

Los costos de la inacción ante la desertificación y degradación de las tierras en escenarios alternativos de cambio climático



César Morales



NACIONES UNIDAS

CEPAL



UNITED NATIONS CONVENTION
TO COMBAT DESERTIFICATION

Los costos de la inacción ante la desertificación y degradación de las tierras en escenarios alternativos de cambio climático

César Morales



NACIONES UNIDAS

CEPAL



UNITED NATIONS CONVENTION
TO COMBAT DESERTIFICATION

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad del autor y pueden no coincidir con las de la organización.

Economistas: Zoraida Aranibar, Stephanie Agar, Leonardo Mora y Rodrigo Morera,
Ingenieros agrónomos: George Kerrigan (economista agrario), Luis López Cordovez, y Matías Rebolledo
Geógrafos: David Candia y Guillermo Dascal
Socióloga: Soledad Parada
Estadística: Ninoska Damianovic
Ingeniero de sistemas: Ricardo Estupiñán
La coordinación de este equipo de especialistas estuvo a cargo de César Morales.

Índice

Introducción.....	9
I. Los estudios sobre el valor de la desertificación y la degradación de las tierras.....	11
A. Introducción.....	11
B. Antecedentes.....	12
C. La situación en América Latina y el Caribe.....	14
1. Aspectos conceptuales.....	17
II. La valorización de los costos de la desertificación y degradación de las tierras.....	19
A. Metodología y antecedentes.....	19
1. Metodología.....	19
2. Antecedentes.....	19
B. El modelo básico.....	20
1. Análisis agregado.....	21
2. Análisis desagregado.....	22
3. Otras posibilidades que ofrece el modelo.....	23
C. Series temporales.....	24
1. Metodología.....	24
2. Las pruebas realizadas.....	25
3. La información.....	27
III. Los resultados.....	31
A. Introducción.....	31
B. Una visión regional.....	32
1. Bolivia (Estado Plurinacional de).....	32
2. Chile.....	40
3. Ecuador.....	48
4. Perú.....	52
5. Perú, región de Piura.....	58
6. Paraguay.....	69
7. Centroamérica.....	87
8. Antecedentes por países.....	88
9. Conclusiones.....	90
Bibliografía.....	93

Índice de cuadros

Cuadro 1	MUNDO Y NUEVE PAÍSES DE ÁFRICA SUBSAHARIANA: COSTOS ANUALES DE LA DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS	14
Cuadro 2	AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (12 PAÍSES): COSTOS DE LA DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS	15
Cuadro 3	AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (23 PAÍSES): ESTIMACIONES DE LAS PÉRDIDAS POR DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS MEDIDAS EN TONELADAS DE CARBONO.....	16
Cuadro 4	LAS TIERRAS SECAS EN EL MUNDO.....	16
Cuadro 5	POBLACIÓN MUNDIAL EN TIERRAS SECAS	17
Cuadro 6	CRITERIOS Y PRUEBAS PARA ESTABLECER LA VALIDEZ DE LAS ESTIMACIONES.....	25
Cuadro 7	AMÉRICA DEL SUR Y CENTROAMÉRICA (12 PAÍSES): COSTO DE LA DEGRADACIÓN Y DESERTIFICACIÓN DE LAS TIERRAS COMO PROPORCIÓN DEL PRODUCTO INTERNO BRUTO AGRÍCOLA. LÍNEA DE BASE Y AÑOS 2050 Y 2100, ESCENARIO A2.....	32
Cuadro 8	BOLIVIA (ESTADO PLURINACIONAL DE): FENOLOGÍA DE LOS CULTIVOS SELECCIONADOS.....	34
Cuadro 9	BOLIVIA (ESTADO PLURINACIONAL DE): ESTADO DE DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS POR DEPARTAMENTOS	36
Cuadro 10	BOLIVIA (ESTADO PLURINACIONAL DE): LOS MODELOS SELECCIONADOS.....	38
Cuadro 11	BOLIVIA (ESTADO PLURINACIONAL DE): ESTIMACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS	39
Cuadro 12	BOLIVIA (ESTADO PLURINACIONAL DE): RESUMEN CONSOLIDADO DE LAS PÉRDIDAS POR DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS. LÍNEA DE BASE Y RESULTADOS CON 1,5°C Y 3°C ADICIONALES DE TEMPERATURA.....	39
Cuadro 13	CHILE: ANÁLISIS AGREGADO, RESULTADOS CON INFORMACIÓN DEL CENSO AGROPECUARIO DE 1997.....	41
Cuadro 14	CHILE: ANÁLISIS DESAGREGADO, RESULTADOS CON INFORMACIÓN DEL CENSO AGROPECUARIO DE 1997.....	42
Cuadro 15	CHILE: PREDICIONES SOBRE PÉRDIDAS MEDIAS DE PRODUCTIVIDAD, INFORMACIÓN DEL CENSO AGROPECUARIO DE 1997	42
Cuadro 16	CHILE: ANÁLISIS AGREGADO, RESULTADOS CON INFORMACIÓN DEL CENSO AGROPECUARIO DE 2007.....	43
Cuadro 17	CHILE: ANÁLISIS DESAGREGADO, RESULTADOS CON INFORMACIÓN DEL CENSO AGROPECUARIO DE 2007.....	43
Cuadro 18	CHILE: PREDICIONES SOBRE PÉRDIDAS MEDIAS DE PRODUCTIVIDAD, INFORMACIÓN DEL CENSO AGROPECUARIO DE 2007, POR CUANTILES SEGÚN NIVELES DE PÉRDIDA.....	44
Cuadro 19	CHILE: VARIACIONES DE LA PRODUCTIVIDAD TOTAL DE LOS FACTORES ENTRE LOS CENSOS AGROPECUARIOS DE 1997 Y 2007	44
Cuadro 20	PERÚ: EXTENSIÓN DE LAS TIERRAS SECAS.....	52
Cuadro 21	PERÚ: EXTENSIÓN Y POBLACIÓN DE LAS TIERRAS SECAS	52
Cuadro 22	PERÚ: EROSIÓN DE SUELOS SEGÚN GRADO DE INTENSIDAD	53
Cuadro 23	PERÚ: MODELOS SELECCIONADOS	56
Cuadro 24	PERÚ: ESTIMACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR DEGRADACIÓN Y DESERTIFICACIÓN	57
Cuadro 25	PERÚ: ESTIMACIÓN DEL VBP REAL Y POTENCIAL PARA LOS PRODUCTOS SELECCIONADOS EN ÁREAS AFECTADAS Y NO AFECTADAS POR LA DEGRADACIÓN Y DESERTIFICACIÓN. LÍNEA DE BASE Y EFECTOS CON 1°C Y 3°C DE TEMPERATURA ADICIONALES	57

Cuadro 26	PERÚ: ESTIMACIÓN CONSOLIDADA DE PÉRDIDAS POR DEGRADACIÓN Y DESERTIFICACIÓN	58
Cuadro 27	PERÚ, REGIÓN DE PIURA: DISTRIBUCIÓN DE LAS TIERRAS SEGÚN USO ACTUAL Y POTENCIAL	59
Cuadro 28	PERÚ, REGIÓN DE PIURA: TIERRAS DE USO AGROPECUARIO Y FORESTAL ACTUAL Y POTENCIAL AFECTADAS POR PROCESOS DE DESERTIFICACIÓN Y DEGRADACIÓN	59
Cuadro 29	PERÚ, REGIÓN DE PIURA: VALLES AGRÍCOLAS, ESTACIONES METEOROLÓGICAS Y CULTIVOS SELECCIONADOS	63
Cuadro 30	PERÚ, REGIÓN DE PIURA: CALENDARIO DE SIEMBRAS	64
Cuadro 31	PERÚ, REGIÓN DE PIURA: CALENDARIO DE COSECHAS	65
Cuadro 32	PERÚ, REGIÓN DE PIURA: FASES FENOLÓGICAS DEL MANGO	65
Cuadro 33	PERÚ, REGIÓN DE PIURA: EFECTO DE LAS TEMPERATURAS EN EL CULTIVO DEL MANGO.....	66
Cuadro 34	PERÚ, REGIÓN DE PIURA: MODELOS SELECCIONADOS	66
Cuadro 35	PERÚ, REGIÓN DE PIURA: ESTIMACIÓN DEL VALOR BRUTO DE LA PRODUCCIÓN EN ÁREAS AFECTADAS Y NO AFECTADAS POR DESERTIFICACIÓN Y DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS, POR PRODUCTOS SELECCIONADOS, LÍNEA DE BASE Y AÑOS DE PROYECCIÓN	67
Cuadro 36	PERÚ, REGIÓN DE PIURA: ESTIMACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR DEGRADACIÓN Y DESERTIFICACIÓN CONSIDERANDO INCREMENTOS DE 1°C Y 3°C DE TEMPERATURA CON RESPECTO A LA LÍNEA DE BASE	68
Cuadro 37	PERÚ, REGIÓN DE PIURA: CULTIVOS SELECCIONADOS, SUPERFICIE Y PRECIOS AL PRODUCTOR	69
Cuadro 38	PERÚ, REGIÓN DE PIURA: ESTIMACIÓN CONSOLIDADA DE PÉRDIDAS POR DEGRADACIÓN Y DESERTIFICACIÓN.....	69
Cuadro 39	PARAGUAY: MODELOS SELECCIONADOS	72
Cuadro 40	PARAGUAY: FENOLOGÍA DE LOS CULTIVOS SELECCIONADOS	76
Cuadro 41	PARAGUAY, DEPARTAMENTO DE ALTO PARANÁ: DISTRIBUCIÓN DE LAS FINCAS POR ESTRATOS DE TAMAÑO	82
Cuadro 42	PARAGUAY, DEPARTAMENTO DE ALTO PARANÁ: NIVELES DE EDUCACIÓN DE LOS PROPIETARIOS DE LAS FINCAS	83
Cuadro 43	PARAGUAY, DEPARTAMENTO DE ALTO PARANÁ: USO DE LA TIERRA	84
Cuadro 44	PARAGUAY, DEPARTAMENTO DE GUAIRÁ: DISTRIBUCIÓN DE LAS FINCAS POR ESTRATOS DE TAMAÑO	84
Cuadro 45	PARAGUAY, DEPARTAMENTO DE GUAIRÁ: NIVELES DE EDUCACIÓN DE LOS PROPIETARIOS DE LAS FINCAS.....	85
Cuadro 46	PARAGUAY: PÉRDIDAS POR DEGRADACIÓN, CULTIVOS SELECCIONADOS	86
Cuadro 47	PARAGUAY: PÉRDIDAS POR DEGRADACIÓN CONSOLIDADAS	87
Cuadro 48	CENTROAMÉRICA: VALOR BRUTO DE LA PRODUCCIÓN (VBP) Y VALOR BRUTO DE LA PRODUCCIÓN POTENCIAL (VBPP)	88
Cuadro 49	CENTROAMÉRICA: PÉRDIDAS POR DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS	88
Cuadro 50	EL SALVADOR: DEPARTAMENTOS Y MUNICIPIOS AMENAZADOS POR LA DESERTIFICACIÓN.	89

Índice de gráficos

Gráfico 1	CHILE: DIFERENCIAS DE PRODUCTIVIDAD TOTAL DE LOS FACTORES. ANÁLISIS AGREGADO, CENSOS AGROPECUARIOS DE 1997 Y 2007	41
Gráfico 2	CHILE: DIFERENCIAS DE PRODUCTIVIDAD TOTAL DE LOS FACTORES. ANÁLISIS DESAGREGADO, CENSOS AGROPECUARIOS DE 1997 Y 2007	41
Gráfico 3	ECUADOR: DIFERENCIAS DE LA ELASTICIDAD TIERRA-VALOR BRUTO DE LA PRODUCCIÓN (VBP) POR REGIONES.....	49
Gráfico 4	ECUADOR: PÉRDIDAS DE PRODUCCIÓN POTENCIAL POR CANTONES	50
Gráfico 5	ECUADOR: TIERRAS DEGRADADAS EN CADA PROVINCIA, 1982-2002	50
Gráfico 6	ECUADOR: TIERRAS AFECTADAS POR DEGRADACIÓN SEVERA EN CADA PROVINCIA, 1982-2002	51
Gráfico 7	ECUADOR: ÁREAS AFECTADAS POR DEGRADACIÓN SEVERA EN CADA PROVINCIA, 1982-2002	51
Gráfico 8	PERÚ, REGIÓN DE PIURA: CAUSAS DE LA DEGRADACIÓN Y DESERTIFICACIÓN DE LAS TIERRAS	60
Gráfico 9	PARAGUAY: EVOLUCIÓN DE LOS RENDIMIENTOS DEL TRIGO	74
Gráfico 10	PARAGUAY: EVOLUCIÓN DE LOS RENDIMIENTOS DEL ALGODÓN	74
Gráfico 11	PARAGUAY: EVOLUCIÓN DE LOS RENDIMIENTOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR	75
Gráfico 12	PARAGUAY: EVOLUCIÓN DE LOS RENDIMIENTOS DE LA MANDIOCA	75
Gráfico 13	PARAGUAY, REGIÓN OCCIDENTAL: TEMPERATURAS DE LA LÍNEA DE BASE Y ESCENARIO A2 PARA AÑOS DE CORTE 2030, 2050, 2070 Y 2100.....	76
Gráfico 14	PARAGUAY, REGIÓN ORIENTAL: TEMPERATURAS DE LA LÍNEA DE BASE Y ESCENARIO B2 PARA AÑOS DE CORTE 2020, 2030, 2050, 2070 Y 2100.....	77
Gráfico 15	PARAGUAY, REGIÓN OCCIDENTAL: TEMPERATURAS DE LA LÍNEA DE BASE Y ESCENARIO B2 PARA AÑOS DE CORTE 2020, 2030, 2050, 2070 Y 2100.....	78
Gráfico 16	PARAGUAY, REGIÓN OCCIDENTAL: TEMPERATURAS DE LA LÍNEA DE BASE Y ESCENARIO A2 PARA AÑOS DE CORTE 2020, 2030, 2050, 2070 Y 2100	79
Gráfico 17	PARAGUAY, REGIONES OCCIDENTAL Y ORIENTAL: PRECIPITACIONES DE LA LÍNEA DE BASE Y ESCENARIO A2, AÑOS DE CORTE 2020, 2030, 2050, 2070 Y 2100	80
Gráfico 18	PARAGUAY: TEMPERATURAS ÓPTIMAS DE CULTIVOS SELECCIONADOS, ESCENARIO B2, AÑOS 2020 Y 2100.....	82
Gráfico 19	PARAGUAY, DEPARTAMENTO DE ALTO PARANÁ: DISTRIBUCIÓN DE FINCAS POR ESTRATOS DE TAMAÑO	83
Gráfico 20	PARAGUAY, DEPARTAMENTO DE ALTO PARANÁ: NIVELES DE EDUCACIÓN DE LOS PROPIETARIOS DE LAS FINCAS	83
Gráfico 21	PARAGUAY, DEPARTAMENTO DE GUAIRÁ: DISTRIBUCIÓN DE FINCAS POR ESTRATOS DE TAMAÑO	85
Gráfico 22	PARAGUAY, DEPARTAMENTO DE GUAIRÁ: NIVELES DE EDUCACIÓN DE LOS PROPIETARIOS DE LAS FINCAS	85
Gráfico 23	PAÍSES DE AMÉRICA DEL SUR: PÉRDIDAS POR DESERTIFICACIÓN Y DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS, LÍNEA DE BASE Y ESTIMACIONES CONSIDERANDO AUMENTOS DE 1,5°C Y 3°C DE TEMPERATURA	91

Gráfico 24	PAÍSES DE CENTROAMÉRICA: PÉRDIDAS POR DESERTIFICACIÓN Y DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS, LÍNEA DE BASE Y ESTIMACIONES CONSIDERANDO AUMENTOS DE 1,5°C Y 3°C DE TEMPERATURA91
------------	--

Índice de mapas

Mapa 1	BOLIVIA (ESTADO PLURINACIONAL DE): MAPA DE DESERTIFICACIÓN37
Mapa 2	PERÚ, REGIÓN DE PIURA: MAPA DE PELIGRO DE EROSIÓN EN LAS CUENCAS DE LOS RÍOS CHIRA Y PIURA60
Mapa 3	PERÚ, REGIÓN DE PIURA: MAPA DE DESERTIFICACIÓN.....61
Mapa 4	PARAGUAY: MAPAS DE TASA Y NIVELES DE DEGRADACIÓN, 200970

Índice de diagramas

Diagrama 1	TIPOS DE DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS Y SUS CONSECUENCIAS 17
Diagrama 2	PERÚ: FENOLOGÍAS DE LOS CULTIVOS SELECCIONADOS.....54

Introducción

Este trabajo se inscribe en el marco de las iniciativas emprendidas por el Mecanismo Mundial (MM) de la Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación, en particular en África, y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), con el objeto de llegar a una valoración de los costos de la degradación de las tierras.

En 2003, el MM, con apoyo del Banco Mundial, encargó el estudio *Assessing the Extent, Cost and Impact of Land Degradation at the National Level: Findings and Lessons Learned From Seven Pilot Case Studies*, que incluyó Chile, China, Etiopía, Indonesia, México, Ruanda y Uganda. La investigación fue coordinada por L. Berry, J. Olson y D. Campbell, y el informe fue publicado en 2003. Por diversas razones, entre las que figura la asimetría de la información, la metodología seguida en cada caso es diferente, lo no permite tener una visión de conjunto respecto de los costos de la degradación y de las principales variables consideradas en el análisis. No obstante, en el estudio se puede constatar que los costos de la desertificación representan entre el 3% y el 7% del PIB sectorial.

Un año después la CEPAL, con el apoyo de la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ, actualmente GIZ), inició un proyecto regional para construir un sistema de indicadores de impacto económico y social de la desertificación, destinado a sustentar la toma de decisiones respecto del tema. Para ello se construyó un modelo econométrico basado en microdatos de censos agropecuarios y de encuestas de hogares de los países parte del proyecto (la Argentina, el Brasil y Chile), que ha servido posteriormente de fundamento para nuevas iniciativas.

En 2007, el MM contrató una consultoría para actualizar el estado del arte en materia de valoración de los impactos económicos y sociales de la degradación de las tierras. Este documento sirvió de base para concretar con la CEPAL un acuerdo de colaboración que se implementó por intermedio de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos (DDSAH). Posteriormente, el MM y la CEPAL convinieron coordinar la realización de investigaciones sobre la valoración económica y social de la degradación de las tierras ante escenarios alternativos de cambio climático. Esta decisión fue tomada con vistas a contribuir a los trabajos que emprende la CEPAL en el contexto del Estudio Regional de la Economía del Cambio Climático en América Latina y el Caribe (ERECC), con financiamiento del Reino Unido, Dinamarca y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

En distintas fases para la preparación de los estudios nacionales que han servido de base para este libro, participó un equipo de especialistas compuesto por son las siguientes personas.

I. Los estudios sobre el valor de la desertificación y la degradación de las tierras

A. Introducción

Por su magnitud y tasa de incremento, la desertificación y la degradación de las tierras, así como las sequías, ponen directamente en peligro la subsistencia de los grupos humanos que habitan en los territorios afectados y también a las poblaciones que dependen de los bienes y servicios allí producidos. La desertificación y la degradación de las tierras erosionan la biodiversidad y contribuyen a la pérdida de conocimientos ancestrales de los pueblos asentados en ellas y, además, inciden negativamente en los ingresos de los productores y el abastecimiento de alimentos a los centros urbanos. Por último, estos procesos son una o la principal causa de la emisión de gases de efecto invernadero.

En 1994 la mayoría de los países del mundo suscribió la Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación, en particular en África. Esta convención ha provisto el marco para la implementación de los planes y programas nacionales de combate contra la desertificación y en ese contexto se han logrado, no sin dificultades, importantes avances en materia de definición y diseño de indicadores biofísicos para establecer una cota de referencia (*benchmark*). También se han obtenido progresos destacables en cuanto a la movilización de recursos para apoyar los proyectos nacionales de lucha contra la desertificación y la degradación de las tierras. No obstante, no ha sido posible avanzar lo suficiente en lo que respecta a la medición de los costos de la inacción y de los efectos económicos de estos procesos. Se trata de fenómenos complejos en los que interviene simultáneamente un conjunto de variables biofísicas, económicas y sociales, entre las que se establecen distintos tipos de relaciones, que no siempre son biunívocas, todo lo cual hace mucho más difícil su identificación y medición. Existe, sin embargo, un cierto grado de consenso en torno a elementos clave como, por ejemplo, la estrecha relación entre pobreza y degradación, así como con respecto a la sobreexplotación con agricultura moderna intensiva en el uso de insumos y agricultura tradicional intensiva en trabajo, con pérdida de productividad (Way, 2006; Cleaver y Schreiber, 1994; Scuerr, 2000; Safriel y Adeel, 2005).

El propósito de este trabajo es contribuir a la valorización económica de los efectos de la desertificación y la degradación de las tierras, considerando también algunos escenarios alternativos de cambio climático.

B. Antecedentes

No existen muchos estudios encaminados a cuantificar la degradación de las tierras y los costos que esta implica. De ellos, la mayoría se ha realizado a escala local y regional y solo el resto, a nivel nacional. Esto se debe principalmente a la carencia de información confiable.

Generalmente, el análisis de estos trabajos se centra en los costos derivados de la erosión, principal componente de la degradación y la desertificación, dado que sobre esta variable se puede disponer de más información. En algunas de las investigaciones realizadas se definen categorías de tierras degradadas para las cuales se suele calcular las pérdidas agrícolas con respecto a un producto potencial previamente determinado.

Otra línea de trabajo apunta a definir modelos explicativos y relaciones causales a partir de las cuales se identifican funciones de producción o de rendimiento que luego son formalizadas en modelos econométricos.

La estimación de los costos económicos de la desertificación y degradación de las tierras a nivel global, regional y local ha pasado a ser un tema prioritario en la agenda internacional de lucha contra este flagelo. En el año 2005 la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), en una reunión internacional sobre el tema de las tierras secas, puso de relieve la necesidad de conocer los costos de la inacción para así fundamentar los procesos de asignación de recursos a la lucha contra la desertificación.

Aunque el análisis económico de la degradación de las tierras tiene una larga historia (Bunce, 1942; Ciriacy-Wantrup, 1968), la construcción y la utilización de modelos formales constituyen esfuerzos relativamente nuevos. Los primeros trabajos en este sentido corresponden a la elaboración de modelos a nivel de finca basados en las decisiones de los agricultores respecto de la asignación de recursos.

A escala nacional y regional la medición de los impactos económicos y sociales es bastante más compleja. Entre las primeras experiencias llevadas a cabo en este campo cabe mencionar los trabajos de Ribaud (Ribaud y otros, 1989), y Pimentel (Pimentel y otros, 1995). Ribaud estimó en 3.500 millones de dólares el valor de los daños por erosión hídrica en los Estados Unidos en 1981, mientras que según los estudios de Pimentel, el valor anual de la erosión de los suelos en la agricultura de los Estados Unidos llegaría a 44.000 millones de dólares; de esta cifra 17.000 millones de dólares se atribuyen a erosión extrapredial.

En una investigación realizada por el Banco Mundial en 1990 se estima que el costo de la desertificación y degradación de las tierras en los países en desarrollo se sitúa entre un 1% y un 4% de su PIB global. De acuerdo con otras estimaciones, los rangos de variación son más amplios, desde un 8% en Costa Rica (TSC/WRI, 1991), hasta un 17% en Nigeria y un 9% en Burkina Faso (Barbier y Bishop, 1995).

En otros países, como en Malí, por ejemplo, se utilizó la Ecuación universal de pérdida de suelos (USLE, por sus siglas en inglés), para cuantificar la pérdida media por hectárea de cultivo de los suelos (Bishop, 1989, citado por Bojö, 1996). Para el cálculo se utilizaron coeficientes de pérdida elaborados para Níger, los que permitieron pasar de pérdidas de suelo a pérdidas de nutrientes. Los resultados fueron extrapolados a nivel nacional para obtener las pérdidas de nutrientes que posteriormente fueron valoradas en términos monetarios. Los resultados revelan un rango bastante amplio de pérdidas anuales que varían desde 2,6 millones hasta 11 millones de dólares.

En esta investigación se utilizó el método de los costos de reemplazo, es decir, se estimó la pérdida monetaria del capital natural (suelo), y lo que implicaría reemplazarlo por capital artificial (fertilizantes, nutrientes del suelo), a fin de mantener sus funciones en un nivel adecuado. De acuerdo con algunos expertos, las estimaciones resultan muy elevadas para las regiones secas debido a que las lluvias son poco frecuentes, pero intensas, lo que contribuye significativamente a disminuir la productividad del suelo y, por consiguiente, incide en la desertificación y degradación de las tierras (Craswell y otros, 2004; Pagiola y otros, 2004). A este respecto es importante considerar que en Malí la mayor parte de las tierras está cubierta por pasturas secas y estas, por definición, no son consideradas en la USLE, lo cual lleva a subestimar las pérdidas.

En 1986, este mismo método aplicado en Zimbabwe situó las pérdidas anuales en alrededor de 117 millones de dólares. Estos resultados corresponden a la pérdida de nutrientes de los dos principales tipos de suelo en el país y los cuatro principales sistemas de producción agrícola, a los que se asignaron diferentes tasas de erosión (Stocking, 1986, citado por Bojő, 1996).

En investigaciones realizadas posteriormente se ha asociado la pérdida de nutrientes a la disminución de los rendimientos. En un estudio sobre Etiopía se considera la variación de rendimientos de los dos principales cultivos, trigo y maíz, y se establece el valor de dichas pérdidas por hectárea (Sertsu, 1999, citado por Berry y Olson, 2003).

El enfoque de otros modelos ha apuntado a establecer las relaciones entre agua, suelos y producción agrícola para así estimar los costos de la degradación de las tierras. En un modelo desarrollado para Etiopía por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), con el fin de estimar las variaciones de rendimiento se consideran las demandas de agua de los cultivos, los valores mensuales de pluviosidad, la capacidad de retención de agua del suelo y la evapotranspiración (Faw, 1986, citado por Bojő, 1996). En Zimbabwe, con otro enfoque, se aplicaron modelos de crecimiento de las plantas a nivel de distrito con vistas a medir el efecto de la erosión sobre el rendimiento de seis cultivos distintos (Grohs, 1994, citado por Bojő, 1996).

Los modelos de erosión de los suelos se han ido volviendo más sofisticados y en la actualidad incluyen simultáneamente los efectos de la lluvia y el viento en la erosión del suelo y también variables como la profundidad del suelo, la pérdida de materia orgánica y de agua y los organismos del suelo, entre otros, para obtener la tasa de disminución de los rendimientos de los cultivos o forrajeras (Pimentel y otros, 1995).

Para sustentar el componente de erosión, varios modelos parciales suelen ir acompañados de enfoques más finos y completos del crecimiento y desarrollo de las plantas (por ejemplo, en Malawi, Banco Mundial, 1992, citado por Bojő, 1996). Mediante la cartografía de la erosión y el uso de la tierra en todo el país sobre la base del Sistema de Información Geográfica (SIG), es posible extrapolar los resultados obtenidos a nivel local a niveles territoriales superiores.

La mayoría de estos modelos solo considera los efectos de la desertificación y la degradación de las tierras sobre los cultivos y excluye aquellos que ejercen sobre la producción forestal menoscabada por estos procesos. Son pocos los estudios publicados a este respecto y los que existen se limitan, por lo general, a considerar el valor de mercado de la producción forestal distinta de la leña. Plantean una dificultad considerable en este sentido las diferentes definiciones de bosque y superficie forestal, lo que hace que las estimaciones puedan variar hasta un 100% (Berry, 2003a).

En el marco del programa Evaluación de Ecosistemas del Milenio (EM) se ha formulado un enfoque que considera los servicios de los ecosistemas en las zonas áridas, entre los cuales figuran el suministro de alimentos y madera, la regulación de la biodiversidad, los ciclos de nutrientes, la calidad del aire y el clima, la salud humana, la desintoxicación, los aspectos culturales y los servicios turísticos (Evaluación de Ecosistemas del Milenio, 2003). Muchas instituciones, como el Banco Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), están trabajando para implementar este enfoque a partir de métodos convencionales o económicos.

En el cuadro 1 se presenta un resumen de los principales estudios de valoración económica de la desertificación y degradación de los suelos a nivel nacional.

CUADRO 1
MUNDO Y NUEVE PAÍSES DE ÁFRICA SUBSAHARIANA: COSTOS ANUALES
DE LA DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS
(En porcentajes del PIB y millones de dólares)

País y fuente	Ambito sectorial	Costo (porcentaje del PIB)	Costo anual (valor absoluto)	Principales elementos metodológicos
Mundo Dregne, Chou (1994)	Agricultura y ganadería		42 000 (1990)	Extensión de la desertificación. Costo de la reducción de productividad por hectárea
Rwanda Berry, Olson (2003b)	Agricultura	3,5	23 (2003)	Series de producción agrícola; pérdidas de productividad per cápita
Etiopía Berry, Olson (2003a)	Agricultura, ganadería y forestal	4	139 (2003)	Actualización de la evaluación precedente
Bojő, Cassels (1994)	Agricultura	4	130 (1994)	Mejoramiento del estudio Sutcliffe; matrices de transferencia de suelos
Sutcliffe (1993)	Agricultura ganadería y forestal	5	155 (1994)	Profundidad de los suelos y pérdidas de productividad
FAO (1986)	Agricultura	< 1	14,8 (1994)	Modelización de las necesidades de agua de los cultivos
Zimbabwe Grohs (1994)	Agricultura	< 1	0,6 (1994)	Modelización del crecimiento de las plantas; cartografía de la erosión
Norse, Saigal (1992)	Agricultura y ganadería	8	99,5 (1994)	Mejoramiento del estudio de Stocking; presupuesto de suelo y nutrientes
Stocking (1986)	Agricultura y ganadería	9	117 (1994)	Costo de reemplazo; principales tipos de suelos y explotaciones agrícolas
Lesotho Bojő (1991)	Agricultura	< 1	0,3 (1994)	Estadísticas que relacionan pérdidas del suelo con caídas de la productividad
Malawi Banco Mundial (1992)	Agricultura	3	6,6-19 (1994)	Modelización de las pérdidas de suelo y caída de la productividad
Mali Bishop, Allen (1989)	Agricultura	< 1	2,9-11.6 (1994)	Costo de reemplazo. Modelización de las pérdidas de suelo, nutrientes y productividad
Gana Convery, Tutu	Agricultura	5	166,4	Costo de reemplazo

Fuente: Bojő, 1996 ; Berry et al, 2006, en *État du monde, désertification, BOIS ET FORÊTS DES TROPICQUES*, 2007, N° 293.

C. La situación en América Latina y el Caribe

De acuerdo con estimaciones emanadas del proyecto Evaluación mundial de la degradación de las tierras (GLADA, por sus siglas en inglés), 5,4 millones de km² del territorio de la región, en los que viven unos 150 millones de personas, están degradados. Otros estudios dan cuenta de cifras similares, aunque con variaciones entre países. En el cuadro 2 se muestran las estimaciones del proyecto GLADA sobre las magnitudes alcanzadas por este fenómeno entre 1982 y 2002, así como su importancia con respecto a la superficie total y también a la población afectada.

CUADRO 2
AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (12 PAÍSES): COSTOS DE LA DEGRADACIÓN
DE LAS TIERRAS

(En millones de dólares y porcentajes del PIB)

Autor	País	Costo (millones de dólares)	Porcentaje del PIB	Porcentaje del PIB agregado	Notas
Matallo	Argentina	14 730,29	8,0	92,3	11 países de América Latina. Valor de las pérdidas de suelo, agua y biodiversidad por erosión
	Brasil	5 016,53	0,6	17,4	
	Colombia	1 458,58	1,0	13,6	
	Costa Rica	3,89	0,0	0,2	
	Ecuador	532,18	1,4	28,1	
	El Salvador	27,36	0,2	1,6	
	México	4 423,69	0,5	17,6	
	Panamá	141,47	0,9	21,6	
	Paraguay	75,38	1,0	4,8	
	República Dominicana	248,05	0,7	10,8	
	Venezuela (República Bolivariana de)	741,6	0,5	15,2	
Matallo, 1999	Brasil, semiárido nordeste	4 253,3			Valor de las pérdidas de suelo, agua y biodiversidad por erosión
Solorzano y otros, 1991	Costa Rica			5%-13% de Valor Agregado Agrícola Anual (VAA)	
McIntire, 1994	México			2,7%-12,3%	Tasa de descuento 10%
	México	3 200			
Santibáñez, 2003	Chile				
Leiva, 2011	Guatemala	8 584			Valor suelo perdido por erosión

Fuente: Heitor Matallo, *Cuánto cuesta la desertificación?* 1996 no publicado. Solórzano, McIntire, Santibáñez en L. Berry, J. Olson y D. Campbell, 2003. "Assessing the Extent, Cost and Impact of Land Degradation at the National Level: Findings and Lessons Learned. Banco Mundial y el Mecanismo Mundial de la UNCCD. Leiva, el costo de la degradación en Guatemala, 2011 en Mecanismo Mundial.

Reynolds (2005), mediante el uso del índice de aridez (definido como el cociente entre la precipitación anual media y la evapotranspiración potencial media), agrupó las tierras secas (*drylands*) a nivel mundial y las desagregó en zonas áridas, semiáridas y sub húmedas secas, categorías coherentes con las definiciones de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación. Los cuadros que siguen muestran la distribución mundial de estas tres categorías de tierras secas y la población que vive en ellas.

CUADRO 3
AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (23 PAÍSES): ESTIMACIONES DE LAS PÉRDIDAS
POR DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS MEDIDAS EN TONELADAS DE CARBONO

País	Área				Pérdidas	Población afectada	
	Degradada (km ²)	Porcentaje del territorio	Porcentaje de América Latina y el Caribe	Porcentaje del mundo	Toneladas de carbono, 23 años	Número	Porcentaje
Argentina	902 438	32,62	19,9	3,13	23 566 380	14 455 278	36
Belice	3 026	13,18	0,1	0,008	65 978	39 513	16
Bolivia (Estado Plurinacional de)	60 339	5,49	1,3	0,175	1 656 319	1 518 038	16
Brasil	1 881 702	22,11	41,6	5,381	63 346 318	46 595 573	26
Chile	72 230	10,2	1,6	0,265	1 950 752	1 645 825	10
Colombia	291 295	25,58	6,4	0,818	17 699 691	16 309 420	36
Costa Rica	14 691	28,75	0,3	0,042	529 400	592 632	13
Cuba	32 430	29,95	0,7	0,095	755 492	3 050 838	28
República Dominicana	18 507	37,98	0,4	0,054	560 541	3 843 087	43
Ecuador	40 136	14,15	0,9	0,101	2 401 058	2 199 904	16
El Salvador	5 585	26,54	0,1	0,016	234 649	1 139 730	16
Guatemala	55 884	51,32	1,2	0,163	2 866 596	3 936 416	30
Haití	11 821	42,6	0,3	0,034	383 261	2 823 756	34
Honduras	30 145	26,89	0,7	0,084	1 450 818	1 673 952	23
Jamaica	3 372	30,68	0,1	0,01	106 751	741 713	28
México	487 804	24,73	10,8	1,474	23 871 309	36 234 761	34
Nicaragua	47 223	36,47	1,0	0,134	2 060 424	1 684 227	29
Panamá	8 735	11,17	0,2	0,023	513 509	232 958	7
Paraguay	66 704	16,4	1,5	0,2	1 659 008	4 071 629	66
Perú	197 211	15,34	4,4	0,565	11 414 777	3 001 345	10
Trinidad y Tabago	675	13,16	0,0	0,002	113 407	65 120	5
Uruguay	87 556	49,69	1,9	0,294	1 874 537	1 058 877	33
Venezuela (República Bolivariana de)	207 916	22,8	4,6	0,587	520 023	2 156 456	8
América Latina y el Caribe	4 527 425	26,72	100,0	0,62	159 600 998	149 071 048	26

Fuente: Evaluación de la Degradación de las Tierras Secas FAO/GEF.

CUADRO 4
LAS TIERRAS SECAS EN EL MUNDO

	Área				Porcentaje	
	Árido	Semiárido	Sub húmedo seco	Total	Total zonas áridas	Área total continental
Asia	625,7	693,4	352,7	1671,8	31,7	46
Africa	503,5	513,8	268,7	1286,0	31,8	66
Europa	11,0	105,2	183,5	299,7	4,9	32
América del Sur	44,5	264,5	207,0	516,0	8,8	31
América del Norte	81,5	419,4	231,5	732,4	12,0	34
Oceanía	303,0	309,0	51,3	663,3	10,8	75
Totales	1569,2	2305,3	1294,7	5169,2	100,0	47,2

Fuente: Reynolds JF, FT Maestre, E Huber-Sannwald, J Herrick & PR Kemp (2005) *Aspectos socioeconómicos y biofísicos de la desertificación Ecosistemas* Año XIV N° 3 /Septiembre-Diciembre (2005).

CUADRO 5
POBLACIÓN MUNDIAL EN TIERRAS SECAS
(En millones de personas y porcentajes)

	Árido	Semiárido	Sub húmedo seco	Total	Población en zonas áridas (porcentaje)
Asia, incluida la Federación de Rusia	161 554	625 411	657 899	1 444 864	42
África	40 503	117 649	109 370	267 522	41
Europa	629	28 716	111 216	140 561	25
América del Sur	6 331	46 852	33 777	86 960	30
América del Norte	6 257	41 013	12 030	59 300	23
Centroamérica y el Caribe	6 494	12 888	12 312	31 694	25
Oceanía	275	1 342	5 318	6 935	25
Totales	222 043	873 871	941 922	2 037 836	37

Fuente: Reynolds, et. al., 2005, en “Aspectos socio económicos y biofísicos de la desertificación”, Reynolds, Maestre, Huber-Sannwald, Herrick y Kemp; Ecosistemas, Revista científica y técnica de ecología, septiembre-diciembre, 2005, vol XIV, número 003.

1. Aspectos conceptuales

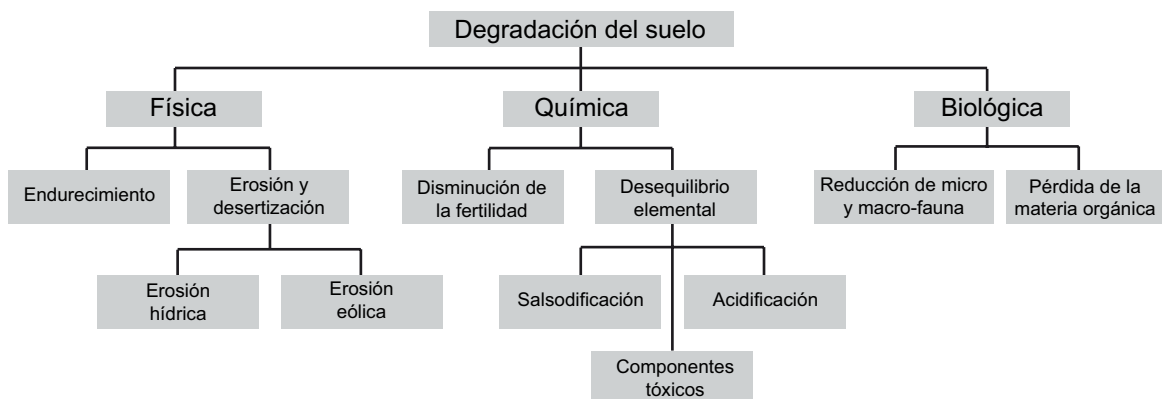
Para valorar las pérdidas por desertificación y degradación de las tierras es preciso, en primer término, establecer claramente las definiciones de cada uno de estos conceptos.

En este trabajo se utilizarán las definiciones acordadas en la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, según las cuales la degradación de las tierras corresponde a la pérdida de productividad económica y del ecosistema causada por factores antrópicos y climáticos. Entre los primeros se destaca la erosión causada por sobreexplotación de las tierras, la erosión eólica y la hídrica, así como la salinización y contaminación de los suelos debido a la intensificación de las actividades agropecuarias y al elevado uso de agroquímicos.

La desertificación se refiere al mismo fenómeno, pero acotado a las zonas áridas, semiáridas y sub húmedas secas, definidas de acuerdo con los rangos de valores acordados para el índice de aridez.

En el diagrama que sigue se muestran, en forma esquemática, los tipos de degradación de las tierras y sus consecuencias.

DIAGRAMA 1
TIPOS DE DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS Y SUS CONSECUENCIAS



Fuente: www.miliarium.com

II. La valorización de los costos de la desertificación y degradación de las tierras

A. Metodología y antecedentes

1. Metodología

Según la disponibilidad de información en cada país o región se han diseñado dos metodologías de distinto tipo. La primera corresponde a un análisis de sección cruzada sobre la base de microdatos de los censos agropecuarios y de otras fuentes, como las encuestas de hogares e ingresos. La segunda se formuló para aquellas situaciones en las que no se dispone de censos agropecuarios recientes o en las que, por alguna razón, dicha información no está disponible o no es accesible. En este caso se recurre a análisis de series temporales para los territorios afectados por la desertificación o degradación de las tierras, información que se complementa con otras fuentes, como la Evaluación a nivel mundial de la degradación de los suelos (GLASOD, por sus siglas en inglés), el proyecto GLADA y otras, más la validación por la vía del consenso de expertos y de los productores afectados. A continuación se detallan ambas metodologías.

2. Antecedentes

En el contexto del proyecto regional CEPAL/Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) sobre indicadores socioeconómicos de la desertificación útiles para la toma de decisiones, implementado en la Argentina, el Brasil y Chile durante los años 2003 a 2005, se formuló un modelo econométrico para analizar los impactos de la degradación y medir sus consecuencias en términos de productividad total de los factores (PTF), empleo e ingresos de la población afectada, así como también de las desigualdades dentro de esta última.

Para ello se procedió, en primer lugar, a establecer un modelo explicativo de los fenómenos de degradación de las tierras en zonas áridas, semiáridas y sub húmedas secas, es decir, de la desertificación. Esto se hizo a partir de la constatación y confirmación del estrecho vínculo entre pobreza y degradación de las tierras y de la alta proporción de población rural en situación de pobreza e indigencia en las áreas afectadas.

Como marco teórico se utilizaron las teorías sobre la producción familiar campesina formuladas por Alexander Chayanov en la primera mitad del siglo pasado, que han sido remozadas por diversos especialistas con el fin de analizar los fenómenos de degradación de las tierras (véase, por ejemplo, Perring y otros, 2002).

El planteamiento central es que, a diferencia de los empresarios agrícolas que buscan maximizar sus utilidades, los campesinos tienen como objetivo central asegurar la sobrevivencia de su grupo familiar. Para hacerlo implementan estrategias coherentes con este objetivo, entre ellas la de maximizar el uso de los recursos abundantes (trabajo del grupo familiar y, eventualmente, trabajo contratado), minimizar el uso de los recursos escasos (tierra y capital), y reducir al máximo los riesgos.

A la vez, esto implica maximizar el volumen de producción en el marco de las restricciones existentes, destinar parte de la producción al autoconsumo, generar ingresos complementarios mediante la venta de trabajo fuera de la unidad productiva campesina (UPC), y la producción de artesanías y productos elaborados, como mermeladas y otros.

En este caso la variable de ajuste es la migración y la autoexplotación de la propia fuerza de trabajo de que dispone la UPC, esto es, la subvaloración del trabajo familiar a niveles inferiores a los salarios medios pagados por actividades similares en otras unidades productivas.

B. El modelo básico

La formalización del modelo básico es la siguiente:

$$CF = f(VBP) + OI$$

Donde OI = otros ingresos

CF = Consumo familiar

A su vez,

$$VBP = f(T, K, L) \quad (\text{VBP: Valor bruto de la producción})$$

Donde T = Tierra

K = Capital

L = Trabajo

Por su simplicidad y potencia explicativa se escogió una función de producción translogarítmica, cuya expresión es la siguiente:

$$VBP = \alpha + \beta_1 T + \beta_2 K + \beta_3 T + \beta_4 T^2 + \beta_5 K^2 + \beta_6 L^2 + \beta_7 TK + \beta_8 TL + \beta_9 KL + \varepsilon$$

Donde

α = Coeficiente de posición

β_1 a β_9 = Coeficientes de las variables T, K, L

ε = Término de error

Con este modelo se efectuaron análisis a dos niveles, agregado y desagregado, que se explican a continuación. Sin bien es cierto que teóricamente capturan el mismo efecto, la diferencia radica en que el análisis agregado permite observar los efectos de la desertificación sobre las variables capital y trabajo sin tener que incluir los términos cruzados para cada una de ellas con la variable ficticia (*dummy*), mientras que en el análisis desagregado, al igualar el número de observaciones de ambos

grupos mediante una selección aleatoria de la muestra, se puede esperar que la comparación entre el grupo objetivo y el de control sea más precisa.

1. Análisis agregado

Las hipótesis ensayadas fueron las siguientes:

- i) La productividad total de los factores (PTF) es mayor en áreas no desertificadas (el coeficiente de la variable ficticia es negativo y significativo, reduciendo así el nivel de la constante).
- ii) La desertificación ejerce un impacto significativo sobre la tierra y su capacidad productiva, diferenciada entre zonas desertificadas y no desertificadas (el coeficiente de la variable de interacción entre la variable ficticia y el factor tierra es negativo y significativo, reduciendo así la elasticidad VBP-tierra).

Esto se puede expresar en la siguiente forma:

- i) La desertificación incide negativamente en la PTF

$$H_0: \beta_5=0; \beta_6 \geq 0$$

$$H_1: \beta_5 < 0; \beta_6 < 0$$

- ii) La elasticidad tierra-ingresos es menor en las unidades territoriales con problemas de desertificación y degradación de la tierra

$$H_0: \beta_6 \geq 0$$

$$H_1: \beta_6 < 0$$

Se hicieron luego regresiones de estas funciones linealizadas según el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO), en las que se tomó como variable dependiente el VBP agrícola y como variables explicativas los factores productivos básicos (tierra, capital y trabajo). Además, para representar el fenómeno de la desertificación, se introdujo una variable ficticia de carácter binario y una variable de interacción entre el factor tierra y la desertificación para explicar los efectos de la desertificación sobre la elasticidad VBP-tierra:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 * t_i + \beta_2 * k_i + \beta_3 * l_i + \beta_5 * DES + \beta_6 * DES * t_i + \epsilon_i$$

Donde

y_i representa el logaritmo natural del VBP

β los coeficientes y t , k y l , los logaritmos naturales de los factores productivos

DES es la variable ficticia desertificación, donde DES=1 si la unidad territorial en la que se ubica el predio (comuna, cantón, otra), está afectada por desertificación grave y DES=0 en el caso contrario.

ϵ_i representa el término de error

Con los resultados de la regresión se elaboró una predicción estadística (y_{2i}) de los ingresos de cada una de las unidades productivas observadas. El paso siguiente fue realizar el mismo procedimiento, pero con la salvedad de que ahora se asignó DES=0 a todas aquellas observaciones de unidades afectadas por la desertificación (predicción ficticia (y_{3i}), con el objeto de estimar cuál sería la variación de los ingresos en el caso hipotético de que los predios no sufrieran este problema. Una vez obtenidos estos indicadores se procedió a estimar la pérdida experimentada a causa de la desertificación para cada uno de los predios en términos relativos y el promedio para todo el grupo afectado por este flagelo.

En las ocasiones en que los coeficientes de los productos no mostraban un adecuado nivel de significancia, y con el propósito de simplificar el análisis, se excluyeron de los resultados los productos cruzados. Así sucedió, por ejemplo, en el caso de Chile, en el que se eliminaron del análisis los coeficientes de todos los productos cruzados porque no eran significativos.

2. Análisis desagregado

La hipótesis ensayada fue la siguiente:

Los coeficientes entre ambos grupos (desertificados y no desertificados) son significativamente diferentes. Tanto la constante (PTF) como el coeficiente del factor tierra son apreciablemente más bajos en el caso del grupo afectado por la desertificación (a partir del supuesto inicial de que la desertificación implica menor productividad y menoscaba la calidad de la tierra).

En este caso se realizaron dos regresiones con el método MCO por separado, de acuerdo con los dos niveles de desertificación establecidos a partir de la variable ficticia (grave y no grave). Las variables iniciales fueron las mismas que en el caso anterior (VBP, tierra, capital y trabajo). De esta manera se plantea una línea de análisis levemente distinta de la precedente, en la que se contará con dos modelos econométricos que darán cuenta de cada una de las realidades que se pretende estudiar.

Con esta técnica es posible obtener una estimación del peso de los factores productivos (como variables explicativas del ingreso) para cada grupo analizado y, en esta forma, hacer una predicción más precisa de los valores de ingreso esperados. A partir de esto se plantean las hipótesis de que los coeficientes de ambos grupos (desertificados y no desertificados) son significativamente diferentes y que, sobre la base del supuesto inicial de que la desertificación implica menor productividad y degrada la calidad de la tierra, tanto la constante (PTF) como el coeficiente del factor tierra son significativamente más bajos en el caso del grupo afectado por la desertificación.

En este caso, la regresión se representaría en la siguiente forma:

$$\text{Grupo no desertificado: } y_{1i} = \alpha_0 + \alpha_1 * t_{1i} + \alpha_2 * k_{1i} + \alpha_3 * l_{1i} + \varepsilon_{1i}$$

$$\text{Grupo desertificado: } y_{2i} = \beta_0 + \beta_1 * t_{2i} + \beta_2 * k_{2i} + \beta_3 * l_{2i} + \varepsilon_{2i}$$

A partir de los coeficientes de la primera regresión se elaboró una predicción estadística de los ingresos de cada una de las observaciones de predios afectados por la desertificación (y_{3i}). Mediante este ejercicio es posible estimar los niveles de ingreso que presentarían los predios con desertificación grave en el caso hipotético de que no estuvieran afectados por dicho problema:

$$y_{3i} = \alpha_0 + \alpha_1 * t_{2i} + \alpha_2 * k_{2i} + \alpha_3 * l_{2i} + \varepsilon_{1i}$$

A continuación se realizó la predicción ordinaria (y_{2i}) para las unidades productivas observadas en el grupo afectado por la desertificación y se contrastaron los resultados con el fin de determinar las pérdidas relativas de cada caso y el promedio total del grupo de predios desertificados. Los modelos antes indicados se estimaron mediante el procedimiento MCO y, posteriormente, por el método de regresión cuantílica (MRC), para finalizar con un cálculo de las fronteras de producción eficientes.

Para representar el fenómeno de la desertificación, en el modelo econométrico se incluyó una variable ficticia que asume valor 0 si la unidad productiva analizada no está afectada por procesos de degradación, y valor 1 en caso contrario. Se agregó otra variable ficticia para representar la interacción entre tierra e ingresos en el caso de las unidades productivas desertificadas o degradadas.

Las hipótesis de trabajo fueron las siguientes:

- i) La desertificación tiene un efecto negativo sobre la PTF.

- ii) La elasticidad tierra-ingresos es menor en las unidades territoriales con problemas de desertificación y degradación de las tierras.

Con los resultados de las regresiones se elaboró una predicción estadística de los ingresos de cada una de las unidades productivas observadas. A continuación se realizó el mismo procedimiento, pero asignando DES=0 a las unidades afectadas por desertificación (producción ficticia), con el objeto de estimar la variación del ingreso en el caso de que los predios no sufrieran este fenómeno. Luego se estimó la pérdida de cada unidad productiva y el promedio del grupo afectado por la desertificación.

Las regresiones cuantílicas permiten apreciar el modo en que los cuantiles de la variable dependiente, VBP o Y, responde a cambios de las variables explicativas. Este método permite capturar las heterogeneidades del modelo y así dar una mejor respuesta a la pregunta de si las pérdidas de PTF derivadas de la desertificación se presentan de manera transversal o si son más acentuadas en las unidades productivas más pobres.

Por su parte, la frontera de producción eficiente se define como la cantidad máxima de producto que es posible de obtener dada una determinada cantidad y calidad de insumos. Las ineficiencias corresponden a las diferencias entre lo obtenido y el máximo teórico. Estas se midieron mediante el método de la máxima verosimilitud (Battese y Coelli). Para ello se realizaron regresiones simultáneas de las ineficiencias resultantes al estimar la frontera de producción con respecto a un conjunto de otras variables explicativas. Las desviaciones de los datos en relación con la frontera se capturan mediante dos términos de error.

Las funciones trabajadas fueron las siguientes:

$$Y_{1i} = \alpha_0 + \alpha_1 t_{1i} + \alpha_2 k_{1i} + \alpha_3 l_{1i} + \varepsilon_{1i}$$

$$Y_{2i} = \beta_0 + \beta_1 t_{2i} + \beta_2 k_{2i} + \beta_3 l_{2i} + \varepsilon_{2i}$$

Donde

$$Y_i = \{Y_{1i} \text{ si } DES = 0, Y_{2i} \text{ si } DES = 1\}$$

Por su parte, el producto potencial se puede expresar en la siguiente forma:

$$\hat{y}_i (DES|1) = \alpha + \beta_1 * t_i + \beta_2 * k_i + \beta_3 * l_i + \beta_4 * DES(DES|0) + \beta_5 * DES(DES|0) * t_i + \varepsilon_i$$

3. Otras posibilidades que ofrece el modelo

Además de medir el impacto económico de la degradación en términos de variaciones de la PTF y cambios del VBP, el modelo permite calcular impactos sociales, como la variación de los ingresos y el empleo en las poblaciones afectadas. Asimismo, como se señaló en el párrafo anterior, es posible estimar el efecto que ejercen sobre la pobreza e indigencia las políticas públicas que inciden en el ingreso.

Por otra parte, si se recorre el camino inverso al antes expuesto, el modelo se puede utilizar para definir las áreas degradadas.

Como se puede ver, este modelo tiene las siguientes ventajas importantes:

- i) Su simplicidad.
- ii) El hecho de que ha sido probado y calibrado.
- iii) La disponibilidad de censos agropecuarios en muchos países de la región y de información análoga en aquellos donde estos aún no se han realizado.
- iv) Su bajo costo.

Por último, es importante señalar también que el modelo descrito no mide el efecto de externalidades y no considera costos de mitigación ni costos indirectos.

C. Series temporales

1. Metodología

En los casos en que no existían censos agropecuarios recientes o no fue posible acceder a los microdatos se decidió buscar las mejores especificaciones posibles de modelos en los que el rendimiento fuera la variable dependiente y las variables climáticas, las explicativas. Las formas funcionales corresponden a formas cuadráticas y logarítmicas. El término cuadrático se ha incorporado para denotar el impacto de las precipitaciones, las temperaturas o ambas cuando por alguna razón climática exceden los rangos normales y contribuyen en forma creciente a la disminución de los rendimientos una vez pasado un determinado umbral.

Estos modelos de tipo ricardiano se han utilizado en otros estudios, entre los cuales figura *La economía del cambio climático en México*. En este trabajo, coordinado por Luis Miguel Galindo, se destaca la hipótesis básica de que el valor de la tierra se asocia a su contribución a la productividad, al señalar que...”este modelo determina la productividad neta agrícola como función de variables climáticas, económicas y de calidad del suelo”.

Las funciones de rendimiento se han estimado para áreas degradadas y no degradadas sobre la base de la información de series temporales provistas por los ministerios de agricultura del Bolivia (Estado Plurinacional de) y del Paraguay, respectivamente. Estas funciones corresponden a un conjunto seleccionado de los principales cultivos en cada país, a partir de criterios como contribución el producto sectorial y al empleo e importancia para la seguridad alimentaria, entre otros.

De este modo, mediante la estimación de los rendimientos, se calcula el VBP y, por diferencia entre estos valores en áreas no degradadas y degradadas, las pérdidas por concepto de degradación. Para controlar la incidencia de otras variables se ha comprobado con los especialistas nacionales que las áreas degradadas sean homogéneas en cuanto a tipo de unidades productivas afectadas por tal proceso.

Debe advertirse que al no considerar las posibles modificaciones de los precios, los modelos de tipo ricardiano pueden sesgar las estimaciones del bienestar (Cline, 1996; Mendelsohn y otros, 1994), ya que el supuesto de precios fijos implica normalmente sobreestimar los beneficios y reducir los efectos negativos (Kabubo-Mariara y Karanja, 2007; Maddison, Manley y Kurukulasuriya, 2007).

Un aspecto importante es que para la especificación de las variables climáticas se ha considerado la fenología de cada uno de los cultivos seleccionados, esto es, sus requerimientos específicos de agua y temperatura en cada fase relevante de crecimiento de las plantas.

Al seleccionar los modelos se respetó el criterio de que las características y restricciones biológicas en relación con las variables climáticas debían presentar los mejores resultados ante las pruebas a las que fueron sometidas y que se detallan más adelante. Los modelos seleccionados son, entonces, los que representan en mejor forma lo ocurrido en el período para el que se dispone de información histórica. Esto se puede apreciar en los gráficos que se acompañan y que muestran los rendimientos históricos y los valores estimados para cada modelo seleccionado.

Para obtener los rendimientos futuros en años de corte seleccionados, en los modelos se consideraron aumentos de las temperaturas y cambios de los regímenes de precipitaciones acordes con estos aumentos en cada zona de cultivo específica.

De este modo se tienen finalmente las estimaciones de los rendimientos y, a partir de ellas, de los VBP de las áreas afectadas por procesos de degradación y de las no degradadas, de la línea de base y las proyecciones para años de corte seleccionados. La estimación de los valores de la línea de base corresponde al primer objetivo del proyecto, que era tener una aproximación inicial al valor actual o costo de la degradación de las tierras. El segundo era la consideración de la incidencia de las variables climáticas en escenarios futuros.

El método empleado ha sido el de mínimos cuadrados ordinarios. En el cuadro 6 se muestran los criterios y pruebas aplicados para seleccionar los modelos. A las que allí se indican se han agregado pruebas complementarias.

CUADRO 6
CRITERIOS Y PRUEBAS PARA ESTABLECER LA VALIDEZ DE LAS ESTIMACIONES

Criterios	Pruebas
Modelo coherente con los datos	Coeficiente de determinación Autocorrelación Heteroscedasticidad
Modelo admisible con los datos	Normalidad Cambio estructural Estabilidad de parámetros
Teoría económica	Consistencia de los valores de los coeficientes
Biología de los cultivos seleccionados	Fenología

Fuente: Elaboración propia, adaptado de presentación de Luis Miguel Galindo en el Banco Central de Costa Rica, Departamento de Investigación Económica. Seminario-taller tópicos de econometría aplicada parte II. Basado en las presentaciones del Dr. Luis Miguel Galindo, Proyecto CEPAL-CMCA, 2008.

Otro criterio para definir las pruebas aplicables puede responder a las partes sistémicas y aleatorias de los modelos. De acuerdo con esto sería necesario analizar los siguientes aspectos:

- a) Análisis de la parte sistemática de un modelo
 - i) Multicolinealidad
 - ii) Especificación
 - iii) Estabilidad estructural
- a) Análisis de la parte aleatoria de un modelo
 - i) Autocorrelación
 - ii) Heterocedasticidad

Se especificó un gran número de modelos para cada país y cada producto, para áreas afectadas y no afectadas por la desertificación/degradación de las tierras. De estos se seleccionaron los que cumplieran mejor y simultáneamente todos los requisitos derivados de las distintas pruebas antes mencionadas, siempre y cuando fueran consistentes, además, con la biología de los cultivos seleccionados y analizados.

2. Las pruebas realizadas

Análisis de las regresiones

- i) Signos de los coeficientes
- ii) Errores estándar de la regresión Suma de los errores al cuadrado (*Sum of squared residuals*).
- iii) Prueba de significancia individual (prueba estadística t)
- iv) R^2
- v) R^2 ajustado

- vi) Criterio de información de Akaike y criterio bayesiano de Schwarz
- vii) Prueba estadística F

Análisis de la parte sistemática de los modelos

Multicolinealidad

Prueba de factores de inflación de la varianza (*variance inflation factor, VIF*)

Especificación

- i) Prueba de Ramsey
- ii) Prueba de Chow

Estimaciones recursivas

- i) Residuos recursivos
- ii) Prueba CUSUM (*cumulative sum*)
- iii) Prueba CUSUM² (*cumulative sum squared*)

Análisis de la parte aleatoria de los modelos

Autocorrelación

- i) Prueba de Durbin-Watson
- ii) Correlograma de los residuos, prueba de la Q de Ljung-Box
- iii) Prueba LM de Breusch-Godfrey para correlación serial

Detección de posibles problemas de heterocedasticidad

- i) Prueba de White
- ii) Correlograma de los residuos al cuadrado; se utiliza principalmente para detectar la presencia de una heteroscedasticidad condicional autorregresiva (ARCH) en los residuos

Estacionariedad de los errores. Presencia de raíz unitaria

Prueba de Dickey- Fuller aumentado (DFA)

Normalidad de la distribución

- i) Prueba de Jarque-Bera
- ii) Gráficos de distribución cuantil-cuantil de los residuos

Prueba de significancia general de la regresión muestral

Prueba de Wald

Estabilidad del modelo

- i) Prueba de Chow
- ii) Prueba de Ramsey

iii) Estimaciones recursivas

Residuos recursivos

CUSUM

CUSUM²

3. La información

a) Información sobre producción

Se obtuvo información de los microdatos de los censos agropecuarios nacionales cuando fue posible acceder a ellos. Estos proporcionaron los datos asignados a cada variable productiva incluida en la ficha de consultas correspondiente a cada unidad productiva. La información utilizada se encuentra en los institutos de estadística y censos agropecuarios y en los ministerios de agricultura.

A lo anterior se agregó información sobre producción obtenida de series históricas, con una cobertura de al menos 23 años, que incluían área cosechada, producción y rendimientos correspondientes a un grupo de cultivos seleccionados para cada país según importancia de su aporte al producto sectorial, al país, a la balanza comercial y a la seguridad alimentaria.

b) Información sobre variables climáticas

Para las estimaciones correspondientes a la línea de base se obtuvo información de las estaciones meteorológicas de cada país sobre las variables de interés para la especificación de los modelos, esto es, temperaturas máximas, temperaturas mínimas y precipitaciones mensuales. Cuando esto no fue posible por no contarse con series históricas para un número suficiente de datos o por no encontrarse las estaciones meteorológicas localizadas en las áreas observadas, se recurrió a la información generada para el escenario B2 por el modelo PRECIS o sus equivalentes en el caso de Centroamérica, lo cual fue validado, en la medida de lo posible, con los datos de las estaciones meteorológicas más próximas.

Para las proyecciones se utilizó la información generada por el modelo de circulación general PRECIS en el caso de los países de América del Sur, y por el modelo ECHAM 5 en el de Centroamérica. Esta información corresponde al escenario A2 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), para los años de corte que se señalan en cada uno de los estudios nacionales.

c) Especificación de las variables climáticas

1. *Temperaturas mínimas, máximas y medias*

Temperatura normal: Se utiliza como punto de referencia para analizar la tendencia de las temperaturas máxima, mínima y media.

Temperatura mínima normal: Promedio de las temperaturas mínimas durante los años definidos en la línea de base (1985 a 2008).

Temperatura máxima normal: Promedio de las temperaturas máximas durante los años definidos en la línea de base.

Temperatura media normal: Promedio de las temperaturas medias (promedio entre temperatura mínima y máxima) durante los años definidos en la línea de base.

Oscilación térmica (*OscTerm*): Diferencia en grados entre las temperaturas promedio máxima y mínima anuales.

2. *Anomalías de temperaturas*

AnomaliaUnoMin (AN1MIN): Diferencia entre la temperatura mínima anual y la temperatura mínima normal. Esto permite advertir los años en que la temperatura mínima aumentó o disminuyó con respecto a la temperatura mínima de referencia.

AnomaliaUnoMax (AN1MAX): Diferencia entre la temperatura máxima anual y la temperatura máxima normal. Esto permite advertir los años en que la temperatura máxima aumentó o disminuyó con respecto a la temperatura máxima de referencia.

AnomaliaUnoPromT (AN1PROMT): Diferencia entre la temperatura media anual y la temperatura media normal. Esto permite advertir los años en que la temperatura media aumentó o disminuyó con respecto a la temperatura máxima de referencia.

Periodo de floración:

- FlorMin: Promedio de las temperaturas mínimas durante los meses en que suele presentarse la etapa de floración del cultivo.
- FlorMax: Promedio de las temperaturas máximas durante los meses en que suele presentarse la etapa de floración del cultivo.
- FlorPromT: Temperatura media durante los meses en que suele presentarse la etapa de floración del cultivo.

Anomalía dos de temperatura:

- AnomaliaDosMin (AN2MIN): Diferencia entre el promedio de las temperaturas mínimas en los posibles meses de floración y el promedio de temperatura mínima normal anual.
- AnomaliaDosMax (AN2MAX): Diferencia entre el promedio de las temperaturas máximas en los posibles meses de floración y el promedio de la temperatura máxima normal anual.
- AnomaliaDosPromT (AN2PROMT): Diferencia entre el promedio de las temperaturas medias en los posibles meses de floración y el promedio de la temperatura media normal anual.

Anomalía tres de temperatura:

- AnomaliaTresMin (AN3MIN): Diferencia entre el promedio de las temperaturas mínimas y el promedio de las temperaturas mínimas normales en los posibles meses de floración.
- AnomaliaTresMax (AN3MAX): Diferencia entre el promedio de las temperaturas máximas y el promedio de las temperaturas máximas normales en los posibles meses de floración.
- AnomaliaTresPromT (AN3PROMT): Diferencia entre el promedio de las temperaturas medias y el promedio de las temperaturas medias normales en los posibles meses de floración.

Anomalía cuatro de temperatura:

- AnomaliaCuatroMin (AN4MIN): Diferencia entre el promedio de las temperaturas mínimas en los posibles meses de floración y la temperatura óptima mínima para el correcto desarrollo del cultivo en el periodo de floración.
- AnomaliaCuatroMax (AN4MAX): Diferencia entre el promedio de las temperaturas máximas en los posibles meses de floración y la temperatura óptima máxima para el correcto desarrollo del cultivo en el periodo de floración.

- AnomaliaCuatroPromT (AN4PROMT): Diferencia entre el promedio de las temperaturas medias en los posibles meses de floración y la temperatura óptima promedio para el correcto desarrollo del cultivo en el período de floración.

Anomalia cinco de temperatura:

- AnomaliaCincoMin (AN5MIN): Diferencia entre el promedio de las temperaturas mínimas en los posibles meses de floración y la temperatura crítica mínima para el desarrollo del cultivo en el periodo de floración.
- AnomaliaCincoMax (AN5MAX): Diferencia entre el promedio de las temperaturas máximas en los posibles meses de floración y la temperatura crítica máxima para el desarrollo del cultivo en el periodo de floración.
- AnomaliaCincoPromT (AN5PROMT): Diferencia entre el promedio de las temperaturas medias en los posibles meses de floración y la temperatura crítica promedio para el desarrollo del cultivo en el periodo de floración.

Anomalia seis de temperatura:

- AnomaliaSeisMin (AN6MIN): Diferencia entre el promedio de las temperaturas mínimas durante los meses que abarca el periodo vegetativo del cultivo y la temperatura crítica mínima para su desarrollo.
- AnomaliaSeisMax (AN6MAX): Diferencia entre el promedio de las temperaturas máximas durante los meses que abarca el periodo vegetativo del cultivo y la temperatura crítica máxima para su desarrollo.
- AnomaliaSeisPromT (AN6PROMT): Diferencia entre el promedio de las temperaturas medias en los meses que abarca el periodo vegetativo del cultivo y la temperatura crítica promedio para su desarrollo.

3. Precipitaciones y anomalías de precipitaciones

Precipitaciones normales: Se utiliza como punto de referencia para analizar la tendencia de las precipitaciones durante un año.

- Precipitación normal acumulada: Promedio del total de precipitaciones caídas durante los años definidos en la línea de base.
- Precipitación normal promedio: Promedio de las precipitaciones promedio caídas durante los años definidos en la línea de base.

Precipitaciones reales (o proyectadas):

- PrecipAcum (PPTACUM): Precipitaciones acumuladas anuales, para los años de la línea de base (reales) y para los años proyectados.
- PrecipProm (PPTPROMT): Precipitaciones promedio anuales, para los años de la línea de base (reales) y para los años proyectados.

Anomalia uno de precipitaciones:

- AnomaliaUnoPrecipAcum (AN1PPTACUM): Diferencia entre las precipitaciones acumuladas de ese año y las precipitaciones normales acumuladas.
- AnomaliaUnoPrecipProm (AN1PPTPROM): Diferencia entre el promedio de las precipitaciones de ese año y las precipitaciones normales promedio.

Anomalía dos de precipitaciones:

- AnomaliaDosPrecipAcum (AN2PPTACUM): Diferencia entre las precipitaciones acumuladas en el periodo de floración y las precipitaciones normales acumuladas durante un año.
- AnomaliaDosPrecipProm AN2PPTACUM): Diferencia entre el promedio de las precipitaciones caídas durante el periodo de floración y las precipitaciones normales acumuladas durante un año.

Anomalía tres de precipitaciones:

- AnomaliaTresPrecipAcum (AN3PPTACUM): Diferencia entre las precipitaciones acumuladas en el periodo de floración y las precipitaciones normales acumuladas durante el mismo periodo.
- AnomaliaTresPrecipProm AN3PPTPROM): Diferencia entre el promedio de las precipitaciones caídas durante el periodo de floración y las precipitaciones normales promedio durante el mismo periodo.

Precipitaciones reales (o proyectadas) en meses críticos:

- PrecipAcumCritica (PPTACUMCRITICA): Precipitaciones acumuladas durante el periodo vegetativo del cultivo o, dependiendo de la información disponible, durante los meses críticos para su desarrollo.

Anomalía cuatro de precipitaciones:

- AnomaliaCuatroPrecipAcum (AN4PPTACUM): Diferencia entre las precipitaciones acumuladas durante los meses críticos o los del periodo vegetativo (dependiendo de la información disponible), y las precipitaciones normales acumuladas durante el mismo periodo.
- AnomaliaCuatroPrecipProm (AN4PPTPROM): Diferencia entre el promedio de las precipitaciones caídas durante los meses críticos o los del periodo vegetativo (dependiendo de la información disponible) y las precipitaciones normales promedio caídas durante el mismo periodo.

d) Fenologías de los cultivos seleccionados

La información sobre la fenología de los cultivos seleccionados se obtuvo de diversas fuentes, en especial de los servicios meteorológicos de los países, los ministerios de agricultura, las universidades y los centros de investigación agropecuaria especializados.

e) Información socioeconómica

En forma complementaria se obtuvo información socioeconómica sobre las áreas afectadas por la desertificación y degradación de las tierras, así como sobre las unidades productivas y los productores allí localizados.

III. Los resultados

A. Introducción

Los resultados obtenidos fueron de dos tipos: i) Para la línea de base o situación actual, y ii) Estimaciones de los posibles impactos del cambio climático sobre las áreas afectadas y no afectadas por la desertificación y degradación de las tierras. Para llegar a ello se estimaron los rendimientos que se obtendrían si se registraran aumentos de temperatura de 1,5°C y 3°C, y cambios en el régimen de precipitaciones asociados a dichas nuevas temperaturas, suponiendo que la estructura productiva permaneciera inalterada.

En el primer caso, los resultados se obtuvieron como variaciones de la productividad total de los factores (PTF) y del valor bruto de la producción (VBP) cuando se tuvo acceso a los microdatos de los censos agropecuarios, y como variaciones del VBP expresado como proporción del PIB agrícola (o del valor agregado bruto de la agricultura), cuando no se contó con los microdatos censales o no fue posible acceder a ellos.

Para las proyecciones se consideraron los posibles efectos del cambio climático sobre las actividades productivas que se realizan en las áreas analizadas. Los resultados también están expresados como pérdidas del VBP como proporción del PIB sectorial.

Por su parte, en el cálculo del VBP perdido se consideraron dos situaciones: la diferencia de productividad de las tierras degradadas con respecto a los rendimientos promedio y con respecto a la producción que potencialmente se podría lograr si no estuviera presente el fenómeno de la desertificación y degradación de las tierras.

En los casos de Chile, el Ecuador y, parcialmente, Panamá, se accedió a los censos agropecuarios y, por tanto, a las bases de microdatos. En el de los otros países se trabajó con la metodología basada en las series temporales de rendimiento en áreas afectadas y no afectadas por la desertificación y degradación de las tierras. Estos países son todos los de Centroamérica, incluida Panamá, y algunos de América del Sur, como Bolivia (Estado Plurinacional de), Chile, el Ecuador, el Paraguay, el Perú y, como estudio separado, la región de Piura en el Perú.

B. Una visión regional

Los resultados permiten constatar, en primer término, la enorme importancia económica de la desertificación y degradación de las tierras. La segunda comprobación es que existe una inmensa gama de situaciones entre países y dentro de ellos. Como puede verse en el cuadro 7, las pérdidas o costos que conlleva la desertificación y degradación de las tierras en la línea de base fluctúan entre cifras tan elevadas como un 40,5% del PIB agrícola anual en Honduras y un 5,4% en el Perú. Es importante precisar que no se ha considerado el sector ganadero, que en promedio contribuye con un 46% del PIB agropecuario en América Latina –según la Oficina Regional de la FAO para América Latina–, lo que haría variar sustancialmente estas cifras.

CUADRO 7
AMÉRICA DEL SUR Y CENTROAMÉRICA (12 PAÍSES): COSTO DE LA DEGRADACIÓN Y DESERTIFICACIÓN DE LAS TIERRAS COMO PROPORCIÓN DEL PRODUCTO INTERNO BRUTO AGRÍCOLA. LÍNEA DE BASE Y AÑOS 2050 Y 2100, ESCENARIO A2
(En porcentajes)

País	Línea de base	Incremento de 1,5°C	Incremento de 3°C
América del Sur			
Bolivia (Estado Plurinacional de)	15,5	26,8	50,1
Ecuador	7,6		
Chile	14,0		
Paraguay	6,6	17,6	28,7
Perú	5,4	13,0	10,1
Perú, región de Piura	7,7	8,2	10,6
Centroamérica			
Panamá	12,4	14,1	15,2
Costa Rica	8,7	10,2	11,4
Nicaragua	17,7	18,6	19,9
Honduras	40,5	44,3	45,5
El Salvador	9,6	7,2	8,6
Guatemala	24,3	26,3	27,3
Belice	12,8	20,7	22,2
Total Centroamérica	12,4	14,1	15,2

Fuente: Elaboración propia.

1. Bolivia (Estado Plurinacional de)

Bolivia (Estado Plurinacional de) es uno de los países de América Latina con mayor proporción de población rural, la que llega a un 40% del total y depende en gran medida de las actividades agropecuarias para su subsistencia.

Los principales productos agropecuarios son el maíz, la papa, el arroz, la soja, el trigo, la ganadería de carne; entre los productos no tradicionales de exportación sobresalen el banano, la piña y el palmito.

El aporte del sector agropecuario al PIB se sitúa en torno a un 13% (año 2008), mientras que las exportaciones sectoriales contribuyen con el 35% del total exportado, siendo la soja el principal producto.

La industria participa con el 36% y los servicios con el 51%. Parte importante de la contribución de estos sectores al PIB está estrechamente relacionada con las actividades agropecuarias.

Entre 2000 y 2007, la pobreza total en el país disminuyó del 60,6% al 54,0%, y la pobreza extrema, del 36,4% al 31,2%. En el mismo período, la pobreza rural bajó del 80,7% al 75,8% y la indigencia, del 64,6% al 59%.

De acuerdo con la metodología seguida, los principales productos agropecuarios se seleccionaron según varios criterios, entre los que cabe mencionar los siguientes:

- i) Importancia económica medida según su aporte al producto sectorial;
- ii) Importancia social medida según el aporte a la dieta nacional y al ingreso de los pequeño productores;
- iii) Importancia en las exportaciones según su participación en el total exportado, y
- iv) Importancia desde el punto de vista de las regiones de cada país.

Los productos seleccionados de acuerdo con estos criterios fueron los siguientes;

- Arroz: producto clave en la alimentación nacional.
- Maíz: producto también clave en la alimentación nacional y cultivado principalmente por pequeños productores.
- Papa: por su aporte e importancia en la dieta nacional y porque es cultivado por casi la totalidad de los campesinos.
- Trigo: se estima que lo cultivan unos 70.000 productores y es estratégico desde el punto de vista de la alimentación nacional.
- Soja: es el principal producto agropecuario de exportación de Bolivia (Estado Plurinacional de).

Los productos seleccionados representan el 64% de la superficie cultivada. El maíz es el más importante de ellos, correspondiéndole el 37% del total, seguido del trigo con el 14,9% y la papa con el 10,7%. En términos de valor, la soja es el principal cultivo, ya que con el 0,9% del área agrícola aporta entre el 28% y el 37% del total exportado (dependiendo de los precios internacionales), excluidos el petróleo, el gas y sus derivados y los minerales.

Desde el punto de vista de las regiones, el arroz y la soja se cultivan en el llano oriental del país, la papa en el altiplano y el trigo, así como parte importante del maíz, en los valles.

Las zonas agroecológicas consideradas para obtener la información sobre las variables climáticas (temperaturas máximas, mínimas y precipitaciones), fueron los llanos, los valles intermedios y los Yungas, y el altiplano.

La zona de los llanos incluye la zona árida del Chaco, la zona central boscosa de Santa Cruz y los bosques y llanuras amazónicas de Beni y Pando. Estos ecosistemas bajos y con precipitaciones más abundantes que el resto del territorio boliviano aportan la mayor parte de la producción nacional agrícola y ganadera de tipo comercial y de exportación, en particular el Departamento de Santa Cruz, cuya producción agrícola concentra el 73% del arroz, el 58% del maíz de grano, el 62% del trigo y el 98% de la soja.

La zona de los valles intermedios y los Yungas corresponde a los valles interandinos, tanto templados como sub tropicales y mesotérmicos, y se ubica principalmente en los Departamentos de Cochabamba, Chuquisaca y Tarija.

Por último, el altiplano, siendo una zona más elevada y fría, concentra las actividades agropecuarias en punas y altiplanicies, repartidas principalmente en los Departamentos de La Paz, Oruro y Potosí. Estos valles son, entre otros, propicios para cultivos como el de la papa, que en el periodo agrícola 2006/2007 registró en La Paz una producción cercana al 27% del total nacional.

Cada una de las zonas agrícolas descritas se caracteriza por planos altitudinales que marcan diferencias no solo de relieve, sino de clima (principalmente temperatura y precipitaciones), vegetación, flora y fauna. Es por esta razón que en cada una de estas zonas existen discrepancias en cuanto a las fechas de siembra y cosecha de los cultivos. Por consiguiente, el calendario agrícola de Bolivia (Estado Plurinacional de) presenta la forma que se muestra a continuación:

CUADRO 8
BOLIVIA (ESTADO PLURINACIONAL DE): FENOLOGÍA DE LOS CULTIVOS
SELECCIONADOS

Zona agroecológica	Temporada	Fase fenológica	Meses	
Llanos	Principal (verano)	Siembra	Mayo	Junio
		Cosecha	Septiembre	Octubre
	Corta (invierno)	Siembra	Febrero	Abril
		Cosecha	Julio	Septiembre
Valles intermedios y los Yungas	Principal (verano)	Siembra	Octubre	Noviembre
		Cosecha	Abril	Mayo
Altiplano		Siembra	Septiembre	Octubre
		Cosecha	Abril	Mayo

Fuente: Elaborado por Stephanie Agar a partir de información de organismos especializados de Bolivia

En este contexto, y considerando que tanto el arroz, como el maíz de grano, el trigo y la soja se producen en su mayor parte en la región de Santa Cruz (los llanos), y que la papa se produce principalmente en La Paz (altiplano), a continuación se presenta la información técnica utilizada para construir los cuadros y también los parámetros para estimar los respectivos modelos.

Se indican los meses del ciclo vegetativo de cada cultivo, los meses de floración y los requerimientos térmicos de ambos, ya que las temperaturas superiores o inferiores a los umbrales específicos de las fases fenológicas de las plantas tienen efectos significativos sobre los rendimientos. La fase reproductiva y, específicamente, la etapa de floración, responde en grado crítico a temperaturas extremas acortando tanto el ciclo de vida del cultivo como la duración de la fase reproductiva, lo que se traduce en rendimientos decrecientes.

a) Arroz

El ciclo vegetativo del arroz en Bolivia (Estado Plurinacional de) tiene una duración de cuatro meses. En los llanos, la temporada de verano se sitúa entre mayo y octubre y la de invierno, entre febrero y agosto. El mayor productor de arroz es el Departamento de Santa Cruz, con una participación del 84% de la producción nacional.

Las principales etapas de crecimiento son las siguientes: el panojamiento comienza luego de tres meses de la siembra y tiene una duración de 15 días; para la primera temporada se presenta entre julio y agosto y para la segunda, entre abril, mayo y junio. En relación con los requerimientos térmicos, la temperatura óptima para el correcto desarrollo de todas las etapas fenológicas del cultivo es de entre 22°C y 30°C, con una mínima de 10°C y una máxima de 35°C.

b) Maíz de grano

El maíz de grano tiene un ciclo vegetativo de alrededor de 150 días. En los llanos la temporada principal va de mayo a octubre y la de invierno, de febrero a agosto. El panojamiento comienza pasados 65 días de la siembra y tiene una duración de 15 días; para la primera temporada se presenta entre julio, agosto y septiembre, y para la segunda, entre abril, mayo, junio y julio. Con respecto a los requerimientos térmicos, la temperatura óptima para el correcto desarrollo de todas las etapas fonológicas del cultivo se sitúa entre 21°C y 25° C, con una mínima de 10°C y una máxima de 35°C.

c) Trigo

El trigo tiene un ciclo vegetativo de 160 días. En los llanos la temporada principal se ubica entre mayo y noviembre y la temporada corta, entre febrero y septiembre. La etapa de formación de espigas comienza luego de 80 días y tiene una duración de 20 días; para la primera temporada ocurre entre julio y septiembre y para la segunda, entre abril y julio. En cuanto a los requerimientos térmicos, durante la geminación, macollaje y encañazón, la temperatura óptima fluctúa entre 15°C y 20°C, con una mínima 15°C. Luego, durante la formación de espigas y la maduración lechosa, cérea y cornea, la temperatura óptima es de 20°C a 25°C, con una mínima de 16°C al principio y, luego, de 20°C.

d) Soja

La soja tiene un ciclo vegetativo de cuatro meses. En los llanos la temporada de verano corresponde a los meses de mayo a octubre y la de invierno va de febrero a agosto. La floración comienza luego de 40 días de la siembra y dura 15 días, presentándose entre junio y julio en la temporada de verano y entre marzo y mayo en la temporada corta. En relación con los requerimientos térmicos, la temperatura óptima para el correcto desarrollo de todas las etapas fonológicas del cultivo se sitúa entre 18°C y 25°C.

e) Papa

Se cultiva en siete de los nueve Departamentos del país y se produce en más de 200.000 unidades campesinas en las que laboran alrededor de 900.000 personas, número que incluye productores, cónyuges e hijos en las zonas rurales.

La papa tiene un ciclo vegetativo que puede variar entre 120, 150, 180 y 210 días, dependiendo de la semilla y de la zona en que se cultiva. Para el estudio fenológico de la papa en el altiplano se consideraron estos cuatro ciclos. Por consiguiente, el ciclo vegetativo de la papa va de septiembre a abril, y la etapa de panojamiento, de octubre a enero. Con respecto a los requerimientos térmicos, la temperatura óptima para el correcto desarrollo de todas las etapas fonológicas del cultivo es de entre 7°C y 12°C, con una mínima de 7°C y una máxima de 19°C.

1. Degradación y desertificación

Aún cuando hay diferencias según las fuentes consultadas, existe consenso con respecto a que la desertificación afecta a una proporción muy elevada del territorio boliviano que, de acuerdo con algunos antecedentes oficiales, alcanza al 41% del territorio nacional (450.943 km²), superficie que ha aumentado un 86% desde 1954. De este total, el 22% corresponde a desertificación baja, un 21%, a moderada, un 43%, a alta y el 15% restante, a muy alta.

Según estas fuentes, la situación por Departamentos es la siguiente: la superficie total de los Departamentos de Oruro, Potosí, Chuquisaca y Tarija presenta distintos niveles de desertificación. En Cochabamba, el 45% de las tierras está afectado, cifra que supera el 30% en los Departamentos de La

Paz y Santa Cruz. De este total se estima que más del 60% sufre procesos de desertificación fuertes o muy fuertes, con índices de pérdidas sobre las 31 toneladas métricas (TM) al año.

Por otra parte, el 77% de la población vive en las áreas afectadas y el 89% de ella en condiciones de extrema pobreza.

Antecedentes más recientes del Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA), resaltan la estrecha vinculación entre cambio climático y desertificación. De acuerdo con esos datos se ha incrementado considerablemente el área total afectada debido a los cambios ya perceptibles de las variables climáticas, lo cual, sumado a las actividades humanas realizadas en ecosistemas frágiles, ha incidido en este incremento (Cesar Altamirano Bustillos, responsable del Programa de lucha contra la desertificación y mitigación de los efectos de la sequía en Bolivia (Estado Plurinacional de)).

Con respecto a la degradación de las tierras, el MMAyA estima que, a nivel nacional, el 22,4% de ellas sufre procesos de degradación que van de fuertes a graves. En el cuadro 9 se muestra en detalle esta situación por Departamentos.

CUADRO 9
BOLIVIA (ESTADO PLURINACIONAL DE): ESTADO DE DEGRADACIÓN
DE LOS SUELOS POR DEPARTAMENTOS

Departamento	Superficie total (hectáreas)	Superficie afectada (fuerte a grave)	Porcentaje	Principales problemas de degradación
La Paz	13 398 500	641 000	4,78	Erosión, deforestación, usos inadecuados de las tierras
Beni	21 356 00			Deforestación, manejo inadecuado de praderas
Chquisaca	5 152 400	4 717 900	91,57	Erosión, sobrepastoreo
Cochabamba	5 563 100	2 436 500	43,8	Presión demográfica, prácticas agrícolas inadecuadas , deforestación, salinización
Pando	6 382 700			Deforestación, usos inadecuados de las tierras
Santa Cruz	37 000 000	4 658 300	12,59	Deforestación, erosión hídrica y eólica, tenencia de la tierra, sobrepastoreo, compactación de suelos
Oruro	5 358 800	3 078 700	57,45	Sobrepastoreo, salinización, erosión
Potosí	11 821 800	8 408 100	71,12	Sobrepastoreo, salinización, erosión
Tarija	3 762 300	619 900	16,48	Erosión, deforestación, sobrepastoreo
Total	109 796 000	24 560 400	22,36	

Fuente: Programa Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía (PRONALDES), Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente; EROSION DE SUELOS EN BOLIVIA, 1997.

MAPA 1 BOLIVIA (ESTADO PLURINACIONAL DE): MAPA DE DESERTIFICACIÓN



Fuente: Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente (1996) Programa de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía (PRONALDES).

2. Modelos seleccionados

En el cuadro 10 se muestran los modelos seleccionados para los cinco cultivos bajo estudio. Al igual que en todos los otros casos, estos modelos fueron testeados con todas las pruebas especificadas al comienzo de esta sección para así tener la seguridad de que no presentan problemas de significancia, multicolinealidad, autocorrelación, heterocasticidad, estacionariedad de los errores y estabilidad del modelo, entre otros.

Con los modelos seleccionados se procedió a estimar los rendimientos para las áreas degradadas y las no degradadas, los cuales fueron posteriormente utilizados para calcular el VBP de cada uno de los cultivos. De acuerdo con los antecedentes actualmente disponibles ya mencionados se discriminaron las superficies cultivadas entre afectadas y no afectadas por la degradación. Para valorar la producción de las dos categorías de áreas se utilizaron los precios al productor de 2009, obtenidos de las bases de datos de la FAO.

Los VBP de ambas áreas se sumaron y se compararon con la producción potencial que se habría obtenido si no estuviera presente el proceso de degradación de las tierras. Para ello se utilizaron los rendimientos promedio obtenidos de las bases de datos del Instituto Nacional de Estadística de Bolivia (Estado Plurinacional de) y los precios al productor.

CUADRO 10
BOLIVIA (ESTADO PLURINACIONAL DE): LOS MODELOS SELECCIONADOS

Cultivo	Modelo	Especificación	Rendimiento degradado	Rendimiento promedio	R2	R2 ajustado
Papa	Eq15sqDegr	$Rend = c - pptacum - pptacumcrit + tmin * tmin + t$	3 709,8	5 532	0,61	0,55
	Eq17sq_a	$Rend = c + anlpromt + pptacum - pptacumcrit + tmin * tmin + t$	5 105,4	5 528,8	0,58	0,49
Trigo	Eq11sqDgr	$Rend = c + oscterm - pptacumcrit * pptacumcrit + t$	827,3	1 254,2	0,41	0,31
	Eq12sq	$Rend = c - pptacumcrit / pptacum * (pptacumcrit / pptacum) flormin + t$	1 131,0	1 254,2	0,41	0,32
Soja	Eq17sqDegr	$Rend = c - flormax + pptpromcrit(-1) * pptpromcrit(-1)$	1 302	1 877,8	0,35	0,24
	Eq12sq	$Rend = c - tprom + anlpprom * anlpprom + pptacumcrit(-1) - t$	1 961,6	1 881,8	0,50	0,38
Arroz	Eq20sqDegr	$Rend = c - ppt(-1) * ppt(-1) + tmax - tmin - t$	1 470,4	2 091,6	0,47	0,38
	Eq16sq_a	$Rend = c - anlmin - pptflor * pptflor - t$	2 543,8	2 120,5	0,68	0,62
Maíz	Eq7sqDegr	$Rend = c + flormax - tmin - ppt * ppt + t$	1 592,5	1 930,2	0,68	0,63
	Eq8sq	$Rendbol = + c + ppt * ppt + unidcalor + t$	2 071,7	1 879,8	0,64	0,58

Fuente: Elaboración Propia.

3. Resultados

Los resultados obtenidos muestran pérdidas totales por degradación importantes para la línea de base y los años a cuales se proyectó para capturar la incidencia del cambio climático en tierras degradadas y no degradadas. En el cuadro 11 se muestra esta situación en la línea de base y en las proyecciones a 2050 y 2100 para los cultivos seleccionados. En el cuadro 12 se presenta el resumen consolidado de las pérdidas por degradación y por los efectos del cambio climático en áreas afectadas y no afectadas por la degradación de las tierras.

Como puede verse, las pérdidas alcanzan al 15,5% en el año base y luego aumentan al 26,8% cuando la temperatura sube 1,5°C y a la mitad del PIB sectorial cuando la variación es de 3°C. Esta cifra es extraordinariamente elevada y pone de relieve la urgencia de ahondar en estos análisis a niveles territoriales más desagregados, con énfasis en las medidas de lucha contra la desertificación y de adaptación al cambio climático, acciones cuyo denominador común es recuperar la cubierta vegetal de las áreas afectadas y evitar que se amplíen.

CUADRO 11
BOLIVIA (ESTADO PLURINACIONAL DE): ESTIMACIÓN DE LAS PÉRDIDAS
POR DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS

(Valores brutos de la producción en millones de dólares)

	Degradado (1)	No degradado (2)	Suma (1+2)	VBP potencial (3)	Diferencia (2-3)
Papa					
Línea de base	147,36	52,74	200,10	237,42	-37,32
1,5°C adicionales	73,30	56,04	129,34	237,42	-108,08
3°C adicionales	38,55	47,79	86,35	237,42	-151,07
Trigo					
Línea de base	8,36	29,50	37,86	45,39	-7,52
1,5°C adicionales	8,54	42,57	51,12	45,39	5,73
3°C adicionales	6,97	47,82	54,78	45,39	9,39
Soja					
Línea de base	54,41	318,55	372,96	490,07	-117,12
1,5°C adicionales	62,24	283,82	346,06	490,07	-144,01
3°C adicionales	27,83	220,67	248,50	490,07	-241,58
Arroz					
Línea de base	22,92	39,32	62,24	65,53	-3,29
1,5°C adicionales	15,30	26,39	41,68	65,53	-23,85
3°C adicionales	9,72	6,71	16,43	65,53	-49,10
Maíz					
Línea de base	62,45	71,18	133,63	109,50	24,13
1,5°C adicionales	88,71	47,77	136,47	109,50	26,97
3°C adicionales	74,60	12,14	86,74	109,50	-22,76

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 12
BOLIVIA (ESTADO PLURINACIONAL DE): RESUMEN CONSOLIDADO DE LAS
PÉRDIDAS POR DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS. LÍNEA DE BASE Y
RESULTADOS CON 1,5°C Y 3°C ADICIONALES DE TEMPERATURA

(En millones de dólares y porcentajes del PIB agropecuario y el PIB total)

	Línea de base	1,5 °C adicionales	3 °C adicionales
Papa	-37,32	-108,08	-151,07
Trigo	-7,52	5,73	9,39
Soja	-117,12	-144,01	-241,58
Arroz	-3,29	-23,85	-49,10
Maíz	24,13	26,97	-22,76
Total muestra de cultivos representativos	-141,12	-243,24	-455,12
Total agrícola	-220,50	-380,06	-711,12
Total agropecuario	-275,63	-475,07	-888,90
Porcentaje del PIB agropecuario	-15,53	-26,77	-50,1
Porcentaje del PIB	-1,59	-2,74	-5,13

Fuente: Elaboración propia.

2. Chile

a) Introducción

En el caso de Chile se contó con las base de microdatos de los censos agropecuarios de los años 1997 y 2007, lo que permitió, por una parte, formarse una idea de la dinámica del procesos de degradación de las tierras y, por la otra, desagregar territorialmente el análisis desde el nivel nacional al de las principales Regiones afectadas del país hasta llegar a las comunas dentro de dichas Regiones. De igual modo, fue posible procesar una vasta cantidad de información relevante correspondiente a la gran mayoría de las unidades productivas censadas. Por ejemplo, en la IV Región se pudo contar con información sobre 4.955 unidades productivas, en la VI Región, sobre 13.370 y en la VIII Región, sobre 18.196.

La metodología de trabajo consistió en establecer, mediante un análisis de sección cruzada, las funciones de producción de las áreas afectadas y no afectadas por procesos de desertificación/degradación, y obtener indicadores del valor de la productividad total de los factores (PTF) y las elasticidades de los distintos factores productivos con respecto a la desertificación/degradación.

El mapa preliminar de desertificación de Chile permitió definir las áreas afectadas o no por la desertificación/degradación. Cabe aclarar que, de acuerdo con lo anterior, solo fue posible analizar la situación de las regiones IV a VIII, ya que para las Regiones I a III el número de unidades productivas es muy reducido y para las Regiones IX a XII no se cuenta con información necesaria y suficiente.

A partir de estos antecedentes se hizo un análisis agregado y uno desagregado y se aplicaron técnicas de estimación de fronteras económicas eficientes.

b) Resultados generales

Los resultados obtenidos con los datos del Censo Agropecuario de 1997 permiten establecer que la desertificación sigue siendo similar entre regiones, con un efecto negativo sobre la PTF y el factor tierra de alrededor del 20%, en promedio, para el conjunto de las regiones analizadas.

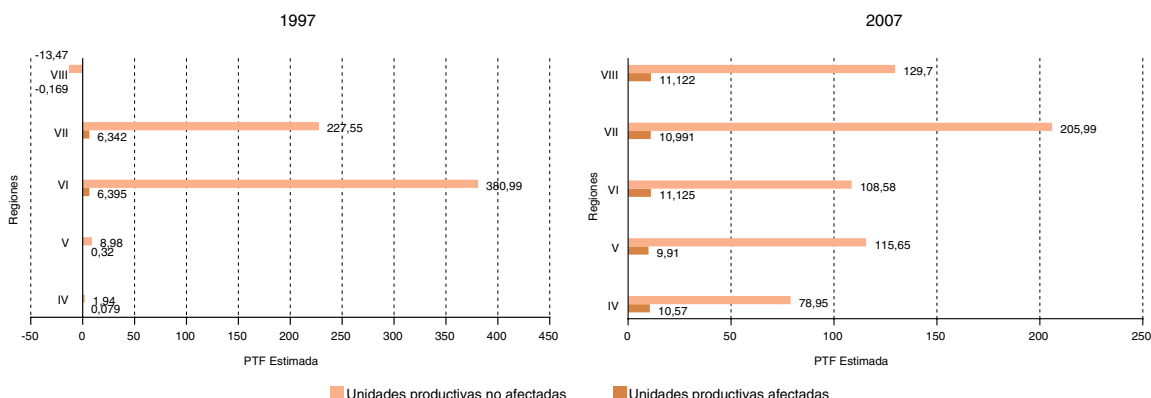
Se constata una diferencia significativa entre la productividad de los predios localizados en zonas afectadas por procesos de desertificación y la de aquellos que no sufren este fenómeno.

En el análisis agregado se puede ver que para las Regiones IV, VI y VIII ambos coeficientes son negativos y altamente significativos, lo que da cuenta de una menor PTF para las explotaciones afectadas por procesos de desertificación y de una menor elasticidad del VBP con respecto al factor tierra.

Las pérdidas medias de productividad llegan al 42,1% en la IV Región (4.955 observaciones correspondientes a igual número de unidades productivas), al 27,4% en la VI Región (13.370 observaciones), y al 16% en la VIII Región (18.196 observaciones).

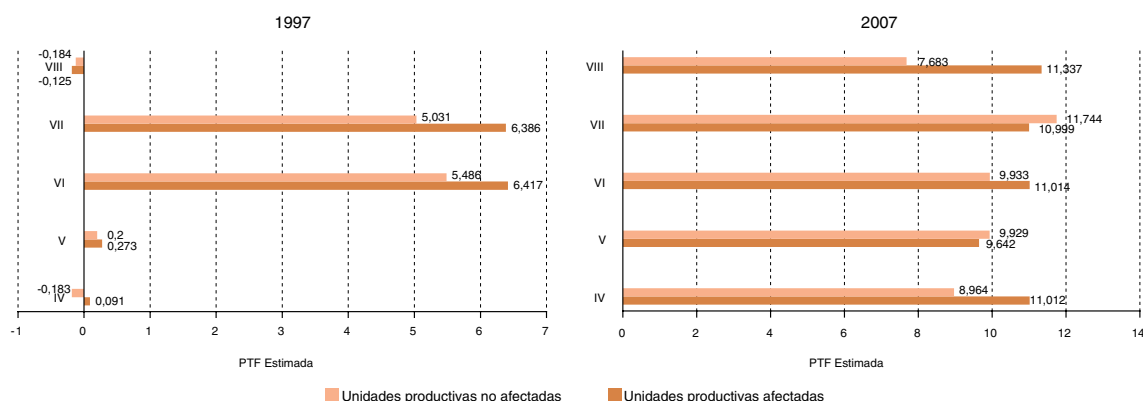
El análisis desagregado permite obtener el efecto de la desertificación al comparar los coeficientes de ambas regresiones, lo que muestra una diferencia importante para el factor tierra y la PTF en general, con variaciones en cuanto al efecto elástico de los otros factores productivos dependiendo de la zona analizada. Con respecto al efecto total sobre la producción, las predicciones realizadas informan sobre la diferencia entre la producción real y la potencial de las explotaciones localizadas en áreas desertificadas. De este modo se obtiene una frontera óptima de producción que permite estimar las pérdidas de producción debido a la desertificación. Las pérdidas varían según regiones, con un máximo de un 25%, en promedio.

GRÁFICO 1
CHILE: DIFERENCIAS DE PRODUCTIVIDAD TOTAL DE LOS FACTORES. ANÁLISIS
AGREGADO, CENSOS AGROPECUARIOS DE 1997 Y 2007



Fuente:

GRÁFICO 2
CHILE: DIFERENCIAS DE PRODUCTIVIDAD TOTAL DE LOS FACTORES. ANÁLISIS
DESAGREGADO, CENSOS AGROPECUARIOS DE 1997 Y 2007



Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 13
CHILE: ANÁLISIS AGREGADO, RESULTADOS CON INFORMACIÓN
DEL CENSO AGROPECUARIO DE 1997^a

Variable	4ª Región		5ª Región		6ª Región		7ª Región		8ª Región	
	Coef.	Test t*	Coef.	Test t*	Coef.	Test t*	Coef.	Test t*	Coef.	Test t*
T	0,546	28,05*	0,435	2,38*	0,648	70,92*	0,392	36,56*	0,514	87,47*
K	0,005	2,36**	0,01	5,37*	0,012	7,88*	0,012	4,71*	0,008	8,19*
L	0,077	5,02*	0,119	10,68*	0,373	16,82*	0,394	14,65*	0,169	16,45*
DES	-0,268	-5,31	-0,119	-0,51**	-0,836	-16,25*	-1,302	-22,40*	0,013	0,73
T*DES	-0,069	-2,51*	0,025	2,88	-0,331	-17,28*	0,027	1,23	-0,086	-9,6*
Const.	0,079	1,94***	0,32	8,98	6,395	380,99*	6,342	227,55*	-0,169	-13,47
R ²	0,557		0,499		0,569		0,344		0,515	
Test F	0,000		0,000		0,000		0,000		0,000	
Root MSE	0,798		0,819		1,297		1,462		0,733	
Obs.	6,22		8,04		23,88		12,81		22,85	

Fuente: R. Morera, Elaboración propia. Niveles de significancia: *=0,001; **=0,005 y ***=0,10.

CUADRO 14
CHILE: ANÁLISIS DESAGREGADO, RESULTADOS CON INFORMACIÓN DEL CENSO
AGROPECUARIO DE 1997^a

Variable	IV Región		V Región		VI Región		VII Región		VIII Región	
	No desagregado	Desagregado	No desagregado	Desagregado	No desagregado	Desagregado	No desagregado	Desagregado	No desagregado	Desagregado
T	0,532 (25,84*)	0,478 (21,56*)	0,466 (17,66*)	0,457 (24,65*)	0,708 (27,51*)	0,350 (17,37*)	0,344 (15,71*)	0,417 (15,10*)	0,512 (53,54*)	0,412 (49,91*)
K	0,014 (4,7*)	-0,005 (-1,47)	0,011 (3,59*)	0,01 (3,28*)	0,009 (1,87**)	0,004 (0,84)	0,016 (2,81*)	0,010 (1,91**)	0,006 (3,05*)	0,016 (11,53*)
L	0,114 (4,92*)	0,049 (2,24**)	0,098 (6,60*)	0,13 (6,07*)	0,32 (5,46*)	0,166 (2,73*)	0,446 (6,94*)	0,421 (4,63*)	0,187 (9,19*)	0,198 (9,46*)
Constante	0,091 (2,13**)	-0,183 (-4,53)	0,273 (5,48*)	0,2 (5,19*)	6,417 (122,83*)	5,486 (91,05*)	6,386 (106,19*)	5,031 (87,27*)	-0,184 (-8,81*)	-0,125 (-6,11*)
R ²	0,584	0,464	0,516	0,515	0,618	0,194	0,285	0,264	0,505	0,539
Prueba F	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Raíz cuadrada de error cuadrático medio (root MSE)	0,833	0,754	0,799	0,822	1,252	1,233	1,457	1,462	0,782	0,602
Observaciones	3 064	3 064	2 772	2 772	1 824	1 824	2 559	2 559	6 538	6 538

Fuente: R. Morera, Elaboración propia.

^a Niveles de significancia: *=0,001; **=0,005 y ***=0,10.

CUADRO 15
CHILE: PREDICCIONES SOBRE PÉRDIDAS MEDIAS DE PRODUCTIVIDAD,
INFORMACIÓN DEL CENSO AGROPECUARIO DE 1997
(En porcentajes)

Modelo	IV Región		V Región		VI Región		VII Región		VIII Región	
	Agregado	Desagregado	Agregado	Desagregado	Agregado	Desagregado	Agregado	Desagregado	Agregado	Desagregado
1	-64,7	-271,48	-16,92	-1,95	1,51	6,11	11,57	11,64	-573,45	-18,98
5	8,0	-149,66	-8,94	0,67	1,56	15,13	12,95	13,65	-19,37	5,22
10	8,0	-21,20	-8,35	1,66	1,56	18,25	13,79	14,81	-0,76	7,89
25	22,9	34,91	0,62	3,31	1,56	22,97	15,12	16,48	12,1	14,83
75	70,7	67,83	24,6	9,13	81,83	32,16	18,65	21,88	20,65	18,4
90	376,89	107,95	40,77	17,88	83,8	35,69	20,68	24,62	43,71	21,84
95	1,501,32	205,83	56,82	35,44	87,5	37,68	21,73	26,97	60,28	26,21
99	1,501,32	222,07	56,82	76,79	88,95	43,21	24,14	30,62	117,59	45,97
Media	191,12	42,15	13,17	9	25,1	27,37	17,11	19,9	6,2	16,07

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 16
CHILE: ANÁLISIS AGREGADO, RESULTADOS CON INFORMACIÓN
DEL CENSO AGROPECUARIO DE 2007^a

Variable	IV Región		V Región		VI Región		VII Región		VIII Región	
	No desagregado	Desagregado	No desagregado	Desagregado	No desagregado	Desagregado	No desagregado	Desagregado	No desagregado	Desagregado
T	0,403 (8,97*)	0,322 (10,41*)	0,426 (13,43*)	0,436 (14,13*)	0,598 (10,54*)	0,374 (7,95*)	0,44 (16,00*)	0,326 (14,01*)	0,627 (32,49*)	0,653 (42,95*)
K	0,125 (10,2*)	0,046 (3,17*)	0,018 (1,69***)	0,064 (5,38*)	0,059 (3,14*)	0,121 (4,16*)	0,093 (8,49*)	0,112 (9,86*)	0,166 (16,82*)	0,04 (2,68*)
L	0,05 (5,28*)	0,015 (2,15**)	0,056 (7,32*)	0,054 (7,48*)	0,006 (0,43)	0,049 (2,43**)	0,047 (6,95*)	0,088 (11,72*)	0,046 (8,23*)	0,028 (6,88*)
Constante	11,012 (66,38*)	8,964 (53,63*)	9,642 (75,19*)	9,929 (69,74*)	11,014 (47,2*)	9,933 (24,69*)	10,999 (80,92*)	11,744 (88,84*)	11,337 (93,52*)	7,683 (43,37*)
R ²	0,282	0,118	0,211	0,219	0,241	0,135	0,196	0,219	0,272	0,264
Prueba F	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Raíz cuadrada de error cuadrático medio (root MSE)	2,377	1,650	1,946	2,13	2,373	2,099	2,358	2,182	2,375	1,795
Observaciones	1 906	1 906	2 152	2 152	925	925	3 470	3 470	7 257	6 538

Fuente: R. Morera, Elaboración propia.

^a Niveles de significancia: *=0,001; **=0,005 y ***=0,10.

CUADRO 17
CHILE: ANÁLISIS DESAGREGADO, RESULTADOS CON INFORMACIÓN
DEL CENSO AGROPECUARIO DE 2007

Variable	IV Región		V Región		VI Región		VII Región		VIII Región	
	Coficiente	Prueba t*	Coficiente	Prueba t*	Coficiente	Prueba t*	Coficiente	Prueba t*	Coficiente	Prueba t*
T	0,49	11,85*	0,391	16,56*	0,566	36,55*	0,429	40,89*	0,631	43,14*
K	0,1	10,77*	0,042	6,15*	0,053	10,69*	0,088	19,79*	0,149	21,22*
L	0,025	5,23*	0,053	11,38*	0,025	7,21*	0,054	19,17*	0,04	12,24*
DES	-0,827	-9,38*	-0,218	-3,08*	-2,301	-18,45*	-0,000	-0,20	-2,028	-48,29*
T*DES	-0,233	-5,3*	0,074	2,20**	-0,139	-3,01*	0,000	3,59*	-0,054	-2,4**
Const,	10,57	78,95*	9,91	115,65*	11,125	108,58*	10,991	205,99*	11,122	129,7
R ²	0,319		0,208		0,273		0,204		0,371	
Test F	0,000		0,000		0,000		0,000		0,000	
Raíz cuadrada de error cuadrático medio (Root MSE)	1,991		2,024		2,318		2,311		2,238	
Observaciones	4 955		5 494		13 370		20 508		18 196	

Fuente: Elaboración propia en base a R. Morera.

^a Niveles de significancia: *=0,001; **=0,005 y ***=0,10.

CUADRO 18
CHILE: PREDICCIONES SOBRE PÉRDIDAS MEDIAS DE PRODUCTIVIDAD,
INFORMACIÓN DEL CENSO AGROPECUARIO DE 2007,
POR CUANTILES SEGÚN NIVELES DE PÉRDIDA
(En porcentajes)

Modelo	IV Región		V Región		VI Región		VII Región		VIII Región	
	Agregado	Desagregado	Agregado	Desagregado	Agregado	Desagregado	Agregado	Desagregado	Agregado	Desagregado
1	-52,91	7,78	-2,42	-3,31	20,79	17,47	-0,01	-5,95	15,85	19,16
5	-48,62	8,41	-1,35	-3,16	20,98	22,64	-0,01	-4,36	16,96	20,84
10	7,29	8,53	-0,67	-2,94	21,08	25,83	-0,01	-3,48	18,64	21,79
25	9,05	9,11	0,37	1,72	21,81	29,34	0,00	-1,45	19,95	23,55
75	13,16	14,43	2,47	2,53	22,6	32,62	0,00	2,16	22,11	28,95
90	15,14	15,45	3,15	2,74	22,75	33,5	0,00	3,17	23,21	32,27
95	17,68	23,52	3,38	2,79	22,82	33,92	0,00	3,67	23,41	32,99
99	21,02	25,43	4,9	3,01	22,94	34,58	0,00	4,68	24,5	37,2
Media	8,24	11,79	1,45	1,21	22,14	30,41	0,00	0,14	20,98	26,36

Fuente: Elaboración propia en base a R. Morera.

De acuerdo con los resultados obtenidos y tal como se resume en el cuadro 19, las pérdidas en el caso de la IV Región eran muy elevadas según el Censo de 1997 y disminuyeron notablemente 10 años después, en el Censo Agropecuarios de 2007. También se pueden apreciar disminuciones considerables en las Regiones V y VII, mientras que en las Regiones VI y VIII las pérdidas se incrementaron de manera significativa en el período comprendido entre ambos censos.

CUADRO 19
CHILE: VARIACIONES DE LA PRODUCTIVIDAD TOTAL DE LOS FACTORES ENTRE
LOS CENSOS AGROPECUARIOS DE 1997 Y 2007 ^a
(En porcentajes)

Modelo	IV Región		V Región		VI Región		VII Región		VIII Región	
	Agregado	Desagregado	Agregado	Desagregado	Agregado	Desagregado	Agregado	Desagregado	Agregado	Desagregado
Censo 1997	51,09	42,5	14,8	9,0	25,1	27,37	19,99	19,9	20,9	16,07
Censo 2007	12,38	11,79	1,17	1,21	29,22	30,41	0,00	0,14	26,75	26,36

Fuente: Elaboración propia en base a R. Morera.

^a Predicciones en logaritmos naturales del valor bruto de la producción (VBP).

c) Análisis en detalle para cada región

A continuación se presenta un análisis en detalle de los resultados obtenidos a partir del Censo Agropecuario de 1997 para cada una de las Regiones analizadas.

IV Región

1. Análisis agregado

Los coeficientes de los factores productivos son significativos para intervalos de confianza del 1%, del 5% para el factor capital y del 10% para la PTF. Estos coeficientes representan las elasticidades.

El coeficiente de la variable ficticia (*dummy*) desertificación no es significativo, lo que implicaría un efecto nulo sobre la producción. Sin embargo, el coeficiente TDES presenta un valor negativo importante y significativo, lo que reduciría la elasticidad VBP/tierra de 0,546 a 0,477.

Al realizar una predicción de los VBP se aprecian pérdidas significativas en los valores esperados. Estas van desde un -64,8% hasta un 1.500%, con pérdidas medias para el conjunto de la muestra de un 191%. Los resultados del análisis desagregado, que arrojan pérdidas de un 42%, aproximadamente, sugieren que la estimación podría estar sobreestimando los efectos.

2. *Análisis desagregado*

Ambas regresiones están hechas a partir de dos muestras aleatorias de 3.064 observaciones, extraídas de cada uno de los dos grupos con el fin de tener grupos muestrales similares y comparables. Se obtienen resultados significativos en ambos grupos, excepto para el factor capital y la PTF en el afectado por la desertificación.

Los coeficientes de los factores productivos y de la PTF son más altos para el grupo no afectado por la desertificación, lo que implica que las elasticidades son mayores y que existe una diferencia en términos de productividad.

En este caso, la predicción de las pérdidas varía desde un -200% a un 200%, aproximadamente, lo que haría pensar que son estimaciones más precisas. Las pérdidas medias son de un 42%, valor que podría corresponder a una región altamente afectada por procesos de desertificación.

V Región

1. *Análisis agregado*

Los coeficientes de los factores productivos son significativos para intervalos de confianza del 1%, del 5% para el factor capital y del 10% para la PTF. Estos coeficientes representan las elasticidades.

El coeficiente de la variable ficticia desertificación es significativo y tiene un efecto importante y negativo sobre la producción. Sin embargo, el coeficiente TDES no es significativo, por lo que no habría efecto alguno sobre la elasticidad VBP/tierra a causa de la desertificación.

Al realizar una predicción de los VBP se ven pérdidas significativas, con una media de un 13%, que no difiere demasiado de la predicción desagregada (9%).

Es importante señalar que en el análisis no se incluyeron datos de la comuna de Concón debido a falta de información censal; tampoco se consideraron datos de la Isla de Pascua, ya que las características singulares de la producción y el tipo de suelo agrícola de dicha zona no son comparables con las de zonas continentales del país.

2. *Análisis desagregado*

Ambas regresiones están hechas a partir de dos muestras aleatorias de 2.772 observaciones, extraídas de cada uno de los dos grupos con el fin de tener grupos muestrales similares y comparables.

Se obtuvieron resultados significativos en ambos grupos. Los coeficientes de los factores productivos (excepto del factor trabajo), y de la PTF son más altos para el grupo no afectado por la desertificación, lo que implica que las elasticidades son mayores y que existe una diferencia en términos de productividad.

VI Región

1. *Análisis agregado*

Los coeficientes son significativos para intervalos de confianza del 1%. El coeficiente de la variable ficticia desertificación es significativo al 1% y presenta un efecto negativo sobre el valor de la producción agrícola, corroborando así la hipótesis de que la desertificación disminuye la capacidad productiva. El coeficiente TDES es significativo y presenta un valor negativo considerable, lo que reduciría la elasticidad VBP/tierra.

Al realizar una predicción de los VBP de las tierras desertificadas y compararla con una predicción ficticia se puede estimar cual sería el VBP esperado de dichas explotaciones si no estuvieran condicionadas por la desertificación. La estimación realizada muestra que hay diferencias significativas en los VBP esperados, las que van de un 1,5% a un 88%, con pérdidas medias de un 25%.

2. *Análisis desagregado*

Ambas regresiones están hechas a partir de dos muestras aleatorias de 1.824 observaciones, extraídas de cada uno de los dos grupos con el fin de tener grupos muestrales similares y comparables.

Los resultados obtenidos son significativos en ambos grupos, excepto para el factor capital en el afectado por la desertificación.

Los coeficientes de los factores productivos y de la PTF son más altos para el grupo no afectado por la desertificación, lo que implica que tanto las elasticidades como la PTF son mayores en zonas no desertificadas.

De la predicción de los VBP se obtienen pérdidas significativas que van de un 6% a un 43%, con pérdidas medias de un 27%.

VII Región

1. *Análisis agregado*

Los coeficientes de los factores productivos son significativos para intervalos de confianza del 1%. Estos coeficientes representan las elasticidades.

El coeficiente de la variable ficticia desertificación es significativo y tiene un efecto importante y negativo sobre la producción. Sin embargo, el coeficiente TDES no es significativo, por lo que no habría incidencia alguna sobre la elasticidad VBP/tierra a causa de la desertificación.

Al realizar una predicción de los VBP se obtienen pérdidas significativas que van de un 11% a un 24%, con una media de un 17%, que no difiere demasiado de la predicción desagregada (19%).

2. *Análisis desagregado*

Ambas regresiones están hechas a partir de dos muestras aleatorias de 2.559 observaciones, extraídas de cada uno de los dos grupos con el fin de tener grupos muestrales similares y comparables. Se obtienen resultados significativos para todas las variables en ambos grupos.

Los coeficientes de los factores capital y trabajo son levemente más altos para el grupo no afectado por la desertificación. Sin embargo, se puede ver que con el coeficiente del factor tierra pasa el fenómeno contrario, lo que significaría que la desertificación tiene un efecto positivo sobre la productividad de la tierra. Finalmente, existe una diferencia importante entre los coeficientes de la PTF, que es mayor para las explotaciones no afectadas.

VIII Región

1. *Análisis agregado*

En el análisis de la VIII Región se han excluido los datos de una serie de comunas debido a que no hay información disponible sobre el grado de desertificación que las afecta. Estas comunas son: San Fabián, Coihueco, Pinto, El Carmen, Yungay, Pemuco, Tucapel, Antuco, Quilleco, Santa Barbará, Quillaco, Lota, Coronel, San Pedro de la Paz, Lebu, Arauco, Curanilahue, Los Alamos, Cañete, Contulmo y Tirúa.

Los coeficientes de los factores productivos son significativos para intervalos de confianza del 1%. Representan las elasticidades.

El coeficiente de la variable ficticia desertificación no es significativo, por lo que el efecto sobre la producción sería nulo. Sin embargo, el coeficiente TDES es significativo al 1% y negativo, lo que implica una reducción de la elasticidad VBP/tierra a causa de la desertificación.

Al realizar una predicción de los VBP se obtienen pérdidas significativas que van de un 500% a un 120%, lo que hace pensar que algunas estimaciones podrían ser demasiado elevadas. La pérdida media es de un 6%, que no concuerda demasiado con la predicción desagregada (16%).

2. *Análisis desagregado*

Ambas regresiones están hechas a partir de dos muestras aleatorias de 6.538 observaciones, extraídas de cada uno de los dos grupos con el fin de tener grupos muestrales similares y comparables. Se obtuvieron resultados significativos para todas las variables en ambos grupos.

Los coeficientes de los factores capital y trabajo son levemente más altos para el grupo afectado por la desertificación, lo que significa que las elasticidades son mayores en las zonas desertificadas. El coeficiente del factor tierra es más alto para el grupo no afectado, lo que implica que la desertificación tiene un efecto negativo sobre la productividad de la tierra. Finalmente, existe una diferencia leve entre los coeficientes de la PTF, que es mayor para las explotaciones desertificadas.

Los valores de las predicciones dan resultados más acordes con las estimaciones de regiones representativas (VI y VII), que varían de un -19% a un 45%, con una pérdida media de un 16%.

d) **Conclusiones**

Los resultados obtenidos muestran que los predios agrícolas que se encuentran en zonas desertificadas sufren una severa pérdida de productividad y, por ende, de nivel de ingresos, que llega hasta a un 50%, aproximadamente.

En el análisis agregado, en el cual el efecto de los procesos de desertificación es capturado por la variable ficticia desertificación y por la interacción entre esta y el factor tierra, se puede ver que para las Regiones IV, VI y VIII ambos coeficientes son negativos y altamente significativos. Ello da cuenta de una menor PTF para las explotaciones afectadas por procesos de desertificación y de una elasticidad también más baja del VBP respecto del factor tierra.

Es importante señalar que para la V Región se observa un efecto ligeramente positivo de los procesos de desertificación sobre la elasticidad VBP/tierra, lo que no concordaría con los supuestos iniciales del estudio, mientras que para la VII Región este fenómeno tendría un efecto nulo, con coeficientes iguales a cero tanto para la variable ficticia como para la interacción entre esta y el factor tierra. Mediante el análisis por separado es posible obtener el efecto de la desertificación al comparar los coeficientes de ambas regresiones, observándose una diferencia considerable para el factor tierra y la PTF en general, y con variaciones sobre el efecto elástico de los otros factores productivos, dependiendo de la zona analizada.

En relación con los resultados correspondientes a los datos del año 1997, se puede apreciar que no ha habido un cambio significativo de la tendencia. El efecto de la desertificación sigue siendo similar entre regiones, con un efecto negativo sobre la PTF y el factor tierra. Sin embargo, se presenta una situación particular en el caso de la VII Región, en la que los procesos de desertificación han dejado de tener un efecto claro sobre la productividad, lo que abre una serie de interrogantes al respecto.

En cuanto al efecto total sobre la producción, las predicciones realizadas informan de la diferencia entre la producción estimada de las explotaciones en zonas afectadas por procesos de desertificación y la producción estimada mediante la función de producción (parámetros estimados) de aquellas explotaciones que no sufren dichos procesos. Se obtiene así una frontera óptima de producción que permite estimar las pérdidas de producción a causa del efecto de los procesos de desertificación sobre el conjunto de los factores productivos y la PTF. Como puede verse, las pérdidas varían entre regiones, con un máximo de un 25% en promedio, y su tendencia ha experimentado cambios con respecto al año 1997, siendo en 2007 menos extremas entre regiones, lo que no implica, sin embargo, una disminución significativa de las pérdidas totales, que se sitúan en torno al 20%, en promedio, para el conjunto de regiones analizadas.

Es importante señalar que las pérdidas por desertificación estimadas a partir de los datos del Censo Agropecuario del año 2007 son menores, lo cual puede obedecer a dos factores diferentes, pero que posiblemente actúan en conjunto, hecho que sería conveniente dilucidar en el futuro mediante una investigación más acabada; uno de estos factores correspondería a una disminución de la presión sobre la tierra gracias al efecto de los programas de lucha contra la desertificación ya implementados. Un elemento adicional podría ser que hubiera nuevas unidades productivas afectadas por la desertificación y degradación no registradas adecuadamente, debido a que el mapa oficial de desertificación de Chile no está actualizado. La más baja productividad de estas nuevas unidades productivas podría determinar que la diferencia entre ambos grupos fuese menor.

Por último, la baja elasticidad relativa del factor trabajo puede estar relacionada con el hecho de que la gran mayoría de las unidades productivas son intensivas en mano de obra barata, poseen tierras marginales de baja productividad y cuentan generalmente con muy poco capital. Por lo tanto, el incremento marginal de la producción debido a la incorporación de un trabajador adicional es bastante menor que el que se puede generar mediante la adopción de nuevas tecnologías o, incluso, la ampliación del área cultivada.

3. Ecuador

En este trabajo se presentan cuatro análisis complementarios sobre la valoración económica de la degradación de las tierras en el Ecuador. El primero corresponde a una estimación del valor económico actual y reciente de la degradación de las tierras realizada sobre base de los microdatos del último Censo Agropecuario Nacional. Las regiones Galápagos y oriente se excluyeron debido a que no hay en ellas un número significativo de unidades productivas.

El segundo análisis se centra en la dinámica (o ritmo de incremento o disminución) alcanzado recientemente por el proceso de degradación. Para efectuarlo se utilizaron las bases de microdatos generadas por el proyecto GLADA, que cubren todo el territorio del Ecuador entre los años 1983 y 2002. Por esta razón, los resultados de esta etapa del análisis se refieren a las regiones costa, sierra y oriente.

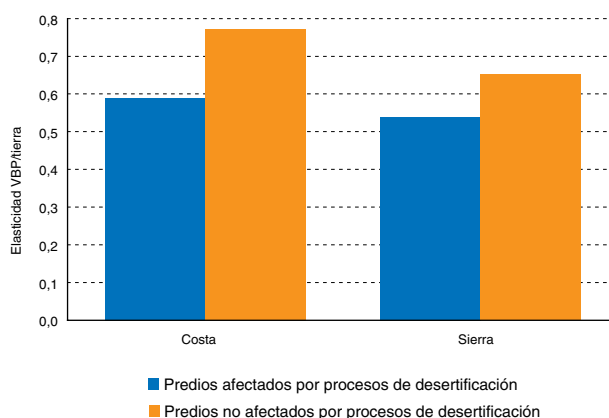
El tercer análisis trata de la vulnerabilidad socioeconómica de las áreas actualmente degradadas. Como indicador se utilizó el Índice de aridez y un indicador socioeconómico compuesto que da cuenta de la población rural con necesidades básicas insatisfechas que habita en las áreas degradadas.

El cuarto análisis corresponde a una estimación de la vulnerabilidad de las tierras a la degradación como consecuencia del cambio climático ante escenarios futuros alternativos definidos a partir de los criterios del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

Entre los principales hallazgos del estudio figuran las estimaciones de las pérdidas de VBP debido a la degradación, las que ascienden aproximadamente al 7,6% del VBP agrícola; este valor es el resultado de las pérdidas ponderadas de un 10% para la costa y un 6,3% para la sierra. A nivel de provincias, Manabí es la que más VBP pierde, seguida de El Oro, Imbabura, Loja y Guayas.

De la misma manera se ha podido determinar el efecto de la desertificación sobre el principal insumo utilizado en la producción agrícola, esto es, la tierra. Se ha comprobado que la elasticidad del VBP con respecto a cambios en la dotación de este factor productivo (es decir, el incremento porcentual del VBP ante un incremento del 1% de la tierra utilizada en la producción), es significativamente menor para aquellos predios afectados por procesos de desertificación, pasando de un 0,77% a un 0,58% en la zona de la costa y de un 0,65% a un 0,54% en la sierra. Esto se ilustra en el gráfico que sigue.

GRÁFICO 3
ECUADOR: DIFERENCIAS DE LA ELASTICIDAD TIERRA-VALOR BRUTO DE LA PRODUCCIÓN (VBP) POR REGIONES

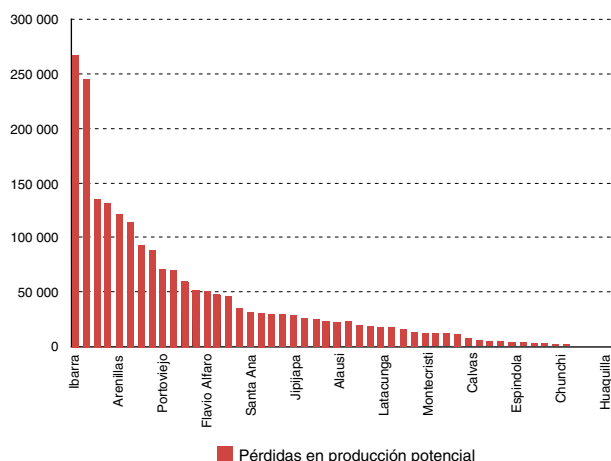


Fuente: Elaboración propia a partir de las estimaciones econométricas.

Por último, se ha comprobado también que la desertificación tiene un efecto negativo sobre la PTF o nivel de eficiencia de la producción. Este indicador, que se obtiene por medio de la estimación estadística de la función de producción, determina el nivel de eficiencia o tecnología que permite un mayor o menor nivel de producción para una misma dotación y combinación de insumos (factores productivos). De este modo se puede observar que aquellos predios ubicados en áreas afectadas por procesos de desertificación graves presentan una PTF significativamente inferior a la de aquellos núcleos productivos no afectados. Este efecto es muy significativo en la zona de la costa, mientras que en la sierra esta diferenciación sería menos marcada, lo que sugiere que el fenómeno se hace presente principalmente vía su efecto sobre la capacidad productiva de la tierra.

A nivel de cantones, las mayores pérdidas corresponden a Ibarra (Imbabura), Guaranda (Bolívar), Chone ((Manabí), Arenillas (El Oro), Espejo (Carchi), Catamayo (Loja), Portoviejo (Manabí) y Celica (Loja).

GRÁFICO 4
ECUADOR: PÉRDIDAS DE PRODUCCIÓN POTENCIAL POR CANTONES

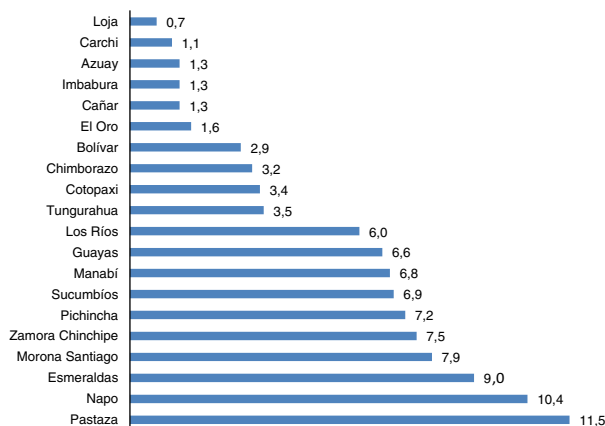


Fuente: Elaboración propia.

a) Dinámica de la degradación de las tierras

A este respecto se puede señalar que entre 1982 y 2003 se degradaron 34.686,3 km² de tierras, aproximadamente un 14,2% del territorio nacional, cifra que se suma a la superficie ya degradado anteriormente. De este total, un 25,9% corresponde a la sierra, un 30% a la costa y un 44,1% al oriente, fenómeno que en esta última región es relativamente reciente y altamente preocupante. En el oriente, las provincias de Napo, Pastaza y Morona Santiago suman un 36% del total, Manabí, Guayas y Esmeraldas en la costa aportan un 21,3%, mientras que en la sierra corresponde a Pichincha, Loja y Azuay un 13%.

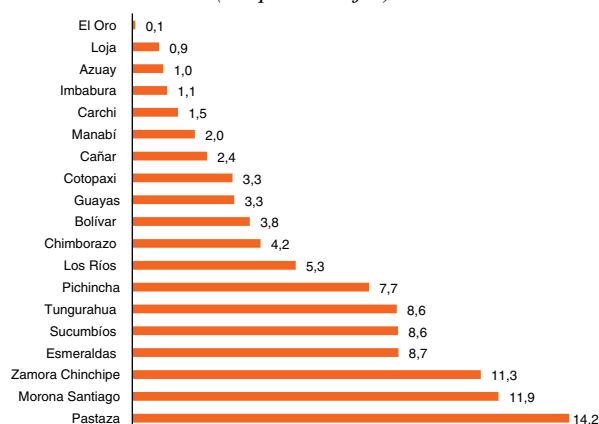
GRÁFICO 5
ECUADOR: TIERRAS DEGRADADAS EN CADA PROVINCIA, 1982-2002
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia.

Del total de las tierras degradadas en este período, el 19,9% corresponde a tierras con degradación severa, que se concentran mayoritariamente en el oriente, región en la que Pastaza, Morona Santiago, Zamora Chinchipe y Sucumbios son las que más contribuyen, correspondiéndoles un 46,1% del total. Si se agrega la provincia de Esmeraldas de la costa, la proporción llega casi al 55% del total nacional. En la sierra, Tungurahua, Pichincha y Chimborazo aportan un 20,5% del total de tierras con degradación severa.

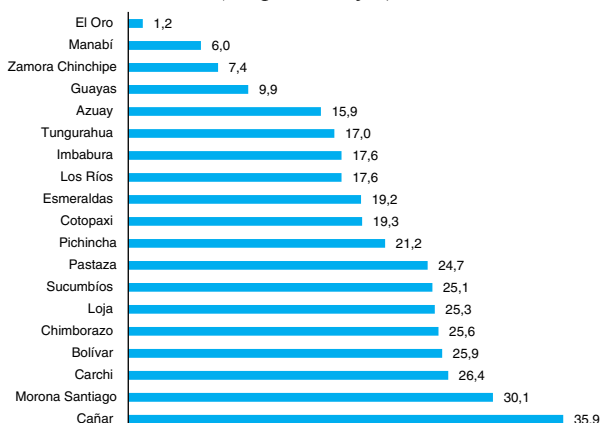
GRÁFICO 6
ECUADOR: TIERRAS AFECTADAS POR DEGRADACIÓN SEVERA
EN CADA PROVINCIA, 1982-2002
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, en la mayoría de las provincias una proporción apreciable de sus tierras degradadas sufre degradación severa. En primer lugar está Cañar, con un 36%, seguida de Morona Santiago, Carchi, Bolívar, Chimborazo, Loja, Sucumbíos y Pastaza, con proporciones entre más de 25% y más de un 33% del total de tierras degradadas.

GRÁFICO 7
ECUADOR: ÁREAS AFECTADAS POR DEGRADACIÓN SEVERA
EN CADA PROVINCIA, 1982-2002
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia.

b) Cantones más afectados

Entre los 10 cantones más afectados por procesos de degradación entre 1982 y 2002 figuran 5 de la sierra (Pimampiro en la provincia de Imbabura, Guamote en Chimborazo, Salcedo, Pangua y Pujilí en Cotopaxi), 4 de la costa (Junín, Paján y Chone en Manabí, Santa Rosa en El Oro y Guaranda en Bolívar, provincia localizada en el centro del Ecuador).

Con respecto al grado de vulnerabilidad a la desertificación, se constata que gran parte de la población vulnerable vive en la costa, y también que en la Amazonía una proporción creciente de lugares muestra un alto ritmo de degradación.

Del total nacional de hogares rurales, el 22,6% corresponde a la categoría de vulnerables. Su proporción en Guayas y Pichincha es relativamente baja, mientras que en Bolívar y Cotopaxi se ubican más de dos tercios de estos hogares, en tanto que en Zamora, Chinchipe, Chimborazo, Cañar, Napo, Loja, Morona Santiago y Tungurahua su número supera el 50%.

Por último, en relación con el cambio climático, la mayor parte del territorio ecuatoriano no aparece afectada por este fenómeno durante los períodos analizados (2001-2008 y 2046-2050). Es posible que en escenarios posteriores esta situación cambie considerablemente. Los antecedentes disponibles sugieren que en el caso del Ecuador son más relevantes, en términos de degradación y desertificación, los procesos generados a partir de actividades humanas, como deforestación, producción no sostenible y otros.

4. Perú

De acuerdo con lo señalado en la IV Comunicación Nacional del Perú a la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, en América del Sur el país ocupa el tercer lugar (después de la Argentina y el Brasil) entre aquellos con mayor extensión de tierras secas. Según estas estimaciones, las tierras secas –entre zonas hiperáridas, áridas, semiáridas y sub húmedas secas– totalizan más de 516.000 km², lo que constituye el 40% de la superficie del Perú (véase el cuadro 20).

CUADRO 20
PERÚ: EXTENSIÓN DE LAS TIERRAS SECAS
(En kilómetros cuadrados y porcentajes)

Categoría de tierras secas	Extensión	
	Km ²	Porcentaje
Zona hiperárida	80 968	6,3
Zona árida	48 838	3,8
Zona semiárida	128 520	10,0
Zona subhúmeda seca	258 328	20,1
Total tierras secas	516 654	40,2
Extensión territorio nacional	1 285 215	100,0

Fuente: Ministerio del Ambiente, Perú; Elaborado con base en Reynolds et al. (2005).

En 2006 el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) clasificó las tierras secas en tres categorías: desiertos, áreas desertificadas y áreas en proceso de desertificación. De acuerdo con los cálculos realizados por esa institución, dichas áreas totalizaban un 33,24% del territorio del Perú (42.715.077 ha o 427.000 km²), y vivía en ellas más del 80% de la población.

CUADRO 21
PERÚ: EXTENSIÓN Y POBLACIÓN DE LAS TIERRAS SECAS ^a

Categoría de tierras secas	Extensión		Población	
	Hectáreas	Porcentaje	Número de habitantes	Porcentaje
Desierto	8 330 281	6,48	12 926 578	48,33
En proceso de desertificación	30 522 010	23,75	7 768 598	29,04
Desertificadas	3 862 786	3,01	1 161 951	4,34
Total áreas	42 715 077	33,24	21 857 127	81,71
Total Perú	128521 560	100,0	26 748 665	100,0

Fuente: Ministerio del Ambiente, IV Comunicación Nacional del Perú a la Convención de Lucha contra la Desertificación y la Sequía, 2011, Elaborado en base a: INRENA. 2006.

^a Proyección del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) al 2002.

Es precisamente en estas áreas donde se concentra la mayor parte de las actividades económicas del país –agroindustriales, mineras y otras–, lo que las hace extremadamente vulnerables a la degradación.

Otros antecedentes muestran que casi un tercio de la superficie del país está afectada por procesos de erosión que van de moderados a fuertes. A esto se suman las áreas que sufren procesos de salinización graves en la costa del Perú.

CUADRO 22
PERÚ: EROSIÓN DE SUELOS SEGÚN GRADO DE INTENSIDAD
(En millones de hectáreas)

A nivel nacional	Superficie	Porcentaje
Intensidad de la erosión	128,52	100,0
Muy ligera	55,60	43,3
Ligera	33,90	26,4
Moderada	31,00	24,1
Severa	8,00	6,2
Erosión severa	8,00	100
Costa	1,90	23,8
Sierra	5,80	72,5
Selva	0,30	3,8

Fuente: Ministerio del Ambiente. IV Comunicación Nacional del Perú a la Convención de Lucha contra la Desertificación y la Sequía, 2011.

a) Cultivos seleccionados

Se seleccionaron los siguientes cultivos: arroz, maíz, algodón, café y caña de azúcar. Las razones se exponen a continuación.

- Arroz: Constituye un producto clave en la alimentación nacional.
- Maíz: El maíz amiláceo es un producto también clave en la alimentación nacional y es cultivado principalmente por pequeños productores. El maíz amarillo duro, por su parte, es la base de la producción de alimentos para el ganado y, en especial, para las aves de criadero.
- Algodón: Se trata de un producto de exportación de alta calidad, parte del cual va también al mercado interno.
- Café: Es un producto destinado al mercado interno y en una proporción pequeña, pero creciente, a la exportación. Es cultivado principalmente por pequeños productores.
- Caña de azúcar: Se produce para abastecer el mercado interno y, en forma progresiva, para la destilación de etanol.

En los cultivos analizados se concentra el 60% del área cultivada. De este total el maíz amarillo duro representa el 9,8%, el maíz amiláceo, el 6,6%, y la papa, el 12,5%.

Su distribución por regiones es la siguiente: i) El arroz es cultivado en la costa norte y en la selva; ii) el maíz amarillo duro en toda la costa del Perú; iii) el algodón en la costa norte, centro y sur del país; iv) el maíz amiláceo en la sierra, y iv) el café en la zona entre la costa y la sierra, así como en la ceja de selva entre la sierra y la región oriental.

b) Construcción de la línea de base

En primer lugar se definieron para cada país las áreas homogéneas y representativas en las que se cultivan los productos seleccionados. En el Perú estas zonas fueron costa norte, centro y sur, selva y selva norte, sierra y ceja de selva.

A continuación se construyeron las variables climáticas de temperaturas máximas y mínimas y de precipitaciones para las zonas agroecológicas definidas para cada país. Para ello se elaboraron mapas de cada zona para identificar los puntos de las grillas correspondientes y así precisar los límites de cada zona y proceder a interpolar los puntos entre las grillas. A continuación se extractaron los datos de las variables climáticas mencionadas, primero para construir la línea de base y luego para los años de corte 2020, 2050 y 2100, cada uno de ellos precedido por una serie de 10 años.

Se recopiló y procesó información fenológica sobre los cultivos seleccionados a fin de ajustar la especificación del modelo a sus respectivas características biológicas en las regiones escogidas.

Se construyeron bases de datos sobre cada uno de los cultivos seleccionados para la variable de rendimiento, desagregada a nivel de las zonas definidas. El objetivo era disponer de información suficientemente amplia como para validar los modelos explicativos. Se utilizaron series temporales de los años 1985 a 2008 inclusive.

c) Fenologías

A continuación se presentan las fenologías de los principales cultivos del país.

DIAGRAMA 2
PERÚ: FENOLOGÍAS DE LOS CULTIVOS SELECCIONADOS



Emergencia	Aparición de hojas	Panoja	Espiga	Maduración lechosa	Maduración pastosa	Maduración córnea
Aparición de las plantitas por encima de la superficie del suelo	Comienza desde que aparecen las dos primeras hojas, debiéndose anotar como fase “dos hojas”, y así sucesivamente de acuerdo al número de hojas que vayan saliendo hasta el inicio de la fase panoja	Se observa salir la panoja de la hoja superior de la planta, sin ninguna operación manual que separe las hojas que la rodean	Salida de los estigmas (barba o cabello del choclo), se produce a los 8 o 10 días después de la aparición de la panoja	Se ha formado la mazorca y los granos al ser presionados presentan un líquido lechoso	Los granos de la parte central de la mazorca adquieren el color típico del grano maduro. Los granos, al ser presionados, presentan una consistencia pastosa	Los granos de maíz están duros. La mayoría de las hojas se ha vuelto amarillas o se han secado

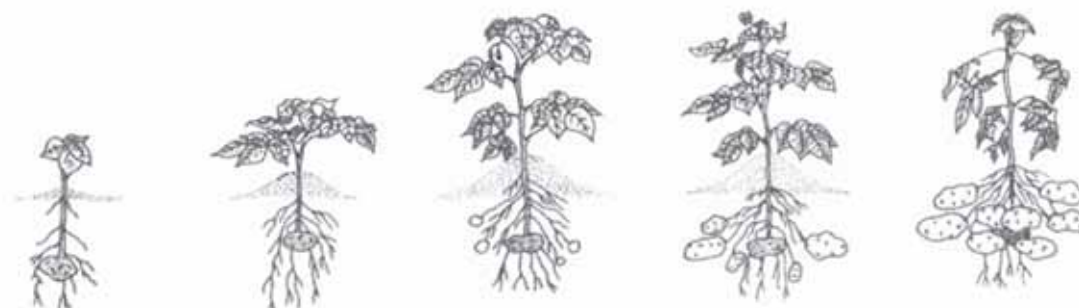
Diagrama 2 (continuación)

FASES FENOLÓGICAS DEL ALGODONERO
Gossypium barbadense



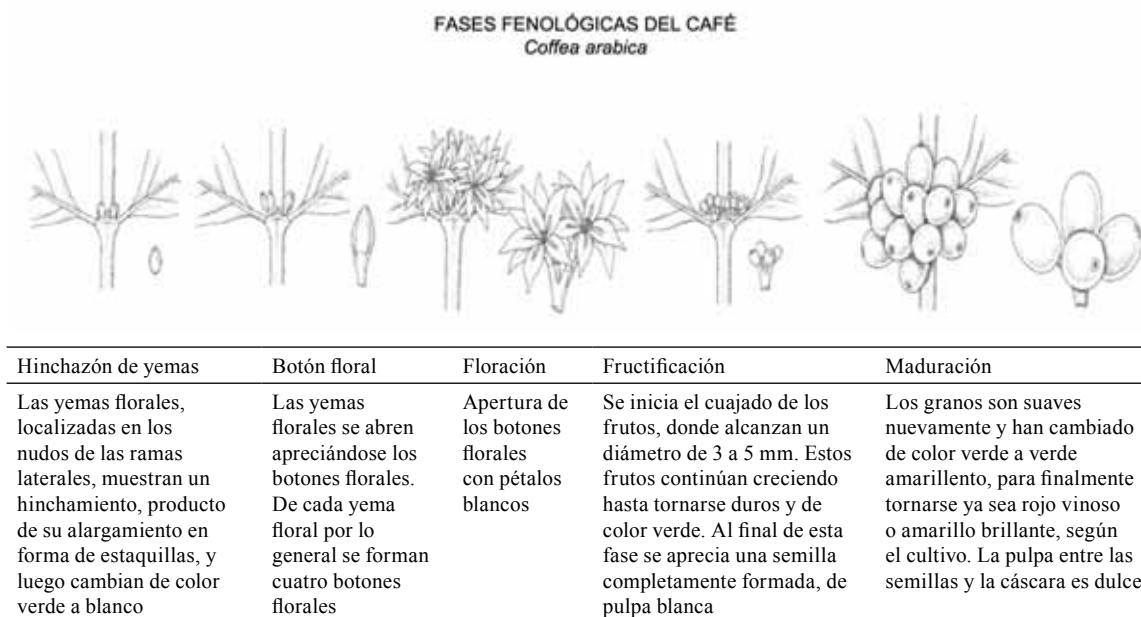
Emergencia	Tercera hoja verdadera	Quinta hoja verdadera	Botón floral	Floración	Formación de bellotas	Apertura de bellotas	Maduración
Aparición de los cotiledones por encima de la superficie del suelo	Se observa la tercera hoja verdadera en la planta	Se observa la quinta hoja verdadera en la planta	Se aprecia el primer botón floral. Los botones tienen la forma de una pirámide de tres lados. Se anota la fase cuando el botón floral alcanza de 3 a 5 mm	Aparece la primera flor, mateniéndose abierta usualmente un solo día. Se abre en la mañana y, después de cambiar de color, se marchita antes del anochecer	Aparecen las primeras bellotas, bien formadas; las bellotas alcanzan aproximadamente 1 cm de tamaño	Se observa una abertura en el extremo superior de las bellotas, de aproximadamente 1 cm de ancho, y pueden verse las fibras del algodón	La bellota se encuentra totalmente abierta. Las fibras del algodón se notan plenamente

FASES FENOLÓGICAS DE LA PAPA
Solanum tuberosum



Emergencia	Brotos laterales	Botón floral	Floración	Maduración
Aparecen las primeras hojas sobre la superficie del suelo	Los brotes que surgen desde el tallo principal son aéreos y subterráneos. Los primeros dan lugar a la formación del follaje de la planta y los segundos a rizomas, donde posteriormente engrosarán en la porción distal para la formación de tubérculos	Aparecen los primeros botones florales	Se abren las primeras flores	Debe observarse el cambio de color de la hoja porque hay una relación directa con la maduración del tubérculo. Descubriendo la base de las plantas ver si la piel de la papa está bien adherida y no se desprende; por otro lado, la papa está madura cuando al ser presionada con los dedos no pierde su cáscara

Diagrama 2 (conclusión)



Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAHMI).

d) Modelos explicativos para la línea de base

Sobre la base de la información anterior se probaron diferentes tipos de modelos para ajustar la relación entre las variables climáticas y los rendimientos. En su especificación se consideraron los antecedentes sobre la fenología de los cultivos y se procedió a buscar la mejor especificación posible mediante aproximaciones sucesivas basadas en numerosas pruebas de ajuste.

e) Modelos seleccionados

De acuerdo con la información disponible sobre producción y variables climáticas se especificaron distintos modelos de rendimiento para los cultivos seleccionados, procurando en todos los casos seguir su fenología.

CUADRO 23
PERÚ: MODELOS SELECCIONADOS

Cultivo	Modelo	Especificación	C	Rendimiento promedio	R2	R2 ajustado
Arroz	08	$Rend=C d(tflorac) d(precip*precip) t$	5 552,8	7 336,7	0,63	0,57
	10	$Rend = C - tme - precip(-1)*precip(-1) + t$	8 556,9	7 336,7	0,62	0,56
Maíz amiláceo	05SQ	$Rend= C + anpptnovabr tminmarabr-ppt(-1)* ppt(-1)+t$	1 866,5	1 758,2	0,88	0,84
	06sqDeg	$Rend=C -Ppt*Ppt +Max- tminmarabr+T$	1 269,9	1 741,2	0,86	0,82
Maíz amarillo duro	05	$Rend=c-ucalort12+ppt(-1)*ppt(-1)+tmin+t$	5 047,8	5 751,5	0,96	0,93
	06	$Rendlalib = c - ucalort12 - precip(-1)*precip(-1) t$	3 246,2	5 751,5	0,95	0,93
Caña de azúcar	04	$Rendnacional =c - flormax-florpromt - pptfloracum*pptfloracum + tmin$	10 096,8	11 426,7	0,68	0,63
	05	$Rendnacional = c - (flormax-florpromt) - pptfloracum*pptfloracum +tmin - t$	7 559,8	11 426,7	0,68	0,61
Café	03	$Rendjunin = c+d(anomalia)+d(precipit(-1)*precipit(-1))+t$	484,0	648,3	0,39	0,29
	04	$rendjunin = c + d(anomalia*anomalia) - (precipit) + t$				
Papa	17sq	$Rendpapa = c tmnansier-pptsier-pptdicmarr*pptdicmarr$	5 407,9	7 520,3	0,73	0,68
	15sq	$Rendpapa = c + tmnansier - precip - pptdicmarr*pptdicmarr$	4 269,3	7 520,3	0,70	0,65

Fuente: Elaboración propia.

f) Resultados para la línea de base

A partir de los rendimientos obtenidos y los promedios nacionales se estimaron los diferenciales de rendimiento. Con esta información y los precios a nivel de productor se calcularon los VBP.

CUADRO 24
PERÚ: ESTIMACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR DEGRADACIÓN Y DESERTIFICACIÓN
(En millones de dólares)

Cultivo	Diferencial de rendimiento	Superficie	Producción nacional	Precios (dólares/ton)	VBP nacional
Arroz	-1 783,9	341 092	-608 486 702	292,2	-177 799,8
Maíz amiláceo	-305,9	194 012	-59 340 510,3	235,9	-13 998,4
Maíz amarillo duro	-703,6	280 775	-197 559 468,4	452,2	-89 336,4
Mango	-3 071,5	23 976	-73 642 898,3	285,7	-21 039,8
Caña de azúcar	-361,8	67 065	-24 262 177,4	20,2	-490,1
Café	-164,3	315 114	-51 757 540,2	1 794,1	-92 858,2
Algodón	-999,1	86 776	-86 700 504,9	654,5	-56 745,5
Papa	-2 112,4	263 675	-556 978 212,9	219,3	-122 145,3
Total		1 572 488	-1 658 728 014		-574 413,5

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el Banco Central de Reserva del Perú, el PIB agropecuario asciende a 5.952,6 millones de dólares. Por otra parte, las pérdidas por degradación y desertificación representan un 7,7% del PIB agropecuario.

g) Efectos de cambios de temperatura

A continuación se analiza la incidencia de incrementos de 1°C y de 3°C de temperatura y el efecto de estos cambios sobre el régimen de precipitaciones con respecto a la línea de base, bajo el supuesto de que la estructura productiva y todas las otras condiciones permanecen inalteradas. En el cuadro 25 se muestran las estimaciones del VBP en áreas afectadas y no afectadas por la desertificación y degradación, así como del VBP potencial, es decir, el que se obtendría si no estuvieran presentes los procesos de degradación de las tierras. Sobre la base de estos antecedentes se estimaron las pérdidas totales como proporción del PIB agrícola (véase el cuadro 26).

CUADRO 25
PERÚ: ESTIMACIÓN DEL VBP REAL Y POTENCIAL PARA LOS PRODUCTOS
SELECCIONADOS EN ÁREAS AFECTADAS Y NO AFECTADAS POR LA
DEGRADACIÓN Y DESERTIFICACIÓN. LÍNEA DE BASE Y EFECTOS
CON 1°C Y 3°C DE TEMPERATURA ADICIONALES

Maíz amiláceo duro	Degradado	No degradado	Suma	VBP potencial	Diferencia
Línea de base	101 782 332,8	155 369 323,2	257 151 656,0	249 518 127,2	-7 633 528,8
Más 1°C	115 860 524,8	155 369 323,2	271 229 848,0	338 633 204,1	67 403 356,1
Más 3°C	119 844 353,6	155 369 323,2	275 213 676,8	317 133 589,5	41 919 912,7
Arroz					
Línea de base	281 152 191,1	888 628 078,0	1 169 780 269,0	671 394 639,2	-498 385 629,8
Más 1°C	295 146 191,5	891 049 957,8	1 186 196 149,3	673 176 732,4	-513 019 416,9
Más 3°C	302 910 887,7	893 774 572,6	1 196 685 460,3	675 256 527,1	-521 428 933,2
Café					
Línea de base	101 810,9	256 382,5	358 193,4	478 493 803,9	478 135 610,5

(continúa)

Cuadro 25 (conclusión)

Maíz amiláceo duro	Degradado	No degradado	Suma	VBP potencial	Diferencia
Más 1°C	138 743,8	331 753,8	470 497,6	619 161 429,5	618 690 931,9
Más 3°C	158 580,6	324 822,6	483 403,3	60 622 5613,9	605 742 210,6
Caña de azúcar					
Línea de base	29 455,3	92 293,1	121 748,4	117 822 970,9	117 701 222,5
Más 1°C	64 110,8	181 310,7	245 421,6	256 447 211,1	256 201 789,6
Más 3°C	39 855,7	119 089,6	158 945,3	159 425 087,1	159 266 141,8
Maíz amiláceo					
Línea de base	37 492 284,8	61 566 148,3	99 058 433,1	146 655 211,8	47 596 778,7
Más 2,5°C	44 893 679,7	72 399 263,5	117 292 943,2	172 460 509,8	55 167 566,6
Más 5°C	48 203 661,1	79 081 741,0	127 285 402,1	188 378 675,4	61 093 273,3
Papa					
	Eq26	Eq25			
Línea de base	68 755 861,9	308 454 397,0	377 210 259,0	474 544 534,1	97 334 275,0
Más 2,5°C	82 289 966,8	324 218 700,0	406 508 666,0	498 797 271,8	92 288 605,0
Más 5°C	93 060 033,8	335 005 393,0	428 065 426,0	515 392 160,0	87 326 734,0

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 26 PERÚ: ESTIMACIÓN CONSOLIDADA DE PÉRDIDAS POR DEGRADACIÓN Y DESERTIFICACIÓN

(En millones de dólares y porcentajes del PIB agrícola)

	Línea de base	1°C - 2,5°C	3°C - 4°C
Arroz	-498,4	-513,0	-521,4
Maíz amiláceo	47,6	55,2	61,1
Maíz amiláceo duro	-7,6	67,4	41,9
Papa	97,3	92,3	87,3
Caña de azúcar	117,7	256,2	159,3
Café	478,1	618,7	605,7
Millones de dólares (70%)	234,7	576,7	433,9
Millones de dólares (100%)	305,17	750	564,1
PIB agrícola	5 658,8		
Pérdida de PIB agrícola	5,4	13,0	10,1

Fuente: Elaboración propia.

5. Perú, región de Piura

Se seleccionó la región de Piura para realizar el estudio de valoración económica de la degradación por dos razones:

- Sus especiales características, ya que es un área que presenta procesos de degradación importantes y variaciones de temperatura y precipitaciones acentuadas por la influencia del fenómeno climatológico de El Niño.
- A fin de probar una metodología de valoración de la degradación sin disponer de un censo agropecuario reciente. En este caso se trabajó sobre la base de series temporales de datos sobre producción y rendimientos, reconstruidas digitalmente a partir de información escrita obtenida de cada una de las agencias agrarias ubicadas en los principales valles de la región de Piura.

El ejercicio descrito permitió poner a punto la metodología diseñada para así poder aplicarla después en otros contextos similares en los que tampoco se dispusiera de bases de microdatos de censos agropecuarios recientes.

a) Antecedentes

La región de Piura se ubica en la parte noroccidental del Perú y tiene una superficie de 35.892 km² (2,8% del territorio nacional). Se divide en 8 provincias y 64 distritos; su capital es la ciudad de Piura.

De acuerdo con la información disponible, las tierras de uso agropecuario y forestal actual y potencial cubren una superficie de 1.571.501 hectáreas, de las cuales 716.585 hectáreas (45,6% del total), se encuentran afectadas en alguna medida por procesos de desertificación y degradación.

La degradación por deforestación es el problema más serio y está presente en 543.872 hectáreas, que representan el 76% de la superficie total afectada. Le sigue en importancia la degradación de suelos debido a la salinización. Este fenómeno se produce debido a la realización de actividades agrícolas en áreas bajas, incluso bajo el nivel del mar, lo cual provoca afloramientos de la napa freática. En este sentido, el cultivo del arroz es uno de los que presentan más problemas por su rápida expansión, la gran cantidad de agroquímicos que utiliza y su uso intensivo de agua. La superficie afectada por este problema totaliza 112.862 hectáreas, lo que representa el 16% del área total degradada (véanse el cuadro 28 y el gráfico 8).

CUADRO 27
PERÚ, REGIÓN DE PIURA: DISTRIBUCIÓN DE LAS TIERRAS
SEGÚN USO ACTUAL Y POTENCIAL

Categorías	Superficie (hectáreas)	Porcentaje
Área potencialmente agrícola	277 572	7,6
Área bajo riego	146 837	4,1
Área de posible incorporación	68 980	1,9
Área de secano	61 755	1,7
Bosque de protección	148 539	4,1
Bosque de producción	867 818	23,8
Total agropecuario y forestal	1 571 501	43,2
Otros usos	2 068 847	56,8
Total	3 640 348	100

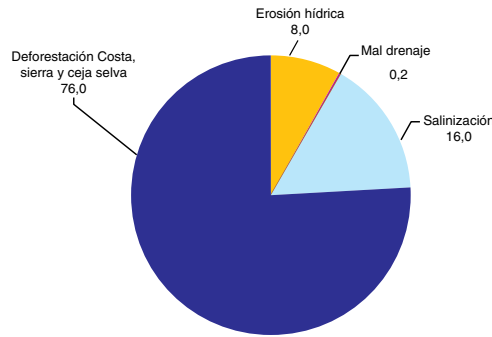
Fuente: Gobierno Regional de Piura. Desertificación y deforestación de los suelos con potencial agrícola, pecuario y forestal en la Región Piura. Norvil Mera.

CUADRO 28
PERÚ, REGIÓN DE PIURA: TIERRAS DE USO AGROPECUARIO Y FORESTAL ACTUAL
Y POTENCIAL AFECTADAS POR PROCESOS DE DESERTIFICACIÓN Y DEGRADACIÓN

Zonas afectadas	Superficie (hectáreas)
Por erosión hídrica	58 095,2
Por mal drenaje	1 755,3
Por alta concentración de sales y sodio	112 862,1
Por deforestación en costa, sierra y ceja de selva	543 872,4
Total afectado	716 585,0

Fuente: Gobierno Regional de Piura. Desertificación y deforestación de los suelos con potencial agrícola, pecuario y forestal en la Región Piura. Ing. Norvil Mera.

GRÁFICO 8
PERÚ, REGIÓN DE PIURA: CAUSAS DE LA DEGRADACIÓN Y DESERTIFICACIÓN DE LAS TIERRAS



Fuente: Gobierno Regional de Piura. Desertificación y deforestación de los suelos con potencial agrícola, pecuario y forestal en la Región Piura. Ing. Norvil Mera.

De acuerdo con estudios de campo realizados por el gobierno regional, el valle del Bajo Piura, que posee las mejores tierras agrícolas bajo cultivo, es el más afectado por problemas de salinización y mal drenaje. Le siguen el valle del Bajo Chira y el valle San Lorenzo; el menos afectado es el valle del Medio Piura. Se estima que el área que sufre estos problemas representa alrededor del 30% del total, esto es, unas 30.000 hectáreas, cuya recuperación requiere un manejo técnico cuidadoso tanto de la red de drenaje como de los procesos de salinización y sodificación.

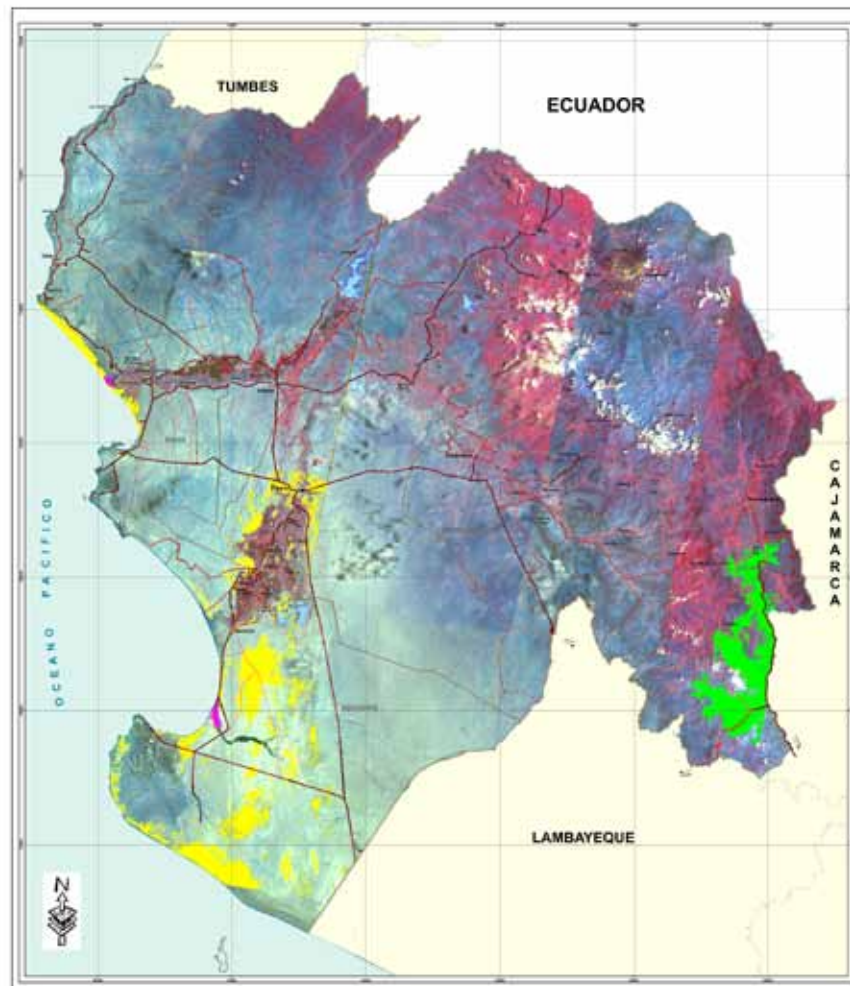
Los mapas siguientes ilustran dicha situación para la región en su conjunto.

MAPA 2
PERÚ, REGIÓN DE PIURA: MAPA DE PELIGRO DE EROSIÓN EN LAS CUENCAS DE LOS RÍOS CHIRA Y PIURA



Fuente: Gobierno Regional de Piura Desertificación y deforestación de los suelos con potencial agrícola, pecuario y forestal en la Región de Piura. Ing. Norvil Mera.

MAPA 3
PERÚ, REGIÓN DE PIURA: MAPA DE DESERTIFICACIÓN



LEYENDA	TOTAL
Zonas de Desertificación por erosión hídrica	88.095,20 Has.
Zonas de Desertificación por mal drenaje	1.768,30 Has.
Zonas de Desertificación por procesos de salinización y sodificación de alta concentración	112.862,12 Has.

Fuente: Gobierno Regional de Piura. Desertificación y deforestación de los suelos con potencial agrícola, pecuario y forestal en la Región Piura. Ing. Norvil Mera.

b) Fuentes de información

1. Información sobre variables climáticas

Se pudo acceder a las series de información climática mensual elaboradas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SNAMHI). Esta información está presentada por estaciones meteorológicas para cada valle y cubre los años 1987 a 2007. Para recopilar los datos que permitieran seleccionar las estaciones meteorológicas más representativas de cada valle según los cultivos considerados se contó con el valioso apoyo del SENAMHI.

También se pudo disponer de las series de datos climáticos para la región de Piura, generadas a partir del modelo PRECIS entregado por el Instituto de Investigaciones Espaciales del Brasil (INPE). Esta información fue bajada a escala territorial para las áreas de interés, es decir, aquellas en las que se realizan las actividades productivas seleccionadas para el análisis.

2. Información sobre producción

Dado que no se contaba con toda la información requerida, tanto en número de años como en nivel de desagregación, se organizó un trabajo de campo con la Dirección Regional de Agricultura y los responsables de las seis agencias agrarias de la región de Piura. Estas entidades consolidan la información estadística de producción, rendimientos y superficie a nivel de cada valle agrario.

En muchos casos, al no disponerse de la información necesaria para realizar las estimaciones econométricas, la Dirección Regional de Agricultura proporcionó los archivos manuscritos con datos sobre producción, superficie y rendimiento de los cultivos representativos según la importancia de su aporte en cada valle. Esta información fue sistematizada y digitalizada para reconstruir las series temporales de los cultivos seleccionados.

c) Metodología

La metodología de trabajo consistió en estimar el VBP de las áreas afectadas y no afectadas por procesos de desertificación y degradación y obtener el diferencial entre ambas, que representa el valor de la producción perdida o costo de la inacción.

Con este propósito se procedió a especificar funciones de rendimiento de los principales cultivos de cada valle analizado, para lo cual se definieron como variables explicativas o independientes las precipitaciones y temperaturas expresadas directamente, o bien como anomalías, considerando para hacerlo la fenología de cada cultivo en particular.

La fenología, es decir los requerimientos de agua y de temperatura para cada fase relevante de desarrollo de los cultivos analizados, se definió de acuerdo con los criterios de las instituciones especializadas, en particular el SENAMHI del Perú y los expertos de la región de Piura.

De las estimaciones realizadas se seleccionaron las más robustas, con mayor poder explicativo. Para determinar cada uno de los modelos fue sometido a diferentes pruebas de significancia individual y global, de multicolinealidad, heterocasticidad y autocorrelación, además de las pruebas de raíz unitaria y de estabilidad. En total se aplicaron 15 pruebas.

d) Resultados

1. Estaciones meteorológicas

Por sus características e importancia, y a sugerencia del Director Regional de Agricultura, se seleccionaron cuatro valles con los cuales trabajar. Para cada uno de ellos, con el apoyo experto del SENAMHI, se escogieron las estaciones meteorológicas más adecuadas (véase el cuadro 29).

CUADRO 29
PERÚ, REGIÓN DE PIURA: VALLES AGRÍCOLAS, ESTACIONES METEOROLÓGICAS
Y CULTIVOS SELECCIONADOS

Agencia agraria	Valle agrícola	Estación meteorológica	Cultivos seleccionados
La Unión	Medio y Bajo Piura	Miraflores	Arroz Algodón Limón Maíz amarillo duro
Cruceta	San Lorenzo	El Partidor	Arroz Algodón Maíz amarillo duro Limón
Chulucanas	Alto Piura	Morropon	Arroz Algodón Maíz amarillo duro Limón Mango
Sullana	El Chira	Mallares	Arroz Algodón Maíz amarillo duro Limón

Fuente: Oficina de Información Agraria de la Dirección Regional de Agricultura, SENAMHI.

2. *Cultivos seleccionados*

- Arroz

Los rendimientos promedio del arroz para la serie analizada fluctúan entre 7.472 kg/ha en el valle del Chira y 6.578 kg/ha en el Alto Piura, con un promedio regional de 6.300 kg/ha. Se trata de un cultivo que requiere agua en forma intensiva, logra rendimientos aceptables y, además, muestra una expansión lenta, pero sostenida. En algunos valles su tendencia ha sido ascendente a lo largo de los años, pero sobre la base del uso intensivo de maquinaria, equipos y, progresivamente, más agroquímicos. Esto último ha provocado problemas serios de degradación de suelos por salinización, lo que se agrava cuando las tierras se ubican a nivel del mar o bajo este, como en el caso del Bajo Piura. Es importante destacar que en 1999 se observa el fuerte impacto que ejerció el fenómeno de El Niño sobre los rendimientos, aunque estos, en los años posteriores, mostraron una notable recuperación al quedar fertilizadas naturalmente las tierras afectadas.

Debido a las características de los suelos, la alta utilización de agroquímicos y maquinaria y el efecto de este cultivo en términos de degradación, se han implementado programas para promover su reemplazo, pero como es importante para los campesinos, lo siguen realizando. No obstante, la superficie sembrada muestra fuertes fluctuaciones a lo largo de la serie, llegando a su punto más alto en 2005.

- Algodón

Este es un cultivo emblemático de la región de Piura y lo realizan principalmente agricultores campesinos. En el valle del Medio y Bajo Piura se siembra la variedad Pima, que es de alta calidad y se destina a la exportación. Debido a los altos costos del cultivo, principalmente asociados al control de plagas, la superficie cultivada muestra un marcado y sostenido descenso, aun cuando los rendimientos registran cifras satisfactorias en los últimos años. Al igual que en los otros cultivos de la región de Piura, el fenómeno de El Niño afectó los rendimientos en 1999.

- Maíz amarillo duro

Es un cultivo claramente campesino y muestra pocas variaciones en sus rendimientos. Que, incluso en 1999, disminuyeron bastante menos que los de otros cultivos. Los antecedentes disponibles revelan un crecimiento considerable de la producción en el valle del Medio y Bajo Piura, principalmente por expansión del área cultivada, en contraste con una marcada disminución en el valle del Alto Piura.

- Maíz amiláceo
- Limón

El limón es un cultivo permanente, con una vida útil de entre 10 y 20 años; tiene la capacidad de producir durante todo el año, con rendimientos promedio de 11.000 kilos, aproximadamente, por hectárea a nivel regional, y notorias fluctuaciones entre valles. Por ejemplo, en el valle del Medio y Bajo Piura solo se logra obtener 6.631 kg/ha, mientras que en el valle del Chira el rendimiento es de 14.000 kg/ha. Una característica de este cultivo es la alta inestabilidad de sus rendimientos y su marcada sensibilidad a las condiciones climáticas, especialmente durante el período de la floración, como lo demuestran las bajas de los rendimientos registradas en 1998 y 1999, período en que azotó el fenómeno de El Niño.

El producto obtenido se considera de alta calidad y por ello tiene una considerable demanda. Esto ha determinado que la superficie cultivada se incremente a partir de la plantación de nuevas variedades con rendimientos más altos.

- Mango

El período de producción de mango en el Perú es de enero a marzo y de octubre a diciembre. Este cultivo permanente ha tenido un crecimiento apreciable en los últimos años gracias al aumento de la demanda interna y externa. La alta calidad del producto ha ido a la par con la introducción de nuevas variedades de mayor rendimiento. Sin embargo, una de las características observadas a lo largo de la serie temporal es la variabilidad de los rendimientos entre valles (de 13.000 a los 33.000 kg/ha), y su notoria inestabilidad temporal. Esto es consecuencia de las grandes fluctuaciones climáticas que caracterizan esta región.

e) Fenología

En los cuadros siguientes se muestran las distintas fases de cultivo de diversos productos, incluidos los seleccionados, desde la siembra hasta la cosecha, medidas en porcentajes de avance a partir de los meses de agosto y enero, respectivamente.

CUADRO 30
PERÚ, REGIÓN DE PIURA: CALENDARIO DE SIEMBRAS
(En porcentajes de avance)

Producto/mes	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Algodón			0,2		4,2	26,1	42,2	17,1	6,5	1,2	2,2	0,3	100,0
Arroz cáscara	8,4	13,9	3,7	0,8	1,3	10,2	29,3	20,5	8,0	1,7	1,3	0,9	100,0
Frijol grano seco	2,9	8,4	1,9	5,5	12,0	22,0	14,8	5,3	9,4	10,8	6,3	0,7	100,0
Maíz amarillo duro	20,9	10,8	2,9	2,0	1,2	11,0	13,3	12,2	8,0	7,0	4,2	6,5	100,0
Maíz amiláceo	0,5	0,3	1,9	2,8	5,8	59,2	20,8	5,7	2,2	0,7		0,1	100,0
Trigo	0,3	0,3				6,4	21,8	38,8	26,8	5,2	0,2	0,2	100,0

Fuente: Ministerio de Agricultura, Dirección Regional de Agricultura de Piura.

Dada la importancia del cultivo del mango en la región de Piura, a continuación se presenta en detalle su fenología y la influencia de la temperatura en cada una de sus fases de desarrollo (véanse los cuadros 31 y 32).

CUADRO 31
PERÚ, REGIÓN DE PIURA: CALENDARIO DE COSECHAS
(En porcentajes de avance)

Producto/ mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
Algodón	0,2	0,6			0,1	2,2	24,0	42,8	15,3	7,1	2,5	5,2	100,0
Arroz cáscara	12,3	3,5	1,0	1,3	6,4	25,1	27,8	6,9	5,9	2,2	0,9	6,7	100,0
Café					2,5	15,9	28,9	14,3	11,8	13,5	13,1		100,0
Frijol grano seco	2,3	0,8	1,3	0,5	3,7	21,5	26,4	12,8	10,8	12,3	6,0	1,6	100,0
Limón	9,7	10,0	10,5	11,3	9,9	10,4	8,2	7,5	4,5	5,0	5,3	7,7	100,0
Maíz amarillo duro	9,6	4,0	1,9	1,3	6,3	15,5	14,2	10,3	4,9	7,1	12,4	12,5	100,0
Maíz amiláceo		0,1		0,2	0,5	6,6	25,1	43,1	24,4				100,0
Mango	35,3	10,4	0,5	0,4		0,1		0,2	0,5	2,7	10,8	39,1	100,0
Melón	2,0	1,1	1,5	1,5	3,7	13,3	10,6	6,6	6,4	26,8	18,0	8,5	100,0
Plátano	7,7	9,9	9,6	8,8	7,5	7,3	5,9	6,6	7,2	9,1	9,8	10,6	100,0
Trigo	1,0	0,2			0,7	6,4	22,9	37,5	25,8	5,1	0,2	0,2	100,0

Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería del Perú.

CUADRO 32
PERÚ, REGIÓN DE PIURA: FASES FENOLÓGICAS DEL MANGO

Brotamiento	Floración	Cuajado	Fructificación	Maduración
Se inicia con la emergencia de las yemas, que muestran un leve hinchamiento y color verde tierno. Los botones apicales se alargan y aparecen los primeros botones foliares en forma de espiral. Los primordios se alargan y destacan las hojas de color marrón rojizo. Finalmente los peciolos alcanzan su tamaño definitivo y las hojas emergen completamente.	Se inicia cuando los botones florales comienzan a abrirse para dar paso a las primeras piezas florales. La inflorescencia se alarga hasta la mitad de su tamaño definitivo y concluye con la separación y apertura de las flores.	Comprende tres estados; primero, los pétalos se secan y recubren parcialmente el ovario, que mide 2 cm de diámetro y el estilo es aún visible. Segundo, la caída de frutos, que se prolonga hasta la etapa de llenado. En el último estadio los frutos jóvenes están individualizados y el pedúnculo se ha alargado y reforzado.	Esta etapa implica el crecimiento progresivo de los frutos y se inicia después del cuajado.	Los frutos alcanzan el tamaño, sabor y color típicos de la variedad. Por razones de mercado, el mango se cosecha en maduración fisiológica, cuando aún está en proceso de maduración.

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, SENAMHI.

CUADRO 33
PERÚ, REGIÓN DE PIURA: EFECTO DE LAS TEMPERATURAS
EN EL CULTIVO DEL MANGO

40°C	Umbral a partir del cual puede ocurrir daño al mango
33°C	Óptimo maduración – floración
30°C	
26°C	Óptimo crecimiento vegetativo
24,5°C	
20°C	Temperaturas idóneas para inducción floral (inferiores a 20°C)
15°C	Problemas de germinación de polen. Reducción de crecimiento del tubo polínico. Inhibición del crecimiento vegetativo. Fenómenos de aborto del embrión
10°C	Inhibición de la fotosíntesis y otros procesos metabólicos. Aparición de clorosis tras exposición prolongada
0°C	Daño de brotes tiernos y muerte de árboles
-6°C	Límite extremo de tolerancia al frío

Fuente: Galán Saúco, 1999, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

f) Modelos seleccionados para las estimaciones

En el cuadro 34 se muestran los modelos seleccionados, los rendimientos estimados para las áreas degradadas y los promedios nacionales.

CUADRO 34
PERÚ, REGIÓN DE PIURA: MODELOS SELECCIONADOS

Cultivo	Modelo	Especificación	C	Rendimiento promedio	R2	R2 Ajustado
Arroz	08	$\text{rendmallares} = c \cdot d(\text{floracion}) \cdot d(\text{precip} \cdot \text{precip}) \cdot t$	5 552,8	7 336,7	0,63	0,57
Maíz amarillo duro	05	$\text{rendlallib} = c - \text{ucalort}12 + \text{ppt}(-1) \cdot \text{ppt}(-1) + \text{tmin} + t$	5 047,8	5 751,5	0,96	0,93
Mango	03	$\text{rendimiento} = c - \text{antpromjunago} + \text{ppt} \cdot \text{ppt} + t$	11 829,3	14 900,8	0,33	0,24
Limón	05	$\text{rendimiento} = c - \text{precipit} + (\text{tmaxprom} - \text{tpromjul}) + \text{ppt} \cdot \text{ppt} + t$	6 576,7	7 323,3	0,74	0,68
Algodón	10sq	$\text{rendimiento} = c - \text{precipit}(-1) \cdot \text{precipit}(-1) - \text{tmaxsiemb} - \text{tminsiemb} + \text{tmaxprom} - \text{tminprom} + t$	764,9	1 764,0	0,61	0,51

Fuente: Elaboración propia

g) Resultados

Las pérdidas por desertificación y degradación de las tierras alcanzan a un 13,7% del PIB agrícola en la línea de base, proporción que sería de un 14,5% y un 18,9% en los años 2050 y 2100, respectivamente. Es importante señalar que estas cifras se refieren solo al PIB agrícola y no consideran el subsector pecuario, que en el Departamento de Piura corresponde al 31,9% del PIB agropecuario según informa el Banco Central de Reserva del Perú en su Síntesis Económica de Piura.

En los cuadros siguientes se presentan las estimaciones del VBP perdido, las superficies y precios considerados para las estimaciones referidas a los productos seleccionados, la estimación del VBP y el VBP potencial y, finalmente, la estimación de las pérdidas por desertificación y degradación de las tierras en el Departamento de Piura.

CUADRO 35
PERÚ, REGIÓN DE PIURA: ESTIMACIÓN DEL VALOR BRUTO DE LA PRODUCCIÓN EN
ÁREAS AFECTADAS Y NO AFECTADAS POR DESERTIFICACIÓN Y DEGRADACIÓN
DE LAS TIERRAS, POR PRODUCTOS SELECCIONADOS, LÍNEA DE BASE Y
EFFECTOS CON 1°C Y 3°C DE TEMPERATURA ADICIONALES

Productos/condición	Años	Rendimientos (ton/ha)	Superficie (ha)	Precio (dólares/ton)	VBP (millones de dólares)
Arroz					
	Línea de base	6 409	17 217	393	43,37
Degradado	1°C	6 728	17 217	393	45,52
	3°C	6 906	17 217	393	46,72
	Línea de base	8 806	39 605	393	137,06
No degradado	1°C	8 830	39 605	393	137,43
	3°C	8 857	39 605	393	137,85
Maíz amiláceo					
	Línea de base	2 144	6 631	303	4,31
Degradado	1°C	2 619	6 631	303	5,26
	3°C	2 958	6 631	303	5,94
	Línea de base	2 279	9 946	303	6,87
No degradado	1°C	2 729	9 946	303	8,22
	3°C	2 930	9 946	303	8,83
Maíz amiláceo duro					
	Línea de base	3 398	6 253	257	5,46
Degradado	1°C	3 868	6 253	257	6,22
	3°C	4 008	6 253	257	6,44
	Línea de base	3 458	11 613	257	10,32
No degradado	1°C	4 693	11 613	257	14,01
	3°C	4 395	11 613	257	13,12
Algodón					
	Línea de base	2 724	3 653	880	8,76
Degradado	1°C	2 479	3 653	880	7,97
	3°C	2 406	3 653	880	7,74
	Línea de base	3 876	5 479	880	18,69
No degradado	1°C	4 969	5 479	880	23,96
	3°C	6 823	5 479	880	32,90
Café					
	Línea de base	0 861	2 162	1 667	3,10
Degradado	1°C	1 114	2 162	1 667	4,02
	3°C	1 091	2 162	1 667	3,93
	Línea de base	0 798	5 044	1 667	6,71
No degradado	1°C	1 087	5 044	1 667	9,14
	3°C	1 243	5 044	1 667	10,45
Limón					
	Línea de base	7 632	4 357	177	5,89
Degradado	1°C	6 431	4 357	177	4,96
	3°C	7 826	4 357	177	6,04
	Línea de base	11 229	10 165	177	20,20
No degradado	1°C	10 120	10 165	177	18,21
	3°C	9 531	10 165	177	17,15

Cuadro 35 (conclusión)

Productos/condición	Años	Rendimientos (ton/ha)	Superficie (ha)	Precio (dólares/ton)	VBP (millones de dólares)
Mango	Línea de base	16 505	4 679	233	17,99
Degradado	1°C	23 483	4 679	233	25,60
	3°C	21 871	4 679	233	23,84
No degradado	Línea de base	17 684	10 919	233	44,99
	1°C	22 563	10 919	233	57,40
	3°C	25 002	10 919	233	63,61

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 36
PERÚ, REGIÓN DE PIURA: ESTIMACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR DEGRADACIÓN
Y DESERTIFICACIÓN CONSIDERANDO INCREMENTOS DE 1°C Y 3°C DE
TEMPERATURA CON RESPECTO A LA LÍNEA DE BASE
(En millones de dólares)

	Degradado	No degradado	VBP (suma)	VBP potencial	Diferencia
Arroz					
Línea de base	43,37	137,06	180,43	196,65	16,22
1°C	45,52	137,43	182,95	197,17	14,22
3°C	46,72	137,85	184,58	197,78	13,20
Maíz amiláceo					
Línea de base	4,31	6,87	11,18	11,45	0,27
1°C	5,26	8,22	13,49	13,71	0,22
3°C	5,94	8,83	14,77	14,72	-0,06
Maíz amiláceo duro					
Línea de base	5,46	10,32	15,78	15,88	0,10
1°C	6,22	14,01	20,22	21,55	1,33
3°C	6,44	13,12	19,56	20,18	0,62
Algodón					
Línea de base	8,76	18,69	27,44	31,15	3,70
1°C	7,97	23,96	31,92	39,93	8,00
3°C	7,74	32,90	40,63	54,83	14,20
Café					
Línea de base	3,10	6,71	9,81	9,58	-0,23
1°C	4,02	9,14	13,16	13,06	-0,10
3°C	3,93	10,45	14,38	14,93	0,55
Limón					
Línea de base	5,89	20,20	26,09	28,86	2,77
1°C	4,96	18,21	23,17	26,01	2,85
3°C	6,04	17,15	23,18	24,50	1,31
Mango					
Línea de base	17,99	44,99	62,98	64,27	1,29
1°C	25,60	57,40	83,00	82,00	-1,00
3°C	23,84	63,61	87,45	90,87	3,41
Total					
Línea de base	45,51	107,78	153,29	161,19	7,90
1°C	54,02	130,94	184,96	196,25	11,30
3°C	53,93	146,05	199,98	220,01	20,04

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 37
PERÚ, REGIÓN DE PIURA: CULTIVOS SELECCIONADOS,
SUPERFICIE Y PRECIOS AL PRODUCTOR

Producto	Superficie (ha)	Precio al productor (dólares/ton)
Mango	15 598	233
Limón	14 522	177
Arroz	56 822	393
Algodón	9 132	880
Maíz amiláceo duro	17 866	257
Maíz amiláceo	16 577	303
Café	7 206	1667

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 38
PERÚ, REGIÓN DE PIURA: ESTIMACIÓN CONSOLIDADA DE PÉRDIDAS
POR DEGRADACIÓN Y DESERTIFICACIÓN
(En millones de dólares y porcentajes del PIB agrícola)

	Línea de base	1°C	3°C
Arroz	16,22	14,22	13,20
Maíz amiláceo	0,27	0,22	-0,06
Maíz amiláceo duro	0,10	1,33	0,62
Algodón	3,70	8,00	14,20
Café	-0,23	-0,10	0,55
Limón	2,77	2,85	1,31
Mango	1,29	-1,00	3,41
Total (70% del área)	24,12	25,51	33,24
100% del area	31,35	33,17	43,21
PIB agrícola	228,30		
Pérdidas como porcentaje del PIB agrícola	13,7	14,5	18,9

Fuente: Elaboración propia.

6. Paraguay

a) Introducción

Sobre la base de una metodología muy similar se realizaron dos tipos de estimaciones, primero, de funciones de rendimiento especificadas de acuerdo con la fenología de cada uno de los cultivos más representativos de la agricultura paraguaya. Segundo, de funciones exponenciales segmentadas para cada uno de los productos agrícolas seleccionados. En este ejercicio se utilizaron las mismas funciones empleadas para elaborar el capítulo sectorial sobre el Paraguay en el marco del proyecto Estudio Regional de la Economía del Cambio Climático (ERECC). Las estimaciones se realizaron para los Departamentos del país y se seleccionaron los resultados tanto de aquellos que presentaban problemas de degradación como de los no afectados por este fenómeno. De este modo, en ambos casos se obtuvieron los diferenciales de rendimiento, a partir de los cuales se calcularon los VBP.

b) Selección de actividades productivas

Los productos considerados para el análisis se seleccionaron por su importancia en términos de:

- Aporte al PIB
- Aporte a la balanza comercial

- Seguridad alimentaria
- Generación de empleos

Los productos seleccionados fueron soja, maíz, trigo, algodón, mandioca y caña de azúcar, que en conjunto representan más del 90% del VBP agrícola. A ellos se agregó la ganadería vacuna.

c) Línea de base

Se recopiló información sobre área sembrada, producción y rendimientos para construir las series temporales más extensas que permitiera la información disponible. En la medida de lo posible, esta información fue completada con datos sobre costos de producción.

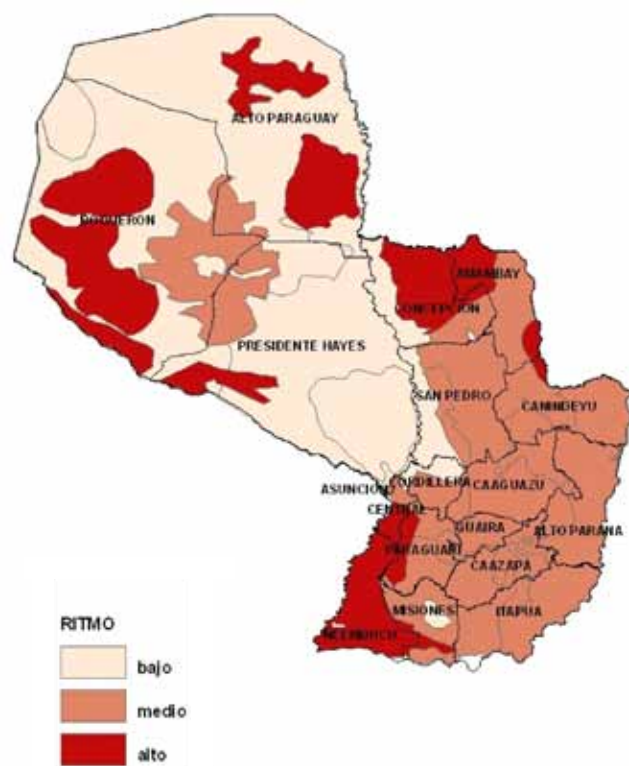
Las series temporales se construyeron sobre la base de información emanada del Ministerio de Agricultura y de los resultados del censo agropecuario de 2008. De este último se obtuvo información agregada a nivel de Departamentos y distritos censales para cada uno de los productos seleccionados, así como información socioeconómica para caracterizarlos, prestando especial atención a la referida a los Departamentos más afectados por la degradación y a sus datos sobre producción.

La información climática provino de las bases de datos de las estaciones meteorológicas del Paraguay, que fue cotejada con la provista por el modelo PRECIS en el escenario B2. Los resultados de la comparación muestran que no existen diferencias significativas entre la información recopilada por las estaciones meteorológicas para puntos específicos del territorio nacional y la generada a partir del modelo PRECIS. Las variables climáticas consideradas fueron temperaturas máximas, mínimas, precipitación diaria, mensual y acumulada anual.

MAPA 4
PARAGUAY: MAPAS DE TASA Y NIVELES DE DEGRADACIÓN, 2009



Mapa 4 (conclusión)



Fuente: Elaboración propia.

d) Modelos explicativos

Sobre la base de la información antes señalada y de la experiencia adquirida a raíz de los estudios nacionales realizados en otros países se probaron varios modelos explicativos para establecer las relaciones entre rendimientos y clima, a fin de contar con criterios válidos para el análisis de los años de corte y los escenarios. Como se explicó inicialmente, se realizó un segundo conjunto de estimaciones a partir de funciones exponenciales segmentadas, respetando en ambos casos las características biológicas y los ciclos de crecimiento de las plantas, así como sus demandas de agua y temperaturas adecuadas en cada etapa de crecimiento, características incluidas en las especificaciones de los modelos. Complementariamente se analizó la viabilidad de los cultivos de acuerdo con las temperaturas máximas y mínimas mensuales, así como las precipitaciones para los años de corte y los dos escenarios, en los que se agregaron los rangos de temperaturas entre las cuales los cultivos considerados pueden desarrollarse.

Una vez establecidas estas relaciones causales se especificaron los modelos respectivos a fin de analizar la incidencia de las variables climáticas sobre los rendimientos, tanto para la línea de base como para los años de corte definidos. El programa de computación utilizado fue el Eviews y los resultados, con las estimaciones seleccionadas y sus respectivos pruebas, se presentan en el anexo 1.

Dado que los rendimientos, que constituyen la variable dependiente, pueden crecer dentro de los límites establecidos por la genética y también ser afectados significativamente por cambios de las condiciones climáticas, los esfuerzos de investigación en este campo se centran en dotar a las plantas de mayor resistencia ante condiciones climáticas adversas.

CUADRO 39
PARAGUAY: MODELOS SELECCIONADOS

Cultivo	Modelo	Especificación	C	R2	R2 ajustado
Soja	22sq	$\text{Rend2}=1691,5+2,77\text{anppt}+1,68\text{tmincosabr}*\text{tmincosabr}$	2 330,6	0,43	0,38
	20sq	$\text{Rend}=4578,8+3,05\text{anppt}-79,7\text{tmaxcosmay}-0,69\text{tminsiemoct}*\text{tminsiemoct}$	2 335,3	0,54	0,57
Trigo	18sq	$\text{Rend}=2589,9-22,78(\text{x9}-\text{x8})-11,47\text{x14}+0,01\text{x17}*\text{x17}+31,35\text{t}$	1 732,1	0,51	0,40
	12sq	$\text{Rend}=2267,9-11,41\text{x14}+0,001\text{ppt}*\text{ppt}+31,33 \text{ t}$	1 732,1	0,41	0,32
Maíz	12sq	$\text{Log}(\text{rendimiento})=9,82-0,67\text{log}(\text{tmaxcos}*\text{tmaxpro})+0,29\text{log}(\text{precoctabr})+0,02 \text{ t}$	7,64	0,39	0,29
	09sqnd	$\text{Log}(\text{rend2})=7,8+2,77\text{log}(\text{precipitacionesr})-1,40\text{log}(\text{precipitaciones}*\text{precipitaciones})+0,02 \text{ t}$	7,78	0,75	0,71
Algodón	17sqd	$\text{Rend2}=1221,7+287,6\text{antminpro}+0,02\text{pptmemarse}*\text{pptmemarse}-40,89\text{t}$	1 167,2	0,47	0,38
	14sq	$\text{Rendimiento}=698,6-73,55\text{anomtfloral}-1404,9\text{pptjune}/\text{precipitaciones}+0,0002\text{ppt}(-1)*\text{ppt}(-1)$	1 167,2	0,24	0,12
Mandioca	09sq	$\text{d}(\text{rend})=68,33-593,2\text{d}(\text{tmaxprciclo})+0,01\text{d}((\text{pptene}+\text{pptfeb})*(\text{pptene}+\text{pptfeb}))$	62,5	0,36	0,29
	12sq	$\text{log}(\text{rend2})=6,26-0,12\text{log}(\text{pptabr}+\text{pptmay})+0,59\text{log}(\text{tmaxcomar}*\text{tmaxcomar}) \text{ t}$	9,70	0,36	0,26
Caña	12sq	$\text{Rend1}=65,4+2,63(\text{tminpro}-\text{tmaxpro})-0,01\text{pptjune}-8,10\text{E}-07\text{ppt}(-1)*\text{ppt}(-1)+0,02\text{tpro}*\text{tpro}$	48,11	0,87	0,84
	20sq	$\text{Rendimientof}=55,79-0,71(\text{tmaxpro}-\text{tminpro})-0,0001\text{pptmemarse}*\text{pptmemarse}$	48,12	0,23	0,16

Fuente: Elaboración propia.

e) Estimación de pérdidas por degradación

Se realizaron estimaciones para áreas degradadas y no degradadas, obteniéndose de este modo los diferenciales de rendimiento. Para este cálculo se tuvo en cuenta el rendimiento promedio del cultivo en cuestión obtenido en los últimos años como referencia para comparar los rendimientos en las áreas degradadas. Junto con esto se hizo una proyección del área bajo cultivo considerando las aptitudes y capacidades de uso actual y potencial de los suelos. Con esta información se estimó el VBP, cálculo en el que se consideraron los precios al productor de 2010. Los valores obtenidos corresponden al diferencial de VBP entre áreas degradadas y no degradadas, es decir, a la pérdida económica.

Los resultados obtenidos fueron complementados con información del último Censo Agropecuario Nacional correspondiente a los Departamentos que presentan los mayores problemas de degradación.

f) Resultados

1. Soja

Aunque el cultivo de la soja data de los años ochenta, su expansión se produjo a partir de 1994, cuando rápidamente comenzó a convertirse en la actividad productiva más importante no solo de la agricultura, sino de la economía del Paraguay. Su veloz avance obedece a la creciente demanda del producto, principalmente desde los mercados asiáticos, entre los que el de China ocupa el primer lugar. El notable incremento de este cultivo ha implicado ocupar apresuradamente las tierras habilitadas y, luego, emprender un intenso proceso de deforestación para incorporar nuevas áreas. Como se trata de un cultivo que exige un nivel de capitalización considerable, se realiza a escala familiar capitalizada o, derechamente, a gran escala.

La información disponible muestra que, en promedio, la tendencia de los rendimientos fue creciente hasta el año 1996, pero descendente de ahí en adelante. Esto puede explicarse por dos factores: primero, porque inicialmente se ocuparon las tierras más productivas, y segundo, porque debido a su alta rentabilidad, el cultivo se expandió hacia tierras menos productivas, a lo que se han ido sumando los procesos de degradación por pérdida de productividad.

Para los efectos de las estimaciones, el Departamento de Alto Paraná es considerado como representante de aquellos afectados por problemas de degradación. Es el que tiene la mayor superficie dedicada al cultivo de la soja, correspondiéndole el 28,7% del total nacional. De acuerdo con el mapa actualizado de la degradación de las tierras preparado como parte de este mismo proyecto, casi la totalidad del Departamento está afectada por problemas de degradación media a alta.

2. Maíz

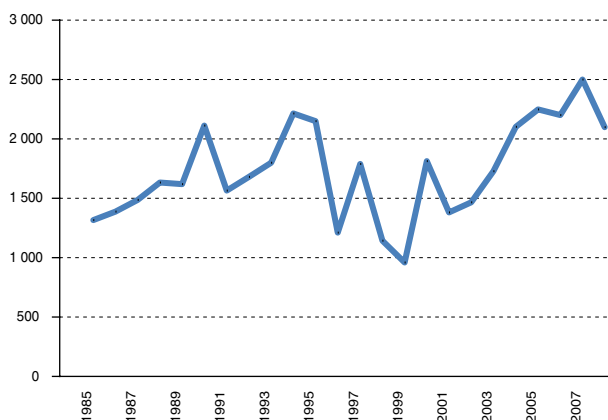
Es el segundo cultivo más importante del Paraguay y, lo mismo que el de la soja, se realiza a nivel empresarial. La serie histórica disponible muestra rendimientos menos inestables que los de otros cultivos, con una ligera tendencia ascendente a lo largo del período analizado.

3. Trigo

El cultivo del trigo se considera igualmente de carácter empresarial. En este caso también se recabó información sobre área cultivada, producción y rendimientos, así como sobre jornales por unidad de superficie y capital.

La serie histórica pone de relieve la alta volatilidad de los rendimientos del trigo, como se muestra en el gráfico siguiente.

GRÁFICO 9
PARAGUAY: EVOLUCIÓN DE LOS RENDIMIENTOS DEL TRIGO
(Kilogramos por hectárea)

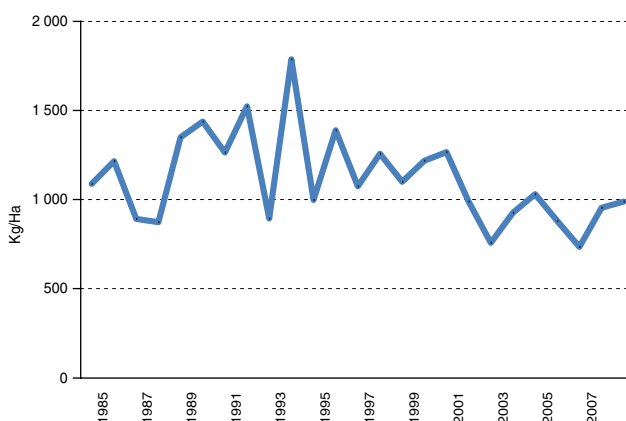


Fuente: Elaboración propia.

4. Algodón

Tradicionalmente, este cultivo lo han realizado pequeños productores y en el pasado ha sido de gran importancia para el Paraguay. En la década de los noventa, la aparición de una plaga llamada “Picudo negro” provocó una considerable disminución del área dedicada a su cultivo y de los rendimientos, como se muestra en el gráfico que sigue. Luego de alcanzar un máximo de 1,5 toneladas por hectárea en 1994, los rendimientos cayeron hasta situarse en torno a 1 tonelada por hectárea. Otro hecho importante es la inestabilidad que registran los rendimientos (véase el gráfico 10).

GRÁFICO 10
PARAGUAY: EVOLUCIÓN DE LOS RENDIMIENTOS DEL ALGODÓN
(Kilogramos por hectárea)

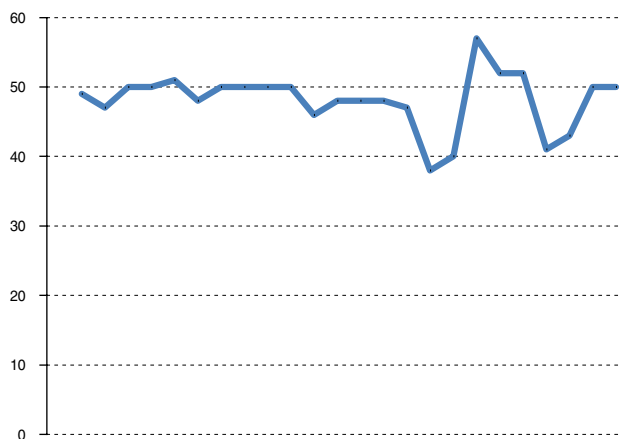


Fuente: Elaboración propia.

5. Caña de azúcar

Los rendimientos de este cultivo fluctuaron entre 38 y 57 toneladas por hectárea durante el período analizado, en tanto que el área cultivada se expandió hasta llegar a casi 90.000 hectáreas, lo que guarda una estrecha relación con el incremento de la producción. Este proceso se observa principalmente a partir de comienzos de la década de 2000 (véase el gráfico 11).

GRÁFICO 11
PARAGUAY: EVOLUCIÓN DE LOS RENDIMIENTOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR
(En toneladas por hectárea)

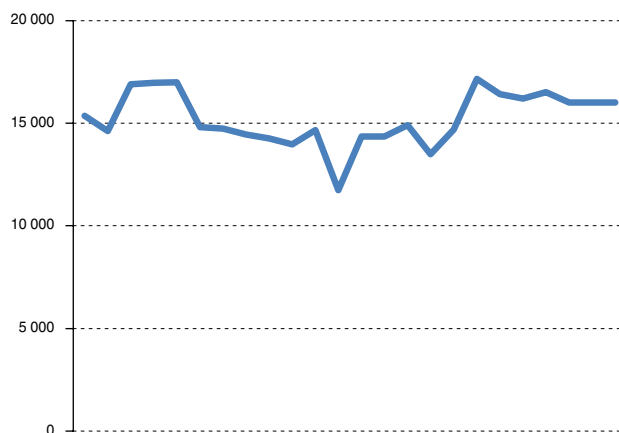


Fuente: Elaboración propia.

6. *Mandioca*

La mandioca es uno de los cultivos más importantes en el mundo campesino del Paraguay. Sus rendimientos han mostrado gran estabilidad en el transcurso del período analizado (véase el gráfico 12).

GRÁFICO 12
PARAGUAY: EVOLUCIÓN DE LOS RENDIMIENTOS DE LA MANDIOCA
(En kilogramos por hectárea)



Fuente: Elaboración propia.

La caña de azúcar y la mandioca no muestran pérdidas de importancia debido a la degradación. En el caso de la primera, su cultivo se realiza solo bajo riego y en tierras con una fertilidad adecuada; en el de la mandioca, se trata de un cultivo propio del mundo campesino al que siempre se le dedican áreas de menor productividad ya afectadas por procesos de degradación.

g) Fenología de los cultivos seleccionados y análisis gráfico

Para realizar las especificaciones de las funciones se identificó la fenología de cada uno de los cultivos seleccionados. Para esto se consideró la incidencia tanto de las temperaturas máximas y mínimas como de las precipitaciones en las etapas más importantes del desarrollo de los cultivos.

CUADRO 40
PARAGUAY: FENOLOGÍA DE LOS CULTIVOS SELECCIONADOS

	Período de floración Días después de la siembra	Ciclo del cultivo en días	Meses															
			Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May				
Mandioca	120 - 210	315 - 410																
Algodón	40 - 110	140 a 160																
Sésamo	25 - 40	80 - 130																
Poroto	40 - 65	90 - 120																
Maní	30 - 45	90 - 140																
Maíz	70 - 170	100 - 140																
Soja	70 - 90	120 - 160																
Trigo	90 - 110	144																
Girasol	50 - 65	90 - 130																
Caña de azúcar		300 - 700																

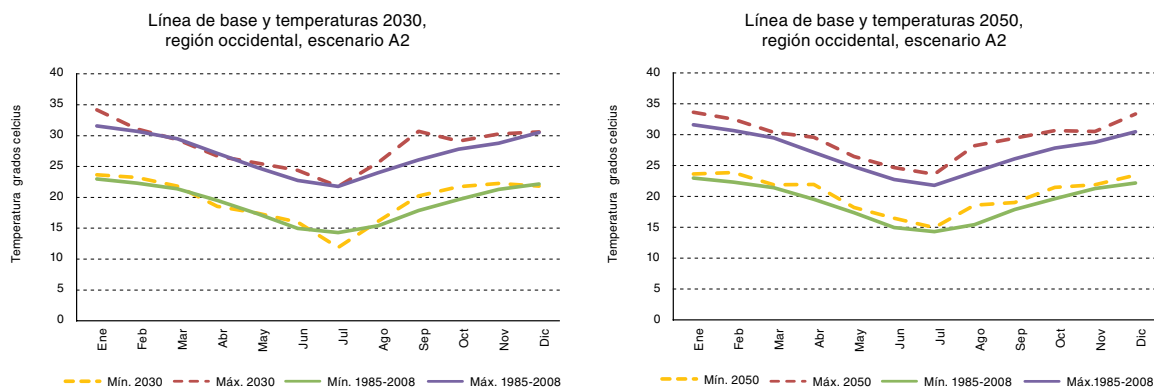
Fuente: Elaboración propia.

Para completar el examen de la incidencia de las variables climáticas se analizó el comportamiento de las más relevantes para los años de corte y los escenarios A2 y B2, haciendo luego una comparación con los requerimientos de los cultivos en cada fase de su desarrollo. A continuación se muestran las temperaturas y precipitaciones mensuales máximas y mínimas contrastadas con las mismas variables correspondientes a la línea de base.

Región occidental, escenario A2

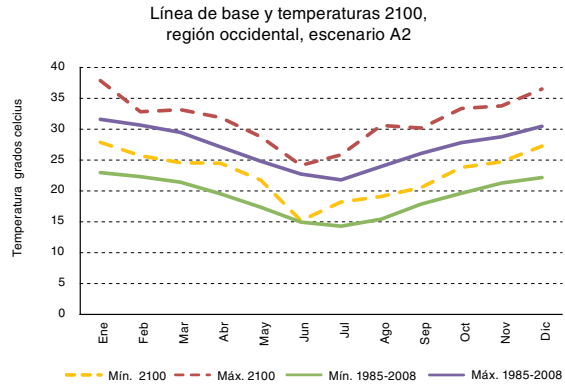
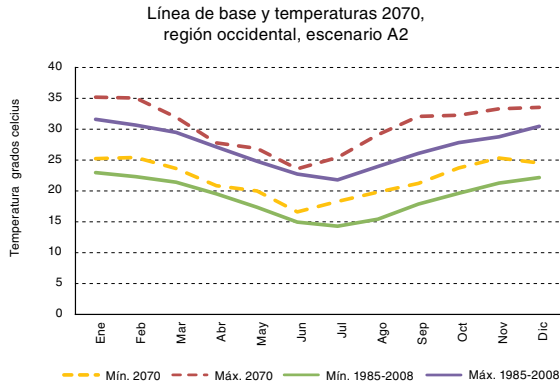
Como se observa en los gráficos siguientes, para el escenario A2 los diferenciales de temperatura entre los años de corte y el promedio 1985-2008 son poco importantes en los años 2020 y 2030, se incrementan ligeramente en 2050 y se vuelven más significativas en 2070 y 2100. Esta evolución implica problemas para los cultivos más sensibles a los cambios de temperaturas y precipitaciones.

GRÁFICO 13
PARAGUAY, REGIÓN OCCIDENTAL: TEMPERATURAS DE LA LÍNEA DE BASE Y ESCENARIO A2 PARA AÑOS DE CORTE 2030, 2050, 2070 Y 2100



(continúa)

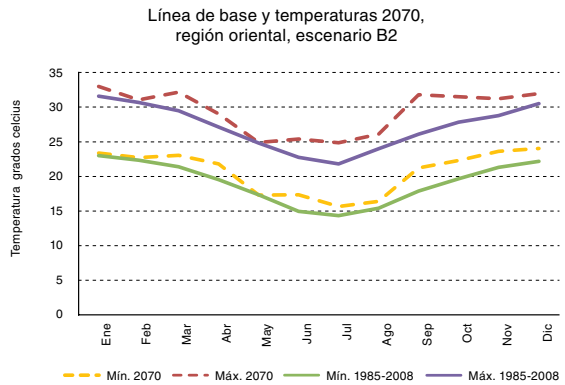
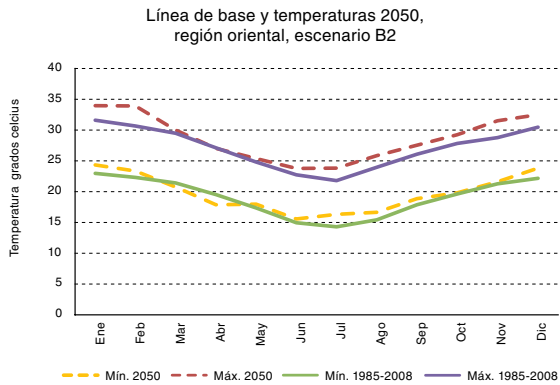
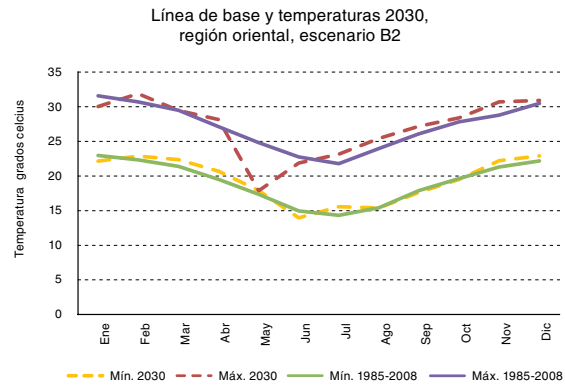
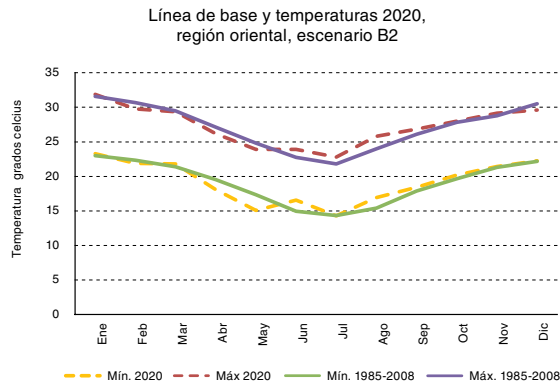
Gráfico 13 (conclusión)



Fuente:

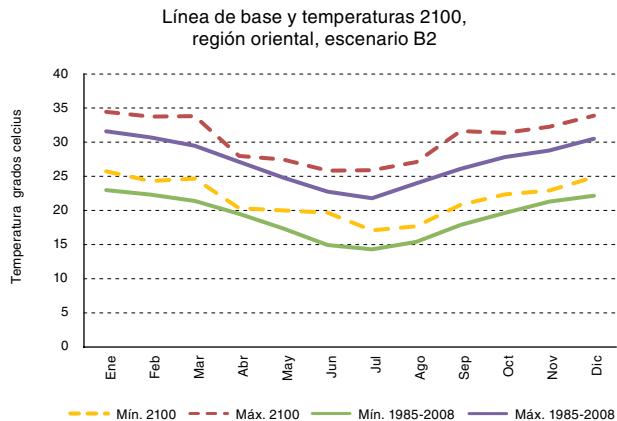
Región oriental, escenario B2

GRÁFICO 14
PARAGUAY, REGIÓN ORIENTAL: TEMPERATURAS DE LA LÍNEA DE BASE Y ESCENARIO B2 PARA AÑOS DE CORTE 2020, 2030, 2050, 2070 Y 2100



(continúa)

Gráfico 14 (conclusión)



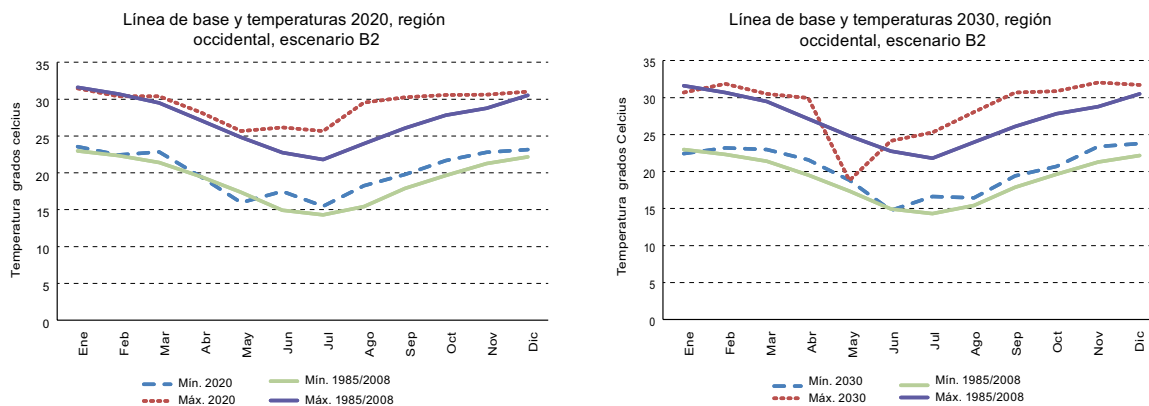
Fuente: Elaboración propia.

En el escenario B2, como se muestra en el gráfico 15, los resultados del año 2020 difieren escasamente con respecto a la línea de base. En 2030 se registra un evento inusual, una caída de temperatura en el mes de mayo. El escenario siguiente tiene de nuevo una gran similitud con la línea de base, pero luego, en 2070 y 2100, se observa un creciente desacoplamiento entre las variables climáticas proyectadas y las de la línea de base. En 2100, en especial, aumentan las temperaturas máximas y mínimas.

En síntesis, en ambos escenarios los años de corte 2070 y 2100 muestran un notorio incremento de temperaturas en comparación con las registradas en la línea de base. Por los antecedentes expuestos se puede concluir que, para los fines de analizar los efectos de los cambios de las variables climáticas sobre los rendimientos, es relevante prestar especial atención a los dos últimos años de corte (2070 y 2100) en ambos escenarios.

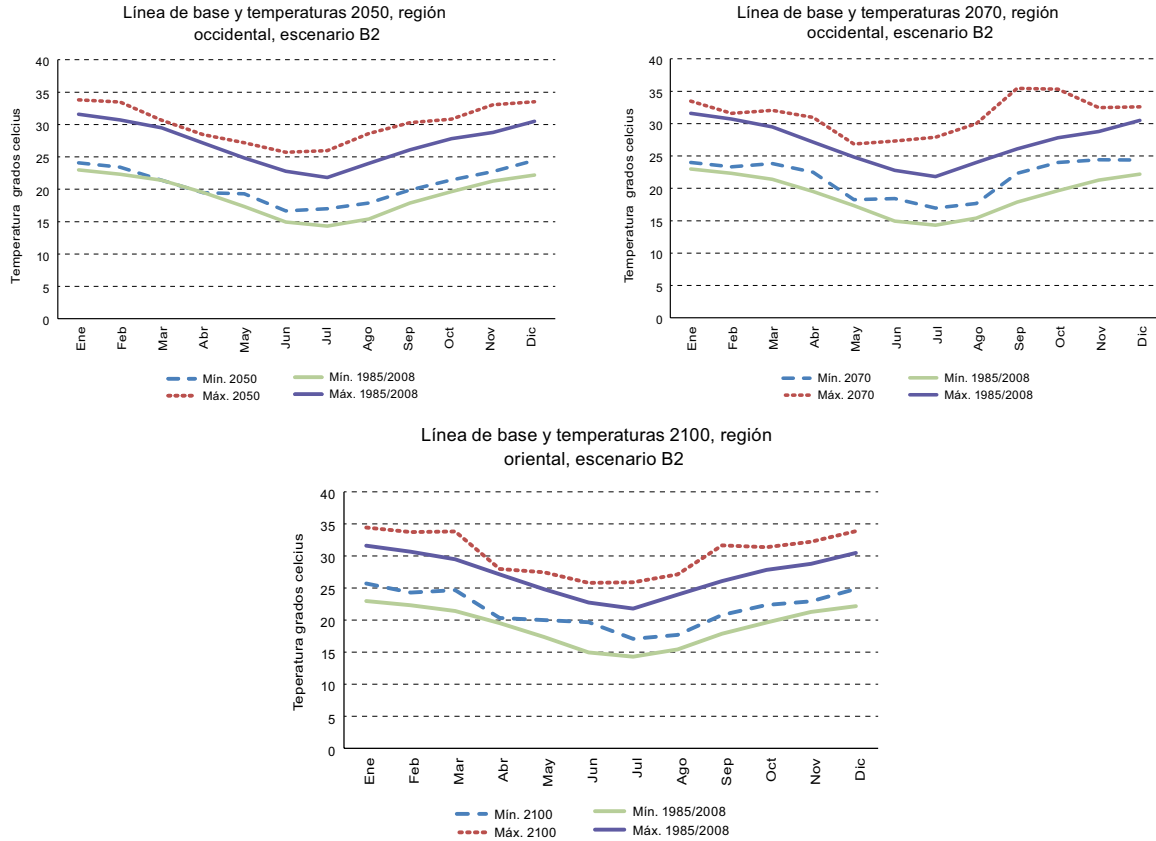
Región occidental, escenario B2

GRÁFICO 15
PARAGUAY, REGIÓN OCCIDENTAL: TEMPERATURAS DE LA LÍNEA DE BASE Y ESCENARIO B2 PARA AÑOS DE CORTE 2020, 2030, 2050, 2070 Y 2100



(continúa)

Gráfico 15 (conclusión)

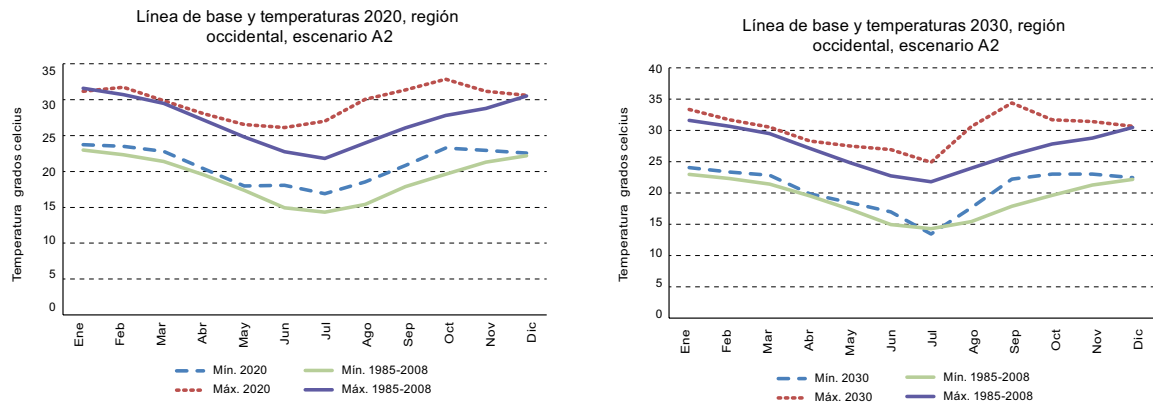


Fuente: Elaboración propia.

Llama la atención que en el escenario B2 ya en 2050 se observa un desacoplamiento entre las temperaturas máximas y mínimas de ese año y las de la línea de base, situación que se acentúa notoriamente, como es de esperar, en los años 2070 y 2100.

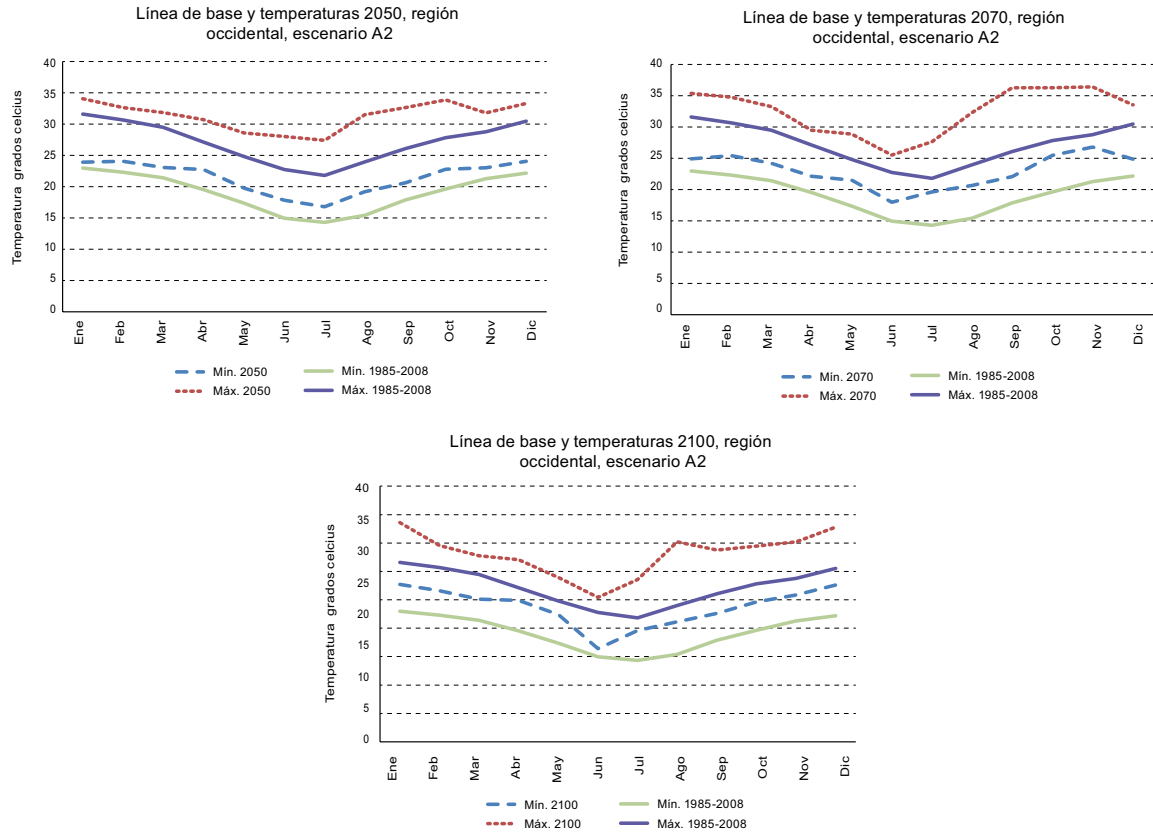
Región occidental, escenario A2

**GRÁFICO 16
PARAGUAY, REGIÓN OCCIDENTAL: TEMPERATURAS DE LA LÍNEA DE BASE
Y ESCENARIO A2 PARA AÑOS DE CORTE 2020, 2030, 2050, 2070 Y 2100**



(continúa)

Gráfico 16 (conclusión)

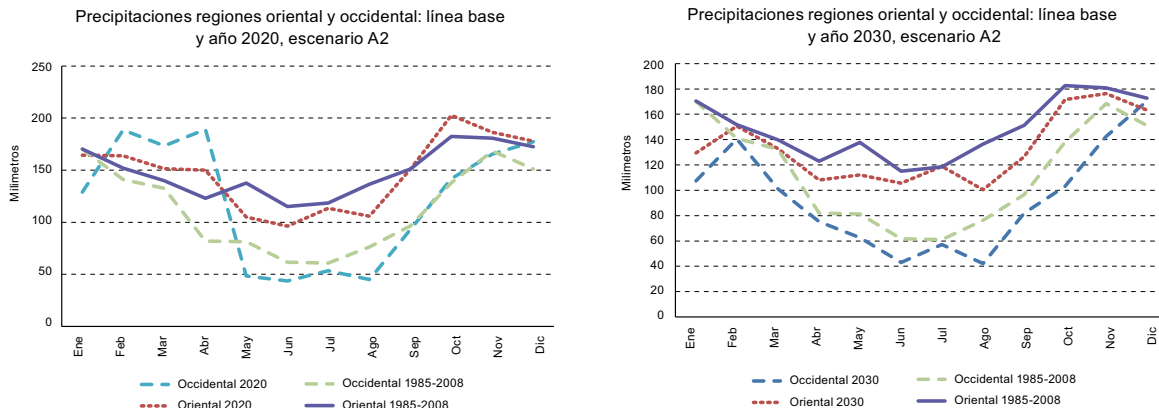


Fuente: Elaboración propia.

Como ya se señaló, la región occidental muestra cambios más acentuados desde los primeros años de corte, incluso en el escenario B2, como puede verse en los gráficos. Cabe destacar nuevamente el marcado desacoplamiento entre el comportamiento de las temperaturas en esos años con respecto a la línea de base y sus altos valores en los meses de septiembre, diciembre y enero, que llegan incluso a bordear los 40°C.

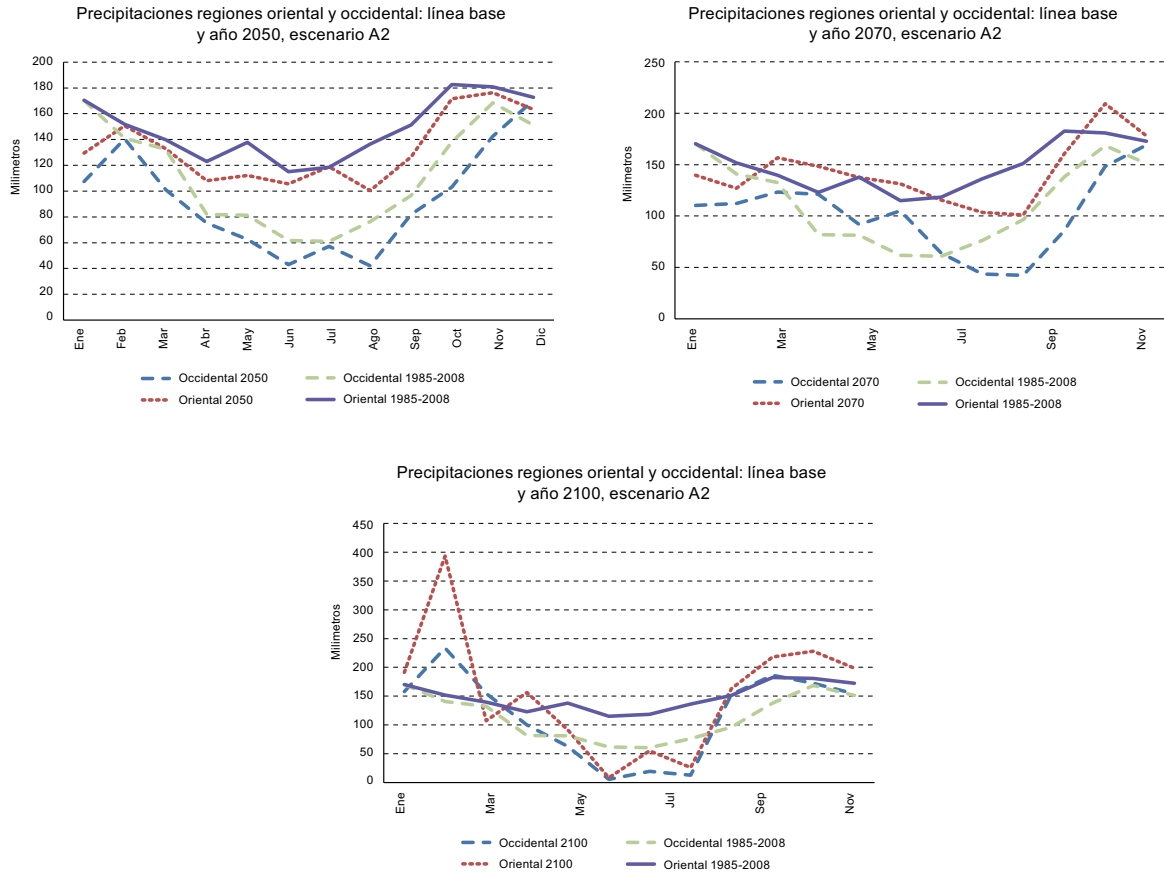
Precipitaciones, regiones occidental y oriental, escenario A2

GRÁFICO 17
PARAGUAY, REGIONES OCCIDENTAL Y ORIENTAL: PRECIPITACIONES DE LA LÍNEA DE BASE Y ESCENARIO A2, AÑOS DE CORTE 2020, 2030, 2050, 2070 Y 2100



(continúa)

Gráfico 17 (conclusión)



Fuente: Elaboración propia.

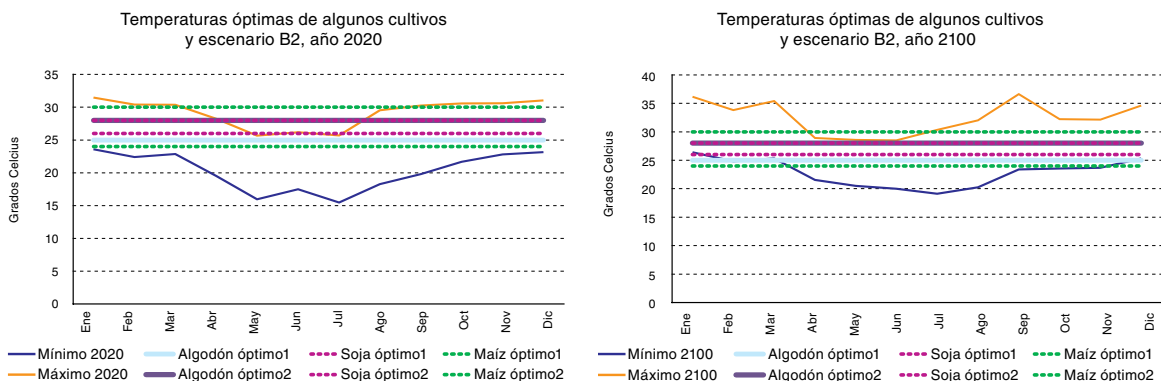
De acuerdo con los datos disponibles sobre precipitaciones, su régimen experimenta cambios de importancia. En el escenario A2, las lluvias se reducen notablemente desde marzo a septiembre y se incrementan con fuerza desde ese mes en adelante. En total, hay más agua, pero concentrada en menos meses.

En vista de que los mayores cambios de las temperaturas se producen hacia el final del período considerado, se graficaron las máximas y mínimas de 2020 y 2100, escenario B2, junto con el rango de temperaturas dentro del cual se desarrollan los principales cultivos.

Como se puede observar, entre enero y marzo de 2020, y luego entre septiembre y diciembre del mismo año, las temperaturas máximas superan ligeramente el óptimo para el desarrollo de algunos cultivos, como el maíz, mientras que la soja y el algodón quedan dentro de los rangos. De acuerdo con estos mismos antecedentes, desde fines de marzo hasta agosto las temperaturas máximas no interfieren con el desarrollo del maíz, la soja y el algodón.

Esta situación cambia significativamente en el año 2100. Solo entre abril y junio las temperaturas máximas no interferirían con el desarrollo del maíz y la soja. En los restantes meses del año las temperaturas máximas se sitúan bastante por encima de los requerimientos de estos cultivos.

GRÁFICO 18
PARAGUAY: TEMPERATURAS ÓPTIMAS DE CULTIVOS SELECCIONADOS,
ESCENARIO B2, AÑOS 2020 Y 2100



Fuente: Elaboración propia.

h) Algunas características de los Departamentos más afectados por la degradación de las tierras

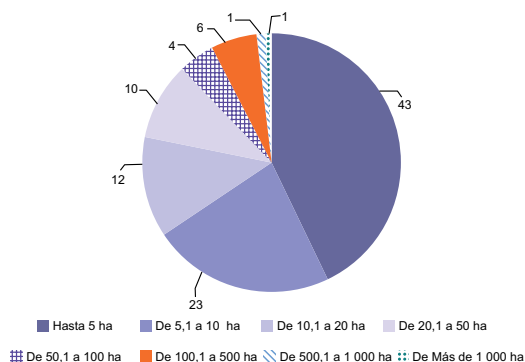
De acuerdo con los datos del censo agropecuario de 2008, el Departamento de Alto Paraná se caracteriza por la elevada presencia de unidades productiva de menos de 5 hectáreas, que representan el 43% del total de fincas censadas. Si se agrega la categoría siguiente, es decir el tramo de 5,1 a 10 hectáreas, resulta que más de dos tercios del total de las unidades productivas tienen 10 hectáreas o menos.

CUADRO 41
PARAGUAY, DEPARTAMENTO DE ALTO PARANÁ: DISTRIBUCIÓN
DE LAS FINCAS POR ESTRATOS DE TAMAÑO

Fincas	Número	Porcentaje
Hasta 5 ha	8 557	42,9
De 5,1 a 10 ha	4 545	22,8
De 10,1 a 20 ha	2 509	12,6
De 20,1 a 50 ha	1 934	9,7
De 50,1 a 100 ha	903	4,5
De 100,1 a 500 ha	1 146	5,7
De 500,1 a 1 000 ha	225	1,1
De más de 1 000 ha	148	0,7
Total	19 967	100,0

Fuente: Elaboración propia en base al Censo Agropecuario Nacional.

GRÁFICO 19
PARAGUAY, DEPARTAMENTO DE ALTO PARANÁ: DISTRIBUCIÓN DE FINCAS POR ESTRATOS DE TAMAÑO



Fuente: Elaboración propia en base al Censo Agropecuario Nacional.

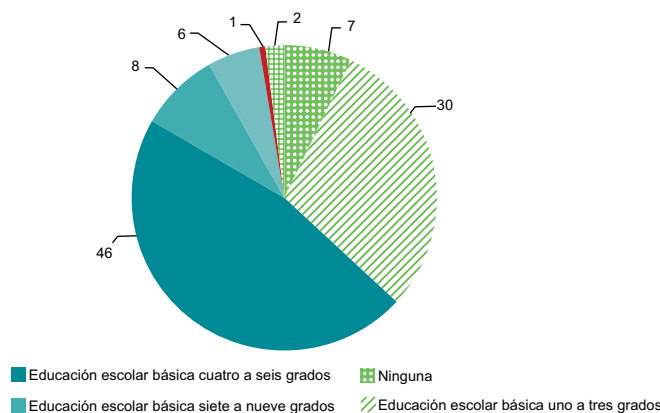
Con respecto al nivel educativo de los propietarios de las fincas, casi el 85% tiene solo educación básica y poco más del 7%, ninguna. Aquellos con entre uno y tres grados de educación media representan apenas el 5,5% del total.

CUADRO 42
PARAGUAY, DEPARTAMENTO DE ALTO PARANÁ: NIVELES DE EDUCACIÓN DE LOS PROPIETARIOS DE LAS FINCAS

Educación	Número	Porcentaje
Ninguna educación	1 358	7,2
Educación escolar básica, uno a tres grados	5 635	29,7
Educación escolar básica, cuatro a seis grados	8 808	46,5
Educación escolar básica, siete a nueve grados	1 605	8,5
Educación media, uno a tres grados	1 050	5,5
Bachillerato técnico agropecuario	123	0,6
Universitario o superior no universitario	377	2,0
Total	18 956	100,0

Fuente: Elaboración propia en base al Censo Agropecuario Nacional.

GRÁFICO 20
PARAGUAY, DEPARTAMENTO DE ALTO PARANÁ: NIVELES DE EDUCACIÓN DE LOS PROPIETARIOS DE LAS FINCAS



Fuente: Elaboración propia en base al Censo Agropecuario Nacional.

En términos de categorización de la mano de obra, el 38,5% corresponde a trabajadores permanentes y el resto, a temporales. Con respecto a los propietarios, cerca del 80% de ellos cuenta con títulos definitivos. Finalmente, en relación con el uso de la tierra, el 68% se dedica a cultivos, en su mayor parte de soja (54,6%), y un 10%, a pasturas. Las áreas cubiertas con bosques llegan solo al 14% del total como consecuencia del intenso proceso de expansión de la agricultura.

CUADRO 43
PARAGUAY, DEPARTAMENTO DE ALTO PARANÁ: USO DE LA TIERRA

Cultivos	791 493,93	68,1
Pastura	121 279,68	10,4
Montes, bosques	164 788,94	14,2
Barbecho	19 832,66	1,7
Otros usos	64 009,09	5,5
Total	1 161 404	100,0

Fuente: Elaboración propia en base al Censo Agropecuario Nacional.

Departamento de Guairá. Es el más afectado por procesos de degradación en la región oriental. Parte importante de su territorio sufre este problema en grado severo de acuerdo con el mapa actualizado de degradación del Paraguay. Predominan los pequeños propietarios de fincas de 5 hectáreas o menos, que representan más de dos tercios del total. El 6,1% de los productores no tiene educación alguna y casi un 80% de ellos ha recibido solamente educación primaria o básica hasta el sexto grado.

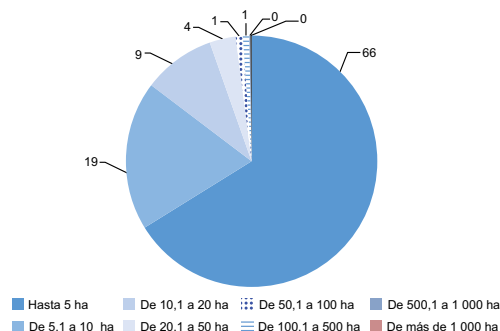
De las fincas que tienen mano obra contratada, el 86,1% corresponde a trabajadores temporales. El 73% de los productores cuenta con título de dominio. En cuanto al uso de la tierra, la ganadería es de gran importancia, ya que las pasturas ocupan casi el 45% de la superficie y los cultivos solamente un 30% del total.

CUADRO 44
**PARAGUAY, DEPARTAMENTO DE GUAIRÁ: DISTRIBUCIÓN DE LAS FINCAS
POR ESTRATOS DE TAMAÑO**

Total de fincas	Número	Porcentaje
Hasta 5 ha	11 559	66,2
De 5,1 a 10 ha	3 345	19,1
De 10,1 a 20 ha	1 625	9,3
De 20,1 a 50 ha	588	3,4
De 50,1 a 100 ha	158	0,9
De 100,1 a 500 ha	144	0,8
De 500,1 a 1 000 ha	26	0,1
De más de 1 000 ha	25	0,1
Total	17 470	100,0

Fuente: Elaboración propia en base al Censo Agropecuario Nacional.

GRÁFICO 21
PARAGUAY, DEPARTAMENTO DE GUAIRÁ: DISTRIBUCIÓN DE FINCAS POR ESTRATOS DE TAMAÑO

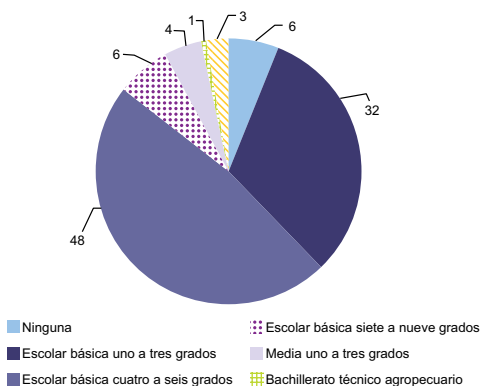


Fuente: Elaboración propia en base al Censo Agropecuario Nacional.

CUADRO 45
PARAGUAY, DEPARTAMENTO DE GUAIRÁ: NIVELES DE EDUCACIÓN DE LOS PROPIETARIOS DE LAS FINCAS

Educación	Número	Porcentaje
Ninguna educación	1 042	6,1
Educación escolar básica, uno a tres grados	5 417	31,7
Educación escolar básica, cuatro a seis grados	8 162	47,7
Educación escolar básica, siete a nueve grados	1 121	6,6
Educación media, uno a tres grados	785	4,6
Bachillerato técnico agropecuario	104	0,6
Universitario o superior no universitario	464	2,7
Total	17 095	100,0

GRÁFICO 22
PARAGUAY, DEPARTAMENTO DE GUAIRÁ: NIVELES DE EDUCACIÓN DE LOS PROPIETARIOS DE LAS FINCAS



Fuente: Elaboración propia en base al Censo Agropecuario Nacional.

i) Resultados

A continuación se presentan las estimaciones de las pérdidas por degradación para cada uno de los cultivos analizados (véase el cuadro 46). Los rendimientos de las áreas degradadas y no degradadas se han obtenido mediante los modelos seleccionados para cada una de ellas y se han considerado los efectos de cambios de temperatura de 1,5°C y 3°C sobre los regímenes de precipitaciones. Por su parte, las estimaciones realizadas para los cultivos considerados muestran que existe un nivel de pérdida

significativo debido a la degradación de las tierras. Los resultados se muestran en el cuadro que sigue, especificando variaciones de temperatura de 1,5°C y 3°C asociados a cambios en las precipitaciones. Tal como se puede observar, las pérdidas de VBP van desde 650 millones de dólares en el año 2010 (línea de base), hasta 1.577 millones de dólares en el año terminal del período. Esta cifra representa el 14,6% del VBP agrícola del año 2010.

CUADRO 46
PARAGUAY: PÉRDIDAS POR DEGRADACIÓN, CULTIVOS SELECCIONADOS
(En VBP a precios de 2010)

Soja	Línea de base	1,5°C	3°C
Rendimiento (kg/ha)			
No degradada	2 477	1 997,2	2 155,1
Degradada	2 285	1 595,4	1 294,7
Diferencial de rendimiento	-192,0	-401,8	-860,4
Área (has)	2 644 856		
Precio (dólares/kg)	0,4		
VBP (millones de dólares)	-193,8	-405,5	-868,4
Trigo			
Rendimiento (kg/ha)			
No degradada	2 172,3	2 269,8	2 650,3
Degradada	2 117,0	2 254,1	2 693,9
Diferencial de rendimiento	-55,3	-15,7	43,7
Área (has)	320 000		
Precio (dólares /kg)	0,3		
VBP (millones de dólares)	-4,8	-1,4	3,8
Maíz			
Rendimiento (kg/ha)			
No degradada	2 639,1	2 092,9	2 170,1
Degradada	2 562,0	688,9	848,6
Diferencial de rendimiento	-77,1	-1 404,0	-1 321,5
Área (has)	490 000		
Precio (dólares/kg)	0,3		
VBP (millones de dólares)	-13,0	-237,0	-223,1
Algodón			
Rendimiento (kg/ha)			
No degradada	1 183,1	166,1	-826,2
Degradada	1 011,6	1 442,0	1 551,2
Diferencial de rendimiento	-171,5	1 275,9	2 377,5
Área (has)	66 625		
Precio (dólares/kg)	0,5		
VBP (millones de dólares)	-6,2	45,9	85,6
Mandioca			
Rendimiento (kg/ha)			
No degradada	16 000,0	14 731,5	13 600,7
Degradada	17 201,3	18 297,0	21 889,0
Diferencial de rendimiento	1 201,3	3 565,5	8 288,3
Área (has)	170 694		

(continúa)

Cuadro 46 (conclusión)

Soja	Línea de base	1,5°C	3°C
Precio (dólares/kg)	0,1		
VBP (millones de dólares)	11,3	33,5	77,8
Caña			
Rendimiento (kg/ha)			
No degradada	50,7	48,2	48,1
Degradada	48,7	53,0	58,6
Diferencial de rendimiento	-2,0	4,8	10,4
Área (has)	97 000		
Precio (dólares/kg)	0,0		
VBP (millones de dólares)	0,0	9,8	21,2

Fuente: Elaboración propia en base al Censo Agropecuario Nacional.

CUADRO 47
PARAGUAY: PÉRDIDAS POR DEGRADACIÓN CONSOLIDADAS
(En VBP a precios de 2010)

	Línea de base	1,5°C	3°C
Soja	-193,79	-405,53	-868,42
Trigo	-4,78	-1,36	3,78
Maíz	-13,01	-236,99	-223,06
Algodón	-6,17	45,92	85,57
Mandioca	11,28	33,48	77,82
Caña	0,00	9,82	21,20
Total	-206,48	-554,65	-903,11
100%	-264,30	-709,95	-1155,99
Porcentaje del PIB agrícola	-6,56	-17,62	-28,69

Fuente: Elaboración propia en base al Censo Agropecuario Nacional.

Es importante resaltar que la mayor parte de las pérdidas corresponde al efecto de la soja por ser su cultivo el más afectado por los procesos de degradación, al igual que por los cambios climáticos.

7. Centroamérica

A pesar de que todos los países de Centroamérica cuentan con buenos censos agropecuarios realizados hace relativamente poco tiempo, no fue posible acceder a los microdatos. Por lo tanto, se trabajó con la información sobre producción en series temporales desagregadas territorialmente y con datos climáticos provenientes de los modelos ECHAM.

Las pérdidas por degradación de las tierras se estimaron según dos modalidades; en la primera se estimaron funciones de rendimiento para las áreas que presentan una degradación considerable y para las no afectadas por este proceso. Los resultados se obtuvieron para la línea de base y, posteriormente, se consideraron aumentos de temperatura de 1,5°C y 3°C asociados a cambios en los patrones de precipitación.

El segundo procedimiento consistió en estimar las pérdidas para el año base o línea de base y luego calcular el valor bruto de la producción potencial (VBPP), es decir, el valor bruto de lo que se hubiera podido producir si no estuviera presente el fenómeno de la degradación de las tierras. Para ello se consideraron los rendimientos de cada producto en las áreas afectadas y no afectadas por la degradación. Posteriormente se obtuvo la diferencia entre el VBP de la línea de base y el VBPP, cifra

que da un orden de magnitud del valor de producción no generado debido a la menor productividad atribuible a la degradación de las tierras.

Como se puede ver, los resultados son bastante similares en los casos de Costa Rica, Nicaragua y El Salvador y significativamente superiores con la metodología aplicada en el resto de los países.

En términos agregados, las pérdidas para el conjunto de Centroamérica representan un 12,46% del PIB agrícola (no agropecuario) en el año de línea de base, cifra que sube al 14,0% y al 15,2% con aumentos de temperatura de 1,5°C y 3°C.

CUADRO 48
CENTROAMÉRICA: VALOR BRUTO DE LA PRODUCCIÓN (VBP) Y VALOR BRUTO DE LA PRODUCCIÓN POTENCIAL (VBPP)
(En millones de dólares)

VBP	Línea de base	1,5°C	3°C	VBPP	Línea de base/VBPP	VBP con 1,5°C/VBPP	VBP con 3°C/VBPP	PIB agrícola
Costa Rica	334,33	314,42	297,80	454,47	-120,14	-140,05	-156,67	1 922,9
Nicaragua	441,97	432,96	419,87	614,19	-172,22	-181,23	-194,32	1131
El Salvador	527,71	579,65	550,11	737,36	-209,65	-157,71	-187,25	2465
Honduras	626,54	585,08	575,79	1 071,47	-444,92	-486,39	-495,68	1 383,2
Guatemala	903,69	832,57	792,41	1 803,36	-899,67	-970,78	-1 010,95	4 363,9
Belice	50,65	41,98	40,40	64,75	-14,10	-22,78	-24,35	144
Panamá	1 110,99	1 045,41	1 035,19	579,68	531,31	465,72	455,51	1 166,6
Total	3 995,88	3 832,06	3 711,57	5 325,27	-1 329,39	-1 493,21	-1 613,71	12576,60

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 49
CENTROAMÉRICA: PÉRDIDAS POR DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS
(En porcentajes del PIB agrícola)

	Línea de base/VBPP	VBP con 1,5°C/VBPP	VBP con 3°C/VBPP
Costa Rica	-8,75	-10,20	-11,41
Nicaragua	-17,66	-18,59	-19,93
El Salvador	-9,61	-7,23	-8,58
Honduras	-40,53	-44,31	-45,15
Guatemala	-24,33	-26,25	-27,34
Belice	-12,83	-20,72	-22,16
Panamá	59,21	51,90	50,76
Total	-12,36	-14,05	-15,22

Fuente: Elaboración propia.

8. Antecedentes por países

Costa Rica: Los análisis incluyeron la caña de azúcar, el café, el frijol y el arroz, productos que representan aproximadamente el 60% del área cultivada y aportan alrededor del 66% del VBP del sector.

El Salvador: De acuerdo con el Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación y Sequía del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador, existen 7 Departamentos con un total de 40 Municipios identificados como prioritarios por estar amenazados por la desertificación (véase el cuadro 50).

CUADRO 50
EL SALVADOR: DEPARTAMENTOS Y MUNICIPIOS AMENAZADOS
POR LA DESERTIFICACIÓN

Zona oriental			
Departamento	Número de municipios	Superficie (km ²)	Población (número de habitantes)
La Unión	16	1 256	177 096
San Miguel	5	589	139 593
Usulután	6	349	55 040
Morazán	5	192	24 000
Subtotal	32 (80%)	2 386 (66%)	395 729 (61%)
Zona occidental			
Ahuachapán	2	518	158 508
Santa Ana	5	578	81,498
Chalatenango	1	148	14,652
Subtotal	8 (20%)	1,244 (34%)	254,685 (39%)
Total	40 (100%)	3,630 (100%)	650,414 (100%)

Fuente: Programa de Acción Nacional de la Lucha Contra la Desertificación y Sequía del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Para medir el valor de la degradación se procedió a estimar los diferenciales de rendimiento entre áreas degradadas y no degradadas, para luego llevar las cifras obtenidas a VBP.

Siguiendo estos criterios, se analizó cada uno de los cultivos seleccionados en estos Departamentos. En el caso de El Salvador los considerados fueron el arroz, el maíz, el frijol, el café y la caña de azúcar, que en conjunto cubren un 76% del área cultivada (más de 670.000 hectáreas), y aportan aproximadamente el 78% del VBP del sector.

Guatemala

Los cultivos analizados en el caso de Guatemala fueron el maíz, el arroz, la caña de azúcar y el café, que representan el 71% del área sembrada y el 73% del VBP agrícola.

Las estimaciones para los productos seleccionados se hicieron sobre la base de las definiciones adoptadas por el Ministerio de Agricultura y el de Medio Ambiente para identificar las áreas más susceptibles a las sequías y la degradación.

Honduras

Para Honduras se seleccionaron cuatro productos, el café, el frijol, el maíz y la caña de azúcar. Estos productos representan el 74% del área cosechada y el 76% del VBP agrícola.

Nicaragua

Los cultivos analizados en Nicaragua fueron el café, la caña de azúcar, el frijol y el maíz. Según la información disponible, les corresponde el 74% del área cultivada y aportan el 76% del VBP agrícola del país.

Belice

Para Belice se seleccionaron tres cultivos, el banano, la caña de azúcar y la naranja. De ellos, el primero y el último registran reducciones de rendimiento muy similares en el escenario A2, situación que se mantiene en los mismos términos en el B2.

Panamá

Los análisis con series temporales incluyeron el frijol (Provincias de Chiriquí y Herrera), el maíz (Provincias de Chiriquí y Coclé), el arroz (Provincias de Chiriquí, Coclé y Los Santos), la caña de azúcar (Provincia de Coclé), y el banano (Provincia de Chiriquí)

Este análisis fue complementado con otro de sección cruzada para el que se utilizaron los microdatos del último censo agropecuario realizado en el país. Si bien es cierto a este nivel se pudo focalizar el análisis en áreas definidas oficialmente como degradadas y luego compararlas con las áreas no degradadas, se procuró mantener esta misma aproximación en el análisis con series temporales. Esta es la razón que llevó a escoger las provincias señaladas para cada uno de los productos seleccionados.

Al respecto cabe precisar que buena parte de las Provincias de Coclé y Los Santos presenta problemas de degradación, mientras que las de Chiriquí y Herrera en el caso de la caña de azúcar aparecen en la situación contraria.

9. Conclusiones

Los países de América del Sur y Centroamérica sufren severos problemas de desertificación y degradación de las tierras que afectan a una significativa proporción de la superficie total dedicada a la producción agropecuaria, en la que vive y trabaja una parte importante de la población rural, en especial de la más pobre.

La magnitud económica de este problema medida según los costos de inacción es cuantiosa y varía bastante entre países y dentro de ellos. Independientemente de estas fluctuaciones, se trata de costos muy elevados que comprometen una parte considerable del PIB agrícola.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la situación actual muestra costos anuales debido a la desertificación y degradación de las tierras que van desde el 7,6% del PIB agrícola en el Ecuador y 7,7% en el Perú, hasta cifras tan altas como un 40,5% en Honduras.

Las estimaciones y proyecciones realizadas considerando los posibles efectos del cambio climático muestran que estos valores tienden casi siempre a aumentar, siendo los casos más dramáticos los de Bolivia (Estado Plurinacional de) y de Honduras, seguidos de los del Paraguay y Guatemala.

Como puede verse en el gráfico 29, entre los países de América del Sur para los que se hicieron estimaciones considerando aumentos de 1°C a 3°C de temperatura a fin de observar los posibles efectos del cambio climático, Bolivia (Estado Plurinacional de) y el Paraguay son los que muestran los mayores incrementos de las pérdidas por desertificación y degradación de las tierras.

En América Central, en cambio, Honduras aparece como el país más afectado en la actualidad y en el futuro, en tanto que del resto, es en Belice donde más rápido aumentan las pérdidas en los años proyectados.

Como ya se señaló, no fue posible contar con los microdatos censales de todos los países de Centroamérica, a excepción de Panamá; en América del Sur, se dispuso de esta información para el Ecuador y Chile.

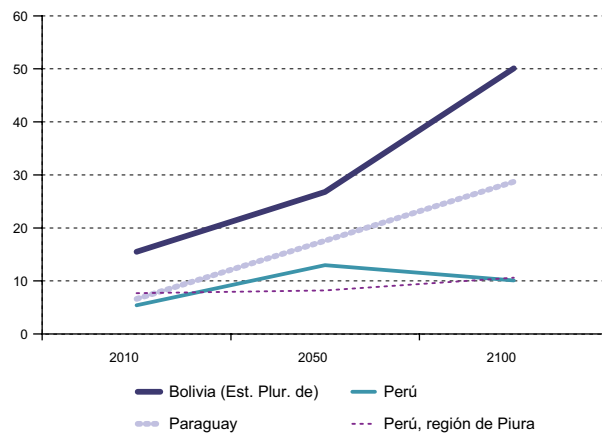
Los resultados de las estimaciones ganarían apreciablemente en calidad y precisión si fuera posible acceder a esa información, sobre todo para definir mejor los territorios afectados por la desertificación y la degradación de las tierras y analizar esos impactos según tipos de productores, cuestión que sería de gran utilidad para la formulación e implementación de políticas y programas de lucha contra estos flagelos.

Un elemento importante es el de las definiciones nacionales de lo que se considera o no afectado por la desertificación y la degradación, ya que una actualización de esos criterios a la luz de las nuevas realidades permitiría mejorar notablemente las estimaciones.

Por último, la validación de estos resultados en cada país con los expertos nacionales y con las comunidades que viven en los territorios afectados haría posible contar con un instrumento de gran potencia y efectividad para la formulación de políticas y programas.

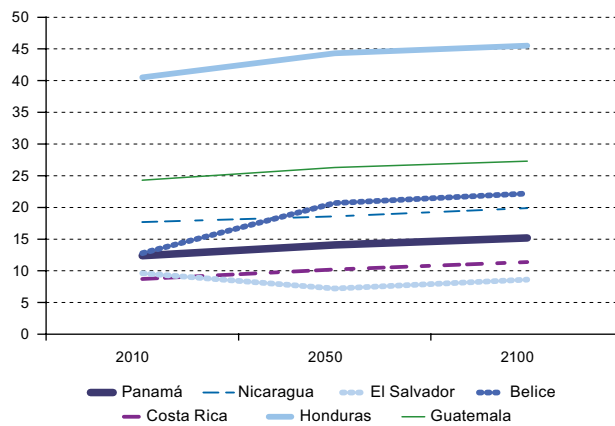
En una segunda fase de esta investigación el objetivo debería ser profundizar el conocimiento sobre los efectos y los costos sociales derivados de la desertificación y la degradación de las tierras, así como también extender el estudio al resto de los países de la región.

GRÁFICO 23
PAÍSES DE AMÉRICA DEL SUR: PÉRDIDAS POR DESERTIFICACIÓN Y DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS, LÍNEA DE BASE Y ESTIMACIONES CONSIDERANDO AUMENTOS DE 1,5°C Y 3°C DE TEMPERATURA
(En porcentajes del PIB agrícola)



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 24
PAÍSES DE CENTROAMÉRICA: PÉRDIDAS POR DESERTIFICACIÓN Y DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS, LÍNEA DE BASE Y ESTIMACIONES CONSIDERANDO AUMENTOS DE 1,5°C Y 3°C DE TEMPERATURA
(En porcentajes del PIB agrícola)

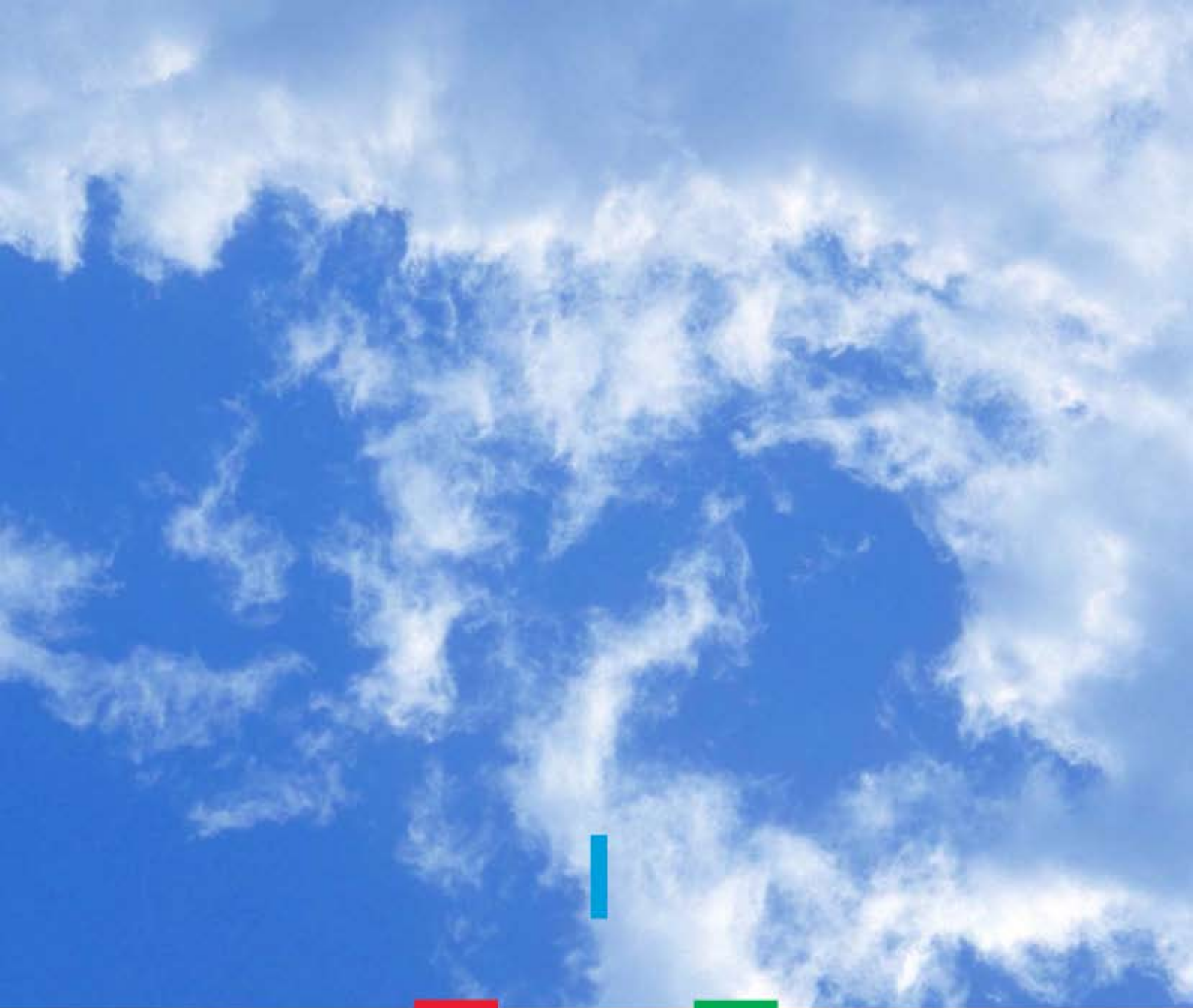


Fuente: Elaboración propia.

Bibliografía

- L. Berry, J. Olson y D. Campbell GM y B, 2003. Assessing the Extent, Cost and Impact of Land Degradation at the National Level: Findings and Lessons Learned From Seven Pilot Case Studies.
- Bojo J. The costs of land degradation in Sub-Saharan Africa. *Ecological Economics* 16 (1996) 161-173.
- Bojo, J. The economics of land degradation. Theory and applications to Lesotho. The Stockholm school of economics , Stockholm, 1991.
- Barbier, E. B. 1990. “The farm-level economics of soil conservation: the uplands of Java”. *Land Economics* 66(2), May., pp. 198-211.
- Barbier, E. B., and J. T. Bishop. 1995. “Economic values and incentives affecting soil and water conservation in developing countries”. *Journal of Soil and Water Conservation*, March-April. pp.133-137.
- Bunce, A.C. 1942. The economics of soil conservation. Ames, IA: Iowa State College Press.
- Cleaver, K. M. and Schreiber, G. A. 1994. Reversing the Spiral: The Population, Agriculture and Environment Nexus in Sub-Saharan Africa. The World Bank, Washington, D.C.
- Ciriacy-Wantrup S. Conservación de los recursos, economía y política. Fondo de Cultura Económica, 1957.
- CAZALAC Centro del Agua para zonas áridas de América Latina y el Caribe (2006), “Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas de América Latina y El Caribe”. Programa Hidrológico Internacional, UNESCO. Documento Técnico No. 3. La Serena, Chile. 58 pp.
- Cleveland C. J, Resource degradation, technical change, and the productivity of energy use in U.S. agriculture *Center for Energy and Environmental Studies and Department of Geography, Boston University*.
- Diao X, Sarpong D. Cost Implications of Agricultural Land Degradation in Ghana, IFPRI Discussion Paper 00698, May 2007.
- Matallo H. Glossário de termos e conceitos usados no contexto da UNCCD. Ministério do meio ambiente. Secretaria de Extrativismo de Desenvolvimento Rural Sustentável – SEDR Coordenação de Combate à Desertificação – CTC, 2010.
- Matallo H. Algunas cuestiones relativas a la economía de la desertificación, En Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales. CEPAL, 2005. Capítulo IV.
- Morales C. Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales. (2005), LC/G.2277-P Santiago: CEPAL, 2005. 267 p. (Libros de la CEPAL, n. 87).

- Nkonya E, Gerber N, Baumgartner P, von Braun J, De Pinto A, Graw V, Kato E, Kloos J, Walter T. The Economics of desertification, Land Degradation, and Drought; Toward an Integrated Global Assessment ZEF- Discussion Papers on Development Policy No. 150, Center for Development Research, Bonn, May 2011, pp. 184.
- Pimentel D, Harvey, C, Resosudarmo P, Sinclair K, Kurz D, Crist S, Shpritz L, Fitton L, Saffouriand R, Blair, R. Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits. excerpts from *Science Magazine* Vol. 267, February 1995.
- Requier-Desjardins M. The economic costs of desertification: a first survey of some cases in Africa *Int. J. Sustainable Development*, Vol. 9, No. 2, 2006.
- Centre d’Economie et d’Ethique pour l’Environnement et le Développement (C3ED), Université de Versailles St-Quentin-en-Yvelines, France *Ecological Economics* 13 (1995) 185-201.
- Dregne H, and N.T. Chou. Global desertification dimensions and costs en *Degradation and restauration of arid zones*. Lubbock, Texas Tech University, 1992.
- Requier-Desjardins M. Investing in recovery of arid land *Working paper*, international workshop on the cost of inaction and investment opportunities in dry, arid, semi-arid and sub-humid areas. *Comité scientifique français de la désertification* or CSFD. ROME 2006, 4-5 of December.
- Riera P, Mogas J. The economy of soil degradation. European Seminar on Soil Protection for Sustainable Development. Soria, Spain, May 16, 2002.
- Singh J, Singh J. P. Land degradation and economic sustainability. *Ecological Economics* 15 (1995) 77-86.
- Schild J. Supervisors Quatrini S, de Groot R.S. Methodologies for economic valuation of dryland ecosystems. Annex III. Research Paper on Methodologies for Economic Valuation of Drylands.
- Way S A 2006. Examining the Linkages Between Poverty and Land Degradation: From Blaming the Poor Towards Recognising the Rights of the Poor in Marginal Dryland Areas. In *Governing Global Desertification. Linking environmental degradation, poverty and participation*, edited by P. M. Johnson, K. Mayrand and M. Paquin. Aldershot, UK: Ashgate.



CEPAL

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