 200
Árida	1 200	9 600	400	11 200
Semiárida	8 800	52 000	7 200	68 000
Subhúmeda seca	11 600	22 400	2 800	36 800
Subhúmeda húmeda	15 200	36 000	8 800	60 000
Húmeda	257 200	244 400	386 800	888 400
Total	294 800	364 800	406 000	1 065 600
Aridez 2096-2100	Alta	Media	Baja	Total
Hiperárida	0	0	0	0
Árida	0	2 800	0	2 800
Semiárida	3 600	34 000	3 600	41 200
Subhúmeda seca	2 800	16 800	2 400	22 000
Subhúmeda húmeda	20 400	35 200	6 800	62 400
Húmeda	268 000	276 000	393 200	937 200
Total	294 800	364 800	406 000	1 065 600

Fuente: Elaboración propia sobre la base de la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

La cartografía elaborada es consonante con lo señalado (véase el mapa 24).

MAPA 24
**EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE ARIDEZ EN EL PERÚ, PROMEDIO DE LOS PERÍODOS
 2001-2008, 2046-2050 Y 2096-2100 EN EL ESCENARIO A2**

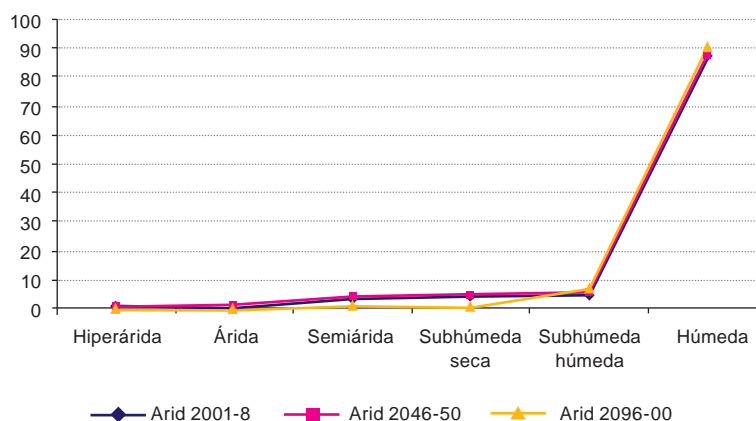


Fuente: Elaboración propia sobre la base de la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

En el gráfico 13 se muestra que tampoco hay variaciones significativas en las zonas descritas como zonas con un nivel alto de degradación.

GRÁFICO 13
EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE LA SUPERFICIE DE LAS ZONAS CON UN ALTO NIVEL DE DEGRADACIÓN, POR NIVEL DE ARIDEZ, EN EL PERÚ EN EL ESCENARIO A2



Fuente: Elaboración propia sobre la base de la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

IV.5.2.d. Índice de agresividad climática (Índice de Fournier modificado)

Este índice relaciona la ocurrencia de precipitaciones con el promedio anual de estas. En otras palabras, mide la intensidad de ocurrencia de precipitaciones, lo que reviste importancia para los suelos, ya que las lluvias intensas favorecen los procesos erosivos, muy especialmente en las zonas con grandes pendientes.

El análisis comparativo de la evolución de este índice en los períodos examinados muestra una ligera tendencia a que aumente la superficie afectada por niveles muy altos y a una ligera reducción de la superficie con un nivel muy bajo en cuanto a la agresividad climática definida por el índice respectivo (véase el cuadro 42).

CUADRO 42
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE AFECTADA POR EL ÍNDICE DE AGRESIVIDAD CLIMÁTICA EN EL PERÚ, POR NIVEL DE DEGRADACIÓN, EN EL ESCENARIO A2
(En kilómetros cuadrados)

2001-2008	Alta	Media	Baja	Total
Muy bajo	81 600	190 800	50 000	322 400
Bajo	102 800	106 000	212 000	420 800
Moderado	44 800	27 600	130 800	203 200
Alto	42 400	13 200	7 200	62 800
Muy alto	23 200	27 200	6 000	56 400
Total	294 800	364 800	406 000	1 065 600

(continúa)

Cuadro 42 (conclusión)

2046-2050	Alta	Media	Baja	Total
Muy bajo	83 200	185 200	45 600	314 000
Bajo	99 600	108 800	189 600	398 000
Moderado	44 800	29 600	154 000	228 400
Alto	40 000	15 200	10 800	66 000
Muy alto	27 200	26 000	6 000	59 200
Total	294 800	364 800	406 000	1 065 600

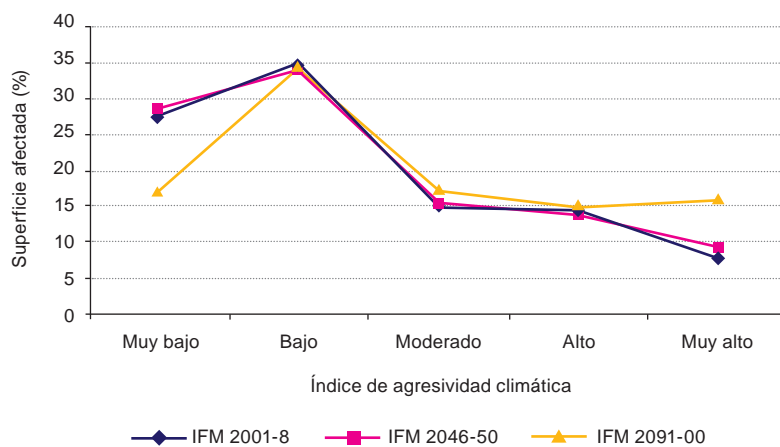
2091-2100	Alta	Media	Baja	Total
Muy bajo	50 800	117 600	23 200	191 600
Bajo	102 000	92 800	82 400	277 200
Moderado	51 200	88 800	212 800	352 800
Alto	44 000	28 400	78 800	151 200
Muy alto	46 800	37 200	8 800	92 800
Total	294 800	364 800	406 000	1 065 600

Fuente: Elaboración propia sobre la base de la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

En cuanto a las zonas con un nivel alto de degradación de las tierras, la evolución del índice presenta ligeras modificaciones. Mientras que, en el período 2001-2008, el 27,68% de las zonas presentaba un índice de Fournier modificado muy bajo, ese porcentaje descendería al 17,23% en el período 2096-2100 en el escenario A2 (véanse el gráfico 14 y el cuadro 43).

GRÁFICO 14
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE AFECTADA POR EL ÍNDICE DE AGRESIVIDAD CLIMÁTICA EN EL PERÚ, POR NIVEL DE DEGRADACIÓN, EN EL ESCENARIO A2
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

CUADRO 43
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE AFECTADA POR EL ÍNDICE DE AGRESIVIDAD CLIMÁTICA EN EL PERÚ, POR NIVEL DE DEGRADACIÓN, EN EL ESCENARIO A2
(En porcentajes)

2001-2008	Alta	En porcentajes
1	Muy bajo	27,68
2	Bajo	34,87
3	Moderado	15,20
4	Alto	14,38
5	Muy alto	7,87
Total		100,00

2046-2050	Alta	En porcentajes
1	Muy bajo	28,22
2	Bajo	33,79
3	Moderado	15,20
4	Alto	13,57
5	Muy alto	9,23
Total		100,00

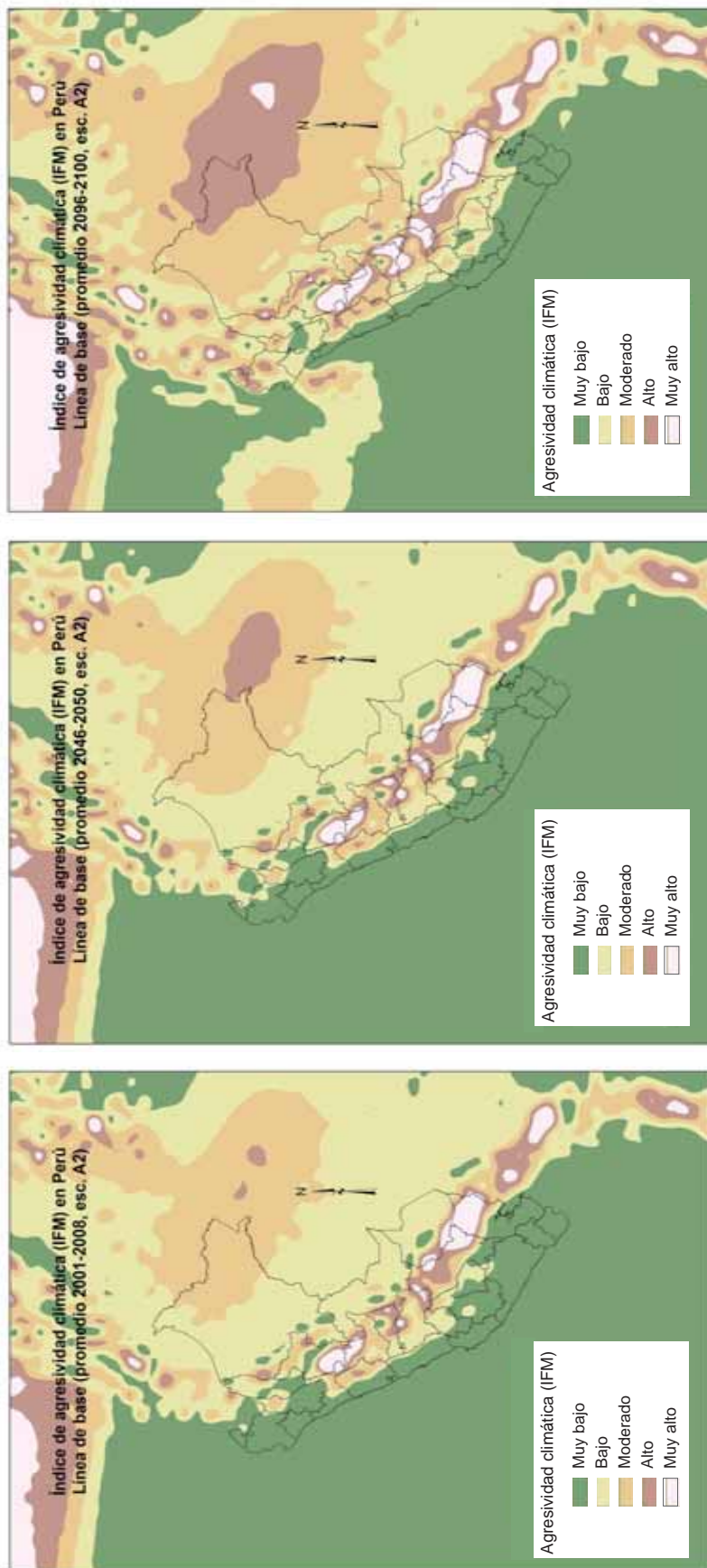
2091-2100	Alta	En porcentajes
1	Muy bajo	17,23
2	Bajo	34,60
3	Moderado	17,37
4	alto	14,93
5	Muy alto	15,88
Total		100,00

Fuente: Elaboración propia sobre la base de la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

Se presenta, a continuación, la cartografía correspondiente a la evolución de este índice, según los períodos seleccionados, en el escenario A2 del IPCC (véase el mapa 25).

MAPA 25
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE AGRESIVIDAD CLIMÁTICA EN EL PERÚ. PROMEDIO DE LOS PERÍODOS
2001-2008, 2046-2050 Y 2096-2100 EN EL ESCENARIO CLIMÁTICO A2



Fuente: Elaboración propia sobre la base de la información climatológica del INPE (modelo PRECIS).

Nota: La línea de base fue elaborada a partir del modelo climático utilizado.

IV.5.3. A modo de conclusión

1. De acuerdo a los estudios realizados junto a los expertos locales, si se considera la superficie de los departamentos afectados, las zonas degradadas del Perú con un nivel alto o medio ocupan más de la mitad del territorio peruano (61,31%).
2. De los cuatro indicadores analizados para examinar los efectos del cambio climático sobre las s degradadas en el escenario A2 del IPCC se desprende lo siguiente:
 - a) Las zonas degradadas estarían afectadas por más meses secos, lo que se traduce en una mayor vulnerabilidad de la cubierta vegetal. En efecto, en los departamentos con un nivel alto de degradación de las tierras que, en el período 2001-2008, contaban de media con un 82,09% de su superficie con menos de 1 mes seco, esa cifra se reduciría al 42,88% en el período 2096-2100. Análogamente, se observa un posible incremento en las zonas que contarán, al final del siglo, con dos y tres meses secos.
 - b) Según el análisis anterior, las precipitaciones se concentrarían en menos meses en las zonas más degradadas. Mientras que, en el período 2001-2008, un 68,25% de la superficie ocupada por departamentos con un nivel alto de degradación de las tierras tenía un régimen de precipitaciones uniforme, ese porcentaje se reduciría a un 14,38% en el período 2096-2100.
 - c) Por otra parte, según la aplicación del índice de Fournier modificado, o índice de agresividad climática, en el escenario A2. las precipitaciones tendrían efectos erosivos ligeramente mayores por su intensidad y concentración, . A este respecto cabe señalar que, mientras en el período 2001-2008 el 27,68% de las zonas con un mayor nivel de degradación presentaba un índice de Fournier modificado muy bajo, ese porcentaje descendería al 17,23% en el período 2096-2100. Por lo demás, el 7,87% de esa superficie, que en el período 2001-2008 presentaba un índice calificado de muy alto, aumentaría en el período 2096-2100 y llegaría a un 15,88% de la superficie de los departamentos considerados altamente degradados.
 - d) Por último, no se aprecian cambios significativos al aplicar el índice de aridez, en el escenario A2, en los períodos mencionados.
3. A modo de conclusión puede apuntarse que, en los departamentos que se consideran afectados por un mayor nivel de degradación de las tierras, los suelos estarían expuestos a períodos de déficit hídrico más prolongados.

V. Conclusiones

En términos generales, si consideramos los cambios climáticos que acontecerían entre los períodos 2001-2008 y 2096-2100 en el escenario A2 determinado por el IPCC, en los países estudiados, salvo algunos casos particulares, las zonas desertificadas y degradadas se verían afectadas por el cambio climático, principalmente a consecuencia del incremento del número de meses con un balance hídrico negativo o bien con precipitaciones más concentradas, y tendría lugar un aumento de la superficie con niveles de aridez mayores.

Esta situación generaría una mayor vulnerabilidad en las tierras de Chile, el Perú, el Paraguay y Colombia, y podría poner en peligro la cubierta vegetal de los suelos y ocasionar un aumento de los procesos erosivos y, por ende, de la degradación de las tierras y de la desertificación.

Se insiste, una vez más, en que el estudio aisló el componente clima del conjunto de factores que causan la desertificación y la degradación de las tierras. Son justamente las actividades humanas las que habitualmente tienen un peso mayor en estos procesos. Por lo tanto, que un país se vea poco afectado por el cambio climático no significa que la desertificación se detenga o disminuya.

Por último, dados los niveles de incertidumbre inherentes a las proyecciones climáticas de los modelos mundiales, así como a las limitaciones de la cartografía existente en lo tocante a la desertificación en la región, se exponen, a continuación, las conclusiones siguientes para los países estudiados, que son necesariamente preliminares.

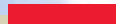
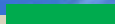
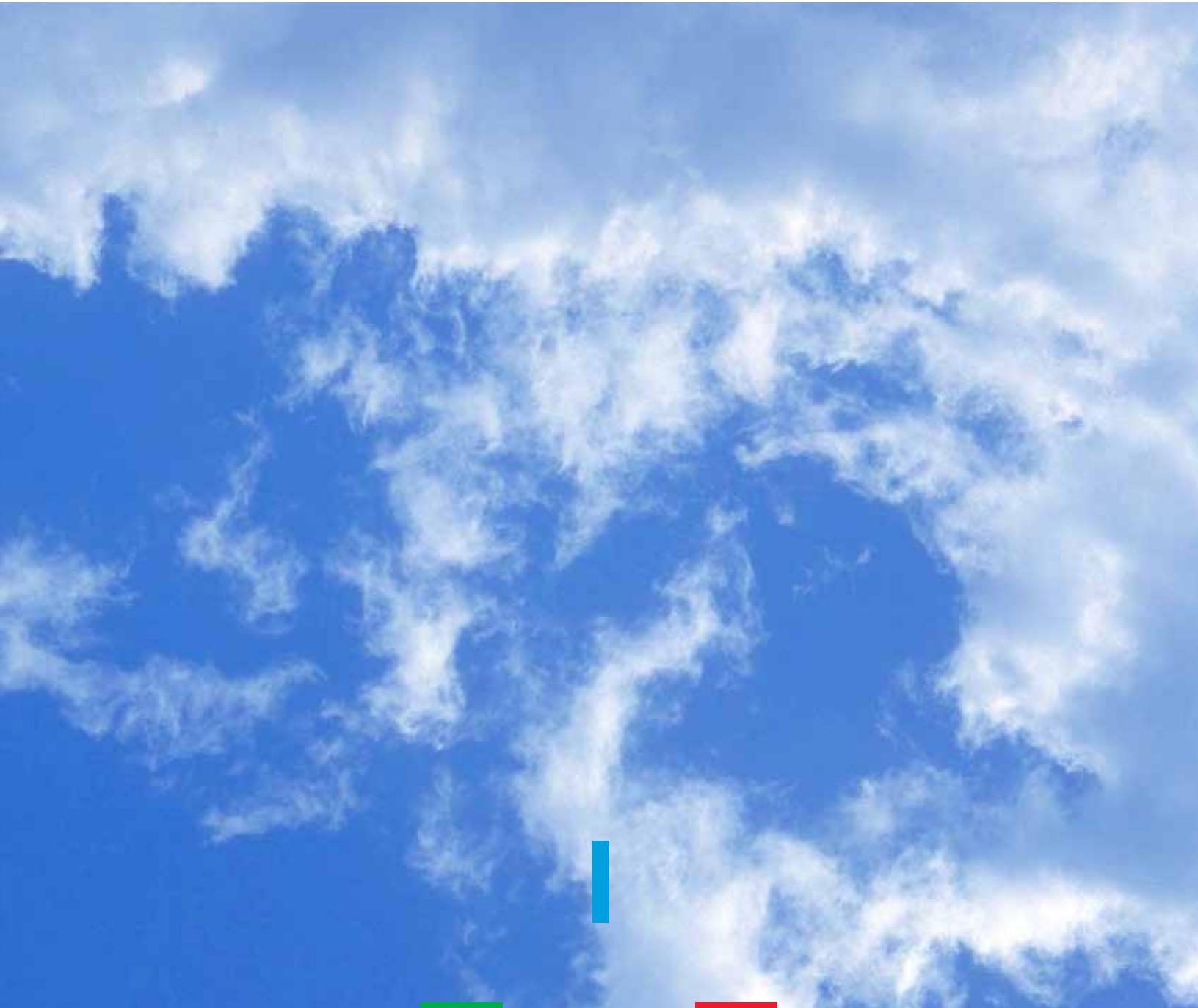
1. En la Argentina, las tierras secas recibirían precipitaciones con una distribución anual más homogénea. Así, en el período 2096-2100, el 48% de las tierras secas tendría lluvias uniformemente repartidas a lo largo del año, en comparación con el 26% en el período 2001-2008. No se esperan cambios significativos en la intensidad de las precipitaciones.
2. En el estudio a nivel local realizado en las provincias de Mendoza y Catamarca no se aprecian cambios en los niveles de aridez. Con respecto a los meses en los que el balance hídrico es negativo (meses secos), en Catamarca tendría lugar una disminución de las situaciones extremas en el período 2096-2100, en tanto que en Mendoza aumentaría la superficie con mayor número de meses secos.

3. En Chile, en las zonas más gravemente desertificadas (nivel grave), las tierras estarían expuestas a precipitaciones concentradas en menos meses a lo largo del año. En efecto, durante el período 2096-2100, el 49,35% de su superficie presentaría precipitaciones estacionales, mientras que, en el período que constituye la línea de base (2001-2008), la superficie expuesta a esa situación era inexistente (0%).
4. Las precipitaciones mantendrían un nivel de intensidad semejante, mientras que los niveles de aridez sufrirían cambios: las partes con un nivel grave de desertificación correspondientes a zonas áridas y semiáridas pasarían del 47,02% en 2001-2008 al 63,31% en 2096-2100.
5. En Colombia, a excepción de la península de La Guajira, que está fuera del territorio para el que se dispone de datos climáticos, las zonas desertificadas que en 2001-2008 contaban con solo 1 mes de balance hídrico negativo (95,63%, casi la totalidad de las zonas desertificadas), se reducirían a la mitad (46,45%) en el período 2096-2100, incrementándose, como consecuencia de este proceso, las zonas con 2, 3 o 4 meses secos.
6. En el mismo período, la superficie caracterizada por un nivel uniforme de concentración de las precipitaciones disminuiría significativamente y pasaría del 99,45% en 2001-2008 a solo el 42,62% en el último período analizado.
7. En el Paraguay, el número de meses secos afectaría en 2100 a una superficie mayor del país. Mientras que en el promedio del período 2001-2008 el 99,30% de la superficie tiene hasta 1 mes seco al año, se espera que esa superficie disminuya al 31,37% en el período 2091-2100.
8. De la manera análoga, las precipitaciones estarían más concentradas. Mientras que en el promedio del período 2001-2008 las precipitaciones uniformes (todo el año) abarcan el 93,85% del territorio nacional, en el período 2096-2100 esa proporción se reduciría al 22,93%.
9. En el Perú, en los departamentos que se considera que tienen un mayor nivel de degradación de las tierras, los suelos estarían expuestos a períodos de déficit hídrico más prolongados como consecuencia del cambio climático, lo que generaría mayores pérdidas biológicas y económicas.
10. Las precipitaciones se concentrarían en pocos meses. Mientras que en el período 2001-2008 un 68,25% de la superficie correspondiente a departamentos con un alto nivel de degradación de las tierras presentaba un régimen de precipitaciones uniforme, ese porcentaje se reduciría a un 14,38 % en el período 2096-2100.

Bibliografía

- Arnoldus, H. M. (1980), “An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation”, en M. De Boedt y D. Gabriels (eds.), *Assessment of erosion*, John Wiley and Sons, Inc., Chichester.
- Centro del Agua para zonas áridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC) (2006), “Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe”. Programa Hidrológico Internacional, UNESCO, Documento Técnico N° 3, La Serena (Chile).
- Chou, S. C. , J. A. Marengo, A. A. Lyra, G. Sueiro, J. F. Pesquero, L. M. Alves, G. Kay, R. Betts, D. J. Chagas, J. L. Gomes, J. F. Bustamante y P. Tavares, (2011), “Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs”, en *Climate Dynamics*, vol. 38, N° 3 y 4, Springer-Verlag, Berlín-Heidelberg.
- Hadley Centre (2004), “Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS Handbook”, Exeter.
- Hassan, H. y H. E. Dregne (1997), *Natural Habitats and Ecosystems Management in Drylands: an overview*. Natural Habitats and Ecosystems Management Series. *Environment Department Papers*, Banco Mundial, Washington, D.C.
- Mendelshon, Robert *et al.* (2009), “A Ricardian analysis of Mexican farms”, en *Environment and Development Economics*, N° 15, págs. 153–171, Cambridge University Press, Cambridge.
- Middleton N. y D. Thomas (eds.) (1997), *World Atlas of Desertification*, Second Edition, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Nairobi.
- Nakicenovic, Nebojsa y Rob Swart (eds.) (2000), “Emission Scenarios”, IPCC, Cambridge University Press, Cambridge.
- Núñez, M. N., S. Solman, y M. F. Cabré (2009), “Regional climate change experiments over Southern South America. II: Climate change scenarios in the late twenty first century”, en *Climate Dynamics*, volumen 32, Núms. 7 y 8, junio de 2009, págs. 901 a 1186, Springer-Verlag, Berlín-Heidelberg.
- Oliver, J. E. (1980), “Monthly precipitation distribution: A comparative Index”, en *The Professional Geographer*, vol. 32, N° 3, págs. 300 a 309.
- Pickup, G. (1998), “Desertification and climate change-the Australian perspective”, en *Climate Research*, vol. 11, págs. 51 a 63.
- Sivakumar, Mannava V. K. y Ndiang’iu Ndegwa (eds.) (2007), *Climate and Land Degradation*, Environmental Science and Engineering Series XXVI, Ed. Springer-Verlag, Berlín-Heidelberg.
- Solman, S., M. N. Núñez, y M. F. Cabré (2008), “Climate change experiments over southern South America. I: Present climate”, en *Climate Dynamics*, publicado en Internet el 5 de septiembre de 2007. En la edición impresa: vol. 30, N° 5, 2008, Springer-Verlag, Berlín-Heidelberg.
- Sörensson, A. A., C. G. Menéndez, R. Ruscica, P. Alexander, P. Samuelsson y U. Willén (2010), “Projected precipitation changes in South America: a dynamical downscaling within CLARIS”, en *Meteorologische Zeitschrift*, volumen 19, N° 4, págs. 347-355.

- Sörensen, Levke, Anneke Trux, Anselm Duchrow y Reinhard Bodemeyer (2009), *Running dry? Climate change in drylands and how to cope with it*, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), Oekom Verlag.
- Stroonsijder, Leo (2007): “Rainfall and Land Degradation”, en Sivakumar, Mannava V.K. y Ndegwa Ndiang’ui (eds.) (2007), en *Climate and Land Degradation*, Environmental Science and Engineering Series XXVI, Ed. Springer-Verlag, Berlín-Heidelberg.
- Verstraete, M. M. *et al.* (2011), “Towards a Global Drylands Observing System: Observational Requirements and Institutional Solutions”, en *Land Degradation & Development*, vol. 22, N° 2, págs. 198 a 213, Wiley-Blackwell.
- Williams, Martin (2001), “Interactions of desertification and climate: Present understanding and future research imperatives”, en *Arid lands newsletter*, N° 49, mayo-junio de 2001.



Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)
Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC)
www.cepal.org