



Argentina
Bolivia
Brasil

Chile
Paraguay
Uruguay



PROYECTO:
INCORPORACIÓN DEL
CAMBIO CLIMÁTICO A
LAS ESTRATEGIAS DE
DESARROLLO RURAL:

*Síntesis
de los resultados en
América Latina*





Edificio MERCOSUR
Luis P. Piera 1992 Piso 3
Tel.: (598 2) 410 1676
Fax: (598 2) 410 1780
Montevideo - Uruguay
E-mail: sejecutiva@procisur.org.uy
www.procisur.org.uy

**PROYECTO:
INCORPORACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO A LAS
ESTRATEGIAS DE DESARROLLO RURAL**

SÍNTESIS DE LOS RESULTADOS EN AMÉRICA LATINA

Autores:

Robert Mendelsohn - Profesor de la Facultad de Estudios de Forestación y Medio Ambiente de la Universidad de Yale, New Haven, CT, EEUU.

Antonio Flavio Dias Ávila - Investigador de la Secretaría de Gerencia y Estrategia de EMBRAPA, Brasilia, Brasil.

S. Niggol Seo - Facultad de Estudios de Forestación y Medio Ambiente de la Universidad de Yale, EEUU durante el proyecto; actualmente, Facultad de Administración de Empresas de la Universidad de Aberdeen, Reino Unido.

Con la colaboración de:

Jorge Lozanoff y Eugenio Cap - INTA/Argentina;

Luiz José María Irias y Magda de Lima - EMBRAPA/Brasil;

Jorge González y Roberto Velasco - INIA/Chile;

Jorge Granados Rocha, Irma Baquero, Margarita Ramírez Gómez y Fabiola Gómez - CORPOICA/Colombia;

Pablo Játiva - INIAP/Ecuador;

Bruno Lanfranco, Alfredo Albín y Agustín Giménez - INIA/Uruguay;

Rafael R. Pacheco y Luisa Caraballo - INIA/Venezuela;

Aliza Fleischer, Ivgeni Shifrin e Ivgenia Lichtman - Universidad Hebrea de Jerusalén/Israel.

Agradecimientos:

Al Comité de Investigación del BANCO MUNDIAL por financiar el proyecto y al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura – IICA por el apoyo brindado en los aspectos contractuales y administrativos.



Este informe es producto del estudio *“Cambio Climático y Pobreza Rural – Incorporación del Cambio Climático a las Estrategias de Desarrollo Rural: Plan para el Estudio de Impacto Ambiental del Calentamiento Global en América Latina”* desarrollado en Sudamérica, bajo la dirección científica de la Facultad de Estudios de Forestación y Medio Ambiente de la Universidad de Yale y en el cual participaron Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Uruguay y Venezuela. El estudio fue coordinado por PROCISUR – Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur, y financiado por el Comité de Investigación del BANCO MUNDIAL. El Gerente del Proyecto fue Ariel Dinar – Economista Líder – Grupo de Investigación para el Desarrollo BANCO MUNDIAL. Se contó con el apoyo de PROCIANDINO en los países de la Región Andina. IICA - Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura colaboró en los aspectos contractuales y administrativos del proyecto.

Esta publicación también está disponible en formato electrónico (PDF) en el sitio Web institucional en <http://www.procisur.org.uy> y en <http://www.iica.int>

Coordinación editorial: PROCISUR
Coordinación de estilo: PROCISUR
Diagramado: Esteban Grille
Diseño de portada: Esteban Grille
Imprenta: URBANA IMPRESOS

Mendelsohn, Robert.
Proyecto: incorporación del cambio climático a las estrategias de desarrollo rural: síntesis de los resultados en América Latina / Robert Mendelsohn, Antonio Flavio Días Ávila, S. Niggol Seo. - Montevideo: PROCISUR/IICA, 2007. 48 p.; 18.7 x 26.5 cm.

ISBN13: 978-92-9039-816-5

1. Cambio climático 2. Medio Ambiente 3. Desarrollo rural 4. América Latina I. Días Ávila, Antonio Flavio. II. Niggol Seo, S. III. PROCISUR /IICA IV. Título

AGRIS
P01

DEWEY
333.7

Montevideo, Uruguay
2007

Las ideas y opiniones son propias de los autores y no necesariamente pueden reflejar políticas y/o posiciones oficiales del BANCO MUNDIAL, PROCISUR ni de las instituciones que lo integran.

PRESENTACIÓN

El Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur (PROCISUR), creado en 1980, es un esfuerzo conjunto de los Institutos Nacionales de Investigación Agropecuaria (INIAs) de Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay, y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

A lo largo de su historia, ha sido preocupación de PROCISUR contribuir a la discusión y análisis de temas trascendentales para la agricultura regional. En ese contexto desde el año 2004 ha colaborado en la coordinación y ejecución del proyecto Cambio Climático y Pobreza Rural que contó con el financiamiento y orientación del Banco Mundial, y que fue ejecutado por profesionales del Dpto. de Economía de la Universidad de Yale, y los Institutos Nacionales de Investigación Agropecuaria de Argentina, Brasil Chile, Colombia, Ecuador, Venezuela y Uruguay.

Al culminar este estudio PROCISUR ha iniciado una serie de acciones con el objeto de difundir sus resultados y contribuir a su discusión y análisis en distintos ámbitos. Una de esas acciones es la publicación de este documento en el que se presenta una síntesis de los resultados, tanto desde una perspectiva regional, como también una mirada más en detalle a nivel de los países que participaron directamente en la generación de la información.

Esperamos que esta publicación contribuya a la discusión sobre el impacto de los futuros cambios climáticos en los predios rurales de América del Sur, tanto en la alteración de sus sistemas productivos con en el valor de la tierra, y también explorar las probables adaptaciones que los agricultores estarían en condiciones de realizar en respuesta al cambio climático.

Las estimaciones de los impactos económicos en diferentes tipos de predios rurales a nivel nacional y regional, y el valor de las prácticas de adaptación, tanto en marcha como posibles, beneficiarían las políticas de intervención que podrían ser consideradas por gobiernos y agencias de desarrollo internacional.

Emilio Ruz

Secretario Ejecutivo
PROCISUR

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	3
RESUMEN EJECUTIVO.....	7
1. INTRODUCCIÓN Y FUNDAMENTOS	9
2. ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO.....	12
3. MÉTODOS.....	14
3.1. MODELO RICARDIANO.....	14
3.2. MODELO DE ESTABLECIMIENTO INTEGRADO Y ADAPTACIÓN	16
4. DATOS	17
4.1. CLIMA.....	17
4.2. SUELOS.....	17
4.3. ASPECTOS ECONÓMICOS.....	17
4.4. ALCANCE Y UBICACIÓN DE LAS ENCUESTAS	19
4.4.1. ARGENTINA	19
4.4.2. BRASIL.....	20
4.4.3. CHILE.....	21
4.4.4. ECUADOR.....	22
4.4.5. COLOMBIA	23
4.4.6. URUGUAY.....	24
4.4.7. VENEZUELA.....	25
4.5. ESCENARIOS CLIMÁTICOS	26



5. RESULTADOS	27
5.1. RESULTADOS NACIONALES.....	27
5.1.1. ARGENTINA	27
5.1.2. BRASIL.....	27
5.1.3. CHILE.....	28
5.1.4. COLOMBIA	29
5.1.5. ECUADOR.....	30
5.1.6. URUGUAY.....	31
5.1.7. VENEZUELA.....	31
5.2. ESTUDIOS REGIONALES.....	32
5.2.1. ESTUDIO RICARDIANO	32
5.2.2. MODELO DE ESTABLECIMIENTO INTEGRADO	34
5.2.3. ESTUDIO DE ELECCIÓN DE CULTIVOS	40
5.2.4. ESTUDIO DE ELECCIÓN DE GANADO.....	41
5.3. CAMBIO CLIMÁTICO, TECNOLOGÍA Y AGRICULTURA EN ISRAEL.....	43
5.3.1. ESTUDIO RICARDIANO EN ISRAEL.....	43
5.3.2. ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍA EN ISRAEL	43
6. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES PARA LA ADOPCIÓN DE POLÍTICAS	44
6.1. NIVEL REGIONAL.....	44
6.2. NIVEL NACIONAL.....	45
7. REFERENCIAS	47
8. GLOSARIO	48



Este documento presenta una síntesis del estudio desarrollado durante el período 2004/06 para medir el impacto del cambio climático en los productores rurales de América Latina y estima las probables adaptaciones que los productores rurales habrán de llevar a cabo en respuesta al clima. La sensibilidad al clima se mide observando en un corte transversal (del inglés: *cross-section*) los productores que enfrentan climas muy diversos. El estudio compara resultados obtenidos en establecimientos ubicados en zonas templadas y cálidas para medir las consecuencias de los distintos climas en la actualidad. El estudio también examina si los productores toman decisiones diferentes en climas templados y en climas cálidos. Por ejemplo, si prefieren dedicarse a los cultivos en vez de a la cría de ganado o si eligen practicar agricultura de secano o utilizar métodos de riego.

Se reunieron datos de 2.500 productores en muestras de Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Uruguay y Venezuela a través una encuesta desarrollada para este proyecto. Se eligieron los distritos para maximizar el espectro de climas en los países de la muestra. Esta información obtenida a través de la encuesta se correlaciona con datos sobre el clima y los suelos por distrito.

La regresión del valor de la tierra sobre las variables climáticas y de control revela que el clima tiene gran importancia en la explicación de la variación del valor de la tierra en los distintos puntos de la muestra. La relación entre temperatura y valores de la tierra e ingresos netos tiene la forma de una U invertida. Los valores de la tierra en zonas de clima más fresco son relativamente bajos, los de las zonas templadas son altos, y los de las zonas cálidas son relativamente bajos. Leves aumentos de temperatura tienen diferentes efectos en los establecimientos, dependiendo de su temperatura actual. El estudio

encuentra que un leve calentamiento reduciría en general los valores de la tierra. Sin embargo, estos resultados varían a lo largo de la muestra. El valor de los establecimientos ubicados en zonas frescas aumentaría con un leve calentamiento.

Los pequeños y grandes establecimientos mostraron respuestas similares, aunque no idénticas, a la temperatura. Ambos presentan curvas en forma de U invertida para la relación entre el valor de la tierra y la temperatura, pero el valor de la tierra tiene su punto más alto a una menor temperatura para los establecimientos grandes. Los establecimientos de secano muestran resultados similares a los mencionados. Sin embargo, los establecimientos con riego demostraron ser menos sensibles a la temperatura.

El estudio también reveló que los valores de la tierra son más altos en lugares con mayores precipitaciones estivales. Los valores de la tierra de los establecimientos con mayores precipitaciones invernales son más bajos. En una base anual estos efectos son compensatorios, de manera que la precipitación anual solo tiene un pequeño efecto neto. Los establecimientos con riego demostraron ser más sensibles a la precipitación. El riego hace que los cultivos sean menos dependientes de las lluvias. Pero los establecimientos con riego tienden a estar ubicados en zonas secas, por lo tanto, un aumento de la precipitación tiene un mayor impacto marginal en los establecimientos con riego que en los establecimientos de secano.

Aplicamos entonces estas relaciones estimadas a los futuros escenarios climáticos. En esta sección aplicamos los resultados del corte transversal para predecir los impactos intertemporales del cambio climático a largo plazo. Nótese que el análisis no asegura que los resultados puedan ser utilizados para modelar los cambios que se

producen año a año asociados al clima sino solo los cambios mucho más graduales asociados a los parámetros normales del clima (promedios climáticos cada 30 años). Los futuros escenarios climáticos para cada país se obtienen a partir de tres modelos climáticos.

El análisis de la muestra se extrapoló a todos los países de América Latina (Hemisferio Occidental al sur de los Estados Unidos). Consideramos que era razonable realizar la extrapolación de la muestra a la región debido a la consistencia del clima, la cultura y la tecnología en la región.

Se probaron varios escenarios climáticos. Los escenarios representan un amplio espectro de posibles futuros resultados climáticos para América Latina. El análisis revela que la agricultura latinoamericana se verá generalmente afectada por el calentamiento global. En los escenarios más severos los establecimientos podrían perder hasta un 62% de su valor en hacia año 2100. En un escenario “intermedio” de 3°C de calentamiento, hacia 2100 los establecimientos podrían probablemente perder un 30% de su valor. En todos los escenarios probados el calentamiento global perjudicará los valores netos. Es probable que la mayor parte del peso de estos impactos recaiga sobre los productores de establecimientos de secano que enfrentarán temperaturas cada vez mayores. Sin embargo, no todos los distritos agropecuarios se verán afectados del mismo modo. Los establecimientos con riego, los que se encuentran actualmente en zonas frescas y los que están regiones donde el cambio climático será leve podrían beneficiarse.

El análisis de adaptación reveló que los productores cambiarán el tipo de explotación, riego, cultivos y ganadería dependiendo del clima. Los productores ubicados en zonas húmedas templadas prefieren cultivos, los que se encuentran en zonas secas prefieren ganadería y los que están en zonas cálidas suelen elegir ambas actividades, cultivos y ganadería. El análisis en América Latina reveló que es más probable que el riego se utilice en establecimientos ubicados

en zonas frías y secas. Los establecimientos en zonas cálidas tienden a cultivar frutas y verduras, mientras que los productores en zonas frescas cultivan papas y trigo. Los productores en zonas templadas y secas favorecerán la ganadería cuando en otras condiciones favorecerían la lechería. Estos resultados sugieren que los productores cambiarán los aspectos básicos de su explotación a medida que el clima vaya cambiando.

Estos resultados tienen implicancias importantes para las políticas de cambio climático: **i)** el estudio ofrece pruebas contundentes de que la agricultura latinoamericana será vulnerable al calentamiento; **ii)** el estudio cuantifica la magnitud de los daños resultantes; **iii)** el estudio muestra que es probable que los productores se adapten cambiando el tipo de explotación; y **iv)** el estudio muestra que los impactos no serán uniformes a lo largo del continente sino que variarán en gran medida de un lugar a otro. Los gobiernos deberán considerar seriamente el hecho de brindar asistencia para priorizar programas en los lugares donde sea necesario.

También se llevó a cabo un estudio separado relativo al impacto del cambio climático en Israel. Este es el primer estudio de cambio climático realizado en Medio Oriente. El estudio es particularmente relevante para el análisis de América Latina porque investiga opciones de adaptación avanzadas que los productores israelíes han adoptado para hacer frente a las altas temperaturas. El estudio israelí siguió los mismos métodos generales que el estudio latinoamericano y recogió datos a lo largo de las zonas climáticas del país. Sin embargo, el estudio incluyó preguntas más detalladas acerca de la tecnología que los productores han adoptado para hacer frente al clima. Específicamente, el estudio explora el efecto del riego, suministro de agua y cobertura de cultivos. Estos tres recursos ayudan a los productores a adaptarse a las temperaturas más altas. Los productores que deban enfrentar temperaturas más altas en el futuro cuentan con diferentes alternativas que podrán desplegar para reducir los daños del calentamiento.

1. INTRODUCCIÓN Y FUNDAMENTOS

La comunidad científica confía cada vez más en que las emisiones de gases contaminantes están provocando el aumento de las temperaturas del planeta (Houghton *et al.*, 2001). El rápido aumento de gases de efecto invernadero está altamente correlacionado con los aumentos de temperatura más recientes (Houghton *et al.*, 2001). Más aun, todos los modelos climáticos anticipan consistentemente algún grado de calentamiento mientras continúen acumulándose gases contaminantes (Houghton *et al.*, 2001). En la medida en que este panorama se vuelve más claro, existe un creciente interés por comprender las consecuencias del aumento de las temperaturas del planeta (McCarthy *et al.*, 2001). Ya existen pruebas de la ocurrencia de pequeños cambios de temperatura que han ocasionado cambios en los glaciares, derretimientos de nieve y modificaciones en ecosistemas (McCarthy *et al.*, 2001). Lo que no está claro es cuánto afectarán los cambios de temperatura pronosticados para el futuro no solo a los sistemas físicos sino a la propia humanidad. Más aun, no está claro cómo se adaptará la humanidad a este nuevo desafío.

A pesar de que el cambio climático seguramente afectará a todo el planeta, es probable que tenga distintos efectos sobre los individuos de diferentes regiones. En primer lugar, no todos enfrentan las mismas temperaturas y niveles de precipitaciones en la actualidad. Es probable que el calentamiento para alguien que se encuentra en el círculo polar tenga consecuencias muy diferentes que para alguien que está cerca del ecuador. En segundo lugar, las consecuencias del calentamiento podrían variar dependiendo de las actividades que lleven a cabo los individuos. Las actividades en un edificio con temperatura controlada difícilmente se vean afectadas (excepto por diferencias en los costos de energía), mientras que un establecimiento rural podría ser muy dependiente del clima. En tercer lugar,

algunas personas podrían ser más capaces de adaptarse al calentamiento que otras. La capacidad de los actores de sustituir insumos, producción o tecnologías alternativas para compensar el cambio climático podría variar. Por lo tanto, es importante realizar estudios de impacto ambiental regionales que proporcionen un sentido de cómo variarán los impactos en cada región del mundo.

Hay tres temas muy importantes acerca de las políticas en torno al cambio climático: **i)** hasta que punto deben mitigarse los gases contaminantes de efecto invernadero y durante cuánto tiempo; **ii)** que clase de adaptaciones al cambio climático tienen más sentido; y **iii)** habría que determinar si los emisores de gases contaminantes deberían pagar alguna indemnización a las personas que se ven afectadas por el calentamiento, especialmente si las víctimas emiten muy pocos gases contaminantes y son pobres.

Entender las consecuencias del calentamiento global ayuda a responder las tres preguntas relacionadas con la política ambiental. Primero, ¿cuál es la magnitud de los daños a nivel global? Mayores daños justifican un programa de mitigación más agresivo. Programas más agresivos implican que todos los países se comprometan a mayores reducciones de emisiones, y que lo hagan cuanto antes. Segundo, si la mitigación no puede detener el calentamiento global por completo, el calentamiento global va a ocurrir. Es crucial que cada país y cada distrito aprendan a adaptarse a lo que va a suceder. En este momento, sin embargo, muy poco se conoce acerca de la adaptación. ¿Cómo deberán los individuos, las empresas y los gobiernos responder al calentamiento? ¿Cuándo deberán hacerlo? Tercero, si las consecuencias del calentamiento no son idénticas para todos, algunas personas se van a ver afectadas de manera desproporcionada. ¿Acaso deberían los emisores de gases con-

taminantes proporcionar alguna indemnización a las víctimas más afectadas que no tengan nada que ver con las emisiones y sean pobres?

Este estudio tiene cinco objetivos principales. Primero, el estudio desarrolla nuevas metodologías para medir los impactos climáticos y especialmente, la adaptación. Segundo, el estudio busca medir los daños del calentamiento global a la agricultura latinoamericana. América Latina es un lugar importante para estudiar porque abarca el Ecuador, lo cual implica temperaturas actuales muy altas. La agricultura latinoamericana en particular es importante porque muchos individuos en la región trabajan en este sector: casi un tercio de la tierra se usa para la agricultura (Recursos Mundiales, 2005), y la agricultura es responsable del 8% del PBI (Indicadores del Desarrollo Mundial, 2006). Tercero, el estudio examina cómo los productores latinoamericanos se adaptan al clima que enfrentan actualmente. Es decir, mide cómo los productores de las regiones tropicales realizan distintas elecciones si se los compara con los productores de las zonas templadas. El estudio también comprueba la hipótesis de que los pequeños establecimientos familiares son más vulnerables al cambio climático que los establecimientos más grandes porque carecen de alternativas de adaptación (Rosenzweig y Hillel, 1998). Cuarto, el estudio explora cómo la nueva tecnología podría derivar en nuevas oportunidades de adaptación mediante el examen de algunas de las innovaciones en la agricultura israelí. Quinto, el estudio analiza la viabilidad de usar nuevas tecnologías adaptables al calentamiento, estudiando sus aplicaciones en Israel. Se enseñó a los expertos en agricultura de todos los países participantes nuevos métodos para medir los impactos climáticos y la adaptación. Los expertos prepararon entonces informes de impactos y adaptaciones en sus propios países.

Se necesitan nuevos métodos para medir los daños del cambio climático porque los futuros impactos del calentamiento global son aún inciertos. Uno de los aportes de este estudio es el desarrollo de una nueva metodología para medir los daños del calentamiento global a la agri-

cultura incorporando explícitamente la adaptación. El estudio amplía la investigación actual acerca de cómo los productores realizan sus elecciones en función del clima. Por ejemplo, estudios anteriores en África han demostrado que los productores cambian su opción de riego (Kurukulasuriya y Mendelsohn, 2006a) y cambian su elección del número de animales y de la especie a criar (Seo y Mendelsohn, 2006a) en función del clima. En el modelo de establecimiento integrado exploramos si los productores también cambian su elección de dedicarse a cultivos, criar ganado, o desarrollar ambas actividades, dependiendo del clima. Según el tipo de establecimiento escogido, también exploramos si adoptan riego. Finalmente, para cada tipo de establecimiento, exploramos el ingreso neto condicional y cómo este varía con el clima. Llamamos a este nuevo modelo “modelo de establecimiento integrado” porque integra la literatura sobre agricultura y ganadería que estuvo separada durante tanto tiempo. El modelo de establecimiento integrado proporciona valoraciones sobre cómo el clima altera las decisiones de los productores y cómo altera los ingresos netos esperados de la producción o el valor de la tierra. El modelo proporciona valoraciones confiables de los daños del calentamiento pero también una visión interna de la adaptación de los establecimientos.

Además del desarrollo del modelo de establecimiento integrado, el estudio también se basa en otros métodos existentes. Se ha demostrado que muchos de estos métodos funcionan a escala continental en África. El modelo Ricardiano tradicional (Mendelsohn Nordhaus y Shaw, 1994) proporcionaba cálculos de ingresos netos por cultivos (Kurukulasuriya y Mendelsohn, 2006b) e ingresos netos por ganadería (Seo y Mendelsohn 2006b). También se estimó una variante del modelo Ricardiano que separa a los establecimientos en “establecimientos de secano” y “establecimientos con riego” (Schlenker *et al.*, 2005) para África (Kurukulasuriya and Mendelsohn, 2006b). El proyecto también mide cómo la elección de especies de cultivos y ganado varía con el clima.

Además de desarrollar nuevos métodos, el estudio aplica estos métodos al estudio de los daños potenciales a la agricultura latinoamericana provocados por el futuro calentamiento global. En primer lugar, el estudio generó nuevos datos. Se condujo una encuesta entre productores de 7 países de América Latina. Los países incluyeron a Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador Uruguay y Venezuela. La encuesta fue diseñada para obtener una muestra a lo largo de diversas zonas climáticas tanto entre los diferentes países como dentro de cada país. La encuesta también fue diseñada para muestrear pequeños y grandes establecimientos. Los datos de la encuesta fueron depurados y se establecieron correspondencias con los datos de clima y la información de los suelos. En segundo lugar, el estudio desarrolló el análisis mencionado anteriormente. Los estudios nacionales estimaron

modelos Ricardianos y se enfocaron en la adopción de sistemas de riego. Los estudios regionales estimaron modelos Ricardianos, el modelo de establecimiento integrado, y los modelos de elección de cultivos y ganado. Estos análisis se usaron luego para predecir los impactos y las adaptaciones asociadas a un rango de escenarios climáticos.

También se realizó un sondeo en Israel para examinar el aspecto tecnológico. Los productores israelíes han explorado una serie de opciones para enfrentar las altas temperaturas, incluso métodos de riego avanzados y cobertura. Este estudio explora la adopción de estas tecnologías por parte de los productores en Israel y cómo la inclusión de la tecnología ha afectado la sensibilidad al clima de la agricultura israelí.



2. ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto general fue liderado por el PROCISUR/IICA bajo la dirección de Emilio Ruz, Secretario Ejecutivo de PROCISUR y Especialista Regional en T&I de IICA. PROCISUR/IICA a su vez estuvo a cargo de cada uno de los siete equipos nacionales en los países de América Latina. Los equipos nacionales están vinculados con las instituciones agropecuarias nacionales de cada país, tal como se muestra en el **Cuadro 1**. PROCIANDINO, liderado por Nelson Rivas, brindó apoyo adicional a los equipos andinos. El IICA, con el apoyo de sus oficinas nacionales, contrató a los equipos técnicos para que reunieran y depuraran los datos, condujeran los análisis y prepararan informes nacionales. PROCISUR/IICA fue el anfitrión en las reuniones para generar capacidades técnicas que permitieran el desarrollo del proyecto, apoyó en

la capacitación para la recopilación y análisis de datos, como también en la elaboración de los informes nacionales.

Los expertos regionales prepararon trabajos para desarrollar nuevos métodos, estimaron modelos para la escala de América Latina y condujeron reuniones para el desarrollo de capacidades de los equipos nacionales apoyadas por el Banco Mundial. Finalmente, el Banco Mundial financió un equipo de Israel para conducir un análisis del papel de la tecnología como medio para adaptarse al cambio climático.

Los resultados de este proyecto incluyen informes nacionales e informes regionales. Cada equipo nacional preparó informes nacionales independientes. Los informes nacionales inclu-

Cuadro 1. Estructura y Equipos Nacionales/Regionales

País/Región	Institución	Equipos
Argentina	INTA	Jorge Lozanoff y Eugenio Cap
Brasil	EMBRAPA	Flavio Ávila, Luiz José María Irias y Magda de Lima
Chile	INIA	Jorge González y Roberto Velasco
Colombia	CORPOICA	Jorge Granados Rocha, Irma Baquero, Margarita Ramírez Gómez y Fabiola Gómez
Ecuador	INIAP	Pablo Játiva
Uruguay	INIA	Bruno Lanfranco y Alfredo Albín
Venezuela	INIA	Rafael R. Pacheco y Luisa Caraballo
Israel	Universidad Hebrea de Jerusalén	Aliza Fleischer, Ivgeni Shifrin e Ivgenia Lichtman
Regional	Universidad de Yale, EEUU Embrapa, Brasil Banco Mundial, EEUU PROCISUR, Uruguay	Robert Mendelsohn y Niggol Seo Antonio Flavio Dias Ávila Ariel Dinar Emilio Ruz

yen una cuidadosa descripción de la agricultura de cada país, un análisis de los impactos usando el método Ricardiano tradicional (Mendelsohn *et al.*, 1994) y, para algunos países, un análisis logit de la adopción de métodos de riego. Cada informe nacional también describe cómo se verá afectado el país según los diversos escenarios climáticos pronosticados para el futuro.

Se prepararon informes regionales separados para el conjunto completo de datos de los 7 países. Se elaboró un informe sobre daños climáticos generales usando el método Ricardiano tradicional y también el enfoque tradicional de Schlenker *et al.* (2005). Este informe compara los resultados de usar los valores de la tierra contra los ingresos netos como variable dependiente en un modelo Ricardiano. Un segundo informe regional estimó un modelo de estable-

cimiento integrado que muestra cómo los productores se adaptan al clima cambiando el tipo de explotación y el riego. Dos informes más han sido concluidos sobre la elección de cultivos y especies de animales.

El estudio final del proyecto es el análisis de la agricultura israelí. Este estudio observa el análisis Ricardiano de la agricultura israelí y la adopción de técnicas avanzadas de riego y cobertura en Israel como forma de adaptación frente al calentamiento. Israel es líder mundial en la sustitución de capital por agua de manera de poder cultivar alimentos en condiciones cálidas y secas. También invierten en cobertura para ayudar a soportar las altas temperaturas. El propósito del análisis de Israel es entender si estas adaptaciones podrían ayudar a otros países a adecuarse al cambio climático en el futuro.



3. MÉTODOS

3.1. MODELO RICARDIANO

Este informe se basa en un análisis de corte transversal para medir la sensibilidad de la agricultura con respecto al clima. Se comparan los valores de la tierra de los distintos establecimientos que enfrentan diferentes climas para determinar la relación entre el valor de la tierra y el clima. Debido a que otros factores también podrían explicar la variación observada, también se los introduce en el análisis como controles en la medida de lo posible. Por ejemplo, se exploran las características de los productores, el acceso al mercado y los suelos. Se realiza una regresión de los valores de la tierra contra el clima y estas otras variables explicativas para calcular un “modelo Ricardiano” (Mendelsohn *et al.*, 1994). Las variables climáticas se introducen para permitir al modelo adoptar una forma no lineal esperada. Específicamente, la literatura agropecuaria experimental sugiere que los cultivos tendrán una respuesta a la temperatura en forma de U invertida (Reilly *et al.*, 1996). Es importante que también se permita al modelo económico adoptar esa forma. Los resultados en los EEUU han sugerido que el valor de la tierra tendría una relación en forma de U invertida con la temperatura (Mendelsohn *et al.*, 1994; 1999).

La respuesta general de los valores de la tierra al clima es el resultado de la relación entre la utilidad máxima que obtiene el productor en cada zona para un clima dado, tal como se muestra en la **Figura 1**. Los productores en cada zona de temperatura eligen el cultivo y los insumos que mejor funcionen en su zona. Por ejemplo, en una zona fresca, los productores sembrarán trigo. En una zona templada sembrarán maíz y soja. En una zona más cálida podrían pasar a sembrar mijo y frutas tropicales. La respuesta general del valor de la tierra es la combinación de todos estos cultivos diferentes.

El impacto del calentamiento dependerá de las condiciones climáticas iniciales de los productores. Tal como se ve en la **Figura 1**, si un establecimiento se encuentra en una zona más fría, el productor, por ejemplo, podría sembrar inicialmente trigo. El calentamiento permitiría al productor pasar a cultivar maíz y aumentar sus ingresos netos. Sin embargo, si el establecimiento ya se encontrara en una zona cálida donde se sembrara maíz y el clima se calentara, el productor podría tener que pasar a cultivos tolerantes al calor de menor valor, tales como el mijo y pasaría a percibir menores ingresos netos. Finalmente, si el productor estuviera cultivando mijo y las temperaturas aumentaran aún más, el productor podría verse obligado a abandonar cualquier tipo de cultivos.

Una preocupación que surge del enfoque de corte transversal es que no toma en cuenta el riego (Cline, 1996). Los establecimientos que utilizan riego probablemente presenten diferentes respuestas al clima que aquellos que desarrollan agricultura de secano (sin riego). Como solución se ha sugerido la posibilidad de analizar por separado los establecimientos con riego y los de secano (Schlenker *et al.*, 2005). Probamos esta solución y calculamos las funciones Ricardianas para el valor de la tierra de establecimientos de secano y establecimientos con riego por separado.

Otra preocupación que ha surgido con el modelo Ricardiano es que no toma en cuenta los cambios en los precios (Cline, 1996). Si ocurren grandes cambios en la producción como consecuencia del cambio climático, el suministro de los cultivos que no puedan cultivarse más descenderá y esto aumentará los precios de dicho cultivo. De manera similar, si el cambio climático aumenta la producción de otros cultivos, su suministro aumentará y el precio descenderá. El modelo Ricardiano no toma en cuenta esto

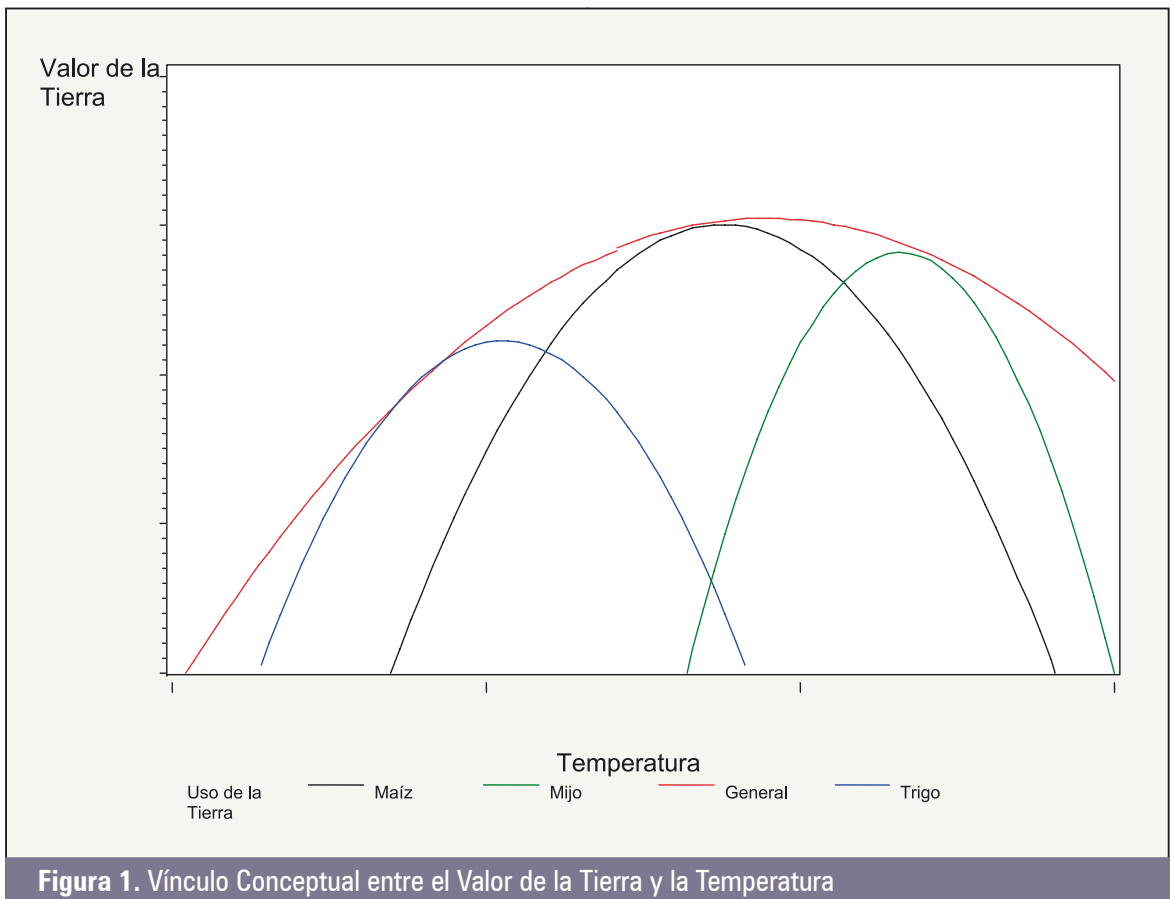


Figura 1. Vínculo Conceptual entre el Valor de la Tierra y la Temperatura

cambios de precio. En consecuencia, el modelo Ricardiano exagerará tanto los beneficios como los daños provocados por el calentamiento en caso de que haya grandes cambios en los precios. De manera similar, los grandes cambios en la productividad de los establecimientos probablemente afectarán la demanda de mano de obra en las áreas rurales. Si los establecimientos se vuelven improductivos, la demanda de mano de obra local descenderá y también lo harán los salarios. Los trabajadores deberán asumir algunas de las pérdidas de seguridad social asociadas con el calentamiento pero los daños generales serán menores. Nuevamente, el modelo Ricardiano exagerará los daños y los beneficios del calentamiento (Mendelsohn y Nordhaus, 1996).

Otra preocupación que surge de la literatura es que la adopción de la futura adaptación pronosticada por los estudios de corte transversal será costosa (Quiggin y Horowitz, 1999; Kelly *et al.*,

2005). No será fácil para los productores anticipar qué plantar ni cómo tratar los cultivos y se cometerán muchos errores a lo largo del camino. Este es claramente el caso cuando se considera el clima año a año. Los productores deberán tomar sus decisiones con respecto a los cultivos antes de que esté claro qué tipo de clima se presentará cada año. Sin embargo, más difícil saber si el problema será el mismo en el largo plazo. La definición técnica de una normal climática es el promedio del clima en un período de treinta años. Los productores podrán observar el clima aunque no puedan predecir cómo será en el futuro. Dado el corto plazo de vida del capital en los establecimientos rurales, no queda nada claro si los productores no tendrán problemas para adaptarse al cambio climático a medida que este vaya ocurriendo (Mendelsohn y Nordhaus, 1999).

El proyecto calcula modelos Ricardianos a dos escalas: nivel nacional y nivel regional (conjunto

completo de datos). Se espera que los modelos a nivel nacional sean únicos de cada país porque captan los efectos específicos sobre un país y los establecimientos de cada país cubren diferentes espectros de clima. Como el modelo de corte transversal requiere que haya variación climática para que funcione, existe cierta preocupación acerca de si a nivel nacional el análisis se podría calcular en los países más pequeños. Sin embargo, existe una gran variación geográfica dentro de los países de la muestra (con excepción de Uruguay) de manera que, al parecer, existe suficiente variación climática para estimar los modelos a nivel nacional. Uruguay se combinó con Argentina para el estudio como un único país. Además de los estudios nacionales, el modelo Ricardiano se estimó a lo largo de los países de la muestra. Se introdujo una variable indicadora (“dummy”) para los países andinos para captar la variación comercial y tecnológica a través de la muestra.

3.2 MODELO DE ESTABLECIMIENTO INTEGRADO Y ADAPTACIÓN

Además de desarrollar modelos Ricardianos del impacto del cambio climático, este proyecto de investigación también investigó la adaptación. El proyecto investigó si los productores que enfrentan distintas condiciones climáticas realizan elecciones diferentes. Específicamente, el modelo de establecimiento integrado usó un modelo logit multinomial para probar si los productores eligen adoptar cultivos, ganado, o una combinación de ambos, dependiendo del clima presente en sus establecimientos. El modelo también prueba si los productores de cada tipo de establecimiento adoptan métodos de riego en función del clima. Finalmente, el modelo prueba si los ingresos condicionales de cada tipo de

establecimiento dependen del clima. Este análisis es similar a estudios anteriores que dividen la muestra de los establecimientos en diferentes tipos (Schlenker *et al.*, 2005). Sin embargo, en lugar de asumir que cada tipo de establecimiento es exógeno, el modelo de establecimiento integrado asume que los productores eligen qué hacer en respuesta a las condiciones. En un estudio reciente en África se demostró que la opción de riego es endógena, una función del clima (Kurukulasuriya y Mendelsohn, 2006a).

Se conducen análisis separados de la elección de cultivos y ganado por especie. Estos análisis comparan las especies que los productores adoptan a lo largo de las diferentes zonas climáticas. En África, tanto la opción de criar ganado (Seo y Mendelsohn, 2000a) como la de sembrar cultivos (Kurukulasuriya y Mendelsohn, 2006c) resultaron ser sensibles al clima. Para ambos estudios, los modelos de elección multinomial se estiman a partir del clima y otras variantes de control. Los modelos proporcionan estimaciones cuantitativas de cómo cambian estas elecciones a medida que cambia el clima. Estos modelos de adaptación brindan apoyo empírico explícito para la adaptación implícita pero oculta en el modelo Ricardiano.

El conjunto final de análisis fue diseñado para estudiar la adopción de técnicas de riego avanzadas. En Israel, se condujo un análisis de corte transversal para determinar si el clima afectaba la probabilidad de que los productores israelíes adoptaran métodos de cobertura y riego. Se realizó una regresión del riego sobre el clima, el tamaño de los establecimientos y otras características usando una regresión logit. Otra regresión exploró la elección de los productores de cubrir sus cultivos con plástico. El informe israelí también incluye un análisis Ricardiano tradicional.

4. DATOS

4.1 CLIMA

Los datos de temperatura provienen de un generador de imágenes por microondas captadas por satélites del Departamento de Defensa de los EEUU. Este grupo de satélites pasa sobre el territorio completo a las 06:00 y a las 18:00 horas todos los días. En investigaciones anteriores, los datos de temperatura captados por los satélites se compararon con temperaturas interpoladas obtenidas en estaciones meteorológicas. Los satélites proporcionaron mediciones de temperatura más eficaces en comparación con los datos obtenidos en las estaciones meteorológicas (Mendelsohn *et al.*, 2006a). Sin embargo, los satélites no son capaces de observar las precipitaciones directamente. Por lo tanto, el estudio se basó en datos de precipitación de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). La OMM interpoló estas mediciones a cada distrito a partir de datos disponibles en las estaciones meteorológicas.

La temperatura y la precipitación media para cada país se muestran en la **Cuadro 2**. Los climas actuales de los siete países participantes difieren considerablemente. Chile, por ejemplo, es bastante templado, mientras que Brasil y Venezuela son bastante cálidos, Argentina, Chile y Venezuela son razonablemente secos mientras que Colombia es muy húmedo. Aún dentro de los países existe un rango de climas diferentes pero este rango de climas a lo largo de los países constituye una característica importante del diseño de este estudio.

4.2 SUELOS

Los suelos de cada distrito se obtuvieron del mapa de suelos digital de la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO 2003). Este conjunto de datos contiene información detallada geográficamente acerca de la inclinación de cada distrito, la textura de los suelos y los tipos principales de suelos. Se usaron Sistemas de Información Geográfica para computar las características del suelo de cada distrito del conjunto de datos de la FAO.

4.3 ASPECTOS ECONÓMICOS

Los datos económicos para este análisis se recopilaron a través de encuestas a productores realizadas por los países participantes. Se obtuvo una encuesta para productores a partir del sondeo utilizado en África (Kurukulasuriya y Benhin, 2006). Algunas preguntas detalladas acerca de los hogares y la mano de obra que no resultaron exitosas en África se eliminaron para hacer la encuesta más eficaz. La encuesta final se tradujo entonces al español y al portugués. Se probó la encuesta traducida y a partir de los resultados se obtuvo la encuesta definitiva.

La encuesta recopiló datos de las características de los hogares, tales como el tamaño del hogar y el género y la edad del productor. La encuesta también recopiló datos detallados acerca de los establecimientos, tales como sus dimensiones y

Cuadro 2. Clima y Muestra por País

Variable	Argentina	Brasil	Chile	Colombia	Ecuador	Uruguay	Venezuela
Temperatura	14.4	20.2	9.3	16.8	14.8	15.2	21.8
Precipitación	72.1	122.6	77.8	162.9	99.6	101.4	83.8
N	395	639	369	341	174	119	226

Nota: La temperatura se mide en grados centígrados y la precipitación en mm/mes.

para qué se utilizaba cada parcela. Se recopilaban datos anuales con respecto a los insumos, costos, producción y valor de la tierra. Los ingresos netos pudieron inferirse de los datos disponibles. Solo se muestreó un año de cultivos para 2003-2004.

El diseño del muestreo se creó para obtener una distribución aleatoria de establecimientos a lo largo de una amplia selección de zonas climáticas dentro de cada país. Cada país identificó las zonas climáticas dentro de sus fronteras y eligió distritos para reflejar cada zona climática. Den-

tro de cada distrito se entrevistó a una muestra de aproximadamente 10 productores. Los establecimientos se seleccionaron para poder observar una muestra sustancial de pequeños y grandes establecimientos.

Brasil recopiló la mayor cantidad de datos, pero geográficamente es el país más grande del continente. De manera similar, Uruguay recopiló una muestra relativamente pequeña, pero es el país más pequeño de los encuestados. El **Cuadro 3** presenta los datos de la muestra por país latinoamericano.

Cuadro 3. Muestra de cambio climático obtenida para el estudio en América Latina

Países	Número de encuestas
Cono Sur:	
Argentina	402
Brasil	720
Chile	382
Uruguay	175
Región Andina:	
Colombia	386
Ecuador	291
Venezuela	297
Total	2,653

4.4 ALCANCE Y UBICACIÓN DE LAS ENCUESTAS

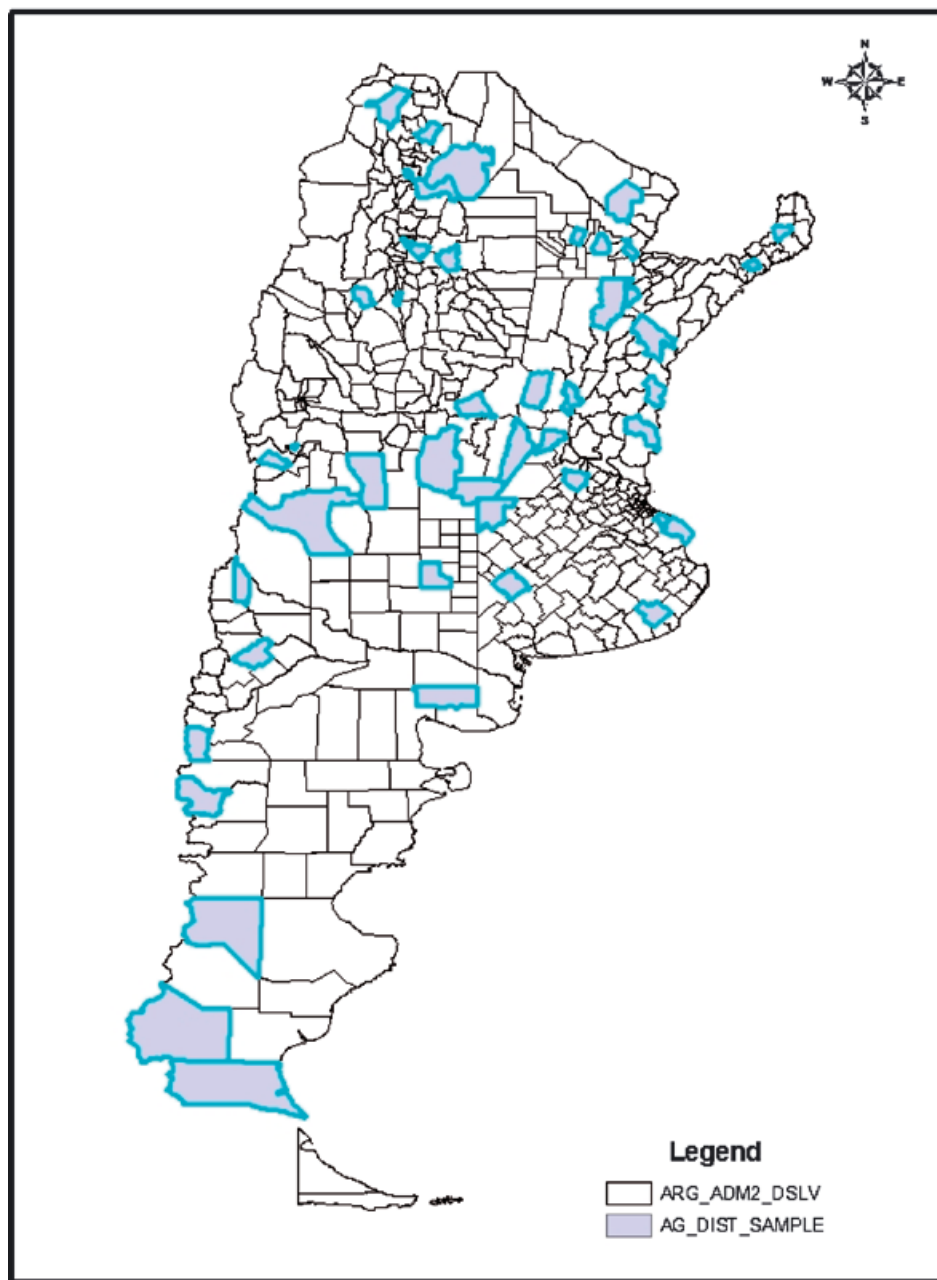
4.4.1. ARGENTINA

Las encuestas en Argentina se desarrollaron bajo la responsabilidad de las Estaciones Experimentales de INTA - Instituto Nacional de Tec-

nología Agropecuaria, excepto por algunos casos en los que las llevaron a cabo las Agencias de Extensión.

Los encuestadores consistieron en personal de INTA y en general, economistas o agentes de extensión. Se encuestó a un total de 402 productores.

AG_DISTRICT_SAMPLES



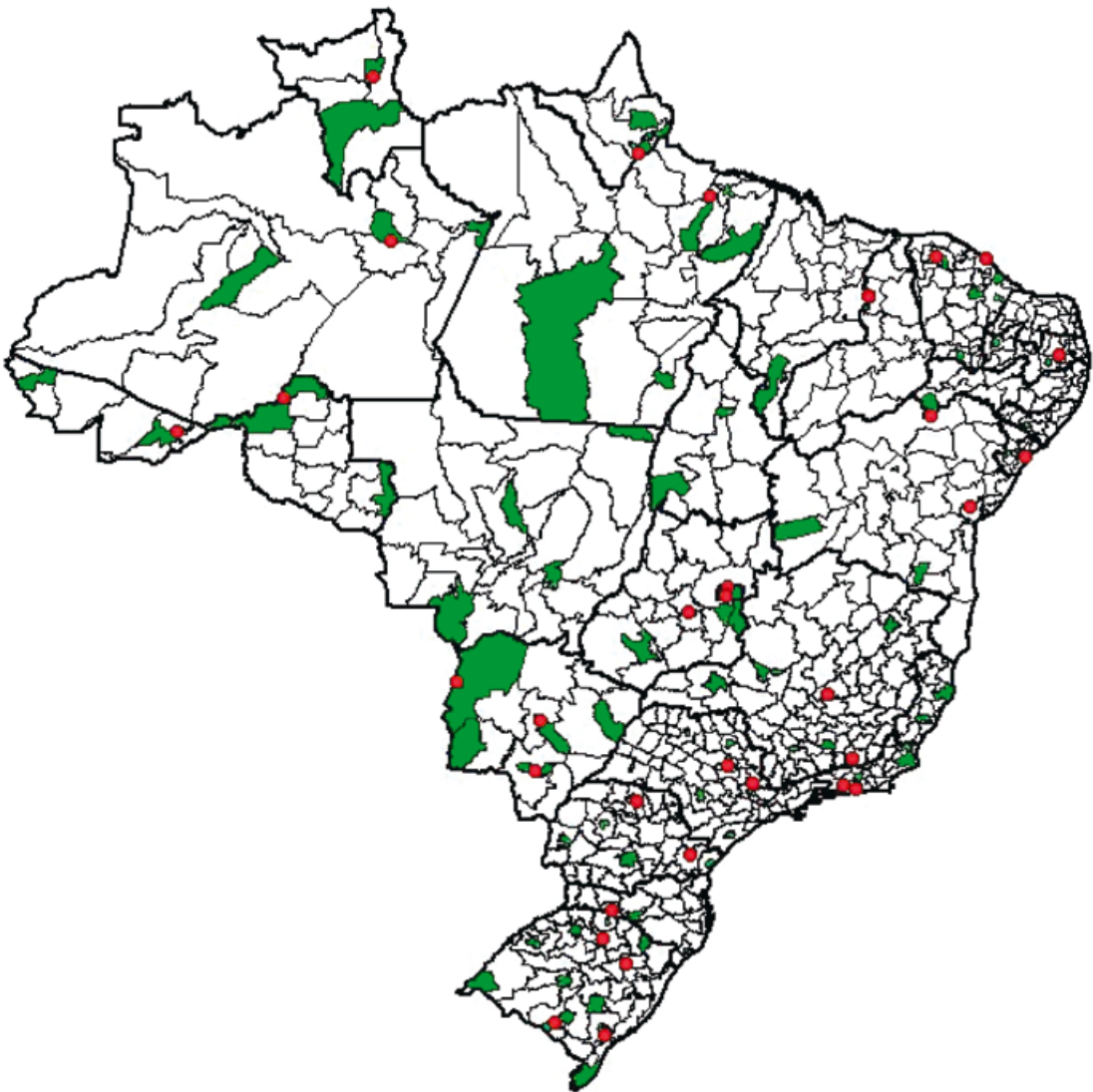
00.51 2 Decimal Degrees

NIGGOL SEO, YALE, 2004

4.4.2. BRASIL

El pronóstico inicial constaba de 600 encuestas, pero gracias al apoyo recibido de los centros de Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) involucrados, así como al apoyo económico de otros proyectos de Embrapa, fue posible recopilar datos de 720 establecimientos.

A continuación se aprecia un mapa de Brasil con la ubicación de las encuestas (en verde) y los centros de Embrapa que apoyaron el proceso de recopilación de datos (en rojo). El mapa muestra que las encuestas sobre cambio climático realizadas en Brasil estuvieron bien distribuidas dada la diversidad de regiones climáticas del país.



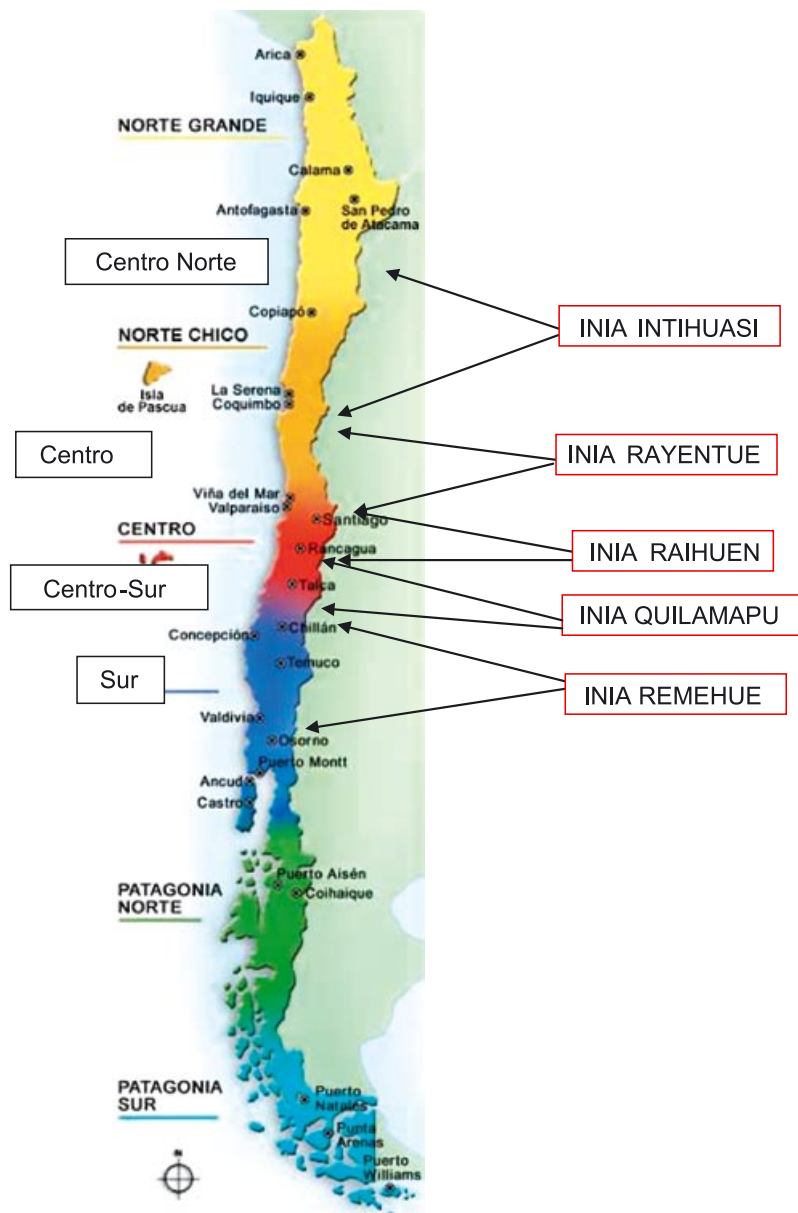
4.4.3. CHILE

Distintos Centros Regionales de INIA Chile (Instituto de Investigaciones Agropecuarias) participaron en el proceso de recopilación de datos del estudio climático. El Centro Regional que lideró las encuestas fue INIA Quilamapu, que se encuentra en la VIII Región (región Centro-Sur).

Todos los productores encuestados eran miembros del Programa Nacional de Grupos de Transferencia Tecnológica (GTT) del INIA. Se consideró que aproximadamente el 80% son productores dedicados a la agricultura familiar, mientras que

el 20% restante son establecimientos comerciales medianos. Cada GTT tiene de 12 a 15 agricultores y está coordinado por un profesional del INIA.

Se encuestó a productores de las siete Regiones de Chile, desde las macro áreas del Norte hasta las pequeñas áreas del Centro, Sur y Centro-Sur del país, cubriendo así prácticamente la totalidad de la agricultura tradicional, los cultivos y la producción bovina de Chile (lechería y carne). Por lo tanto, prácticamente toda la zona agropecuaria del país fue tomada en cuenta, a excepción de la Patagonia.



4.4.4. ECUADOR

Las encuestas en Ecuador se desarrollaron bajo la responsabilidad del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Se entrevistó a un total de 291 productores, cubriendo las zonas climáticas más importantes del país. Ver mapa climático a continuación.



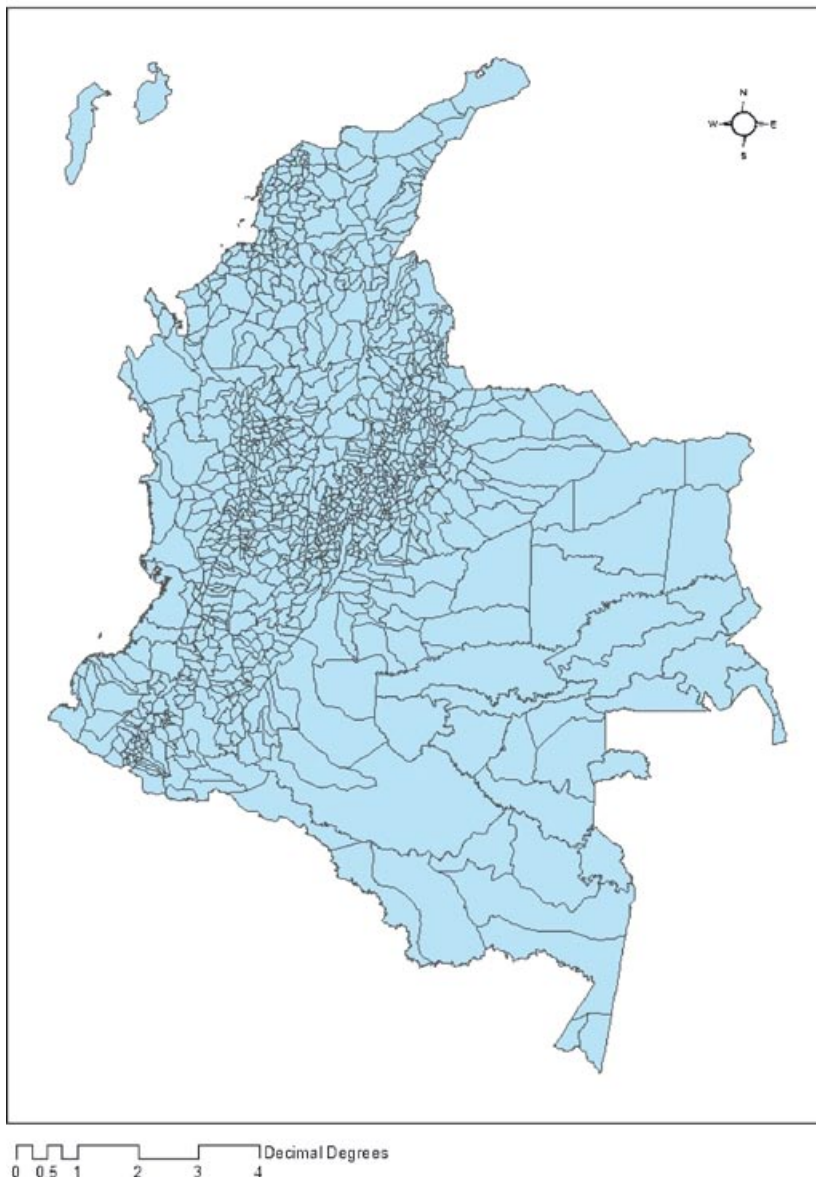
4.4.5. COLOMBIA

El estudio en Colombia se desarrolló bajo la responsabilidad de CORPOICA - Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Granados, Baquero, Gómez y Gómez, 2006). La muestra se estratificó de acuerdo a las principales áreas de cultivos y zonas de producción.

Las 386 encuestas en Colombia se distribuyeron a lo largo de las municipalidades de mayor importancia en lo que se refiere a producción agropecuaria, de acuerdo a los tipos de cultivos y producción ganadera.

Asimismo, muestran la amplia diversidad del país en lo que respecta a climas, culturas, tamaño de los establecimientos, automatización, conexión con los mercados internacionales, etc. Así, existen aproximadamente 1.000.000 de hectáreas cultivadas de café, el principal cultivo colombiano. Típicamente es cultivado por pequeños productores con altos niveles de automatización, en contraste con los grandes establecimientos ganaderos hacia el este del país que tienen menores niveles de productividad por hectárea.

COL_ADM2_DSLV

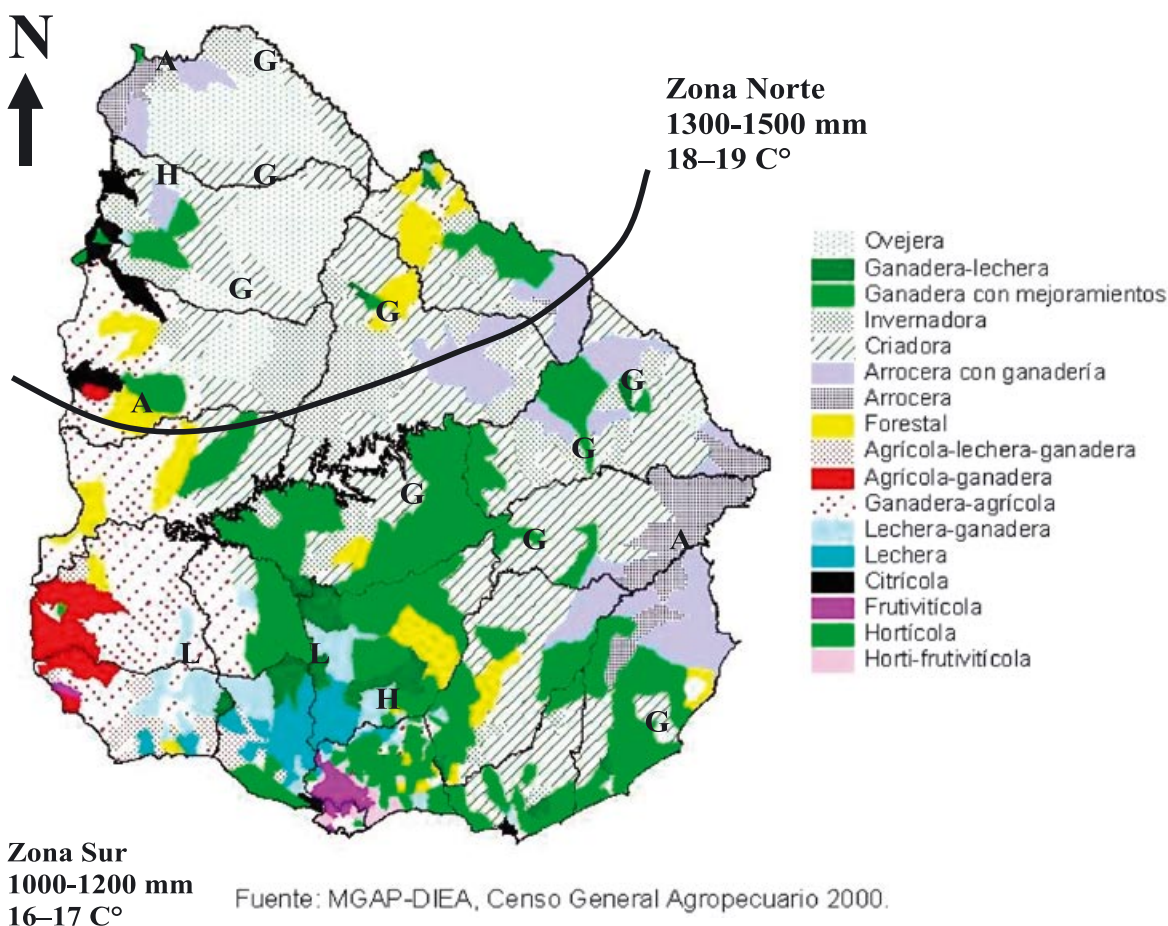


4.4.6. URUGUAY

Los datos de las encuestas en Uruguay realizadas por INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria) se recopilaron en sus dos principales regiones climáticas: 1) al norte del país, donde se registran temperaturas más altas y mayores lluvias; y 2) al sur del país, donde las temperaturas y las precipitaciones son menores.

Los 175 establecimientos encuestados están distribuidos a lo largo de todo el país (ver mapa) y el

tamaño y la distribución geográfica de la muestra fueron considerados adecuados a los propósitos de esta investigación. Si bien solamente el 5% de los individuos entrevistados se consideraron productores no comerciales, un análisis posterior tomando en cuenta las dimensiones de los establecimientos y el tipo de producción permitió categorizar al 36% de los establecimientos como pequeños productores, con un tamaño promedio de 497 hectáreas. El 64% restante fue clasificado como establecimientos comerciales medianos y grandes, con un tamaño promedio de 818 hectáreas.



4.4.7. VENEZUELA

Las encuestas en Venezuela se realizaron con el apoyo de los centros de investigación del INIA - Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Se cubrieron las seis regiones climáticas del país mediante un total de 297 cuestionarios.

Las muestras en Venezuela se tomaron en las áreas donde la tipología predominante de las unidades de producción agropecuaria es la de pequeños establecimientos familiares. Los grandes establecimientos o empresas comerciales destinadas al

comercio agropecuario (cereales, carne, lechería) se detectaron solamente en las zonas productivas orientadas a los negocios agropecuarios.

Los datos se codificaron y analizaron. Se llevaron a cabo varias pruebas para corroborar que las observaciones fueran internamente consistentes. Los datos imprecisos se registraron cuando pudieron corregirse o se consideraron como inexistentes. A partir de los datos disponibles pudieron inferirse los ingresos netos.

VEN_ADM2_DSLV



4.5. ESCENARIOS CLIMÁTICOS

Se han desarrollado sofisticados modelos de océanos y atmósferas para predecir las consecuencias del aumento de gases contaminantes de efecto invernadero en el planeta. El estudio se basa en tres modelos con el propósito de proporcionar una gama de pronósticos para los posibles climas del próximo siglo: El modelo del Centro Climático Canadiense (CCC) (Boer *et al.*, 2000); el modelo del Centro para Investigaciones y Estudios Climáticos (CCSR) (Emori *et al.*, 1999); y el Modelo Climático Paralelo (PCM) (Washington *et al.*, 2000). El modelo CCC pronostica un calentamiento promedio de 5°C, el modelo CCSR pronostica un calentamiento de 3°C, y el modelo PCM pronostica un calentamiento de 2°C para el año 2100 en América Latina. Los tres modelos también proporcionan un rango de pronósticos de precipitaciones desde una pequeña disminución para el CCC y el CCSR y un aumento para el PCM. Este rango de resultados refleja el rango de pronós-

ticos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) para el año 2100 (Houghton *et al.*, 2001). Los tres escenarios proporcionan lineamientos para políticas con un sentido de lo que ocurriría dependiendo de cómo se presente el calentamiento global. Observamos los cambios para 2020, 2060 y 2100.

Para cada modelo climático sumamos el cambio climático mensual pronosticado en cada celda de la cuadrilla ponderado en función de la población para generar un pronóstico del cambio climático a nivel nacional. El pronóstico de la temperatura a nivel nacional se agrega a la temperatura real de cada distrito. El pronóstico de cambio de porcentaje de precipitación a nivel nacional se multiplica por la precipitación real de cada distrito. Este proceso proporciona pronósticos específicos de temperatura y precipitación por distrito en cada período. En consecuencia, los cambios climáticos no son uniformes a lo largo de la región y varían según el modelo.

5. RESULTADOS

5.1 RESULTADOS NACIONALES

5.1.1. ARGENTINA¹

El análisis Ricardiano del cambio climático en Argentina desarrollado por Lozanoff y Cap (2006) demuestra la existencia de una fuerte correlación entre los ingresos netos y las variables climáticas. Más específicamente, queda en evidencia la fuerte dependencia de la temperatura invernal y las precipitaciones estivales de la variable dependiente.

A nivel de pequeños productores y productores comerciales se demostró la influencia variable de las variables climáticas sobre cada tipo de productor. Se observó que la curva del valor de la tierra basada en la temperatura presenta características óptimas a 15°C para los grandes productores, mientras que la misma curva es óptima a 17.5°C para los pequeños productores. Esto parece indicar una mayor capacidad de los grandes productores a adaptarse al cambio climático ya que la curva óptima prácticamente refleja la temperatura promedio de la muestra. Puede observarse que los pequeños productores presentan más elasticidad ante los cambios en las variables climáticas, pero también que sus condiciones óptimas están desplazadas con respecto al promedio, lo que indica una menor capacidad de adaptación a este cambio.

De estos tres escenarios, el modelo PCM prácticamente no indica una tendencia al cambio, es levemente ascendente para los grandes productores y levemente descendente para los pequeños productores. Lo que de hecho puede observarse es una marcada diferencia entre la evolución de ambos tipos. El segundo escenario, CCSR, de condiciones moderadamente severas para el cambio climático, presenta una tenden-

1 - Síntesis basada en el estudio argentino: LOZANOFF, J y CAP, E. 'El Impacto del Cambio Climático sobre la Agricultura Argentina: Un Estudio Económico'. INTA. Buenos Aires. Setiembre de 2006. 23p.

cia descendente para ambas sub-muestras, con una menor diferencia marcada entre ambos tipos de productores. Hacia finales del siglo XXI probablemente habrá una reducción del valor de la tierra en el orden del 20%. El tercer escenario, CCC, de condiciones de cambio severas, es el que muestra mayores tendencias de cambio, en ambos casos disminuyendo a índices similares, con una diferencia entre ambas sub-muestras favorable para los grandes productores. Hacia finales del siglo XXI la reducción estará en el orden del 50%.

Con respecto al mecanismo de riego para la adaptación al cambio climático puede observarse que el aumento de temperatura conlleva una rápida adaptación del riego, mientras que en el caso de las variaciones de precipitación, su disminución provoca una rápida adopción de mecanismos de riego y su aumento disminuye levemente la probabilidad de adopción de mecanismos de riego.

5.1.2. BRASIL²

El estudio en Brasil (Ávila, Irias y Lima, 2006) estimó regresiones separadas para pequeños y grandes establecimientos. Los resultados para los pequeños y grandes establecimientos indican que las temperaturas invernales tienen la relación esperada en forma de U invertida con el valor de la tierra, pero que las temperaturas estivales tienen forma de U.

El valor de la tierra más bajo para los grandes establecimientos se presentó a 30°C de manera que generalmente los grandes establecimientos ubicados en las zonas más cálidas presentaron menores valores. Sin embargo, el valor de la tierra más bajo para pequeños establecimientos

2 - Síntesis basada en el estudio brasileño: AVILA, A. F. D; IRIAS, L. J. M & LIMA, M. 2006. Impacto del Cambio Climático en la Agricultura Brasileña. Embrapa, Brasilia. Noviembre de 2006. 23p.

se registró a 24°C, de manera que generalmente los pequeños establecimientos ubicados en las zonas más cálidas presentaron menores valores solamente hasta cierto punto. La precipitación no mostró tener incidencia sobre los valores de la tierra de los grandes y pequeños establecimientos en la muestra brasileña.

El análisis de las encuestas brasileñas muestra que 537 de los productores informó que percibieron cambios climáticos en los últimos años, y el 53,2% percibió cambios en los períodos y en la cantidad de lluvias. Los productores también percibieron cambios en la temperatura (43,3%). Las principales adaptaciones consistieron en cambiar la fecha de siembra y en usar variedades más resistentes (24,5 y 20,1%). Un tercio de los productores brasileños encuestados indicó que la falta de fondos es el principal obstáculo para adaptarse al cambio climático. Las otras dos dificultades importantes fueron la falta de agua para riego y la falta de orientación técnica (15,9 y 11,2, respectivamente).

En Brasil se espera el mejor escenario con estimaciones de AOGCM (Modelos de Circulación General Acoplados Atmósfera-Océano) si tuviera lugar el escenario generado por el modelo PCM. El impacto agregado sería positivo en 2020 (más 15%) para los pequeños productores y los productores comerciales (7 a 31%). La situación sería peor en este mismo escenario en 2060 y en 2100, pero mejor de lo esperado en comparación con los otros dos escenarios. Se esperan los peores escenarios para los valores de la tierra brasileños en 2060 y 2100 si la temperatura y la precipitación varían en la magnitud estimada por el modelo CCC. Los cambios negativos sobre el valor de la tierra a nivel agregado estarían entre el 19% y el 38%, para los productores a pequeña escala entre el 9% y 31% y para los productores comerciales entre el 47% y 80%.

En este contexto de cambios climáticos y debido a los serios efectos esperados sobre los productores resultantes de los escenarios de los modelos AOGCM para las próximas décadas, el Gobierno Brasileño debería adoptar políticas para mitigar estos impactos sobre el sector rural. Las recomendaciones con respecto a las políticas

deberán estar orientadas a minimizar los efectos negativos de los cambios en las temperaturas invernales sobre los pequeños productores. En el caso de los productores comerciales, estas políticas deberían intentar mitigar los efectos negativos esperados de los cambios en los niveles de precipitaciones durante el verano.

A nivel de las investigaciones agropecuarias, la experiencia de Embrapa con su programa de cultivo de soja durante los 70-80, que consistió en el desarrollo de variedades para las regiones tropicales (>4°C más cálidas que las regiones templadas), debería expandirse a otros cultivos. Variedades más resistentes a las temperaturas cálidas combinadas con las innovaciones tecnológicas, tales como el riego, pueden minimizar los efectos del aumento de la temperatura en los sistemas de producción tradicionales generalmente adoptados por los pequeños productores.

5.1.3. CHILE³

El análisis Ricardiano del cambio climático en Chile ha demostrado que las variables de temperatura y precipitación en verano y primavera son las más importantes para explicar los cambios en los valores de la tierra (González y Velasco, 2006). Otras variables explicativas como la experiencia de los establecimientos, la pendiente y la textura de los suelos no aportan mucho al poder explicativo del modelo.

Estos resultados son consistentes con el escenario agropecuario “conocido” para el país, porque dadas sus características agro-climáticas, factores como las lluvias primaverales son extremadamente decisivos en la viabilidad de los sistemas de producción en ciertas localidades o tipos de suelos. En cuanto a la existencia o no de un sistema dado, aspectos como la intensidad del uso del suelo para la agricultura, cultivos viables y rendimientos esperados se visualizan

3 - Síntesis basada en el estudio chileno: GONZALEZ, J. & VELASCO, R. “Cambio Climático en sistemas agrícolas de Chile: I: Evaluación Preliminar del efecto de variables de clima sobre el valor económico estimado del suelo”. INIA, Quilmapu. Noviembre de 2006, 21p.

como altamente determinantes de las expectativas de capacidad de uso del suelo y por lo tanto, de su valor en el mercado.

Dadas las características de la agricultura chilena, el análisis se hizo considerando los campos con riego y sin riego. Ambas situaciones son importantes en la distribución nacional de la superficie destinada a la agricultura. Además, las características, el tipo de sistemas de producción y los rendimientos esperados de los mismos se ven significativamente influenciados por esta condición. Es claro que también influye fuertemente el nivel o grado de valor de la tierra.

Algunos autores han observado que los valores de la tierra más altos se encuentran en localidades con temperaturas moderadas que fluctúan entre los 7°C y 11°C. De otro modo, los resultados mostraron que los valores de la tierra más altos estaban asociados a precipitaciones moderadas promedio que fluctúan trimestralmente entre 50 y 90 mm. Las localidades con mayores precipitaciones presentan valores de la tierra inferiores. Esto coincide con la situación observada en el sur de Chile cuando se lo compara con zonas ubicadas más al norte del país.

5.1.4. COLOMBIA⁴

Los resultados de la aplicación del modelo Ricardiano en Colombia mostraron que al enfrentarse al cambio climático, los productores adaptan sus sistemas de producción en vez de abandonar la tierra (Granados *et al.*, 2006). En épocas de fuertes sequías se espera que implementen sistemas de riego, disminuyan la intensidad de uso de la tierra, cambien la agricultura por ganadería y/o pasen a otros cultivos o variedades. Esto también ocurre en conexión con los aumentos de temperatura, momentos en que uno espera que se modifiquen los cultivos o las variedades. Los productores colombianos mostraron que sienten que no tienen opciones a corto plazo aunque algunos han aplicado métodos

4 - Síntesis basada en el estudio colombiano: GRANADOS R, J.; BAQUERO IR.; GOMEZ, M. R. & GOMEZ, F. Efectos del Cambio Climático Global en la Agricultura Colombiana. CORPOICA. Bogotá. Octubre de 2006.

rotativos e introducido cambios en la tecnología que usan. Los siguientes factores son importantes a largo plazo: riego, cambio de cultivos y variedades y obras para obtener y regular el agua tales como represas o pozos.

Los resultados de la aplicación del modelo Ricardiano en Colombia muestran que los valores de la tierra dependen de variables climáticas tales como la precipitación y la temperatura promedio, el avance tecnológico y la información (Internet), la densidad de la población y la calidad de los suelos.

Cuando uno separa a los grandes productores de los pequeños los resultados indican que la precipitación no es estadísticamente importante para los productores comerciales.

La muestra del modelo de simulación a nivel del territorio colombiano muestra un efecto importante del cambio climático sobre el precio de la tierra. Asimismo indica un efecto muy serio sobre la capacidad productiva del sector agropecuario colombiano. De hecho, en la más seria de las predicciones posibles, podría perderse hasta un 94% de la producción. También es de destacar que un aumento de las lluvias tendría efectos negativos sobre el valor de la producción agropecuaria colombiana, mientras que una disminución de las mismas tendría un efecto favorable sobre dicho valor. Debido a su alto nivel de precipitaciones existen serios problemas de pesques y enfermedades que se reducirían si las lluvias disminuyeran.

El efecto es mucho más significativo sobre los pequeños productores quienes perderán mucho cuando aumente la temperatura. Por el contrario, las variaciones en las precipitaciones, ya sea un aumento o una disminución de las mismas, mejorarían su producción. Por otro lado, los grandes productores se beneficiarían del cambio climático en lo que respecta al aumento de la temperatura y como los valores de la tierra no dependen de los niveles de precipitación, no se verían afectados por cambios en esta variable.

Estos resultados son preocupantes porque los grandes productores tienen una mejor posición financiera y organización para realizar inversio-

nes que, como el riego, pueden permitirles adaptarse mejor al cambio climático. Los pequeños productores sufrirán una mayor reducción en sus ingresos y su patrimonio que representará un desafío a su vulnerabilidad y capacidad de supervivencia. También las condiciones de sus suelos, tales como las pendientes accidentadas, no permiten la instalación de sistemas de riego.

Es importante destacar que los productores consideran que el cambio tecnológico, las nuevas variedades más resistentes a las sequías y los cambios de cultivos son alternativas importantes para enfrentar productivamente el cambio climático que se avecina. Esto vuelve aún más urgente el hecho de enfatizar la investigación de suelos y la administración del agua, así como nuevas variedades y cultivos que sean más resistentes a altas temperaturas y sequías severas o a excesos de agua.

5.1.5. ECUADOR⁵

El estudio recopiló datos de productores en zonas climáticas representativas a lo largo de Ecuador (Jativa y Niggol, 2006). Se recolectó una muestra de establecimientos de pequeña escala y establecimientos comerciales, llegando a un total de 291 establecimientos. En la mayoría de estos establecimientos la persona a cargo del lugar era un hombre y la mayoría contaban con electricidad. La edad promedio de los productores fue de 52 años y contaban con un promedio de 9 años de escolarización.

Los valores de la tierra en Ecuador son altamente dependientes del tipo de suelos. Algunos suelos tienen una correlación positiva con el valor de la tierra mientras que otros tienen una correlación negativa. Los valores de la tierra también dependen de variables climáticas tales como temperatura y precipitación estiva-les/invernales. Las gráficas estimativas del valor de la tierra presentan forma de U invertida para un rango de temperatura media anual tanto para los pequeños como para los grandes

5 - Síntesis basada en el estudio ecuatoriano: JATIVA, P. y NIGGOL, S. Efecto del Calentamiento Global en la Agricultura Ecuatoriana: Evaluación del Impacto Económico Sobre el Valor de la Tierra. INIAP y Universidad de Aberdeen. Quito, Diciembre de 2006. 33p.

establecimientos. Para la precipitación anual, los valores de la tierra tienen forma de U para los pequeños establecimientos, pero el aumento es prácticamente lineal para los grandes establecimientos.

Un pequeño aumento de la temperatura anual promedio resultará en un pequeño daño a los pequeños establecimientos, pero en una pequeña ganancia para los grandes establecimientos. El aumento perjudicial de las temperaturas estivales se compensa con el aumento beneficioso de la temperatura invernal. Un pequeño aumento del nivel promedio de las precipitaciones anuales ocasionará pérdidas sustanciales a los pequeños establecimientos. Un efecto perjudicial del aumento de las precipitaciones invernales se compensa, aunque en un mínimo grado, con un aumento de las precipitaciones estivales.

La predicción de los impactos del cambio climático usando tres escenarios climáticos mostró que los pequeños y los grandes establecimientos habrán perdido la mitad de sus ingresos hacia el año 2100 si se materializa un escenario cálido y seco como el pronosticado por el modelo CCC. Por otro lado, los pequeños y grandes establecimientos se beneficiarán del calentamiento si se dan un aumento moderado de la temperatura y un aumento moderado de las precipitaciones tales como los pronosticados por el modelo PCM para el año 2020. El impacto ascenderá a una pérdida de ingresos del 60% como máximo y a una ganancia del 50% como mínimo para los grandes establecimientos para el año 2100. Los pequeños establecimientos son más vulnerables a las altas temperaturas, mientras que los grandes establecimientos son más sensibles a un aumento de precipitación.

Quienes elaboran las políticas deberían tomar en cuenta los hallazgos de este estudio, el cual predice que los ingresos agropecuarios se reducirán a la mitad al final este siglo. Dado que el país depende en gran medida del apoyo de la producción agropecuaria, el clima impondrá una carga significativa a los productores y al público en general. Deberán implementarse estu-

dios posteriores de posibles medidas para reducir estos efectos perjudiciales.

5.1.6. URUGUAY⁶

El estudio desarrollado por Lanfranco y Lozanoff (2006) arrojó luz sobre los potenciales efectos económicos del calentamiento global en el sector agropecuario uruguayo. Se utilizó un modelo Ricardiano para determinar los efectos potenciales del cambio climático sobre la producción agropecuaria en términos de ganancias y pérdidas de productividad. Se midió el aporte marginal de los cambios en la temperatura y las precipitaciones a los valores de la tierra, usado como modelo para la productividad y se presentaron los resultados correspondientes a los establecimientos comerciales y no comerciales.

Estos resultados sugieren que los cambios tanto de temperatura como de precipitación afectan la productividad y por lo tanto el valor. Los efectos probablemente serán diferentes según el tipo de explotación. Si bien las magnitudes serían diferentes en presencia de los distintos posibles futuros escenarios, se espera que los efectos deriven en pérdidas netas para los productores.

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, los establecimientos comerciales parecen ser más sensibles a los cambios climáticos; esto sugiere que los pequeños productores no comerciales podrían adaptarse mejor a las condiciones cambiantes del clima.

En cualquier caso, este es el primer estudio llevado a cabo para la región Austral de América del Sur y las conclusiones deben ser manejadas con precaución. Es necesaria una mayor investigación para poder confirmar y confiar en estos resultados.

6 - Síntesis basada en el estudio uruguayo: LANFRANCO, B & LOZANOFF, J. Impacto Económico del Calentamiento Global en el Sector Agropecuario Uruguayo. INIA. Montevideo. Octubre de 2006. 15p.

5.1.7. VENEZUELA⁷

En la muestra total tomada en Venezuela hay 297 establecimientos (Pacheco, Caraballo y Niggol, 2006). Los más comunes son los pequeños establecimientos familiares. Los establecimientos comerciales están presentes solamente en las áreas más productivas. Estos grandes establecimientos se dedican al cultivo de cereales, producción de carne y lechería. Los establecimientos rurales en Venezuela registraron los valores de la tierra más bajos en promedio de todos los países donde se realizó la encuesta.

A fin de analizar la vulnerabilidad de la producción agropecuaria venezolana al calentamiento global, los autores regresaron los valores de las tierras de los establecimientos contra variables exógenas tales como climas, suelos y variables socioeconómicas. Asumiendo que las sensibilidades al clima no cambian con el tiempo, predijeron impactos del cambio climático para el próximo siglo.

Se reveló que las actividades en Venezuela son sensibles a las variables climáticas. Las variables socioeconómicas y los distintos tipos de suelos también son importantes factores determinantes del valor de la tierra a lo largo del país. El valor de la tierra de los establecimientos que utilizan tecnología es más alto. Los establecimientos que se encuentran en suelos mixtos son más preferibles que los que se encuentran en suelo arcilloso.

El valor de la tierra está relacionado con la temperatura estival en una función cuadrática en forma de U invertida y con la precipitación estival en una función cuadrática en forma de U. La temperatura y las precipitaciones invernales también son importantes. Se ha pronosticado que un pequeño

7 - Síntesis basada en el estudio venezolano: PACHECO, R.; CARABALLO, L. y NIGGOL, S. Calentamiento Global y Agricultura en Venezuela: Una Valoración Económica. INIA Venezuela y Universidad de Aberdeen. Caracas, Diciembre de 2006, 22p.

aumento en la temperatura podría dañar la productividad agropecuaria, reduciendo por lo tanto el valor de la tierra. Se considera que un pequeño aumento de precipitación también reduciría el valor de la tierra.

El análisis de los impactos del cambio climático en la agricultura venezolana se basó en tres modelos climáticos: CCC, CCSR y PCM. La simulación indica que el cambio climático habrá perjudicado al 100% de los productores rurales en Venezuela a fines de este siglo. Se reveló que un aumento de temperatura sería muy perjudicial para la agricultura. Durante los primeros años es probable que una importante reducción de las precipitaciones dañe la agricultura actual de manera significativa.

En términos de política climática, los resultados confirman que un clima más cálido provocará una alteración importante en la agricultura de los países en desarrollo. Independientemente del tamaño de los establecimientos, se espera que la productividad agropecuaria experimente una importante baja como consecuencia del calentamiento. Los resultados también muestran que una drástica reducción en los niveles de precipitación pronosticados dentro del escenario PCM probablemente provoque daños significativos a la agricultura.

5.2 ESTUDIOS REGIONALES

5.2.1. ESTUDIO RICARDIANO

Los análisis Ricardianos de los valores de la tierra revelan que los valores de los establecimientos varían según los diferentes paisajes junto con el clima. Como se puede ver en la **Figura 2**, la relación estimada entre el valor de la tierra y la temperatura tiene forma de U invertida. Los precios de los establecimientos agropecuarios son más altos en los climas templados y van descendiendo a medida que la temperatura au-

menta hacia los climas tropicales. Debido a que el establecimiento rural promedio en América Latina se encuentra levemente hacia el lado derecho de esta U invertida, un leve calentamiento provocaría un descenso en el valor de los establecimientos agropecuarios. La **Figura 3** muestra los resultados para la precipitación y el valor de la tierra. La precipitación tiene una forma de U, lo cual implica que un aumento en la precipitación sería beneficioso y una disminución de la misma sería perjudicial.

La **Figura 2** también muestra que los pequeños y los grandes establecimientos responden de manera similar a la temperatura. A pesar de las preocupaciones acerca de la mayor vulnerabilidad de los pequeños establecimientos al calentamiento, el análisis implica que su sensibilidad a la temperatura es prácticamente la misma que la de los grandes establecimientos. Sin embargo, los pequeños establecimientos sí tienen distintas funciones en respuesta a las precipitaciones si se los compara con los grandes establecimientos. La **Figura 3** muestra que mayores precipitaciones resultan beneficiosas tanto para los pequeños como para los grandes establecimientos. Los pequeños establecimientos tienen valores más altos por hectárea pero la misma forma de función de respuesta. El mayor valor por hectárea registrado para pequeños establecimientos puede deberse al hecho de que no se mide la mano de obra propia.

El estudio también considera la relación entre el clima y los ingresos netos anuales. Los resultados del análisis Ricardiano de los ingresos netos son muy similares a los resultados de los análisis del valor de la tierra. Las respuestas a la temperatura tienen forma de U invertida y los ingresos netos de los pequeños establecimientos tienen sus picos a la misma temperatura (16°C). Sin embargo, los ingresos netos de los grandes establecimientos tienen su punto más alto a 8°C, que es una temperatura más baja que la de los resultados del valor de la tierra.

También se condujeron análisis separados de establecimientos de secano contra establecimientos con riego. Las tierras de secano y las

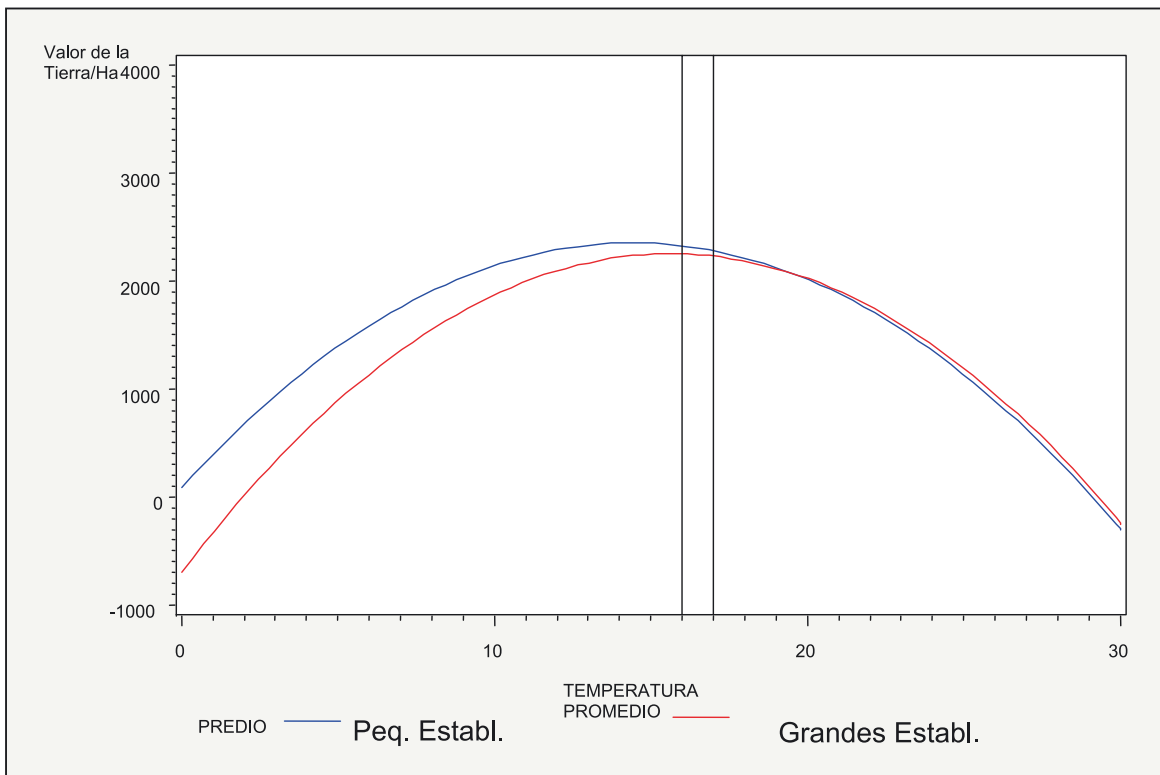


Figura 2. Respuesta Estimada de los Valores de la Tierra de los Pequeños y Grandes Establecimientos a la Temperatura

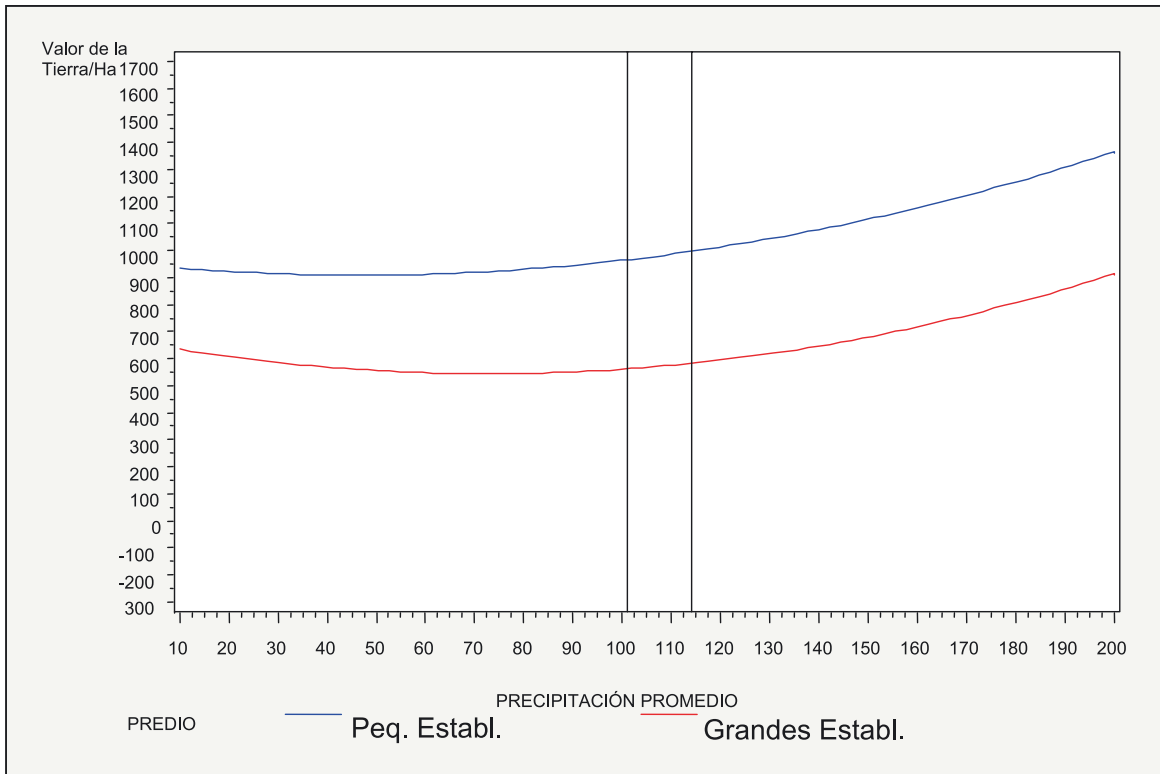


Figura 3. Respuesta Estimada de los Valores de la Tierra de los Pequeños y Grandes Establecimientos a la Precipitación

tierras con riego reaccionan de manera diferente a la temperatura y a la precipitación. Los establecimientos de secano son muy sensibles a las temperaturas estivales. Los valores de la tierra de los grandes y en especial de los pequeños, establecimientos son mucho más bajos en los lugares con mayores temperaturas estivales. El valor de la tierra de los pequeños establecimientos con riego no responde a la temperatura estival y los valores de la tierra de los grandes establecimientos con riego son más altos en lugares que tienen temperaturas estivales más altas. Las temperaturas invernales más cálidas están asociadas con valores de la tierra más altos para los pequeños establecimientos de secano, pero con valores más bajos para establecimientos con riego, tanto grandes como pequeños. Las precipitaciones estivales tienen efectos beneficiosos consistentes en los diferentes tipos de establecimientos, especialmente en los grandes establecimientos con riego. Los lugares con mayores precipitaciones invernales reducen los valores de la tierra de los grandes establecimientos de secano y de los pequeños establecimientos con riego, pero aumentan los valores de la tierra de los grandes establecimientos con riego. El riego claramente permite a los cultivos tolerar regiones con mayores temperaturas. Pero el riego generalmente se aplica en lugares con muy poca precipitación, de manera que los establecimientos que usan riego son más rentables con mayor precipitación.

5.2.2. MODELO DE ESTABLECIMIENTO INTEGRADO

El Modelo de Establecimiento Integrado examina la decisión de si un productor debería dedicarse a desarrollar cultivos, ganadería, o ambos, y si el productor debería adoptar riego (Mendelsohn y Seo, 2006). Para cada uno de estos tipos de explotación, el modelo estima cómo se ven afectados los valores de la tierra por el clima. En contraste con el modelo Ricardiano, el Modelo de Establecimiento Integrado vuelve explícitas las adaptaciones de cada productor. Se usan datos de corte transversal para probar si los productores de las zonas más cálidas o húmedas

realizan diferentes elecciones que los productores de las zonas más frescas o secas. Específicamente, se desarrollan modelos para probar si la elección de la adopción de cultivos, ganado, o ambos, depende del clima. Los resultados de estos modelos revelaron que el tipo de explotación sí depende del clima. Los establecimientos ubicados en entornos húmedos templados tendían a dedicarse solamente a los cultivos. Los establecimientos ubicados en zonas secas tendían a criar ganado. Los establecimientos ubicados en zonas cálidas optaban por una combinación de ganado y cultivos. El tipo de explotación es, por tanto, una de las adaptaciones más básicas que un productor puede elegir.

Otra adaptación importante disponible al productor es el riego. En análisis Ricardianos anteriores el riego fue tratado como una variable exógena, es decir, que estaba más allá de la elección del productor (Schlenker *et al.*, 2005; Seo y Mendelsohn, 2006c). Sin embargo, regresar la opción de riego sobre el clima revela que el riego es endógeno. Los productores eligen el riego en función del clima (tal como Kurukulasuriya y Mendelsohn, 2006a, descubrieron que ocurría en África). Por ejemplo, si consideramos los establecimientos que sólo se dedican a los cultivos, es menos probable que los productores elijan el riego si el establecimiento se encuentra en un clima cálido. Si bien el agua de riego puede compensar temperaturas más altas, los cultivos tienen menor rendimiento a altas temperaturas. Los productores no quieren invertir el alto costo fijo que implica el riego en tierras de cultivos marginales. También es menos probable que los establecimientos en áreas con mayores precipitaciones elijan el riego. Nuevamente, el aporte marginal del riego disminuye a medida que aumenta la precipitación. Los productores no necesitan riego en lugares con altas precipitaciones. Los resultados para los establecimientos con cultivos y cría de ganado a la vez son similares pero menos significativos.

Al examinar las regresiones del valor de la tierra específicamente para cada uso de la tierra vemos que los diferentes tipos de explotación reaccionan al clima de manera diferente. Las tempera-

turas más cálidas son especialmente negativas para los establecimientos de secano dedicados exclusivamente a los cultivos y para los establecimientos ganaderos. Las operaciones ganaderas de América Latina dependen en gran medida del ganado vacuno para carne, que tiende a ser sensible al calor. Los establecimientos con cultivos de secano son sensibles al calor porque tienden a estar ubicados en zonas cálidas y tienen pocas posibilidades de sustitución. En contraste, los establecimientos con riego y los que se dedican a los cultivos y a la ganadería a la vez tienen una amplia gama de posibilidades de sustitución para compensar el calor y por lo tanto son mucho menos vulnerables. La precipitación adicional es beneficiosa para todos los tipos de explotación, pero en especial lo es para los establecimientos agrícolas con riego y para los establecimientos ganaderos. Estos establecimientos están ubicados en lugares especialmente secos donde las lluvias adicionales son especialmente beneficiosas.

La aplicación de estos modelos de corte transversal a los futuros escenarios climáticos revela que los futuros impactos dependen en gran medida de los escenarios climáticos (ver Cuadro 4). Si uno usa un escenario de calentamiento leve y húmedo tal como el PCM para el año 2100, los

daños en el futuro son relativamente pequeños con pérdidas del 15% del valor de la tierra o los ingresos netos. Sin embargo, si uno usa un escenario de calentamiento severo y seco tal como el CCC para el año 2100, los daños en el futuro podrían ser grandes y traer pérdidas del 62% del valor de la tierra o los ingresos netos. Claramente, estos grandes impactos serán un duro golpe para la agricultura en América Latina.

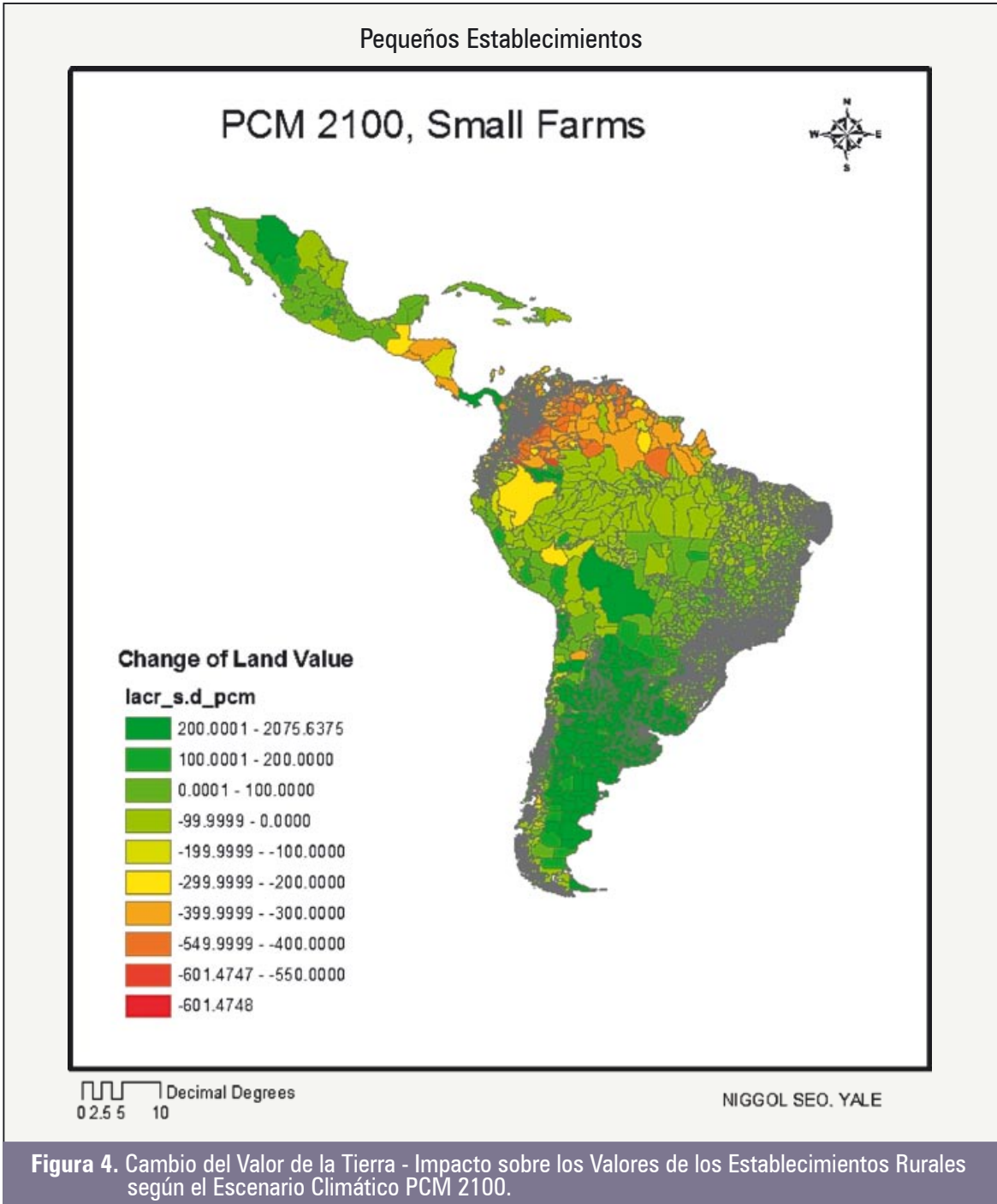
Sin embargo, no se espera que los impactos sean uniformes. Hemos graficado el efecto esperado para todos los países de América Latina (Hemisferio Occidental al sur de los Estados Unidos). Si bien la proyección va más allá de los países de la muestra, existen razones para creer que todos los países de la región comparten antecedentes culturales y tecnológicos similares. Los impactos sobre cada distrito dependen del clima inicial y del escenario de cambio climático específico de cada país. La Figura 4 muestra los impactos pronosticados sobre el valor de la tierra de los pequeños establecimientos si ocurriera el escenario PCM en 2100. El modelo predice beneficios generales a la región pero pérdidas en América Central y en el norte de América del Sur. En comparación, la Figura 5 considera el impacto del escenario CCC sobre los pequeños establecimientos. CCC es en

Cuadro 4. Impactos del Cambio Climático en el Valor de la Tierra de los Establecimientos Rurales en América Latina

Modelos de Escenarios	Grandes Establecimientos	Pequeños Establecimientos
Línea de Base	1135	1728
	2020	
CCC	-173 (-15%)	-272 (-16%)
CCSR	-154 (-14%)	-223 (-13%)
PCM	-61 (-5%)	13 (+1%)
	2060	
CCC	-373 (-33%)	-570 (-33%)
CCSR	-248 (-22%)	-387 (-22%)
PCM	-138 (-12%)	-121 (-7%)
	2100	
CCC	-702 (-62%)	-1060 (-61%)
CCSR	-397 (-35%)	-617 (-36%)
PCM	-191 (-17%)	-228 (-13%)

general perjudicial para la región, pero algunas regiones tales como la Amazonia y el norte de Argentina, y especialmente Bolivia y Paraguay, son los más afectados. Sin embargo, aún con

este escenario mayormente perjudicial, algunos establecimientos en Perú y al sur de Argentina se verán beneficiados.



Pequeños Establecimientos

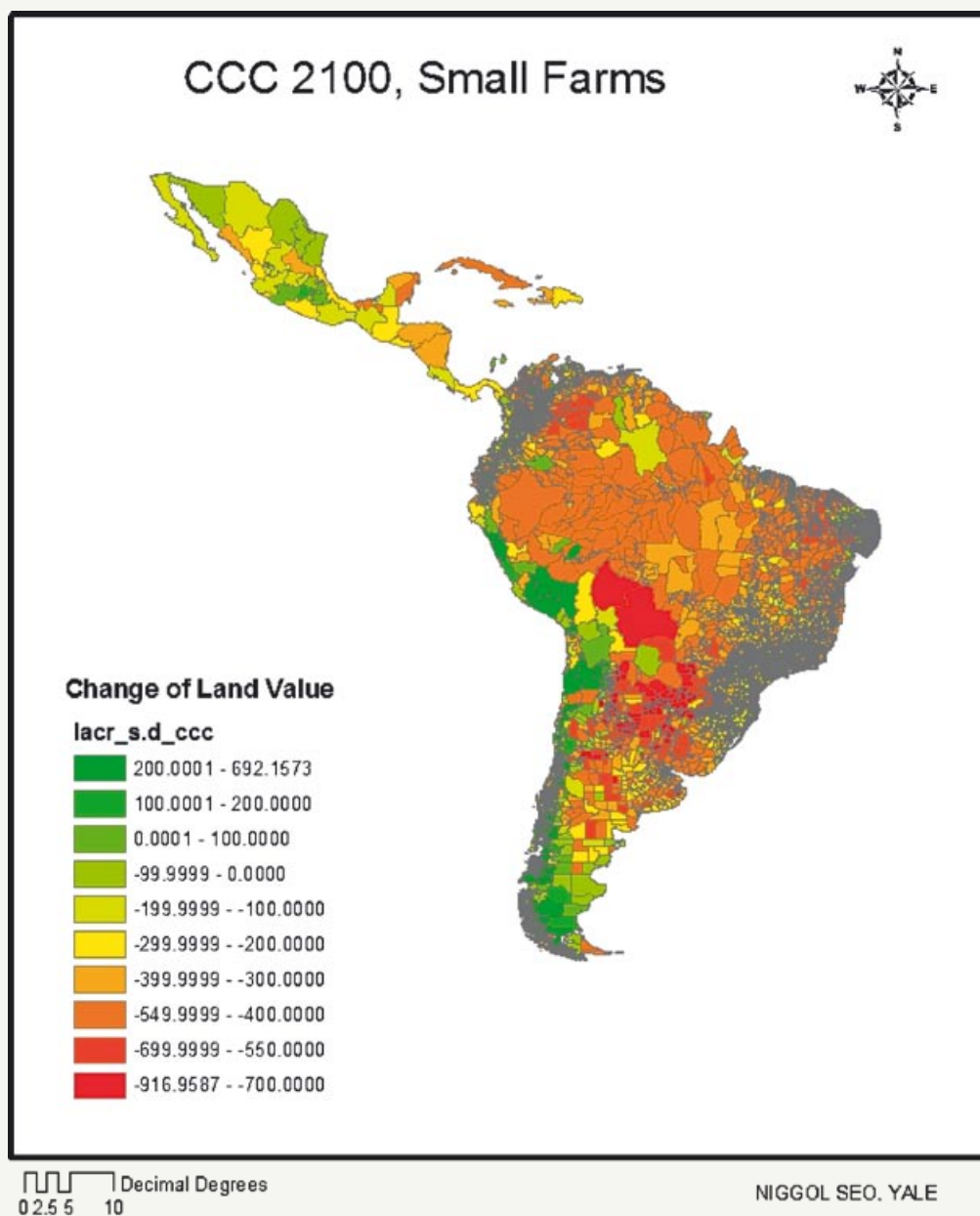


Figura 5. Cambio del Valor de la Tierra - Impacto sobre los Valores de los Establecimientos Rurales según el Escenario Climático CCC 2100.

Los efectos son similares pero no idénticos para los grandes establecimientos. La **Figura 6** examina el efecto que el escenario PCM tiene sobre los valores de la tierra de los grandes establecimientos agropecuarios. Hay daños en Panamá y en la región norte de América del Sur pero en general, los efectos del PCM son beneficiosos para la mayoría de los establecimientos de

la región. Sin embargo, con el escenario CCC la mayoría de los grandes establecimientos se perjudica (ver **Figura 7**). Los efectos perjudiciales son mayores en Bolivia y Paraguay. Sin embargo, aún en este escenario, algunos establecimientos aumentan su valor. Los establecimientos de Perú, Argentina y Chile se benefician con el escenario CCC.

Grandes Establecimientos

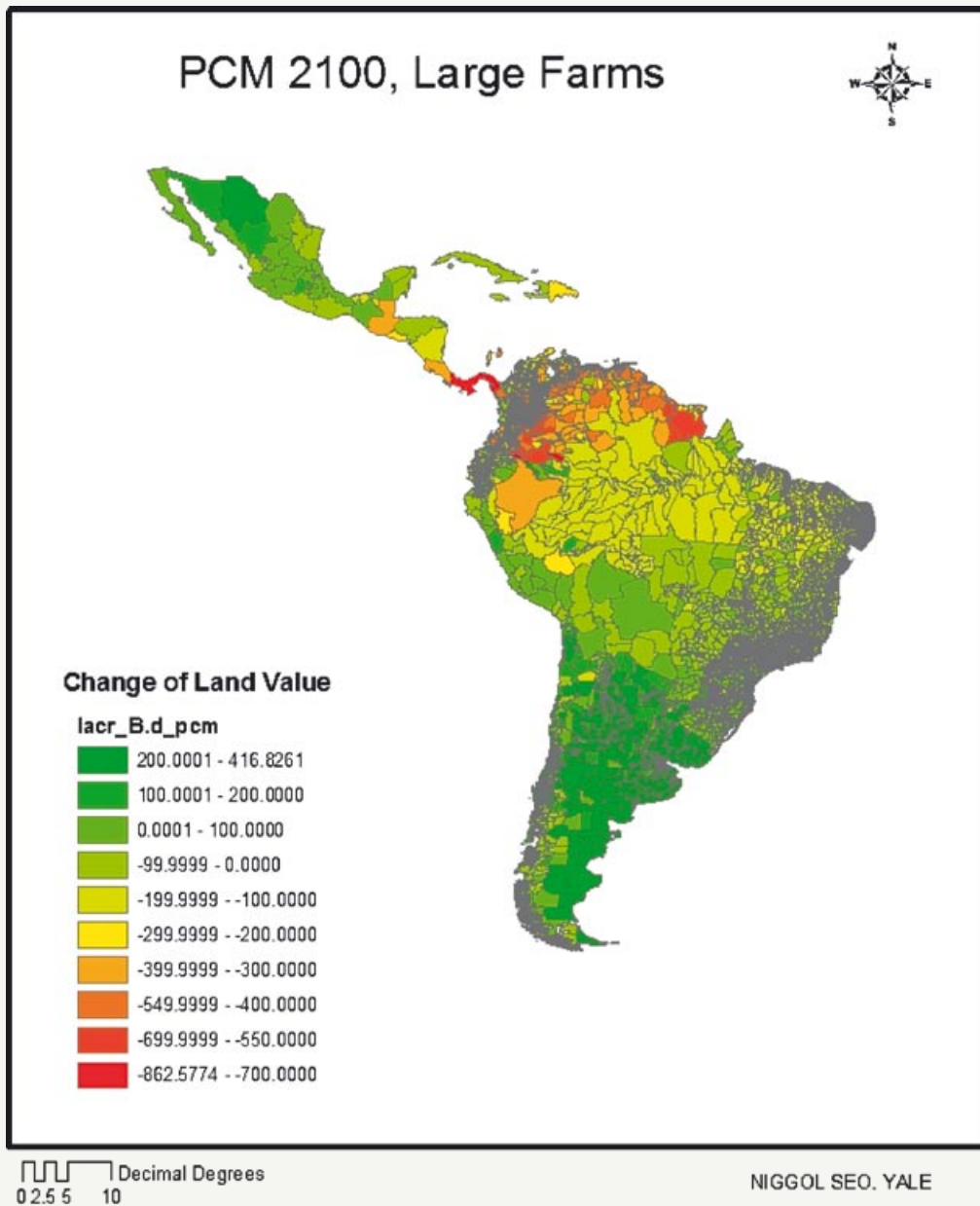


Figura 6. Cambio del Valor de la Tierra - Impacto sobre el Valor de los Establecimientos Agropecuarios según el Escenario Climático PCM 2100.

Grandes Establecimientos

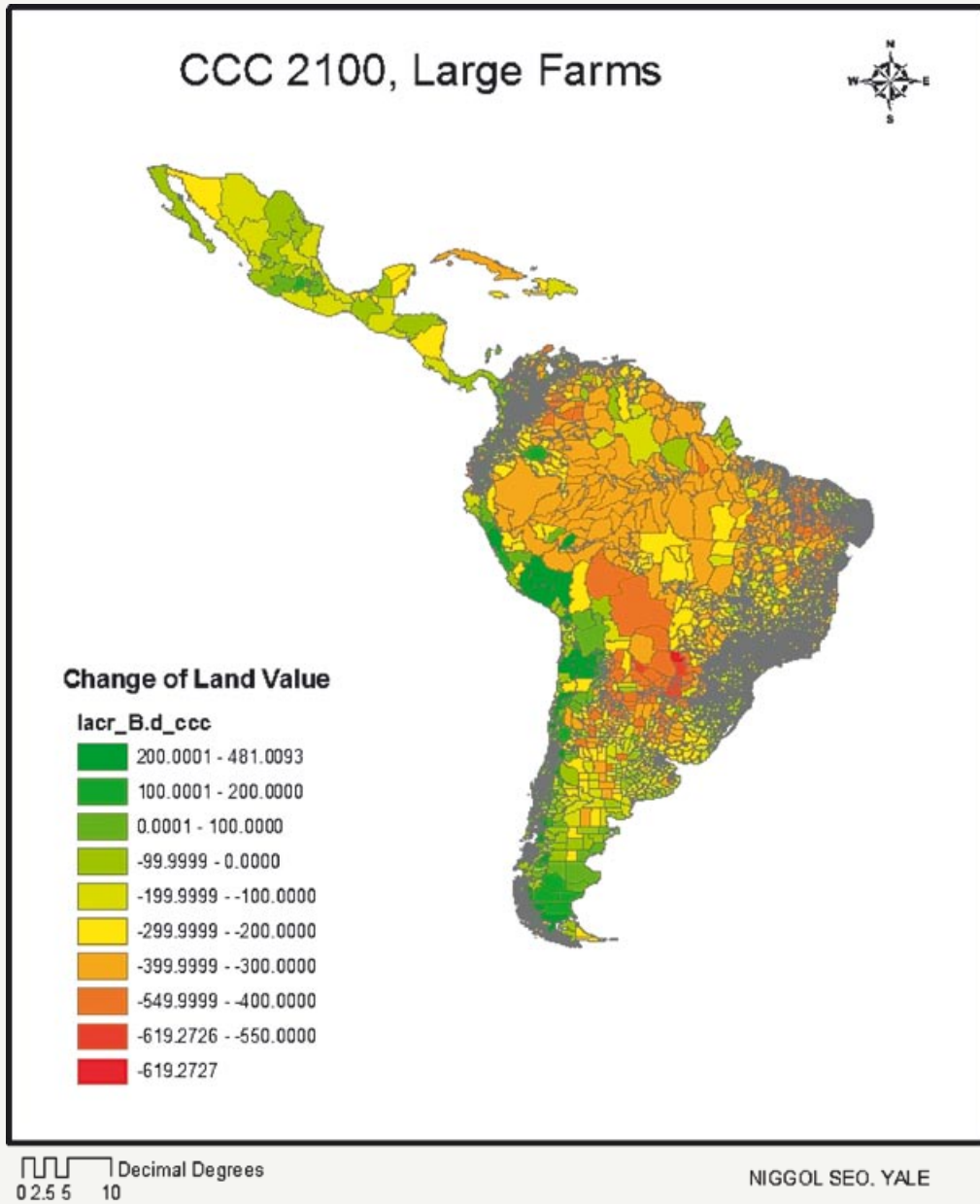


Figura 7. Cambio del Valor de la Tierra - Impacto sobre el Valor de los Establecimientos Agropecuarios según el Escenario Climático CCC 2100.

5.2.3. ESTUDIO DE ELECCIÓN DE CULTIVOS

Este trabajo explora cómo los productores agropecuarios latinoamericanos se adaptan al clima cambiando sus cultivos (Seo y Mendelsohn, 2006d). Luego de estimar el modelo en más de 2000 productores de siete países, el estudio revela que tanto la temperatura como la precipitación afectan las especies de cultivos elegidos por los productores latinoamericanos. Por ejemplo, los productores eligen frutas y calabazas en zonas más cálidas y trigo y papas en zonas más frescas. Los establecimientos ubicados en zonas más húmedas son más propensos a cultivar arroz, frutas y calabazas, y los que se encuentran en zonas más secas maíz y papas.

La **Figura 8** muestra cómo la elección de cultivos se relaciona con la temperatura anual. En el diagrama se muestra un total de nueve cultivos. Nótese como el trigo y las papas descienden precipitadamente con temperaturas altas. En contraste, las frutas aumentan con la temperatura. Los cultivos restantes exhiben una relación

en forma de U invertida con la temperatura. La temperatura en los puntos más altos de la U invertida varía. Por ejemplo, el pico para el maíz está en la parte fresca mientras que el arroz, la soja y las calabazas tienen sus puntos más altos a temperaturas más cálidas.

La **Figura 9** muestra cómo la elección de cultivos se relaciona con la precipitación anual. El maíz y las papas tienen más probabilidades de cultivarse en zonas más secas. Las frutas, el arroz y las calabazas tienen más probabilidades de ser elegidos en zonas más húmedas. El trigo y la soja muestran una relación en forma de U invertida con picos en lugares moderadamente húmedos.

Estos resultados implican que a medida que aumenta la temperatura los productores tenderán a alejarse del trigo y las papas y a acercarse a las frutas y los vegetales. Si el calentamiento también hace que los establecimientos se tornen más húmedos, los productores plantarán más arroz, frutas y calabazas. Si el calentamiento hace que los establecimientos se tornen más se-

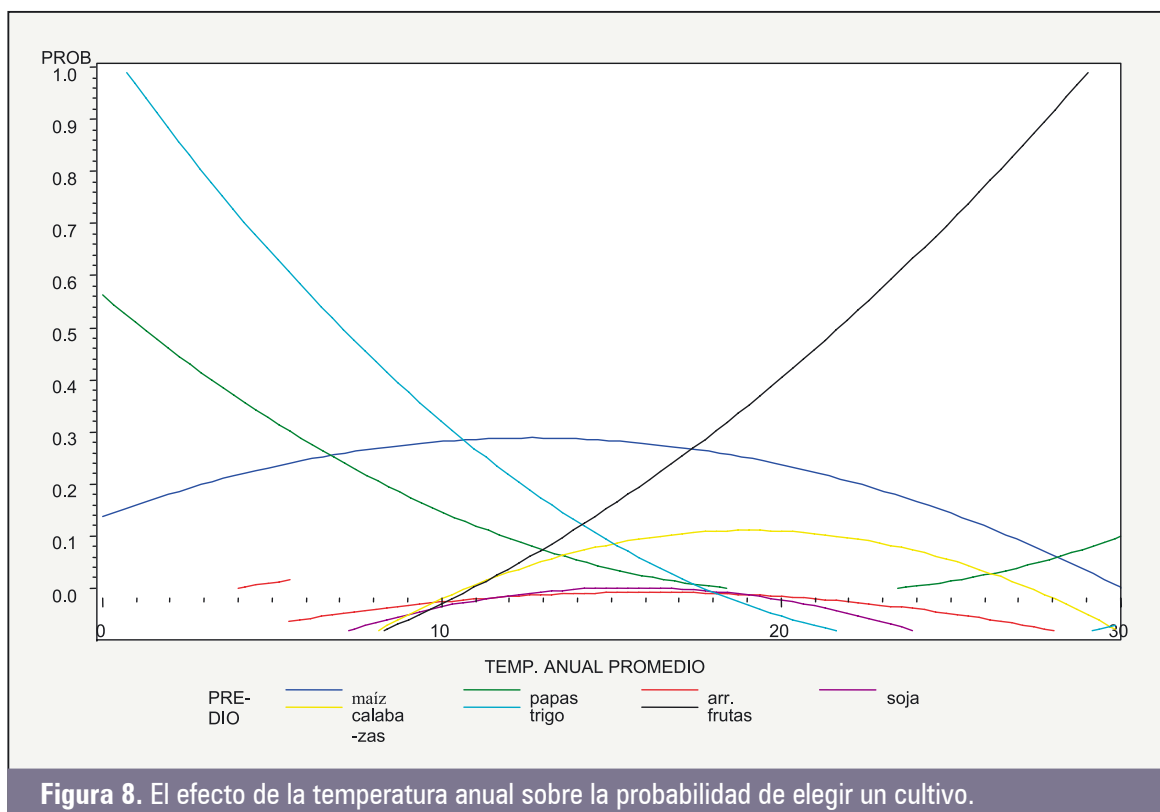
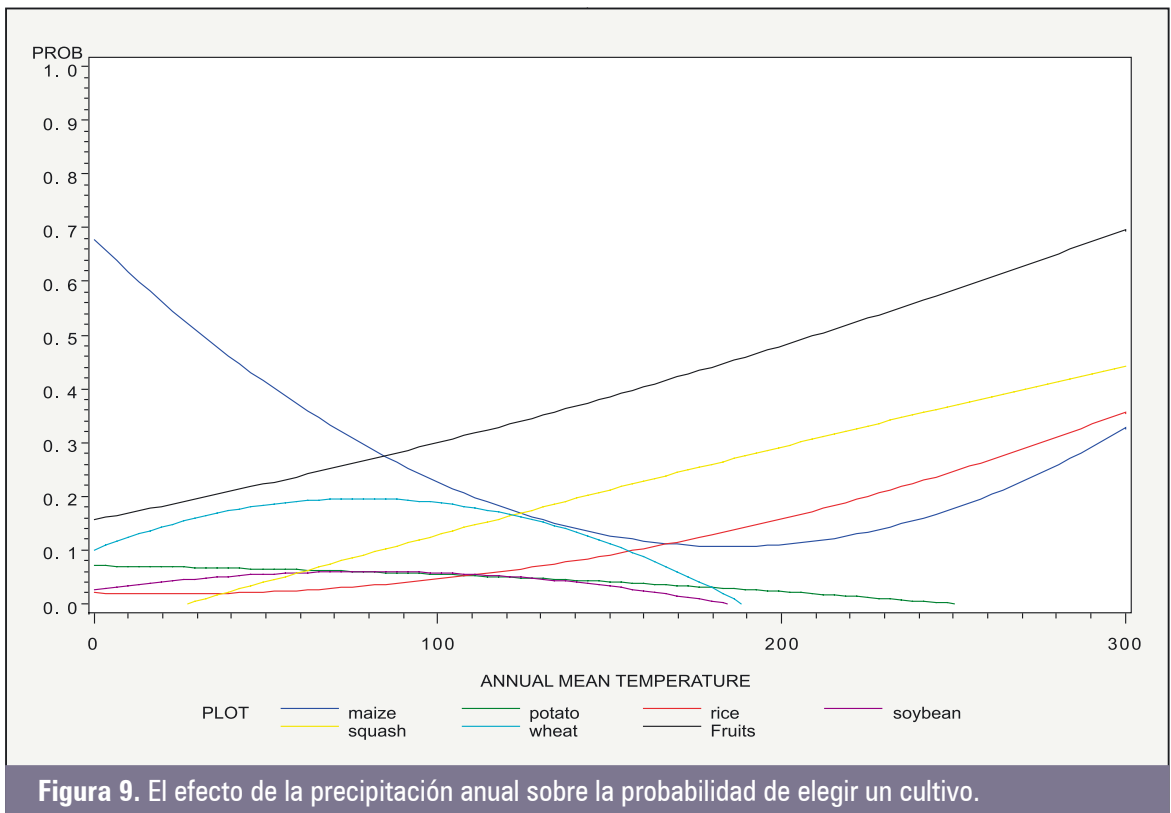


Figura 8. El efecto de la temperatura anual sobre la probabilidad de elegir un cultivo.



cos, los productores latinoamericanos pasarán a cultivar más maíz y papas.

5.2.4. ESTUDIO DE ELECCIÓN DE GANADO

Este estudio explora cómo los productores ganaderos latinoamericanos se adaptan cambiando las especies de ganado (Seo y Mendelsohn, 2006e). Estimando los modelos en más de 1200 productores ganaderos de siete países encontramos que tanto la temperatura como la precipitación afectan a las especies elegidas por los productores latinoamericanos. Por ejemplo, la **Figura 10** muestra la relación entre la temperatura y la elección de ganado. Es más probable que se elijan ganado vacuno y pollos en las partes más frescas de América Latina. En contraste,

es más probable que se opte por ganado lechero, ovinos y cerdos en las regiones más cálidas. Los resultados implican que a medida que aumente la temperatura en América Latina, los productores se alejarán del ganado vacuno y los pollos y se inclinarán hacia estas otras especies.

La **Figura 11** muestra cómo se ve afectada la elección de ganado por la precipitación. El ganado vacuno y ovino se ve más en las regiones más secas de América Latina mientras que hay más cantidad de ganado lechero en las zonas más húmedas. Los cerdos y los pollos se ven muy poco afectados por la precipitación. Si el clima se torna más seco se favorecerá la cría de ganado vacuno y ovino, mientras que un aumento de precipitación favorecerá la cría de ganado lechero.

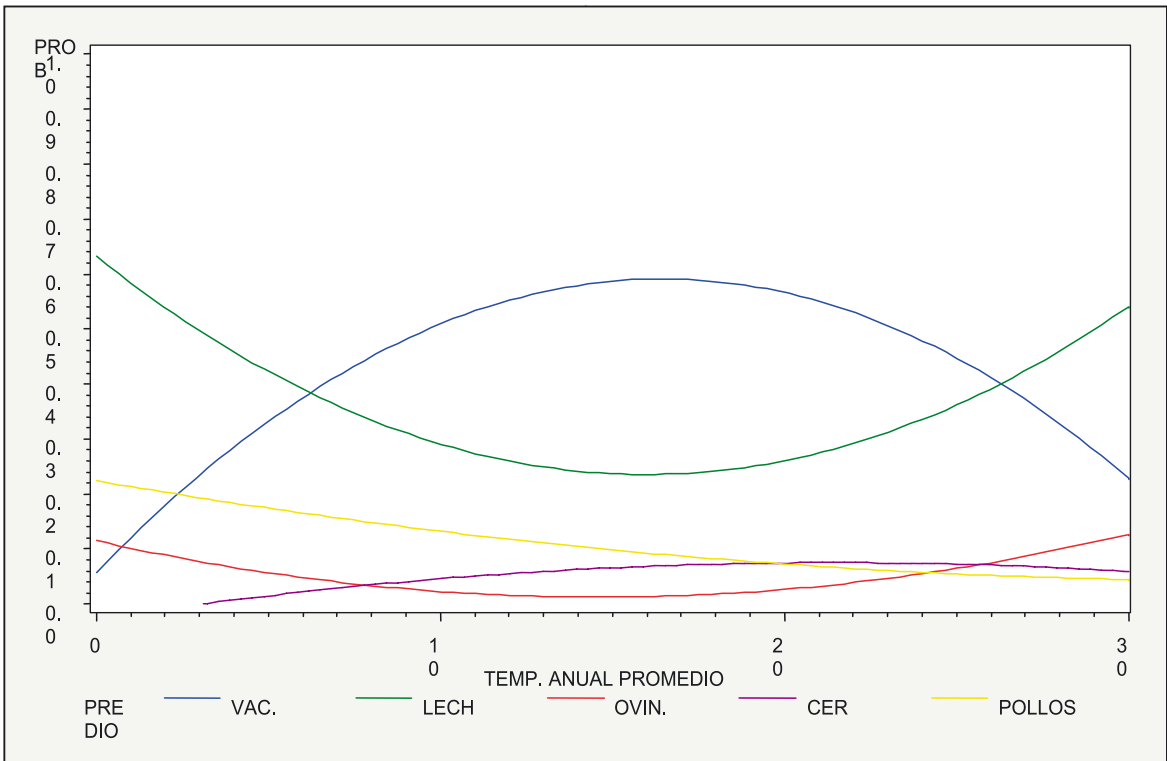


Figura 10. Probabilidad estimada de selección de especies según la temperatura anual.

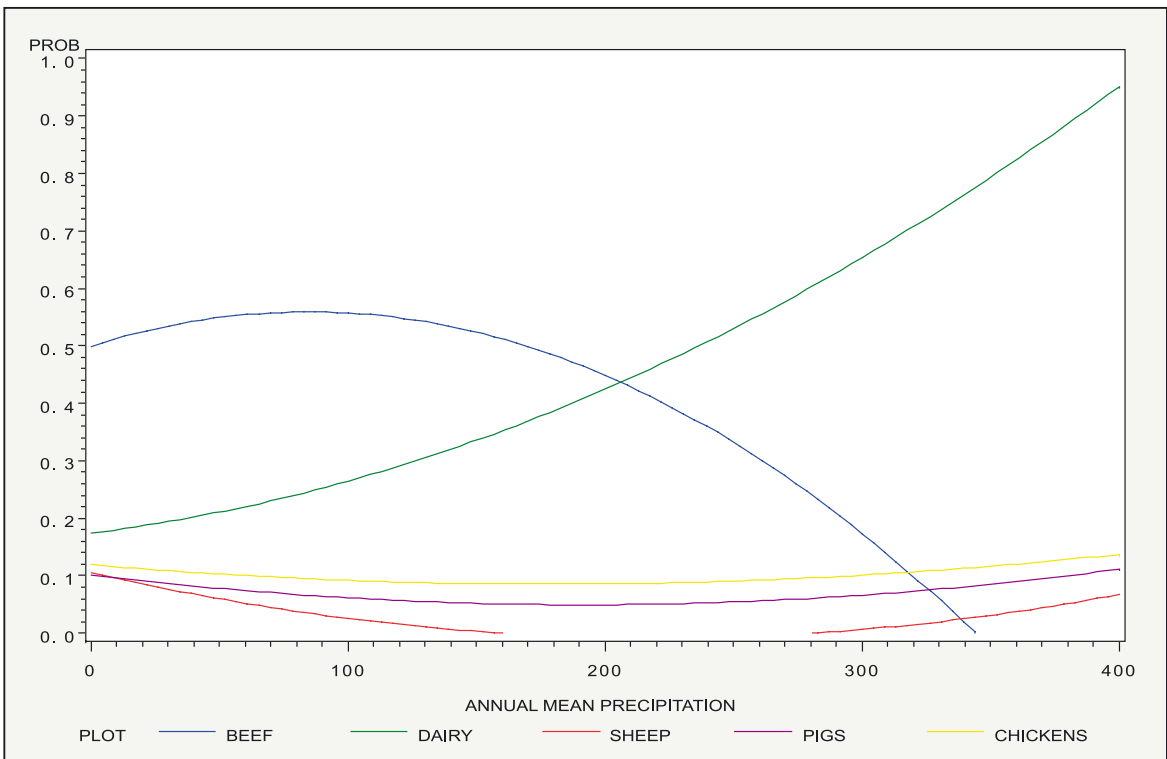


Figura 11. Probabilidad estimada de selección de especies según la precipitación anual.

5.3 CAMBIO CLIMÁTICO, TECNOLOGÍA Y AGRICULTURA EN ISRAEL

5.3.1. ESTUDIO RICARDIANO EN ISRAEL

Se condujo un estudio en Israel para estimar el modelo Ricardiano (Fleischer *et al.*, 2006a). Se encuestó a un total de 381 productores en tres tipos de establecimientos diferentes en Israel: *kibbutz*, *moshav* y “otro”. Se estimó una regresión Ricardiana tradicional usando los ingresos netos anuales como variable dependiente, y el clima, los suelos y otros controles como variables independientes. El estudio exploró cuidadosamente la importancia de incluir el agua de riego como una variable independiente. Si no se incluye el agua disponible, se estarían tergiversando los coeficientes climáticos. El estudio encontró una relación en forma de U con la temperatura porque los establecimientos israelíes en zonas muy cálidas tienen valores altos. Combinando riego intensivo y cobertura, los productores israelíes han podido crear un sector agropecuario pequeño pero muy rentable en una región del país con altas temperaturas. El estudio también reveló que los establecimientos con mayor precipitación tenían mayores ingresos netos, como era de esperarse.

5.3.2. ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍA EN ISRAEL

El análisis de la tecnología examinó la adopción de técnicas de riego y de cobertura avanzadas (Fleischer *et al.*, 2006b). El análisis del riego muestra que los establecimientos en Israel son menos propensos a adoptar métodos de riego si se encuentran en zonas más cálidas. Estos resultados reflejan los hallazgos del estudio llevado a cabo en América Latina (Kurukulasuirya y Mendelsohn, 2006a). El riego puede permitir a los cultivos sobrevivir a temperaturas más cálidas pero el riego es más rentable en zonas más frescas.

El estudio en Israel también examinó el uso de cobertura (generalmente plástico) por parte de los productores. El estudio reveló que los productores elegían el uso de cobertura en las zo-

nas más cálidas. Cubrir las plantas del sol es una adaptación en contra del calor. Ni la cobertura ni el riego tienen relación con la precipitación. De manera interesante, ambas inversiones son menos probables en suelos arcillosos, confirmando el hecho de que los productores solo harán estas grandes inversiones de capital si las condiciones son ideales. El estudio israelí también reveló que ambas inversiones eran menos probables cuanto más grandes fueran los establecimientos. Los sistemas de riego y cobertura son más adecuados para operaciones de pequeñas dimensiones.



6. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES PARA LA ADOPCIÓN DE POLÍTICAS

6.1 NIVEL REGIONAL

Usando las pruebas de corte transversal obtenidas de más de 2500 productores en 7 países en América del Sur, los valores de la tierra siguen un patrón con forma de U invertida con respecto a la temperatura. Los valores de la tierra son bajos en las zonas frescas, alcanzan el máximo en las zonas templadas y luego vuelven a descender en las zonas cálidas tropicales. Debido a que la temperatura promedio en los establecimientos es más cálida que la temperatura “óptima” los resultados sugieren que el calentamiento será en general perjudicial para la agricultura latinoamericana. Los resultados usando los ingresos netos dan resultados similares con respecto a la temperatura. Los establecimientos con riego son relativamente menos sensibles a la temperatura en comparación con los establecimientos de secano.

El valor de la tierra de los establecimientos con más/menos precipitación es más alto/más bajo. Los establecimientos de secano siguen el mismo patrón que el descrito anteriormente pero los valores de los establecimientos con riego son más sensibles a la precipitación. La alta sensibilidad de los establecimientos con riego a la precipitación se debe a su ubicación en zonas relativamente secas.

Los resultados del estudio de corte transversal tienen implicancias para el calentamiento global. Debido a que la mayoría de los establecimientos de América Latina se encuentran ya en zonas más cálidas que las templadas, el establecimiento promedio perderá valor o ingresos netos a medida que aumente la temperatura. Más aún, si los establecimientos que en el futuro se encontrarán en climas cálidos reaccionan como los establecimientos que se encuentran en climas cálidos hoy en día, podría haber enormes daños asociados a los escenarios climáticos severos. El

modelo CCC pronostica un aumento gradual de los daños promedio por establecimiento de aproximadamente un 16% en 2020, a un 33% en 2060, a un 61% en 2100. En contraste, el modelo CCSR pronostica daños de aproximadamente la mitad de esa magnitud, y el modelo PCM de aproximadamente una cuarta parte.

Los impactos del calentamiento, sin embargo, varían mucho a lo largo de los paisajes. Dependiendo del escenario, algunas áreas se verán especialmente golpeadas y algunas se beneficiarán. Los productores deberán estar preparados para lo que ocurrirá en sus respectivas áreas. Los gobiernos deberán considerar qué áreas necesitarán medidas paliativas y qué áreas tienen probabilidades de prosperar. Deberán tener cuidado de proporcionar asistencia a los lugares donde será necesaria porque los efectos del cambio climático variarán a lo largo de los paisajes.

Otro resultado interesante de la investigación es que los pequeños y grandes establecimientos sufrirán impactos definitivos muy similares en América Latina. El calentamiento provocará prácticamente las mismas pérdidas porcentuales en el valor de la tierra y en los ingresos netos tanto de los pequeños como de los grandes establecimientos. Pero los pequeños y los grandes establecimientos son igualmente vulnerables al calentamiento global.

El proyecto también investiga si los productores rurales se han adaptado a los climas en los que se encuentran. Es decir que el estudio explora si los productores realizan elecciones diferentes en diferentes climas. El estudio constata que los productores cambian su elección en cuanto a si dedicarse a cultivos, a la cría ganado, o a ambos, dependiendo del clima. Los productores en zonas templadas y húmedas tienden a dedicarse a los cultivos. Los productores en zonas secas tienden a dedicarse a la cría de ganado. Los pro-

ductores en zonas cálidas tienden a desarrollar ambas actividades, cultivos y cría de ganado. Otra elección que depende del clima es el riego. Los productores con mayores probabilidades de elegir el riego son aquellos cuyos establecimientos se encuentran en zonas frescas y secas. En consecuencia, estudios anteriores que asumieron que el riego era un elemento exógeno generan estimaciones tergiversadas ya que asumen que la fracción de establecimientos con riego no cambiará con el calentamiento global. Finalmente, los productores cambiarán las especies de cultivos y ganado a medida que cambie el clima. Estos efectos reducirán los daños que de otro modo ocurrirían, pero el análisis aún pronostica que el calentamiento va a ocasionar daños generales.

Los resultados de la adaptación proporcionan pruebas contundentes de que los productores realizarán ajustes en su manera de producir los cultivos para poder lidiar con el calentamiento global. Los estudios de impacto que no incluyan estas adaptaciones exagerarán los daños ocasionados por el futuro calentamiento. Por supuesto, es importante reconocer que la adaptación no elimina los daños. Aún con la adaptación proyectada en América Latina los modelos de impacto igualmente pronostican que el calentamiento ocasionará daños sustanciales al sector agropecuario.

Varios factores importantes que no han sido tomados en cuenta en este estudio incluyen la fertilización con carbono, los cambios técnicos y los cambios en los precios. Se pronostica que la fertilización con carbono aumentará la productividad de los cultivos (Reilly *et al.*, 1996). Se pronostica que los cambios técnicos lograrán grandes cambios en la productividad (Evenson y Gollin, 2003). Los cambios técnicos también podrán cambiar la sensibilidad de los cultivos al clima. Por ejemplo, los científicos expertos en cultivos podrían usar las herramientas de la genética moderna para diseñar cultivos aptos para condiciones cálidas y secas. Esto significaría una gran diferencia para los productores que actualmente tienen pocas alternativas. Finalmente, el estudio no considera los precios explícitamente. Si hay

grandes cambios en la producción, tanto los precios de los insumos como los de la producción cambiarán. Estos cambios en los precios tenderán a reducir la dimensión de los daños estimados en este estudio. Por ejemplo, los productores obtendrán mejores precios si la productividad y el suministro descienden, o tendrán que pagar menores salarios si el trabajo disminuye.

6.2 NIVEL NACIONAL

Los siete estudios que regresaron el valor de la tierra sobre el clima y otras variables de control revelaron que el clima juega un papel importante en la explicación de la variación de los valores de la tierra a lo largo de la muestra. La temperatura tiene una relación en forma de U invertida con los valores de la tierra y los ingresos netos. Los valores de los establecimientos en zonas frescas son relativamente bajos, los valores en zonas templadas son altos y los valores en zonas cálidas son relativamente bajos. Leves aumentos de temperatura tienen diferentes efectos sobre los establecimientos dependiendo de su temperatura actual. El estudio encuentra que un leve calentamiento generalmente reducirá los valores de la tierra. Sin embargo, estos resultados varían a lo largo de la muestra. Los establecimientos ubicados en zonas más frescas aumentarían su valor con un leve calentamiento.

Los pequeños y grandes establecimientos mostraron respuestas similares pero no idénticas a la temperatura. Ambos tipos mostraron una relación en forma de U invertida entre el valor de la tierra y la temperatura, pero el valor de la tierra tuvo sus puntos más altos a temperaturas más bajas para los grandes establecimientos que para los pequeños establecimientos. El estudio también reveló que los valores de la tierra son más altos en lugares con mayor precipitación estival, y que los valores de la tierra son más bajos en lugares con mayor precipitación invernales. En una base anual, estos efectos son compensatorios de manera que la precipitación anual solo tiene un pequeño efecto neto.

Los futuros escenarios climáticos para cada país

se obtuvieron a partir de tres modelos climáticos AOGCM. Los escenarios representan un amplio espectro de posibles resultados climáticos en el futuro para América Latina. El análisis reveló que la agricultura latinoamericana se verá perjudicada en general por el calentamiento global. Dentro de los escenarios más severos, los establecimientos podrían perder hasta el 62% de su valor para el año 2100. Dentro de un escenario “intermedio” de 3°C de calentamiento para el año 2100 los establecimientos probablemente pierdan aproximadamente un 30% de su valor. Dentro del escenario más modesto, los establecimientos podrían perder solamente un 15% de su valor. En todos los escenarios probados el calentamiento global perjudicará los valores netos.

El análisis de adaptación reveló que los productores cambiarán el tipo de explotación, el riego, los cultivos y el ganado dependiendo del clima. Los productores en zonas templadas y húmedas eligen sembrar cultivos, los productores en zonas secas eligen criar ganado, y los productores en zonas cálidas generalmente eligen desarrollar ambas actividades.

El estudio también investiga los impactos del cambio climático en Israel. El estudio israelí encontró que los productores son más propensos a cubrir sus cultivos si la temperatura es más alta. Los israelíes también han invertido en sistemas de riego intensivo. Este resultado ha permitido a algunos productores israelíes sembrar cultivos en zonas muy cálidas. El estudio

israelí sugiere que puede haber más adaptaciones que podrían implementar los productores latinoamericanos en el futuro para enfrentar el calentamiento global.

Estos resultados tienen importantes implicancias para las políticas relacionadas con el cambio climático. Primero, el estudio proporciona sólidas pruebas de que la agricultura latinoamericana será vulnerable al calentamiento. Segundo, el estudio cuantifica la magnitud de los daños resultantes. Tercero, el estudio muestra que es probable que los productores se adapten cambiando el tipo de explotación. Cuarto, el estudio muestra que los impactos no serán uniformes a lo largo del continente sino que variarán mucho de un lugar a otro. Los gobiernos deberán considerar priorizar programas en los lugares donde sea necesario.

En este contexto de cambios climáticos y debido a los serios efectos que sufrirán los productores dados los escenarios AOGCM para las próximas décadas en el Cono Sur y la región Andina, los gobiernos de cada país deberán adoptar políticas para mitigar estos impactos sobre el sector agropecuario. Las recomendaciones con respecto a las políticas deberán estar orientadas a minimizar los efectos negativos esperados como consecuencia de los cambios en la temperatura invernal sobre los pequeños productores. En el caso de los productores comerciales, estas políticas deberán intentar mitigar los efectos negativos esperados como consecuencia de los cambios en los niveles de precipitación durante el verano.

7. REFERENCIAS

- Avila, F.; Irias, L.J. y de Lima, M. A. 2006. "Global Warming Effects on Brazilian Agriculture: Economic Assessment on Land Values". EM-BRAPA. Brasil. 26p.
- Boer, G.; Flato, G. y Ramsden, D. 2000. "A transient climate change simulation with greenhouse gas and aerosol forcing: projected climate for the 21st century", *Climate Dynamics* 16, 427-450.
- Cap, E. y Lozanoff, J. 2006. "El impacto del cambio climático sobre la Agricultura Argentina: Un estudio económico". Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria e Instituto de Economía y Sociología, Argentina.
- Cline, W. 1996. "The Impact of Global Warming on Agriculture: Comment", *American Economic Review*, 86, 1309-1312.
- Emori, S.; Nozawa, T.; Abe-Ouchi, A.; Namaguti, A. y Kimono, M. 1999. "Coupled Ocean-Atmospheric Model Experiments of Future Climate Change with an Explicit Representation of Sulfate Aerosol Scattering", *J. Meteorological Society Japan* 77: 1299-1307.
- Evenson, R. y Gollin, D. (2003). Assessing the Impact of the Green Revolution, 1960-2000. *Science* 300, 758-762.
- Fleischer, A.; Lichtman, I. y R. Mendelsohn. 2006a. "Climate Change, Irrigation, and Israeli Agriculture: Will Warming Be Harmful?". Informe Preliminar.
- Fleischer, A.; Shifrin, I. y Lichtman, I. 2006b. "Israeli Agriculture and Climate Change - The Role of Science, Technology and Extension". Informe Preliminar.
- Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2003. Mapa Digital de los Suelos del Mundo: Versión 3.6 (Enero 2003), Roma, Italia.
- González, J. y Velasco, R. 2006. "Estudio del Impacto del Calentamiento Global en Chile: Incorporación del Clima a las Estrategias de Desarrollo Rural" Capítulo INIA Chile.
- Granados, J.; Baquero, I.; Gomez, M. R. y F. Gomez. 2006. "Efectos del Calentamiento Global en la Agricultura Colombiana: Evaluación del Impacto Económico bajo una aproximación Ricardiana".
- Houghton, J.; Ding, Y.; Griggs, D.; Noguer, M.; Van der Linden, P.; Dai, X.; Maskell, K. y Jonson, C. (eds.) 2001, *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press: Cambridge.
- Jativa, F. 2006. "Efecto del Calentamiento Global en la Agricultura Ecuatoriana: Evaluación del Impacto Económico sobre el Valor de la Tierra" Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Ecuador.
- Kelly, D.; Kolstad, C. y Mitchell, G. 2005. "Adjustment Costs From Environmental Change" *Journal Environmental Economics and Management* 50: 468-495.
- Kurukulasuriya, P. y Mendelsohn, R.. 2006a. "Modeling Endogenous Irrigation: The Impact Of Climate Change On Farmers In Africa" World Bank Policy Research Series Working Paper (próximamente).
- Kurukulasuriya, P. y Mendelsohn, R. 2006b. "A Ricardian Analysis of The Impact of Climate Change on African Cropland" World Bank Policy Research Series Working Paper (próximamente).
- Lanfranco, B. y Lozanoff, J. 2006. "Climate and Rural Property in Uruguay: Incorporating Climate into Rural Development Strategies". Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Uruguay.
- Kurukulasuriya, P. y Mendelsohn, R. 2006c. "Crop Selection: Adapting to Climate Change in Africa" World Bank Policy Research Series Working Paper (próximamente).
- McCarthy, J., Canziani, O.; Leary, N.; Dokken, D. y White, K.(eds.) 2001, *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press: Cambridge.
- Mendelsohn, R.; Nordhaus, W. y Shaw, D. 1994. "The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis", *American Economic Review* 84, 753-771.
- Mendelsohn, R. y Nordhaus, W. 1996. "The Impact of Global Warming on Agriculture: Reply to Cline", *American Economic Review* 86, 1312-1315.
- Mendelsohn, R. y Nordhaus, W. 1999. "Reply to Quiggin and Horowitz", *American Economic Review* 89, 1046-1048.
- Mendelsohn, R. y Dinar, A. 1999. "Climate Change Impacts on Developing Country Agriculture" *World Bank Research Observer* 14: 277-293.
- Mendelsohn, R.; Dinar, A. y Sanghi, A. 2001. "The Effect of Development on the Climate Sensitivity of Agriculture", *Environment and Development Economics* 6: 85-101.
- Mendelsohn, R.; Basist, A.; Kogan, F. y P. Kurukulasuriya. 2006^a. "Climate Analysis with Satellite Versus Weather Station Data" *Climatic Change* (próximamente).
- Mendelsohn, R. y Seo, N. 2006. "An Integrated Farm Model of Crops and Livestock: Modeling Latin American Agricultural Impacts and Adaptation to Climate Change". Informe Preliminar del Proyecto para América Latina.
- Pacheco, R. 2006. "Clima y Pobreza Rural: Incorporación del Clima a las Estrategias de Desarrollo Rural". Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Venezuela.
- Quiggin, J. y Horowitz, J. 1999. "The impact of global warming on agriculture: A Ricardian analysis: A comment." *American Economic Review* 89, 1044-1045.
- Reilly, J. et al. 1996. "Agriculture in a Changing Climate: Impacts and Adaptations" in IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), Watson, R.; Zinyowera, M.; Moss, R. and Dokken, D.(eds.) *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations, and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses* Cambridge University Press: Cambridge.
- Schenkler, W.; Hanemann, M., y Fisher, A.: 2005. "Will US Agriculture Really Benefit From Global Warming? Accounting for Irrigation in the Hedonic Approach" *American Economic Review* 95: 395-406
- Seo, Niggol S., Mendelsohn, R. y Munasinghe, M. 2005. "Climate Change and Agriculture in Sri Lanka: A Ricardian Valuation", *Environment and Development Economics* 10: 581-596.
- Seo, N. y Mendelsohn, R. 2006a. "The Impact of Climate Change on Livestock Management in Africa: A Structural Ricardian Analysis" World Bank Policy Research Series Working Paper (próximamente).
- Seo, N. y Mendelsohn, R. 2006b. "Climate Change Impacts on Animal Husbandry in Africa: A Ricardian Analysis" World Bank Policy Research Series Working Paper (próximamente).
- Seo, N. y Mendelsohn, R. 2006c. "A Ricardian Analysis of the Impact of Climate Change Impacts on Latin America Farms". Informe Preliminar del Proyecto para América Latina.
- Seo, N. y Mendelsohn, R. 2006d. "An Analysis of Crop Choice: Adapting to Climate Change in Latin American Farms". Informe Preliminar del Proyecto para América Latina.
- Seo, N. y Mendelsohn, R. 2006e. "An Analysis of Livestock Choice: Adapting to Climate Change in Latin American Farms". Informe Preliminar del proyecto para América Latina.
- Washington, W. et al., "Parallel Climate Model (PCM) 2000: Control and Transient Scenarios". *Climate Dynamics* 16: 755-774.
- World Development Indicators. 2004. World Bank. Washington D.C. <http://devdata.worldbank.org>
- World Resources Institute. 2005. *World Resources*. World Resources Institute. Washington D.C.

8. GLOSARIO

AOGCM	- Modelos de Circulación General Acoplados Atmósfera-Océano
CCC	- Centro Climático Canadiense
CCSR	- Centro para Investigaciones y Estudios Climáticos
CORPOICA	- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Colombia)
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Brasil)
INIA	- Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile)
INIA	- Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (Venezuela)
INIA	- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Uruguay)
INIAP	- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (Ecuador)
INTA	- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Argentina)
IPCC	- Panel Intergubernamental de Cambio Climático
OMM	- Organización Meteorológica Mundial
PCM	- Modelo Climático Paralelo
PROCISUR	- Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur



Argentina
Bolivia
Brasil

Chile
Paraguay
Uruguay



PROJECT:
INCORPORATION OF
THE CLIMATE CHANGE
TO THE STRATEGIES OF
RURAL DEVELOPMENT:

Synthesis of the Latin American results



**PROJECT:
INCORPORATION OF THE CLIMATE CHANGE TO THE
STRATEGIES OF RURAL DEVELOPMENT:
SYNTHESIS OF THE LATIN AMERICAN RESULTS**

Authors:

Robert Mendelsohn - Professor at the Yale School of Forestry and Environmental Studies, Yale University, New Haven, CT., USA

Antonio Flavio Dias Ávila - Researcher at the Secretariat of Management and Strategy, Embrapa, Brasilia, Brazil

S. Niggol Seo - Yale School of Forestry and Environmental Studies, Yale University, USA during the project; and presently, at the University of Aberdeen Business School, UK.

With contribution from:

Jorge Lozanoff and Eugenio Cap - INTA/Argentina;

Luiz José María Irias and Magda de Lima - EMBRAPA/Brazil;

Jorge González and Roberto Velasco - INIA/Chile;

Jorge Granados Rocha, Irma Baquero, Margarita Ramírez Gómez and Fabiola Gómez - CORPOICA/Colombia;

Pablo Játiva - INIAP/Ecuador;

Bruno Lanfranco, Alfredo Albín and Agustín Giménez - INIA/Uruguay;

Rafael R. Pacheco and Luisa Caraballo - INIA/Venezuela;

Aliza Fleischer, Ivgeni Shifrin and Ivgenia Lichtman - Hebrew University of Jerusalem/Israel

Acknowledgement:

To the WORLD BANK Research Committee for providing the funding for the project and to the Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture-IICA for the contractual and administrative support.



This report is a product of the study "Climate Change and Rural Poverty - Incorporating Climate into Rural Development Strategies: Plan for Latin American Global Warming Impact Study" developed in South America under the scientific leadership of the Yale School of Forestry & Environmental Studies and involving Argentina, Brazil, Chile, Colombia, Ecuador, Uruguay and Venezuela. It was managed by PROCISUR – Cooperative Program for the Agri-food and Agroindustrial Technological Development of the Southern Cone, funded by the WORLD BANK Research Committee and was Task Managed by Ariel Dinar - Lead Economist - Development Research Group, WORLD BANK. The countries of the Andean Region were back up by PROCINDINO. IICA - Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture provided contractual and administrative support to the project.

This publication is available in PDF format at the institutional website <http://www.procisur.org.uy> and <http://www.iica.int>

Editing Coordination: PROCISUR
Style Coordination: PROCISUR
Layout: Esteban Grille
Cover Design: Esteban Grille
Printed by: URBANA IMPRESOS

Mendelsohn, Robert.
Project: incorporation of the climate change to the strategies of rural development: synthesis of the Latin American results / Robert Mendelsohn, Antonio Flavio Díaz Ávila, S. Niggol Seo. –
Montevideo: PROCISUR/IICA, 2007.
48 p.; 18.7 x 26.5 cm.

ISBN13: 978-92-9039-816-5

1. Climate change 2. Environment 3. Rural Development 4. Latin America I. Díaz Ávila, Antonio Flavio. II. Niggol Seo, S. III. PROCISUR/IICA IV. Title

AGRIS
P01

DEWEY
333.7

Montevideo, Uruguay
2007

The ideas and opinions expressed herein are solely the authors' and they do not necessarily reflect any policy and/or official position of the World Bank, PROCISUR or any of its member institutions.

PRESENTATION

The Cooperative Program for Agri-food and Agroindustrial Technological Development of the Southern Cone - PROCISUR, established since 1980, is a cooperative effort of the National Agricultural Research Institutes (NARIs) of Argentina, Bolivia, Brazil, Chile, Paraguay and Uruguay, and the Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture (IICA).

PROCISUR has sought, from its beginnings, to contribute to the discussion and analysis of those issues that are transcendental to the agriculture of the region. Within this context, since 2004 it has collaborated in the coordination and execution of the project on Climate Change and Rural Poverty financed and oriented by the World Bank, and which was executed by professionals of the Economy Department of the University of Yale, and the National Agricultural Research Institutes of Argentina, Brazil, Chile, Colombia, Ecuador, Venezuela and Uruguay.

Upon the conclusion of this study, PROCISUR has initiated a series of actions destined to spread its results and contribute to their discussion and analysis in different fields. One of these actions is the publication of this document consisting of a synthesis of the results, not only from the regional point of view, but also from a more detailed perspective, at the level of each of the countries directly involved in the generation of information.

We hope that this publication will contribute to the discussion on the impact of future climate changes in the rural areas of South America regarding alterations of their productive systems and land values. We also wish to explore the possible adaptations that farmers are likely to adopt in response to the approaching climate change.

Estimations of the economic impacts on the different types of farms at a national and regional level, as well as of the value of the adaptation practices –those already implemented and those likely to be adopted-, will be beneficial for the intervention policies to be considered by governments and international development agencies.

Emilio Ruz
Executive Secretary
PROCISUR

TABLE OF CONTENTS

PRESENTATION	3
EXECUTIVE SUMMARY	7
1. INTRODUCTION AND RATIONALE	9
2. STRUCTURE AND ORGANIZATION OF THE PROJECT	11
3. METHODS	13
3.1. RICARDIAN MODEL	13
3.2. INTEGRATED FARM MODEL AND ADAPTATION	15
4. DATA	16
4.1. CLIMATE	16
4.2. SOILS	16
4.3. ECONOMIC.....	16
4.4. SIZE AND LOCATION OF SURVEYS.....	18
4.4.1. ARGENTINA	18
4.4.2. BRAZIL	19
4.4.3. CHILE.....	20
4.4.4. ECUADOR.....	21
4.4.5. COLOMBIA	22
4.4.6. URUGUAY.....	23
4.4.7. VENEZUELA.....	24
4.5. CLIMATE SCENARIOS	25



5. RESULTS	26
5.1. COUNTRY RESULTS	26
5.1.1. ARGENTINA	26
5.1.2. BRAZIL	26
5.1.3. CHILE.....	27
5.1.4. COLOMBIA	28
5.1.5. ECUADOR.....	29
5.1.6. URUGUAY.....	29
5.1.7. VENEZUELA.....	30
5.2. REGIONAL STUDIES	30
5.2.1. RICARDIAN STUDY.....	30
5.2.2. INTEGRATED FARM MODEL.....	32
5.2.3. CROP CHOICE STUDY.....	37
5.2.4. LIVESTOCK CHOICE STUDY	38
5.3. CLIMATE CHANGE, TECHNOLOGY, AND ISRAELI AGRICULTURE.....	40
5.3.1. ISRAELI RICARDIAN STUDY	40
5.3.2. ISRAELI TECHNOLOGY ADOPTION	40
6. CONCLUSION AND POLICY RECOMMENDATIONS	42
6.1. REGIONAL LEVEL	42
6.2. COUNTRY LEVEL	43
7. REFERENCIAS	45
8. GLOSSARY	46



EXECUTIVE SUMMARY

This document presents a synthesis of the study developing during 2004/06 period to measure the impact of climate change on Latin American farmers and estimates likely adaptations that farmers will make in response to climate. Climate sensitivity is measured by looking at a cross section of farmers that face very different climates. The study compares outcomes of farms in temperate versus warm locations in order to measure the consequence of current climates. The study also examines whether farmers make different decisions in temperate versus warm climates. For example, do they choose to grow crops versus livestock or do they choose dryland farming or irrigation.

Data is gathered from 2500 farmers across Argentina, Brazil, Chile, Colombia, Ecuador, Uruguay and Venezuela using a survey developed for this project. Districts are chosen to maximize the range of within country climates sampled. This survey information is matched with climate and soils data by district.

Regressing land value on climate and other control variables reveals that climate plays a large role explaining the variation of land values across the sample. Temperature has a hill-shaped relationship with land values and net revenues. Farmland values in cool locations are relatively low, values in temperate locations are high, and values in hot locations are relatively low. Slight increases in temperature have different effects on farms depending on their current temperature. The study finds that slight warming would generally reduce land values. However, these results vary across the sample. The farms located in cool places would increase in value with slight warming.

Small and large farms had similar but not identical responses to temperature. They both had hill-shaped relationships between land val-

ue and temperature but land value peaked at a lower temperature for large farms than for small farms. Dryland farms have similar results as above. However, irrigated farms were less sensitive to temperature.

The study also found that the land values of farms are higher in places with higher summer precipitation and the land values of farms with more winter precipitation are lower. On an annual basis, these effects are offsetting so that annual precipitation has only a small net effect. Irrigated farms were more sensitive to precipitation. Irrigation makes crops less dependent on rainfall. But irrigated farms tend to be located in dry places. Therefore, increased precipitation has a higher marginal impact on irrigated than dryland farms.

We then apply these estimated relationships to future climate scenarios. In this section, we apply the cross sectional results to predict the long run intertemporal impacts of climate change. Note that the analysis is not asserting the results can be used to model the year by year changes associated with weather but only the much more gradual changes associated with climate normals (30 year weather averages). Future climate scenarios for each country are obtained from three climate models.

The analysis is extrapolated from the sample to all countries in Latin America (Western Hemisphere south of the United States). We felt it was reasonable to extract from the sample to the region given the consistent climate, culture and technology in the region.

Several climate scenarios are tested. The scenarios represent a broad range of possible future climate outcomes for Latin America. The analysis reveals that Latin American agriculture will generally be harmed by global warm-

ing. With the more severe scenarios, farms could lose up to 62% of their value by 2100. With an “average” scenario of 3°C warming by 2100, farms would likely lose about 30% of their value. With modest climate change scenarios, farms may lose only 15% of their value. In all tested scenarios, global warming will be damaging on net. The brunt of these impacts is likely to be felt by dryland farmers facing increasingly hot temperatures. Not every farming district will be affected alike however. Irrigated farms, farms in currently cool regions, and farms in regions with mild climate changes may actually benefit.

The adaptation analysis finds that farmers will change the type of farm, irrigation, crops, and livestock depending on climate. Farmers in temperate wet locations choose to grow crops, farmers in dry locations choose to raise livestock, and farmers in hot locations often choose to raise both crops and livestock. The analysis in Latin America found that irrigation is more likely if a farm is in a cool and dry location. Farms in hot locations will tend to grow fruits and vegetables whereas farmers in cool locations will grow potatoes and wheat. Farmers in mild and dry locations will favor beef cattle whereas they would otherwise favor dairy cattle. These results suggest that farmers will change basic aspects of their farm as climate changes.

These results have important implications for climate change policy: **i)** the study provides strong evidence that Latin American agriculture will be vulnerable to warming; **ii)** the study quantifies the magnitude of the resulting damages; **iii)** the study shows that farmers are likely to adapt by changing how they farm; **iv)** the study shows that the impacts will not be uniform across the continent but will vary a great deal from place to place. Governments must be thoughtful about providing assistance to prioritize programs to where they are needed.

A separate study was also conducted concerning the impact of climate change on Israel. This is the first climate change study in the Middle East. The study is particularly relevant to the Latin American analysis because it investigates advanced adaptation options that Israeli farmers have adopted to cope with high temperatures. The Israeli study followed the same general methods as the Latin American study and collected data across climate zones in the country. The study asked more detailed questions, however, about the technology that farmers have adopted to cope with climate. Specifically, the study explores the effect of irrigation, water supply, and cover. All three resources help farmers adapt to hotter temperatures. Future farmers facing higher temperatures have several technological alternatives they can deploy to reduce the damages of warming.

1. INTRODUCTION AND RATIONALE

The scientific community is increasingly confident that greenhouse gas emissions are causing global temperatures to rise (Houghton *et al.* 2001). The rapid buildup in greenhouse gases is highly correlated with the most recent rise in temperature (Houghton *et al.*, 2001). Further, all climate models consistently anticipate some degree of future warming as greenhouse gases continue to accumulate (Houghton *et al.*, 2001). As this prospect becomes clearer, there is growing interest in understanding the consequences of rising global temperatures (McCarthy *et al.*, 2001). There is already evidence that the small changes in temperature that have already occurred have caused changes in glaciers, snowmelt, and ecosystems (McCarthy *et al.*, 2001). What is not clear is how much the predicted temperature increases in the future will affect not only physical systems but mankind itself. Further, it is not clear how mankind will adapt to this new challenge.

Although climate change will most certainly affect the entire planet, it is likely to have different effects on people across the landscape. First, not everyone faces the same current temperature and precipitation levels. Warming to someone in the polar circle is likely to have very different consequences than warming to someone near the equator. Second, the consequences of warming might vary depending on what activities people are engaged in. The activities in a temperature controlled office building might hardly be affected (except for energy costs) whereas a farm might be very dependent on the climate. Third, some people may be more capable of adapting to warming than others. The ability of actors to substitute alternative inputs, outputs, or technologies to compensate for climate change may vary. It is therefore important to conduct regional climate impact studies that provide a sense of how impacts will vary in each region of the world.

There are three very important policy issues surrounding climate change: **i)** how much mitigation of greenhouse gases should be done and over what time period?; **ii)** what kinds of adaptations to climate change make the most sense?; **iii)** should emitters of greenhouse gases pay some compensation to the people being damaged by warming especially if the victims emit little and are poor?

Understanding the consequences of global warming helps answer all three policy questions. First, what is the magnitude of the global damages? Larger damages justify a more aggressive mitigation program. More aggressive programs imply that all countries undertake larger reductions of emissions and they do it sooner than later. Second, if mitigation cannot completely stop global warming, global warming will occur. It is critical that every country and district learn to adapt to what will happen. At the moment, however, very little is known about adaptation. How should individuals, firms, and governments respond to warming? When should they respond? Third, if the consequences of warming are not identical for everyone, some people will be disproportionately affected. Should emitters provide some compensation to victims who are especially hard hit, had little to do with emissions, and are poor?

This study has five major objectives. First, the study develops new methodologies to measure climate impacts and especially adaptation. Second, the study seeks to measure the damages of global warming to Latin American agriculture. Latin America is an important place to study because it spans the equator implying very hot current temperatures. Latin American agriculture in particular is important because many people in the region work in this sector, almost one third of the land is used for agriculture (World Resources, 2005), and agriculture is responsible for 8% of the GDP (World Develop-

ment Indicators, 2006). Third, the study examines how Latin American farmers adapt to the current climate that they face. That is, the study measures how farmers in tropical settings make different choices compared to farmers in temperate settings. The study also tests the hypothesis that small household farms are more vulnerable to climate change than larger farms because they lack adaptation alternatives (Rosenzweig and Hillel, 1998). Fourth, the study explores how new technology might lead to new opportunities to adapt by examining some of the innovations in Israeli agriculture. Fifth, the study analyzes the feasibility of using new technology to adapt to warming by studying its applications in Israel. Agricultural experts in all the participating countries were taught new methods to measure climate impacts and measure adaptation. They then prepared reports of impacts and adaptations in their own countries.

New methods are needed to measure the damages from climate change because the future impacts of global warming are still uncertain. One contribution of this study is the development of a new methodology to measure the damages from global warming to agriculture that explicitly incorporates adaptation. The study extends current research on how farmers make choices dependent on the climate. For example, earlier studies in Africa have shown that farmers change their choice of irrigation (Kurukulasuriya and Mendelsohn, 2006a) and they change their choice of both the number of animals and which species of animal to raise (Seo and Mendelsohn, 2006a) depending on climate. In the integrated farm model, we explore whether farmers also change whether to grow crops, raise livestock, or do both depending on climate. Given the type of farm chosen, we also explore whether they adopt irrigation. Finally, for each type of farm, we explore the conditional net revenue and how that varies with climate. We label this new model an “integrated farm model” because it integrates the long separated literature on crops and livestock. The integrated farm model provides estimates of how climate alters farmer’s decisions and how it alters their expected net revenue from the farm or land value. The model provides reliable estimates of the

damages from warming but also insights into farm adaptation.

In addition to developing the integrated farm model, the study also relies on other existing methods. Many of these methods were shown to work on a continental scale in Africa. The traditional Ricardian model (Mendelsohn Nordhaus and Shaw, 1994) provided estimates of crop net revenues (Kurukulasuriya and Mendelsohn, 2006b) and livestock net revenues (Seo and Mendelsohn, 2006b). A variation of the Ricardian model that splits farms into dryland and irrigated farms (Schlenker *et al.*, 2005) was also estimated for Africa (Kurukulasuriya and Mendelsohn, 2006b). The project also measures how the choice of crops and livestock species varies with climate.

In addition to developing new methods, the study applies these methods to study the potential damages to Latin American agriculture from future global warming. First, the study created new data. A survey was conducted of farmers in 7 Latin American countries. The countries include Argentina, Brazil, Chile, Colombia, Ecuador, Uruguay, and Venezuela. The survey was designed to create a sample across diverse climate zones both across countries and within each country. The survey was also designed to sample both small and large farms. The survey data was then cleaned and matched with climate data and soil information. Second, the study engaged in the analyses listed above. The country studies estimated Ricardian models and looked at irrigation adoption. The regional studies estimated Ricardian models, the integrated farm model, crop choice, and livestock choice models. These analyses were then used to predict the impacts and adaptations associated with a range of climate scenarios.

A survey was also conducted in Israel to examine the question of technology. Israeli farmers have explored a number of options to cope with high temperatures including advanced irrigation methods and cover. This study explores the adoption of these technologies by farmers in Israel and how the inclusion of technology has affected the climate sensitivity of Israeli agriculture.

2. STRUCTURE AND ORGANIZATION OF THE PROJECT

This overall project was led by PROCISUR/IICA under the leadership of Emilio Ruz, Executive Secretary PROCISUR and Regional Specialist on T&I IICA. PROCISUR/IICA in turn was in charge of each of the seven Latin American country teams. The country teams are associated with the national agriculture institutions of each country as shown in **Table 1**. PROCIAN-DINO led by Nelson Rivas provided additional support to the Andean teams. IICA, with the support of the national offices, contracted each of the country teams to collect and clean data, conduct analysis, and prepare country reports. PROCISUR/IICA hosted the capacity building meetings for the project, guided the data collection, and supported the country reports.

Regional experts prepared papers to develop new methods, estimated Latin American scale models, and conducted capacity building meetings for the country teams supported by the World Bank. Finally, the World Bank funded a team from Israel to conduct an analysis of the role of technology as a means of adapting to climate change.

The outputs of this project include country reports and regional reports. Separate country reports were prepared by each country team. The country reports include a careful description of agriculture in each country, analyses of impacts using the traditional

Table 1. Structure and Country/regional teams

Country/ Region	Affiliation	Teams
Argentina	INTA	Jorge Lozanoff and Eugenio Cap
Brazil	EMBRAPA	Flavio Ávila, Luiz José María Irias and Magda de Lima
Chile	INIA	Jorge González Roberto Velasco
Colombia	CORPOICA	Jorge Granados Rocha, Irma Baquero, Margarita Ramírez Gómez and Fabiola Gómez
Ecuador	INIAP	Pablo Játiva
Uruguay	INIA	Bruno Lanfranco and Alfredo Albín
Venezuela	INIA	Rafael R. Pacheco and Luisa Caraballo
Israel	Hebrew University of Jerusalem	Aliza Fleischer, Ivgeni Shifrin and Ivgenia Lichtman
Regional	Yale University, USA Embrapa, Brazil World Bank, USA PROCISUR, Uruguay	Robert Mendelsohn and Niggol Seo Antonio Flavio Dias Ávila Ariel Dinar Emilio Ruz

Ricardian method (Mendelsohn *et al.*, 1994), and, for some countries, a logit analysis of irrigation adoption. Each country report also describes how the country will be impacted by a range of future climate scenarios.

Separate regional reports were conducted of the entire 7 country data set. A report on overall climate damages was prepared using the traditional Ricardian method and also the Schlenker *et al.* (2005) approach. This report compares the results from using land values versus net revenue as the dependent variable in a Ricardian model. A second regional report was estimates an integrated farm model that shows how farmers adapt to climate by shift-

ing farm type and irrigation. Two more reports have been finished on crop choice and animal species choice.

The final output of the project is an analysis of Israeli agriculture. This study looks at a Ricardian analysis of Israeli agriculture and the adoption of advanced irrigation techniques and cover in Israel as an adaptation to warming. Israel leads the world in substituting capital for water so that they can grow food in hot dry conditions. They also invest in cover to help plants endure high temperatures. The purpose of the Israeli analysis is to understand whether these adaptations may help other countries adapt to climate change in the future.

3. METHODS

3.1 RICARDIAN MODEL

This report relies on cross sectional analysis to measure the climate sensitivity of agriculture. The land values of different farms that face different climates are compared to determine the relationship between land value and climate. Because other factors may also explain the observed variation, they are also introduced in the analysis as controls to the extent possible. For example, characteristics of farmers, market access, and soils are all explored. Land values are regressed on climate and these other explanatory variables to estimate a “Ricardian model” (Mendelsohn *et al.*, 1994). Climate variables are introduced to allow the model to take an

expected nonlinear shape. Specifically, the agronomic experimental literature suggests that crops will have a hill-shaped response to temperature (Reilly *et al.*, 1996). It is important that the economic model also be allowed to take that shape. Results in the US have suggested land value would have a hill-shaped relationship with temperature (Mendelsohn *et al.*, 1994; 1999).

The overall response of land values to climate is the result of farmers in each climate zone maximizing their profit given the climate they face as shown in **Figure 1**. Farmers in each temperature zone pick the crop and inputs that best fit their zone. For example, in a cool zone, the farmers will grow wheat. In a warm

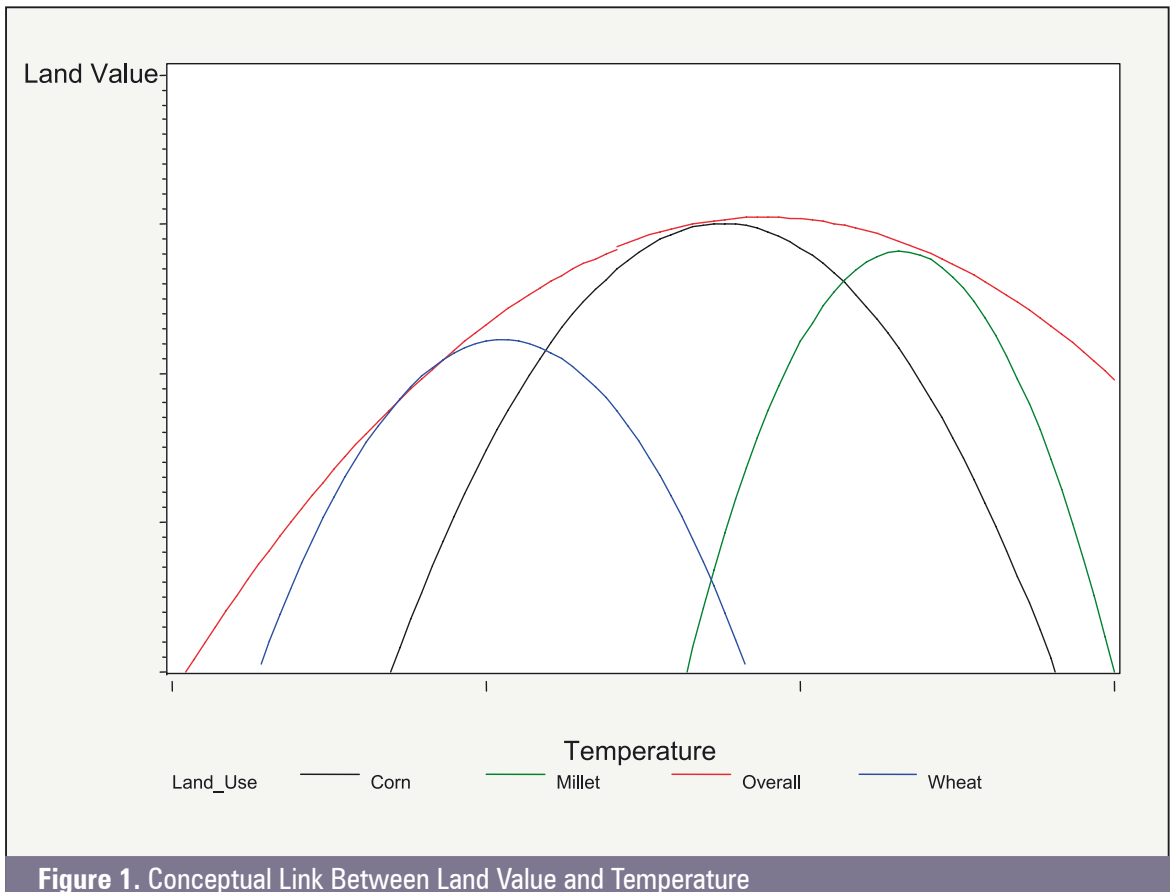


Figure 1. Conceptual Link Between Land Value and Temperature

temperate zone, they will grow maize and soybeans in the warmest zone they might shift to millet and tropical fruits. The overall land value response is the combination of all these different crops.

The impact of warming depends upon the farmer's initial climate conditions. As seen in **Figure 1**, if a farm is in a cool zone, the farmer may initially grow wheat. Warming would allow the farmer to switch to maize and increase net revenues. However, if the farm were already in a warmer zone growing maize and it warmed, the farmer might have to shift to lower valued heat-tolerant crops such as millet and earn less revenue. Finally, if the farmer is currently growing millet and temperatures warm further, the farmer may be driven out of growing crops entirely.

One concern with the cross-sectional approach is that it does not take irrigation into account (Cline, 1996). Farms that are irrigated are likely to have different responses to climate than farms that use dryland farming (no irrigation). One suggested solution is to analyze the irrigated and dryland farms separately (Schlenker *et al.*, 2005). We try this solution and estimate land value Ricardian functions for dryland and irrigated land separately.

Another concern that has been raised with the Ricardian model is that it does not take into account changes in prices (Cline, 1996). If there are large changes in output from climate change, the supply of crops that can no longer be grown will fall and that will increase the price of that crop. Similarly, if climate change increase the production of other crops, their supply will increase and their price will fall. The Ricardian model does not take these price changes into account. Consequently the Ricardian model will overstate both the benefits and damages from warming if there are large price changes. Similarly, large changes in farm productivity will likely affect labor demand in rural areas. If farms become unproductive, local labor demand will fall and wages will fall. Workers will bear some of the welfare losses as-

sociated with warming but the overall damages will be less. Again the Ricardian model will overstate the damages and benefits of warming (Mendelsohn and Nordhaus, 1996).

Another concern raised in the literature is that the future adaptation predicted by cross sectional studies will be costly to adopt (Quiggin and Horowitz, 1999; Kelly *et al.*, 2005). Farmers will have trouble anticipating what to plant and how to raise crops and will make many mistakes along the way. This is clearly the case when it comes to year to year weather. Farmers must make their choices of crops before it is clear what weather will come about each year. However, it is less clear it is still a problem when talking about long term climate. The technical definition of a climate normal is that it is the thirty year average of weather. Farmers will be able to observe climate even if they cannot predict what it will be like in the future. Given how short-lived most capital is on farms, it is not at all apparent that farmers may not have trouble adapting to climate change as it unfolds (Mendelsohn and Nordhaus, 1999).

The project estimates Ricardian models at two scales: country level and regional (entire data set). The country level models are expected to be unique to each country because they capture country specific effects and the farms in each country cover a different range of climate. Because the cross sectional model requires climate variation to work, there is some concern whether a country level analysis could be estimated in smaller countries. However, there is a great deal of geographic variation within the countries in the sample (with the exception of Uruguay) so that there appears to be enough climate variation to estimate the country level models. Uruguay was combined with its neighbor Argentina for a single country study. In addition to the country studies, the Ricardian model was estimated across the sample countries. A dummy variable for the Andes countries was introduced to capture trade and technology variation across the sample.

3.2 INTEGRATED FARM MODEL AND ADAPTATION

In addition to developing Ricardian models of the impact of climate change, this research project also investigated adaptation. The project investigated whether farmers who face different climate conditions, make different choices. Specifically, the integrated farm model used a multinomial logit model to test whether farmers choose to adopt crops, livestock, or a combination of crops and livestock depending on the climate of their farm. The model also tests whether farmers of each type adopt irrigation depending on climate. Finally, the model tests whether the conditional income of each type of farm depends on climate. This analysis is similar to earlier studies that divide the sample of farms into different types (Schlenker *et al.*, 2005). However, instead of assuming that each farm type is exogenous, the integrated farm model assumes farmers choose what to do in response to the conditions. In a recent study of Africa, it was shown that the choice of irrigation is endogenous, a function of climate (Kurukulasuriya and Mendelsohn, 2006a).

Separate analyses are conducted of crop choice and livestock species choice. These analyses compare which species farmers choose to adopt across different climate zones. In Africa, both livestock (Seo and Mendelsohn, 2000a) and crop choices (Kurukulasuriya and Mendelsohn, 2006c) were sensitive to climate. For both studies, multinomial choice models are estimated on climate and other control variables. The models provide quantitative estimates of how these choices change as climate changes. These adaptation models provide explicit empirical support for the implicit but hidden adaptation in the Ricardian model.

The final set of analyses is designed to study adoption of advanced irrigation techniques. A cross sectional analysis was conducted to determine whether climate affected the probability Israeli farmers adopt cover and irrigation. Irrigation was regressed on climate, farm size, and other characteristics using a logit regression. Another regression explored the choice by farmers to cover their crops with plastic. The Israeli report also includes a traditional Ricardian analysis.



4. DATA

4.1. CLIMATE

The temperature data comes from microwave imagers on US Defense Department satellites. This set of satellites pass over the entire land at 6AM and 6PM every day. In earlier research, the satellite temperature data was compared with interpolated temperatures made between weather stations. The satellites provide more effective temperature measures compared to the weather station data (Mendelsohn *et al.*, 2006a). However, satellites are not able to directly observe precipitation. The study therefore relied on precipitation data from the World Meteorological Organization (WMO). These measures were interpolated by WMO to each district from available weather station data.

The mean temperature and precipitation for each country is shown in **Table 2**. The current climate of the seven participating countries is quite different. Chile, for example, is quite temperate whereas Brazil and Venezuela are quite hot. Argentina, Chile and Venezuela are reasonably dry whereas Colombia is very wet. Even within countries, there is a substantial range of climates but this range of climates across countries is an important design feature of this study.

4.2. SOILS

Soils for each district were gathered from the digital soil map of the Food and Agriculture Organization (FAO 2003). This data set has geographically detailed information about the slope of each district, the texture of the soils, and the major soil types. Geographic Information Systems were used to compute soil characteristics for each district from the FAO data set.

4.3. ECONOMIC

The economic data for this analysis was collected through farmer surveys by the country participants. A survey of farmers was modified from the survey used in Africa (Kurukulasuriya and Benhin, 2006). Several detailed questions about households and labor that had not been successful in Africa were removed to streamline the survey. The final survey was then translated into Spanish and Portuguese. The translated survey was pre-tested leading to the final survey.

The survey collected data on household characteristics such as household size and the gender and age of the farmer. The survey also collected detailed data about the farm such as the size and what each plot was used for. Annu-

Table 2. Climate and Sample by Country

Variable	Argentina	Brazil	Chile	Colombia	Ecuador	Uruguay	Venezuela
Temperature	14.4	20.2	9.3	16.8	14.8	15.2	21.8
Precipitation	72.1	122.6	77.8	162.9	99.6	101.4	83.8
N	395	639	369	341	174	119	226

Note: Temperature is measured in Centigrade and Precipitation in mm/month.

al data by plot was collected of inputs, costs, outputs, and land values. Net revenues could be inferred from the available data. A single growing year was sampled for 2003-2004.

The sampling design was created to obtain a random distribution of farms across a wide selection of climate zones within each country. Each country identified the climate zones within their boundaries and chose districts to

reflect each climate zone. Within each district, a sample of about 10 farmers was interviewed. The farms were selected to observe a substantial sample of small and large farms.

Brazil collected the most data but it is geographically the largest country in the continent. Similarly, Uruguay collected a relatively small sample but it is the smallest country that was surveyed. **Table 3** presents the sample data by LA country.

Table 3. Climate change sample drawn for the LA study

Countries	Number of surveys
Southern Cone:	
Argentina	402
Brazil	720
Chile	382
Uruguay	175
Andean region:	
Colombia	386
Ecuador	291
Venezuela	297
Total	2,653

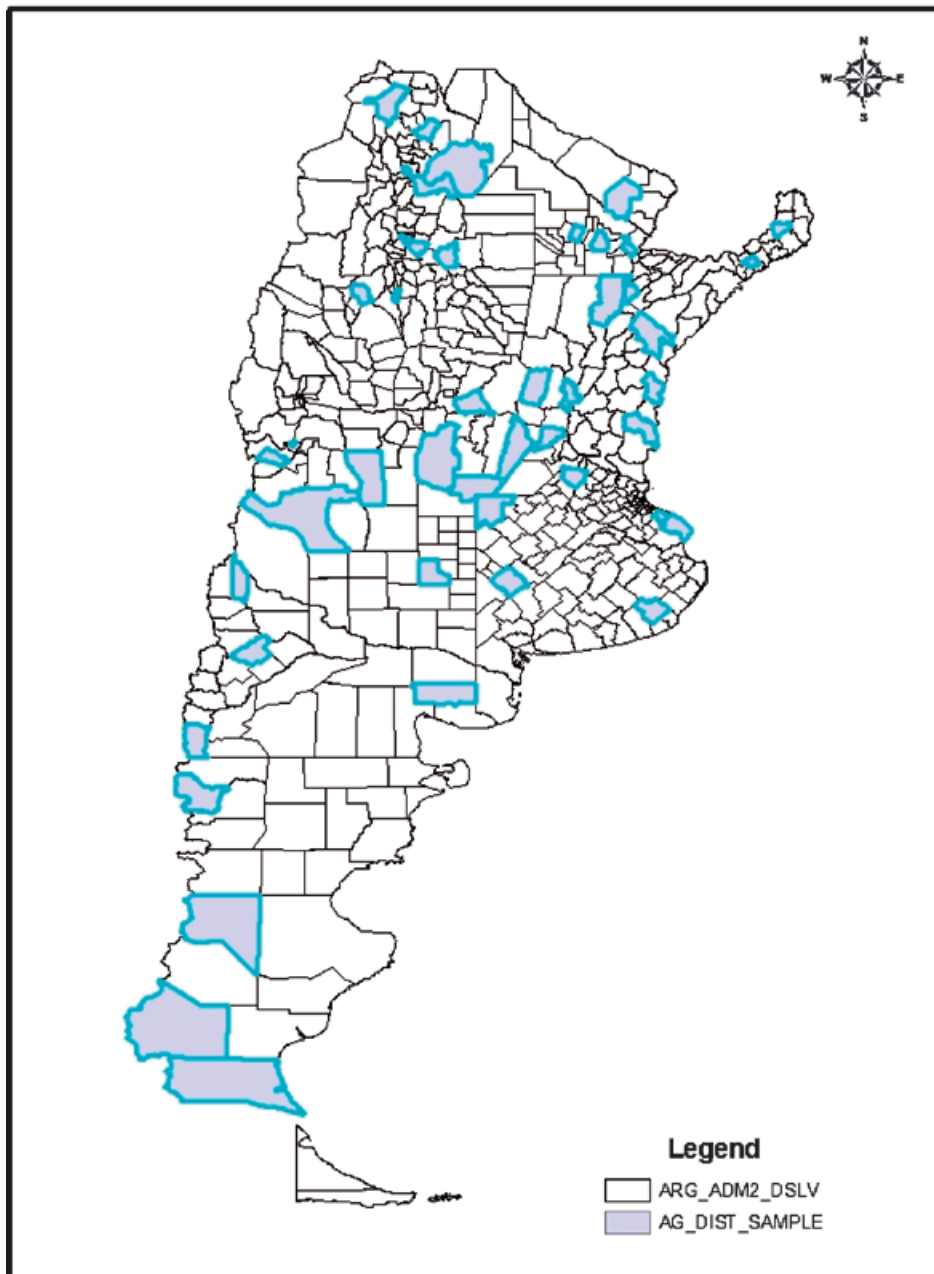
4.4. SIZE AND LOCATION OF SURVEYS

4.4.1. ARGENTINA

The surveys in Argentina were developed under the responsibility of the Experimental Stations

of INTA - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, except for some cases in which they were carried out by the Extension Agencies. The surveyors consisted of INTA personnel and in general, economists or extension agents. A total of 402 farmers were interviewed.

AG_DISTRICT_SAMPLES



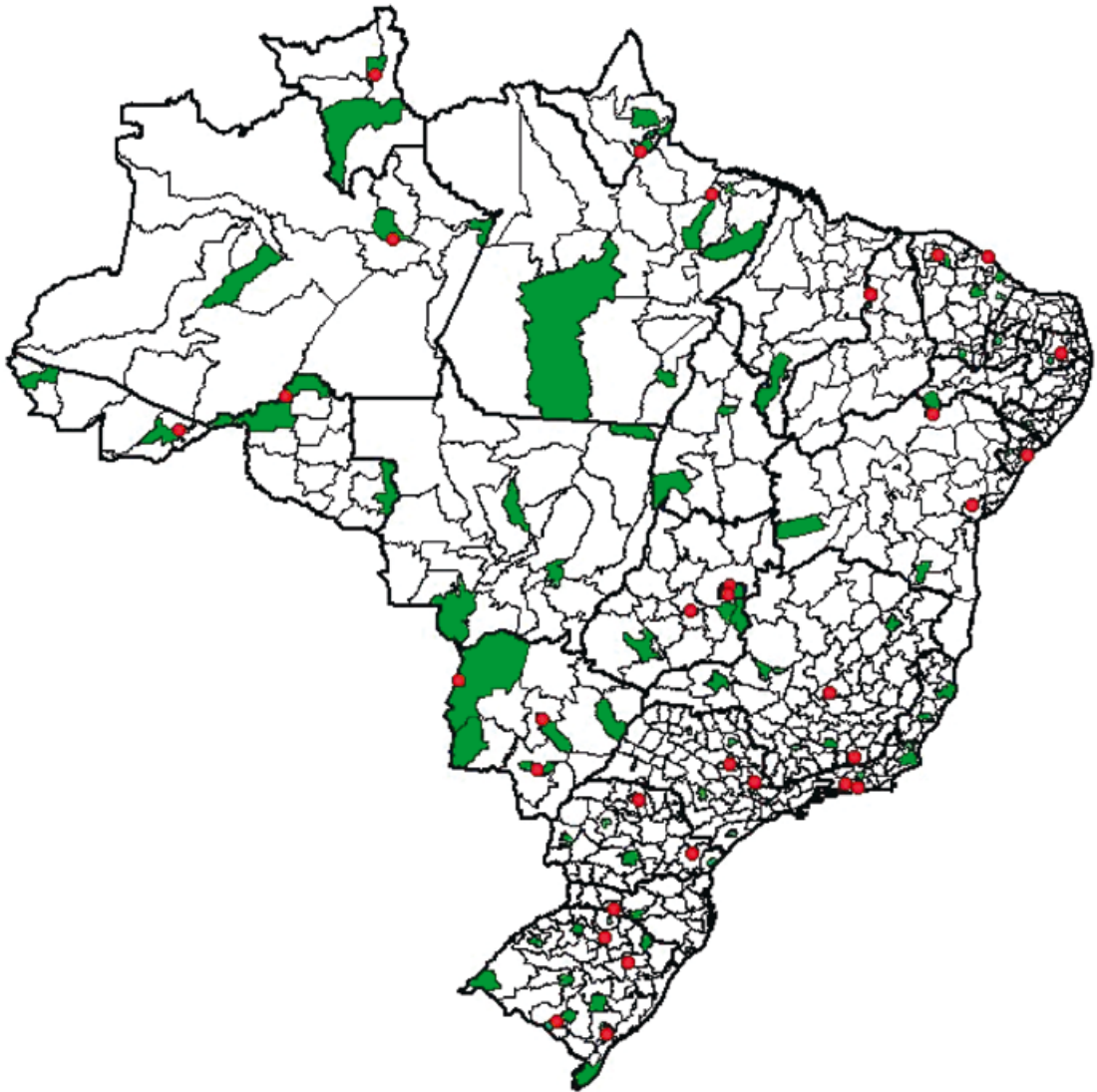
00.51 2 Decimal Degrees

NIGGOL SEO, YALE, 2004

4.4.2. BRAZIL

The initial forecast was to conduct 600 surveys but thanks to the support received from the Embrapa (Brazilian Agricultural Research Corporation) centers involved, as well as to the financial support of other Embrapa projects, it was pos-

sible to collect data from 720 farms. Below is a Brazilian map with the location of the surveys (in green) and the Embrapa centers that supported the data collection process (in red). The map shows that the surveys on climate change carried out in Brazil were well distributed given the diversity of the climatic regions of the country.



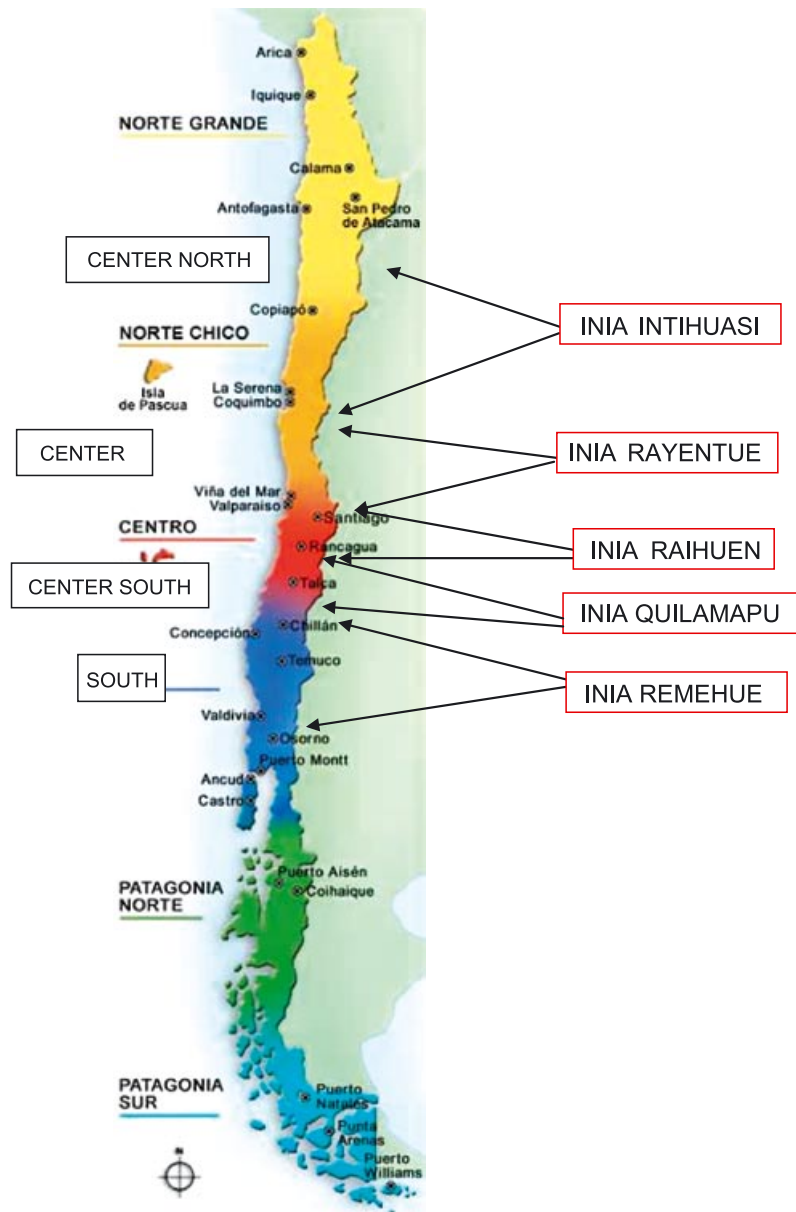
4.4.3. CHILE

Various Regional Centers of INIA Chile (Institute of Agricultural Research) were involved in the data collection process of the climate study. The Regional Center leading the surveys was INIA Quilamapu, which is located in the VIII Region (Southern-Central region).

All the producers surveyed were members of the National Program of Technological Transference Groups (GTT) of INIA. Approximately 80% are considered to be family agriculture farmers, while the remaining 20% are medi-

um-size commercial farms. Each GTT has 12 to 15 farmers and is coordinated by an INIA professional.

Farmers from seven Chilean Regions were interviewed, from the Northern macro-areas to the small Central, Southern and Southern-Central areas, thus encompassing practically the totality of Chile's traditional agriculture, crops and bovine production (dairy and meat). Therefore, practically the whole agricultural zone of the country was taken into account, with the exception of Patagonia.



4.4.4. ECUADOR

The surveys in Ecuador were developed under the responsibility of the National Institute of Farming Investigations (INIAP). A total of 291 farmers were interviewed, covering the most important climate zones of the country. See climate map below.



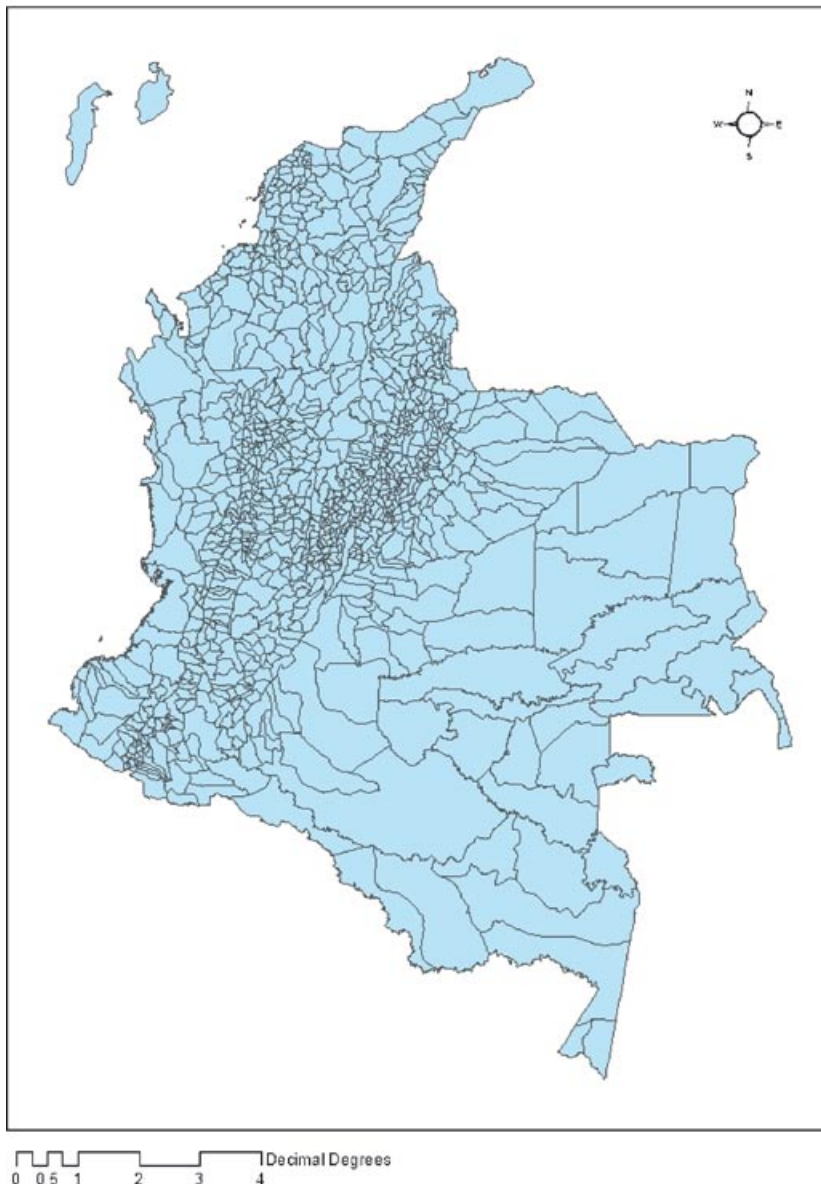
4.4.5. COLOMBIA

The study in Colombia was developed under the responsibility of CORPOICA - Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Granados, Baquero, Gomez & Gomez, 2006). The sample was stratified according to the main crop areas and production zones.

The 386 surveys in Colombia were distributed along the municipalities of greater importance regarding agricultural production, according to type of crop or livestock production.

Likewise, they show the vast diversity of the country in relation to the different productive aspects: climates, cultures, size of property, automation, connection to the international markets, etc. Thus, there are nearly 1,000,000 cultivated hectares of coffee, the main Colombian crop. It is typically cultivated by small farmers with high levels of automation, in contrast to the large beef cattle farms to the east of the country which have low levels of productivity per hectare.

COL_ADM2_DSLV

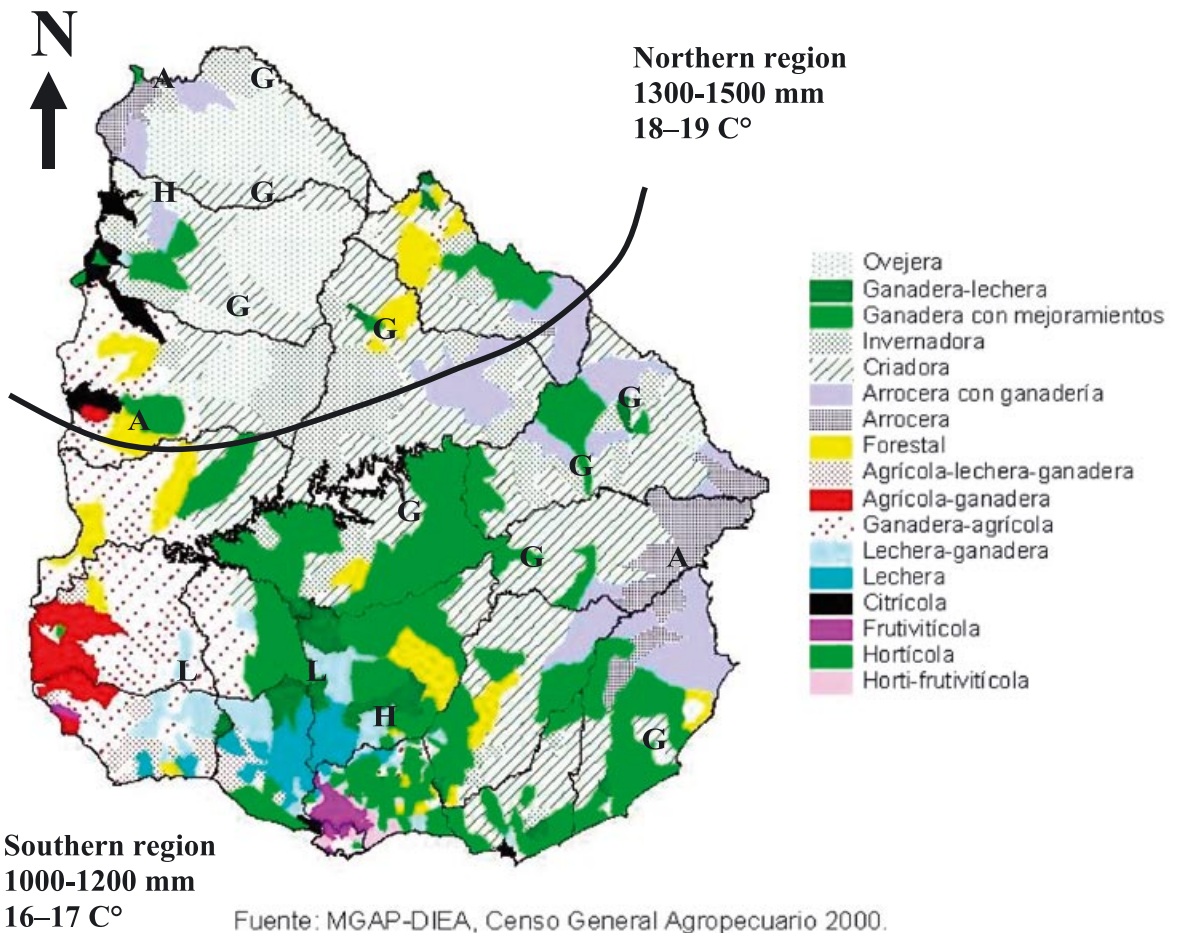


4.4.6. URUGUAY

The survey data in Uruguay was collected by INIA (National Agriculture Research Institute) in its two main climate regions: 1) to the north of the country where there are higher temperatures and rains; and 2) to the south of country where lower temperatures and less rains are recorded.

The 175 farms surveyed are distributed all over the country (see map) and the size and geo-

graphic distribution of the sample was considered adequate for the purpose of this research. Although only 5% of the interviewed individuals considered themselves as non-commercial farmers a later analysis considering farm size and production type allowed to categorize 36% of the farms as small farms, with an average size of 497 hectares. The remaining 64% were classified as medium and large commercial farms, with an average size of 818 hectares.



4.4.7. VENEZUELA

Surveys in Venezuela were executed with the support of the research centers of the INIA - Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. The country's six climatic regions were covered by a total of 297 questionnaires.

Samples in Venezuela were taken in the areas where small farms were the predominant typology at the agricultural production units. Large

commercial farms or enterprises intended for agribusiness (cereals, meat, dairy) were detected only in productive areas oriented towards agribusiness.

The data were then coded and analyzed. Several tests were run to see if the observations were internally consistent. Errant data were recoded when correctable or treated as missing. Net revenues could be inferred from the available data.

VEN_ADM2_DSLV



4.5 CLIMATE SCENARIOS

Sophisticated models of oceans and atmospheres have been developed to forecast the consequence of rising greenhouse gases on future climates across the globe. This study relies on three models to provide a range of forecasts of future climates that are plausible over the next century: the Canadian Climate Centre (CCC) (Boer *et al.*, 2000), the Center for Climate Study and Research (CCSR) (Emori *et al.*, 1999), and the Parallel Climate Model (PCM) (Washington *et al.*, 2000). The CCC models predicts average warming of 5°C, the CCSR model predicts warming of 3°C, and the PCM model predicts warming of 2°C by 2100 for Latin America. The three models also provide a range of precipitation forecasts from a slight decrease for CCC and CCSR and an increase for PCM. This range of outcomes mirrors the range of

forecasts by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) for 2100 (Houghton *et al.*, 2001). The three scenarios provide policy makers with a sense of what would happen depending upon how global warming unfolds. We look at changes in 2020, 2060, and 2100.

For each climate model, we sum the predicted monthly climate change in each grid cell weighted by population to generate a country level forecast of climate change. The country level forecast of temperature is added to the actual temperature in each district. The country level forecast of percentage precipitation change is multiplied by the actual precipitation in each district. This process gives district specific forecasts of temperature and precipitation in each period. The climate changes are consequently not uniform across the region and vary by model.

5. RESULTS

5.1. COUNTRY RESULTS

5.1.1. ARGENTINA¹

The Ricardian analysis of climate change in Argentina developed by Lozanoff and Cap (2006) demonstrates the existence of a strong correlation between net revenue and climatic variables. More specifically, the strong dependence of winter temperature and summer precipitations on the dependent variable is evidenced.

At the level of small and commercial producers the varying influence of the climatic variables was demonstrated on each type of farmer. It is observed that the curve of land value based on temperature presents optimal features at 15°C for large producers, whereas the same curve is optimum at 17.5°C for small farmers. This seems to indicate a greater capacity of large producers to adapt to the climatic change as the optimal curve practically reflects the average temperature of the sample. It can be observed that small producers present more elasticity before the change of climatic variables, but also that their optimal conditions are displaced in regard to the average, which indicates a lesser capacity of adaptation to this change.

Of the three raised scenarios, the PCM model practically does not indicate a trend of change, it is slightly incremental for the large producers and slightly decreasing for the small ones. What can in fact be observed is a marked difference between the evolution of both types. The second scenario (CCSR), of moderately severe

1 - Synthesis based on the Argentinian paper: LOZANOFF, J & CAP, E. 'El Impacto del Cambio Climático sobre la Agricultura Argentina: Un Estudio Económico'. (The Impact of Climate Change on Argentinian Agriculture: An Economic Study). INTA. Buenos Aires. September 2006. 23p.

conditions for the climatic change, presents a decreasing trend for both sub-samples, with a smaller marked difference between both types of farmers. By the end of the 21st century there will probably be a reduction of land value in the order of 20%. The third scenario (CCC), of severe change conditions, is the one that shows greater change trends, in both cases decreasing to similar rates, with a difference between both sub-samples favorable to large producers. At the end of the 21st century the reduction will be in the order of 50%.

Regarding the irrigation mechanism for adaptation to the climatic change, it can be observed that the temperature increase entails a fast adaptation of irrigation, whereas in the case of precipitation variations their decrease causes a fast adoption of irrigation mechanisms, and their increase slightly diminishes the probability of adoption of irrigation mechanisms.

5.1.2. BRAZIL²

The Brazilian study (Avila, Irias and Lima, 2006) estimated separate regressions for small and large farms. The results for small and large farms indicate that winter temperatures have the expected hill-shaped relationship with land value but that summer temperatures have a U-shape. The lowest land value for large farms was at 30°C so that generally large farms located in warmer places had lower values. However, the lowest land value for small farms was recorded at 24°C so that generally small farms located in warmer locations had lower values only up to a point. Precipitation had no incidence on the land values of large or small farms in the Brazilian sample.

2 - Synthesis based on the Brazilian paper: AVILA, A. F. D.; IRIAS, L. J. M & LIMA, M. 2006. Impact of Climate Change on Brazilian Agriculture. Embrapa, Brasilia. November 2006. 23p.

The analysis of the Brazilian surveys shows that 537 of the farmers informed that they perceived climate changes in the last years and 53.2% of them perceived changes in the periods and amounts of rain. Farmers also perceived changes in temperature (43.3%). The main adaptations consisted of changing the sowing date and using more resistant varieties (24.5 and 20.1%). One third of the interviewed Brazilian farmers indicated that lack of funds is the main obstacle to adapt to the climate change. The two other important difficulties were lack of water for irrigation and of technical orientation (15.9 and 11.2 %, respectively).

The best scenario in Brazil with AOGCM estimates is expected if the scenario generated by the PCM model would occur. The aggregate impact would be positive in 2020 (plus 15%) for small and commercial farmers (7 to 31%). The situation would be worse in this same scenario in 2060 and 2100 but better than expected compared to the other two scenarios. The worst scenarios for Brazilian land values in 2060 and 2100 are expected if the temperature and precipitation move in the magnitude estimated by the CCC model. The negative changes on land values at aggregate level would be between 19% and 38%, for small scale farmers 9% to 31% and for commercial farmers 47 to 80%.

In this context of climate changes and due to the serious effects expected on farmers given by the AOGCM scenarios for the next decades, the Brazilian Government should adopt policy measures to mitigate these impacts on the agricultural sector. The policy recommendations should be oriented to minimize the negative effects of changes in winter temperatures on small farmers. In the case of commercial farmers, these policies should try to mitigate the expected negative effects of changes in the precipitation levels during the summer.

At the agricultural research level, the Embrapa experience with its soybean breeding program during the 70-80's, which consisted of developing varieties for tropical regions (>4°C

warmer than temperate regions), should be expanded to other crops. Varieties that are more resistant to warm temperatures combined with technological innovations, such as irrigation, can minimize the effects of the temperature increase on the traditional production systems generally adopted by small farmers.

5.1.3. CHILE³

The Ricardian analysis of the climate change in Chile has shown that the variables of temperature and precipitation in summer and spring are the most important to explain changes in land values (González & Velasco, 2006). Other explanatory variables like farm experience, slope of the ground and soil texture do not make significant contributions to the explanatory power of the model.

These results are consistent with the "known" agricultural scenario for the country, because given its agro-climatic characteristics, factors as spring precipitation are extremely decisive in the viability of production systems in certain localities or soil types. As to the existence or not of a given system, aspects as the intensity of the agricultural use of the soil, feasible crops and expected yields are visualized as highly determining of the expectations of soil use capacity and therefore of its value in the market.

Given the characteristics of Chilean agriculture the analysis was made considering irrigated and non-irrigated fields. Both situations are important in the national distribution of agricultural area. Additionally, the characteristics, type of production systems and expected yield of the same are significantly influenced by this condition. Clearly it also strongly influences the land value.

3 - Synthesis based on the Chilean paper: GONZALEZ, J. & VELASCO, R. "Cambio Climático en sistemas agrícolas de Chile: I: Evaluación Preliminar del efecto de variables de clima sobre el valor económico estimado del suelo" (Climate Change in Chilean agricultural systems: I: Preliminary Assessment of the effect of climatic variables on the estimated economic value of the soil). INIA, Quilamapu. November 2006, 21p.

Some authors have observed that the highest land values are found in localities with moderate temperatures that fluctuate between 7°C and 11°C. Otherwise, the results showed that high land values were associated to average moderate precipitations that fluctuate in periods of three months, between 50 and 90 mm. Localities with higher precipitations present lower land values. This coincides with the situation observed in the south of Chile when compared to zones located more to the north of the country.

5.1.4. COLOMBIA⁴

The results of the application of the Ricardian model in Colombia showed that when faced to climate change, producers adapt their production systems instead of abandoning their land (Granados *et al.*, 2006). In times of significant droughts it is expected that they implement irrigation systems, diminish the intensity of land use, change agriculture for cattle raising and/or change to other crops or varieties. This also happens in connection with increases in temperature, when one expects crops or varieties to be modified. Colombian farmers showed that they feel they have no options in the short term although some have applied rotational methods and introduced changes in the technology they use. The following factors are important in the long term: irrigation, changes of crops and varieties and works in order to obtain and regulate water such as reservoirs or wells.

The results of the application of the Ricardian method in Colombia show that the land values depend on climatic variables such as precipitation and average temperature, on technological advance and information (Internet), population density and soil quality. When one separates large producers from small farmers the results indicate that precipitation is not statistically significant for commercial farmers.

4 - Synthesis based on Colombian paper: GRANADOS R, J.; BAQUERO IR.; GOMEZ, M. R. & GOMEZ, F. Efectos del Cambio Climático Global en la Agricultura Colombiana (Effects of the Global Climatic Change on Colombian Agriculture). CORPOICA. Bogotá. October 2006.

The simulation model sample at the level of the Colombian territory demonstrates an important effect of the climatic change on the price of land. It also indicates a very serious effect on the productive capacity of the Colombian agricultural sector. In fact, in the most serious of the possible predictions, up to 94% of the production could be lost. It must also be noted that an increase in rains would have negative effects on the value of the Colombian agricultural production, whereas a decrease would have a favorable effect on it. Due to its high level of precipitations there are serious problems of pests and diseases which would be reduced if the rains should decrease.

The effect is much more significant on small farmers who would lose a lot when temperature increases. On the contrary, variations in precipitations, either an increase or a decrease, would enhance their production. Large producers, on the contrary, would benefit from the climatic change when temperature increases, and as land values do not depend on the precipitation levels they would not be affected by changes in this variable.

These results are worrying because large producers have better financial standing and management to make investments which, like irrigation, can allow them to better adapt to the climatic change. Small farmers will suffer a larger income and patrimony reduction which represents a challenge to their vulnerability and survival capacity. Also they have soil conditions, such as rugged slopes, that prevent the technical installation of irrigation systems.

It is important to point out that producers consider that technological change, new varieties more resistant to droughts and change of crops are important alternatives to productively face the approaching climatic change. This makes it more urgent to emphasize research on soil and water management as well as new varieties and crops that are more resistant to high temperatures and severe droughts or water excess.

5.1.5. ECUADOR⁵

The study collected data from farmers in representative climatic zones across Ecuador (Jativa and Niggol, 2006). A sample of small-scale and commercial farms was gathered totaling 291 establishments. At most farms the person in charge was a man and also most had electricity. The average age of farmers was 52 and they had 9 years of schooling.

Land values in Ecuador are highly dependent on soil type. Some soils are positively correlated with land value while others are negatively correlated. Land values also depend on climate variables such as summer/winter temperature and precipitation. Estimated land value charts are hill shaped for a range of annual mean temperature for both small and large farms. For annual precipitation land values are U shaped for small farms, but there is an almost linear increase for large farms.

A small increase in the annual mean temperature will result in a small damage to small farms, but in a small gain to large farms. The harmful summer temperature increase is offset by the beneficial winter temperature increase. A small increase in the annual mean precipitation level will lead to a substantial loss to small farms. A harmful effect of the winter precipitation increase is offset, although to a low degree, by a summer precipitation increase.

The prediction of the impacts of the climate change using three climate scenarios showed that small farms and large farms will lose half of their income by 2100 if a hot and dry scenario such as CCC becomes true. On the other hand, small farms and large farms will gain from warming with a moderate increase in temperature and a moderate increase in precipitation such as PCM in 2020. The impact will

5 - Synthesis based on the Ecuadorian paper: JATIVA, P. & NIGGOL, S. Efecto del Calentamiento Global en la Agricultura Ecuatoriana: Evaluacion del Impacto Economico Sobre el Valor de la Tierra (Effect of the Global Warming on Ecuadorian Agriculture: Assessment of the Economic Impact on the Value of Land). INIAP & University Aberdeen. Quito, Dec. 2006. 33p.

amount to a 60% loss of income as a maximum and to a minimum 50% gain of income for large farms by 2100. Small farms are more vulnerable to higher temperatures, whereas large farms are more sensitive to an increase in precipitation.

Policy makers need to pay attention to the findings of this paper, which predicts that agricultural income will be reduced by half at the end of this century. Given that the country largely depends on the support of agricultural production, the climate will impose a significant burden on farmers and on the public in general. Further studies of possible measures to reduce these harmful effects should be implemented.

5.1.6. URUGUAY⁶

The study developed by Lanfranco and Lozanoff (2006) shed some light over the potential economic effects of global warming on the Uruguayan agricultural sector. A Ricardian model was used to determine the potential effects of the climate change on agricultural production in terms of productivity gains and losses. The marginal contribution of temperature and precipitation changes to land values, used as a model for productivity, was measured and the results corresponding to both commercial and non-commercial farms were presented.

These results suggest that changes in both temperature and precipitation affect productivity and therefore land value. The effects would probably be different according to the type of production entity. Although the magnitudes would be different in the presence of different possible future scenarios, the effects are expected to derive in net losses for producers.

According to the results obtained in this research, commercial farms appear to be more sensitive to climate changes; this suggests that small non-commercial farmers could adapt better to changing climate conditions.

6 - Synthesis based on the Uruguayan paper: LANFRANCO, B & LOZANOFF, J. Economic Impact of Global Warming on the Uruguayan Rural Sector. INIA. Montevideo. October 2006. 15p.

In any case, this is the first study carried out for the Southern region of South America and conclusions should be managed with caution. More research is necessary in order to confirm and confidently rely on these results.

5.1.7. VENEZUELA⁷

There are 297 farms in the total sample taken in Venezuela (Pacheco, Caraballo & Niggol, 2006). The most common are small family farms. Large commercial farms are present only in the most productive areas. These large farms are engaged in cereals, meat, and dairy production. Farms in Venezuela recorded the lowest average land values of all the survey countries.

In order to analyze the vulnerability of Venezuela's agricultural production to global warming the authors regressed farm land values against exogenous variables such as climates, soils, and socio-economic variables. Assuming that climate sensitivities do not change over time, they predicted climate change impacts for the century to come.

Farming activities in Venezuela are revealed to be sensitive to climate variables. Socio-economic variables and different soil types are also important determinants of land values across the country. Farms using technology have a higher land value. Farms on mixed soils are preferred to those on clay soils.

Land value is related to summer temperature in a hill-shaped quadratic function and with summer precipitation in a U-shaped quadratic function. Winter temperature and precipitation are also significant. It is predicted that a small increase in temperature may harm agricultural productivity therefore reducing land value. A small increase in precipitation is also thought to reduce land value.

7 - Synthesis based on the Venezuelan paper: PACHECO, R. CARABALLO, L. & NIGGOL, S. Global Warming and Agriculture in Venezuela: An Economic Valuation. INIA Venezuela & University of Aberdeen. Caracas, Dec. 2006, 22p.

The analysis of the impacts of the climate change on Venezuelan agriculture was based on the three AOG Climate Models: CCC, CCSR and PCM. The simulation indicates that the climate change will harm as much as 100% of the farmers in Venezuela by the end of this century. It was revealed that a temperature increase would be very harmful to agriculture. In earlier years, a significant reduction of precipitation is likely to damage current agriculture significantly.

In terms of climate policy, the results reasserted that a warming climate will mean significant stress to farming in the developing countries. Regardless of farm size, agricultural productivity is expected to drop significantly due to warming. The results also show that a dramatic reduction in the precipitation levels predicted within the PCM scenario is likely to cause significant damage to agriculture.

5.2. REGIONAL STUDIES

5.2.1. RICARDIAN STUDY

The Ricardian analyses of land value reveal that farm values vary across the landscape with climate. As can be seen in **Figure 2**, the estimated relationship between land value and temperature is hill-shaped. Farm properties are highest in temperate climates and decline as temperatures increase towards tropical climates. Because the average farm in Latin America is slightly to the right of this hill, slight warming will cause farms to fall in value. **Figure 3** displays the results for precipitation and land value. Precipitation has a U-shape implying that more precipitation is beneficial and less is harmful.

Figure 2 also shows that small farms and large farms have similar responses to temperature. Despite concerns that small farms may be more vulnerable to warming, the analysis implies that their temperature sensitivity is almost the same as large farms. However, small farms do have different precipitation response functions compared to large farms. **Figure 3** shows that more precipitation is beneficial to both small

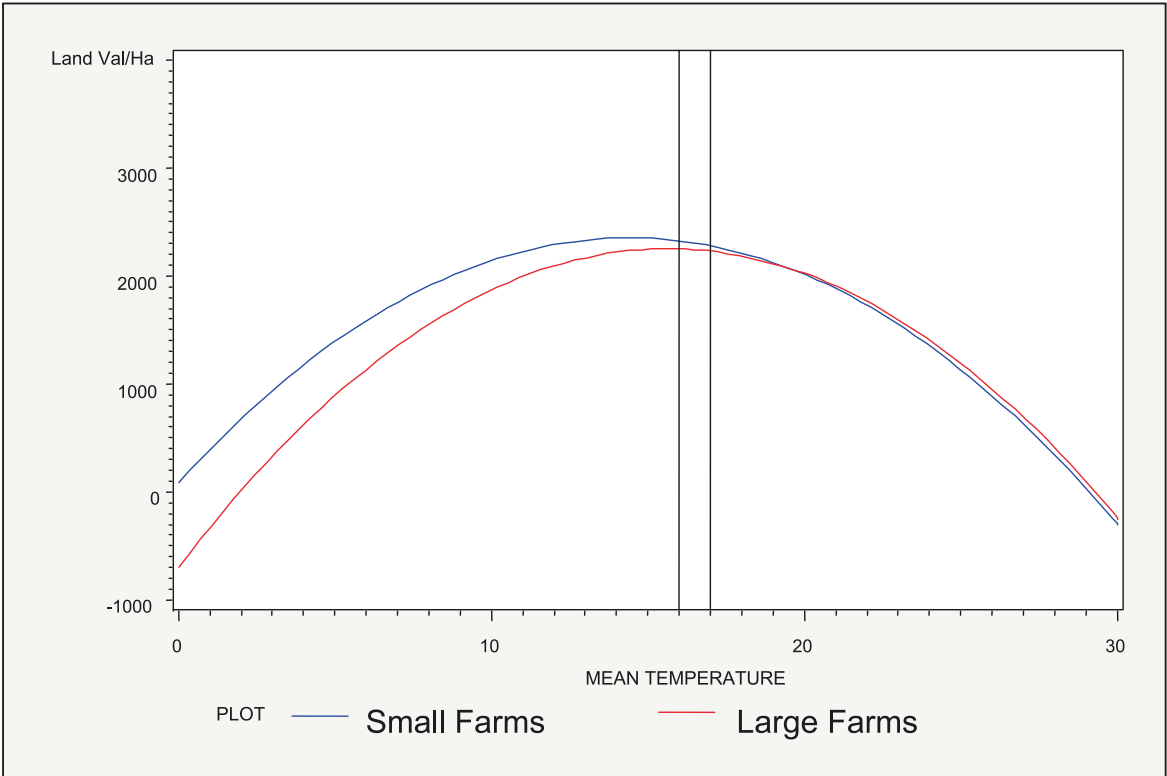


Figure 2. Estimated Response of Land Values of Small and Large Farms to Temperature

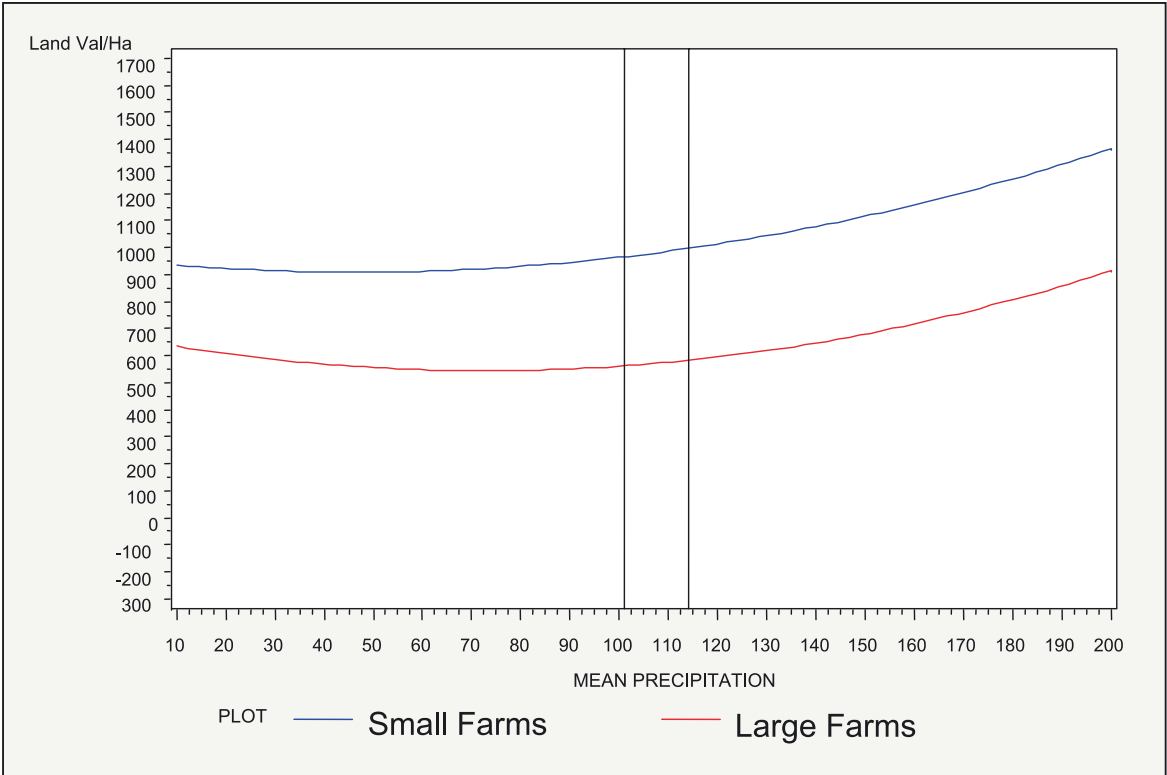


Figure 3. Estimated Response of Land Values of Small and Large Farms to Precipitation

and large farms. Small farms have higher values per hectare but the same shaped response function. The higher value per hectare reported by small farms may be due to the fact that own labor is not measured.

The study also tests the relationship between climate and annual net revenue. The results from the Ricardian analysis of net revenues are very similar to the results from the land value analyses. The temperature responses are hill-shaped and the net revenues of small farms peak at the same temperature (16°C). However, the net revenues of large farms peak at (8°C) which is a much cooler temperature than the land value results.

Separate analyses were also conducted of dryland versus irrigated farms. Dryland and irrigated lands react differently to temperature and precipitation. Dryland farms are very sensitive to summer temperatures. The land values of large and especially small farms are much lower in places with higher summer temperatures. The land value of small irrigated farms do not respond to summer temperature and the land values of large irrigated farms are higher in places with warmer summer temperatures. Warmer winter temperatures are associated with higher land values for small dryland farms but lower land values for both small and large irrigated farms. Summer precipitation has a consistent beneficial effect across farm types especially for large irrigated farms. Places with more winter precipitation reduce the land values of large dryland farms and small irrigated farms but increase the land values of large irrigated farms. Irrigation clearly allows crops to tolerate regions with higher temperature. But irrigation is often applied in places with very low precipitation so that actual irrigated farms are often more profitable with more precipitation.

5.2.2. INTEGRATED FARM MODEL

The Integrated Farm Model examines the decision of whether a farmer will grow crops, livestock or both and whether the farmer will

adopt irrigation (Mendelsohn and Seo, 2006). For each of these farm types, the model estimates how land values are affected by climate. In contrast to the Ricardian model, the Integrated Farm Model makes the adaptations of each farmer explicit. Cross sectional data is used to test whether farmers in warmer or wetter places make different choices than farmers in cooler or dryer places. Specifically, models are developed to test whether the choice of adoption of crops, livestock, or both crops and livestock depends on climate. The results from these models revealed that the farm type does depend on climate. Farms located in wet temperate settings tended to grow crops alone. Farms in dry locations tended to raise livestock. Farms in hot locations opted for a combination of livestock and crops. The type of farm is therefore one of the most basic adaptations a farmer can choose.

Another important adaptation available to the farmer is irrigation. In earlier Ricardian analyses, irrigation was treated as though it were exogenous, beyond the choice of the farmer (Schlenker *et al.*, 2005; Seo and Mendelsohn, 2006c). However, regressing the choice of irrigation on climate reveals that irrigation is endogenous, farmers choose irrigation depending on the climate (as first found in Africa by Kurukulasuriya and Mendelsohn, 2006a). For example, looking at crop-only farms, farmers are less likely to choose irrigation if the farm is located in a hot climate. Although irrigation water can compensate for higher temperatures, crops perform more poorly at high temperatures. Farmers do not want to invest the high fixed cost of irrigation into marginal crop lands. Farms in locations with higher precipitation are also less likely to choose irrigation. Again, the marginal contribution of irrigation falls as precipitation increases. Farmers do not need irrigation in places with high precipitation. The results for the crop-livestock farms are similar but less significant.

Examining the land value regressions specifically for each land use reveals that the different farm types react to climate differently. Warm-

er temperatures are especially hard on crop-only dryland farms and livestock farms. Latin American livestock operations depend heavily on beef cattle which tend to be heat sensitive. Dryland crop farms are sensitive to heat because they tend to be located in warm places and have little substitution possibilities. In contrast, irrigated farms and crop-livestock farms have a great deal of substitution possibilities to compensate for heat and therefore are much less vulnerable. Additional precipitation is beneficial across all farm types but especially to irrigated crop-only farms and livestock farms. These farms are located in especially dry places where additional rainfall is especially beneficial.

Applying these cross sectional models to future climate scenarios, reveals that future impacts depend heavily on the climate scenarios (see **Table 4**). If one uses a mild warming and wet scenario such as PCM in 2100, the damages in the future are relatively small with losses of 15% of land value or net revenue. However, if one uses a severe warming scenario that is dry such as CCC in 2100, the damages in the future could be high as a loss of 62% of land value or net revenue. Clearly these large impacts would be quite a blow to agriculture in Latin America.

The impacts, however, are not expected to be uniform. We graph the expected effect for all Latin American countries (Western Hemisphere south of the United States). Although the projection is outside the sampled countries, there is reason to believe that all the countries in the region share common cultural and technological backgrounds. The impacts to each district depend on the initial climate and the country specific climate change scenario. **Figure 4** displays the predicted impacts to the land values of small farms if the PCM 2100 scenario occurred. The model predicts overall benefits to the region but losses in Central America and northern South America. In comparison, **Figure 5** looks at the impact of CCC on small farms. CCC is generally harmful to the region but some regions such as the Amazon and northern Argentina and especially Bolivia and Paraguay are damaged the most. However, even with this generally harmful scenario, there are farms in Peru and southern Argentina that benefit.

Table 4. Impacts of Climate Change on Latin American Farmland Values

Climate Scenarios	Large Farms	Small Farms
Baseline	1135	1728
	2020	
CCC	-173 (-15%)	-272 (-16%)
CCSR	-154 (-14%)	-223 (-13%)
PCM	-61 (-5%)	13 (+1%)
	2060	
CCC	-373 (-33%)	-570 (-33%)
CCSR	-248 (-22%)	-387 (-22%)
PCM	-138 (-12%)	-121 (-7%)
	2100	
CCC	-702 (-62%)	-1060 (-61%)
CCSR	-397 (-35%)	-617 (-36%)
PCM	-191 (-17%)	-228 (-13%)

Note: Values are in USD/ha. Percentage changes are in parentheses.

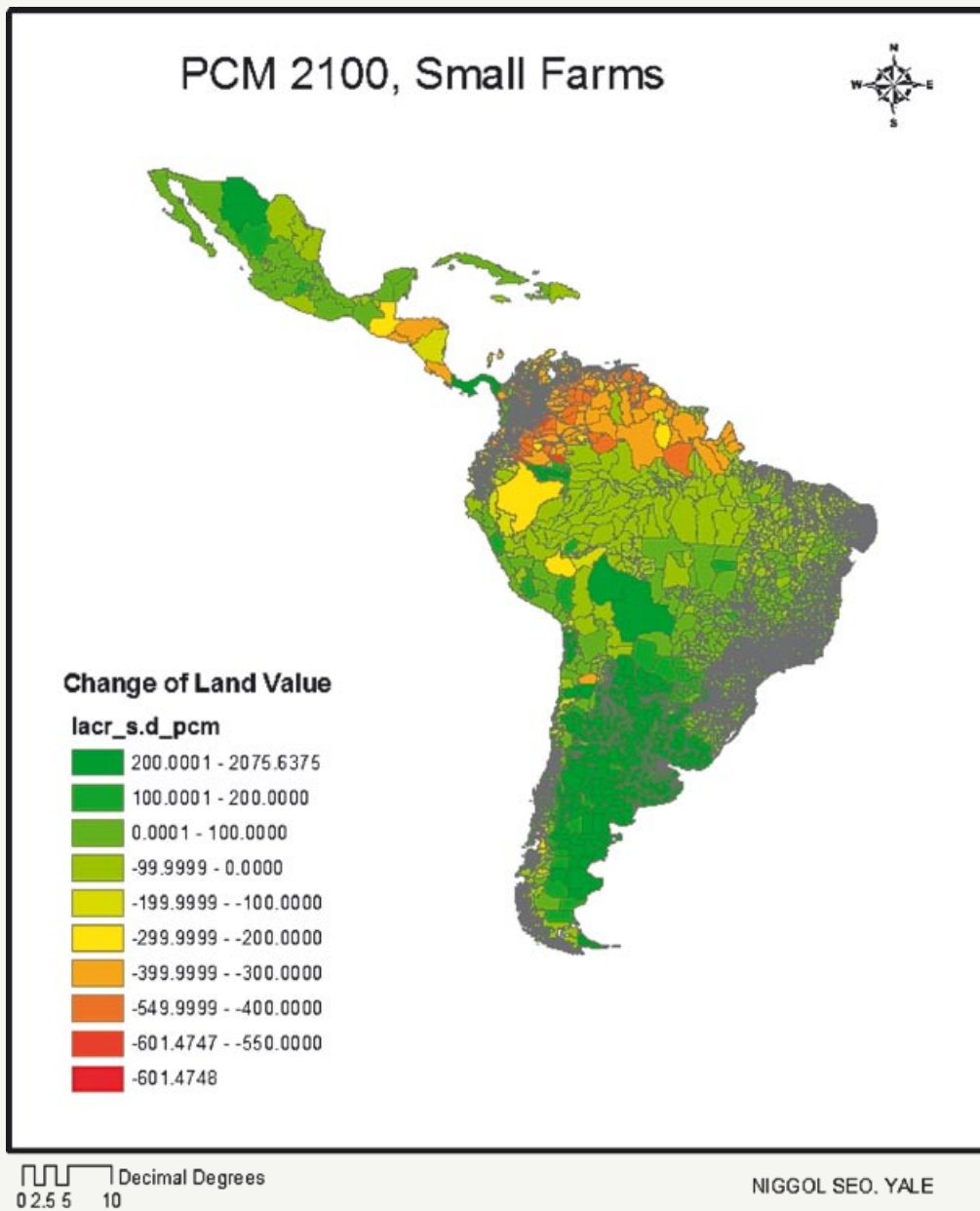


Figure 4. Impact on Farmland Values of the PCM 2100 Climate Scenario.

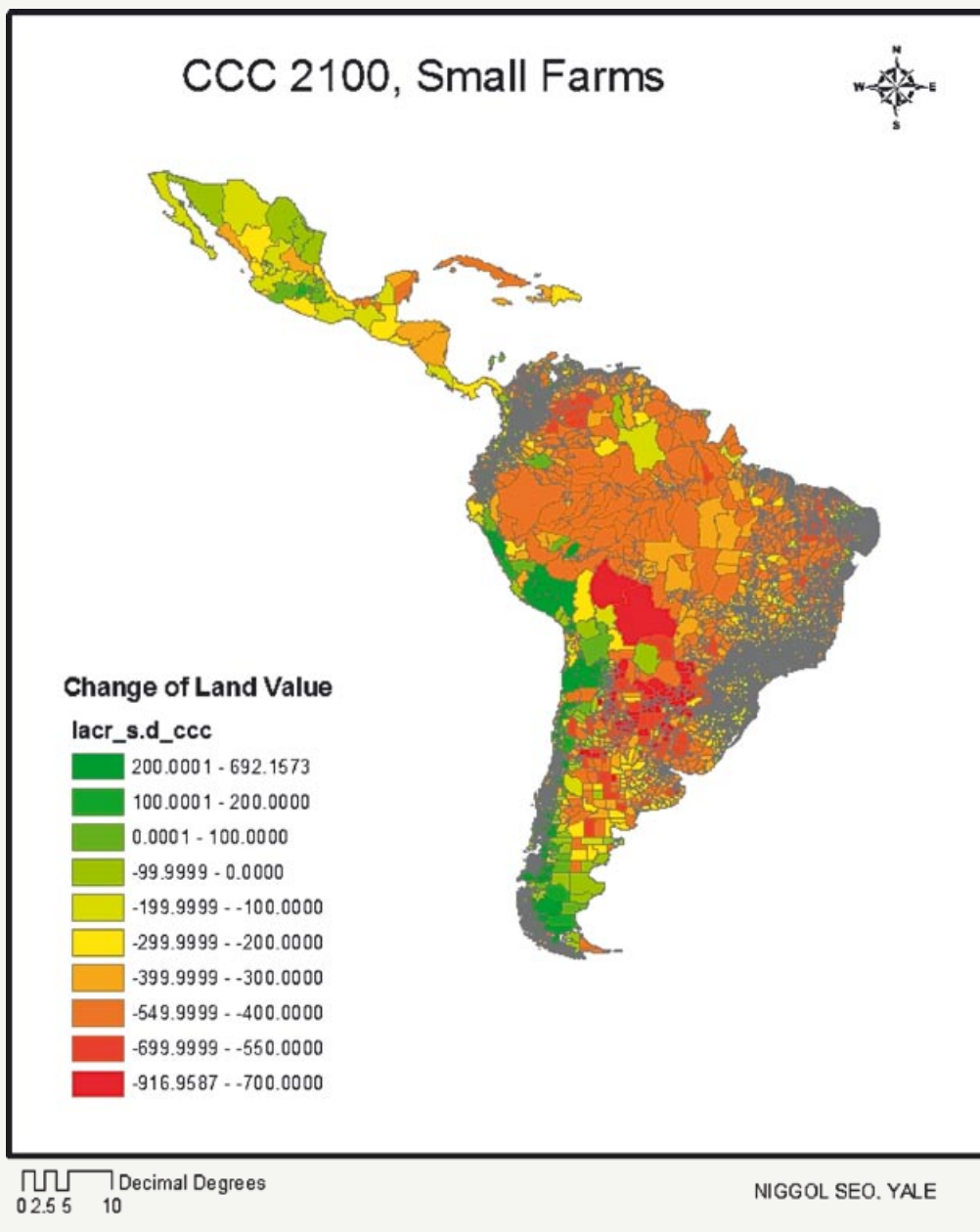


Figure 5. Impact on Farmland Values of the CCC 2100 Climate Scenario.

The effects are similar but not identical for large farms. **Figure 6** examines the effect that the PCM scenario has on the land values of large farms. There are damages in Panama and northern South America but in general, the effects of PCM are beneficial to most farms in

the region. With the CCC scenario, however, most large farms are damaged (see **Figure 7**). The harmful effects are greatest in Bolivia and Paraguay. However, even in this scenario, some farms increase in value. Farms in Peru, Argentina, and Chile all benefit from CCC.

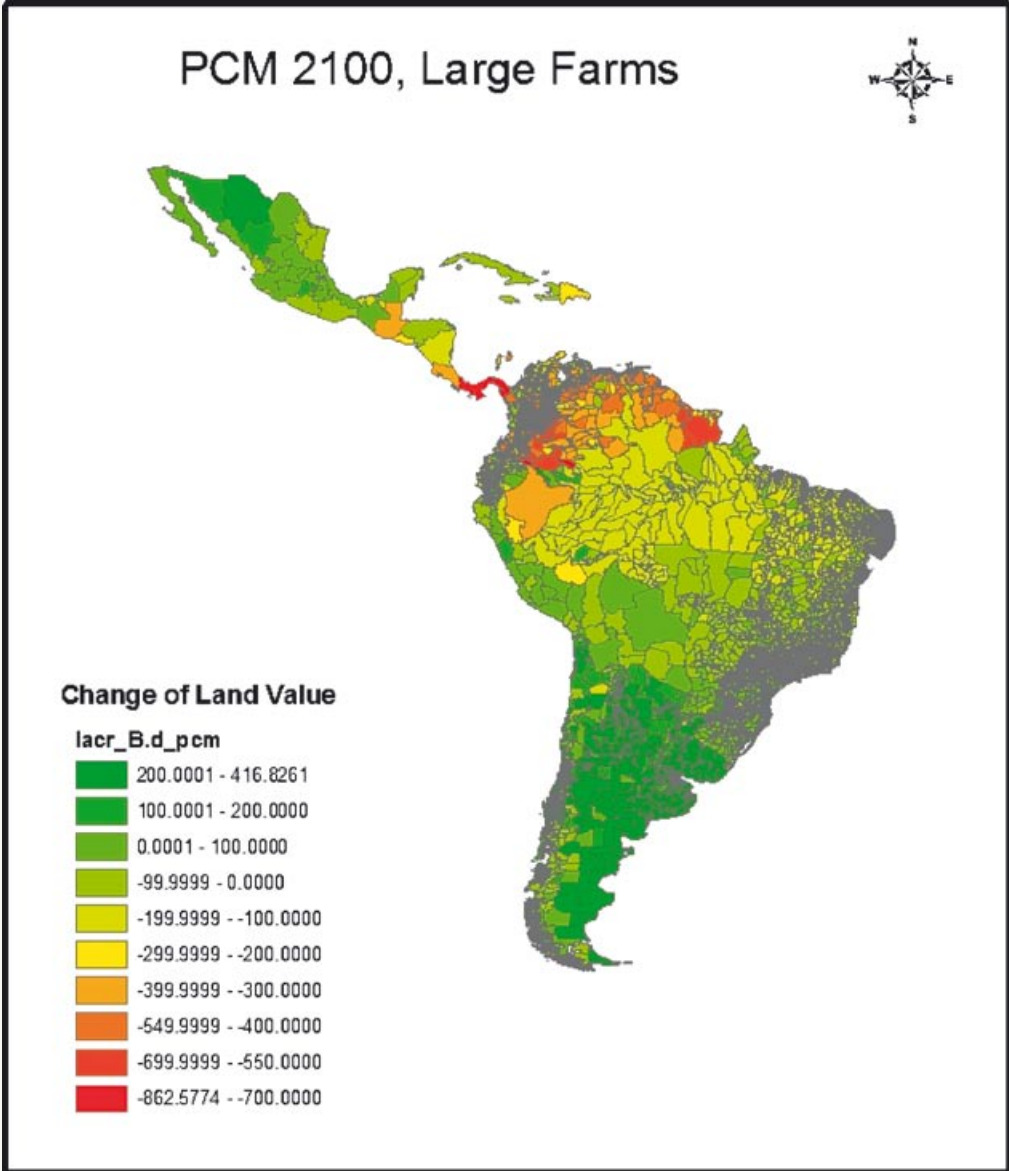


Figure 6. Impact on Farmland Values of the PCM 2100 Climate Scenario.

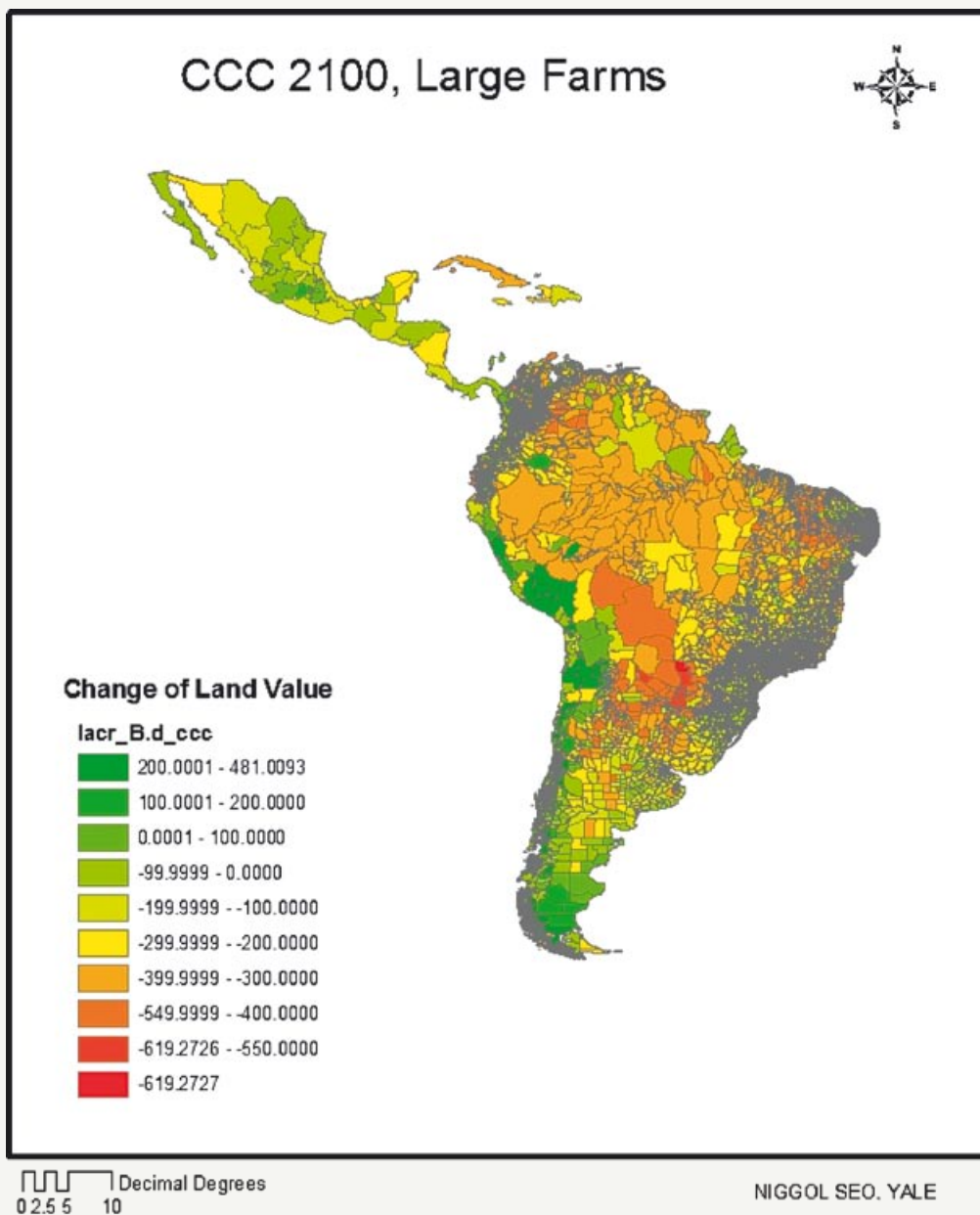


Figure 7. Impact on Farmland Values of the CCC 2100 Climate Scenario.

5.2.3. CROP CHOICE STUDY

This paper explores how Latin American farmers adapt to climate by changing crops (Seo and Mendelsohn, 2006d). Estimating the model across over 2000 farmers in seven countries, the study finds that both temperature

and precipitation affects the crop species Latin American farmers choose. For example, farmers choose fruits and squash in warmer locations and wheat and potatoes in cooler locations. Farms in wetter locations are more likely to grow rice, fruits, and squash and in dryer locations maize and potatoes.

Figure 8 shows how crop choice relates to annual temperature. Altogether there are nine crops shown in the diagram. Note how wheat and potatoes fall precipitously with higher temperatures. In contrast, fruits rise with temperature. The remaining crops exhibit a hill-shaped relationship with temperature. The temperature where the hill peaks varies. For example, the peak for maize is on the cool side whereas rice, soybeans, and squash have warmer peaks.

Figure 9 shows how crop choice relates to annual precipitation. Maize and potatoes are more likely to be grown in drier locations. Fruits, rice, and squash are all more likely to be chosen in wetter locations. Wheat and soybeans exhibit a hill shaped relationship peaking in moderately wet places.

These results imply that as temperatures warm, farmers will tend to switch away from wheat and potatoes and towards fruits and vegetables. If warming also causes farms to get wetter,

farmers will grow more rice, fruits, and squash. If warming causes farms to become drier, Latin American farmers will switch to growing more maize and potatoes.

5.2.4. LIVESTOCK CHOICE STUDY

This paper explores how Latin American livestock farmers adapt by changing their choice of livestock species (Seo and Mendelsohn, 2006e). Estimating the models across over 1200 livestock farmers in seven countries, we find that both temperature and precipitation affects the species Latin American farmers choose. For example, **Figure 10** shows the how temperatures and livestock choice are related. Beef cattle and chicken are more likely to be chosen in the cooler parts of Latin America. Dairy cattle, sheep, and pigs, in contrast, are more likely in the warmer regions. The results imply that as Latin America warms, farmers will move away from beef cattle and chickens towards these other species.

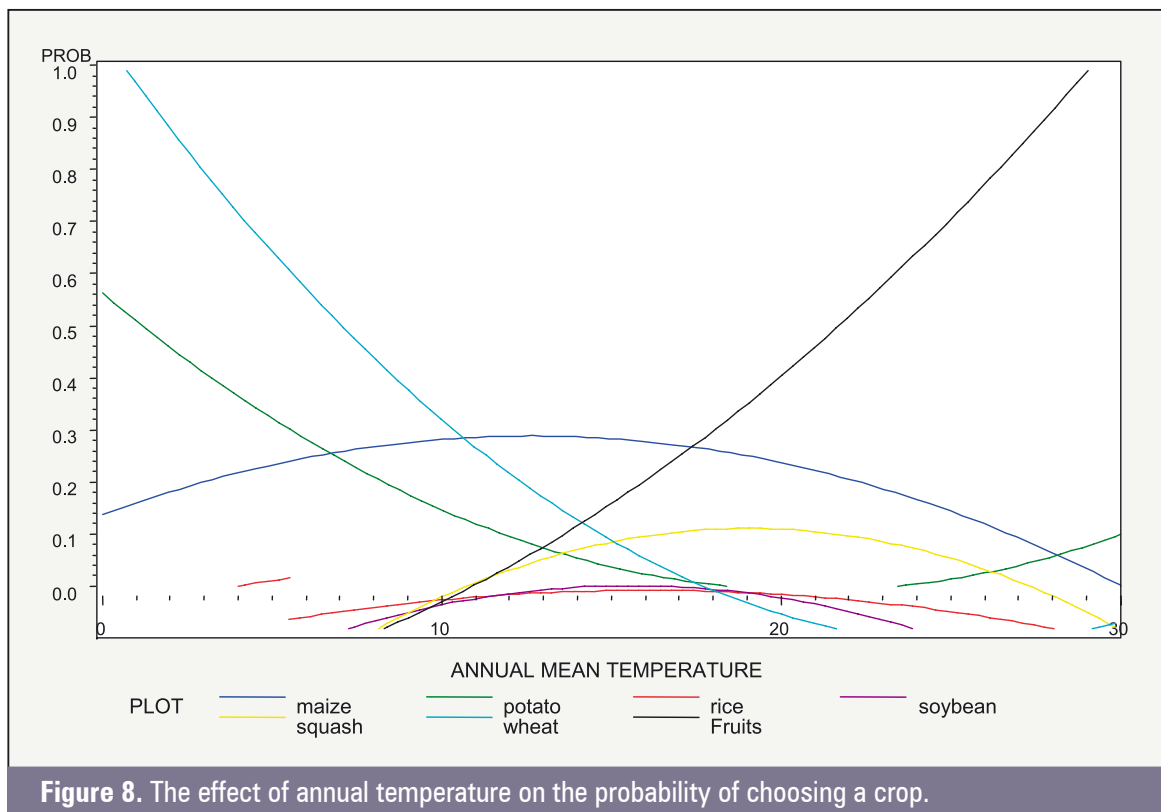


Figure 8. The effect of annual temperature on the probability of choosing a crop.

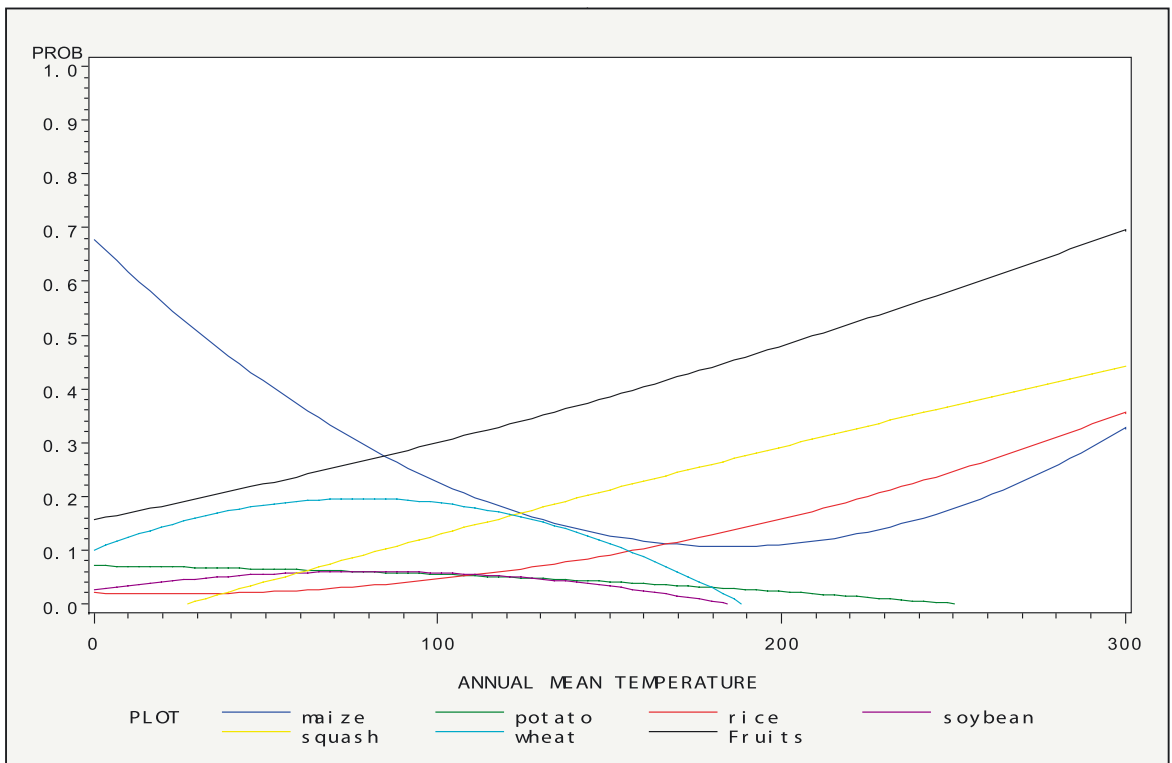


Figure 9. The effect of annual precipitation on the probability of choosing a crop.

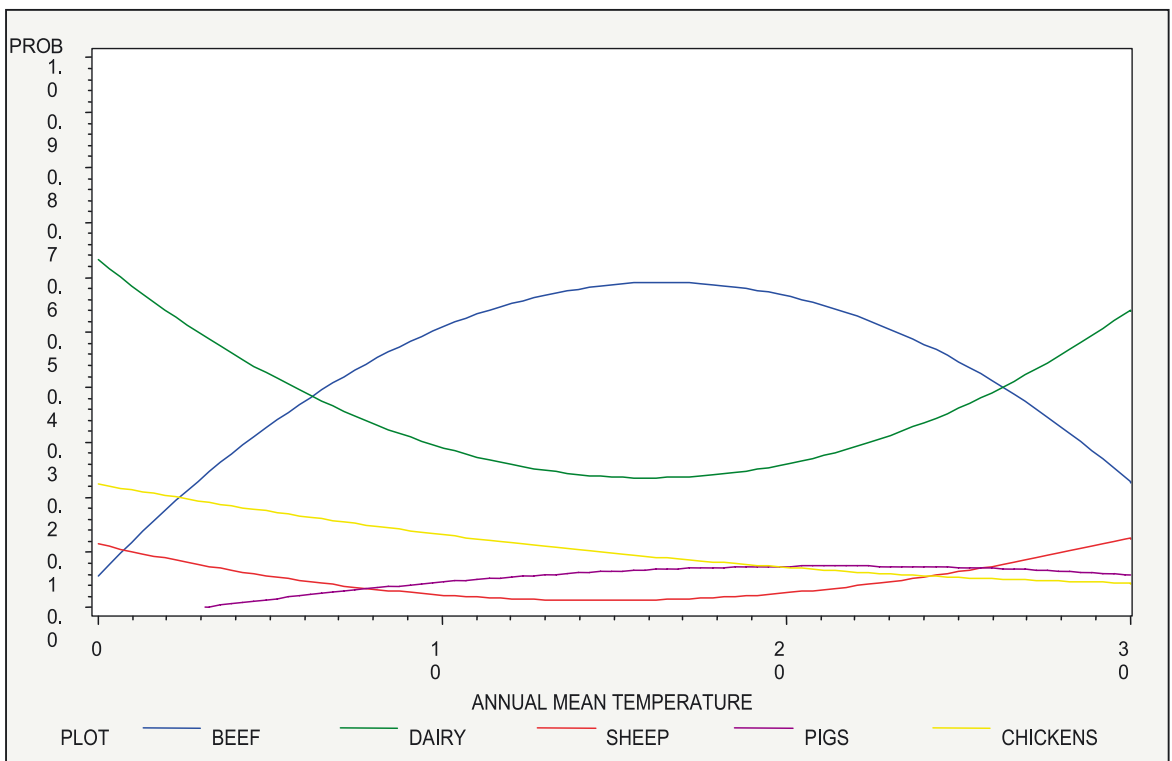


Figure 10. Estimated probability of selecting species given annual temperature.

Figure 11 shows how precipitation affects the choice of livestock. Beef and sheep are more likely in the drier regions of Latin America whereas dairy cattle are more likely in the wetter regions. Pigs and chickens are hardly affected by precipitation. Drying would consequently favor beef cattle and sheep whereas increases in precipitation would favor dairy cattle.

5.3. CLIMATE CHANGE, TECHNOLOGY, AND ISRAELI AGRICULTURE

5.3.1. ISRAELI RICARDIAN STUDY

A study was conducted in Israel to estimate a Ricardian model (Fleischer *et al.*, 2006a). A total of 381 farmers were interviewed across the three different types of farms in Israel: kibbutz, moshav, and “other”. A traditional Ricardian regression was estimated using annual net revenue as the dependent variable with climate, soils, and other controls as indepen-

dent variables. The study carefully explored the importance of including irrigation water as an independent variable. If available water is not included, the climate coefficients are biased. The study found a U-shaped relationship with temperature because Israeli farms in very hot locations have high values. By combining capital intensive irrigation and cover, Israeli farmers have been able to create a very profitable though small agricultural sector in a high temperature region of the country. The study also revealed that farms with more precipitation had higher net revenues, as expected.

5.3.2. ISRAELI TECHNOLOGY ADOPTION

The technology analysis examined the adoption of advanced irrigation techniques and cover (Fleischer *et al.*, 2006b). The analysis of irrigation shows that farms in Israel are less likely to adopt irrigation if they are in warmer locations. These results mirror the findings in the Latin American study (Mendelsohn and Seo, 2006) and Africa (Kurukulasuirya and Men-

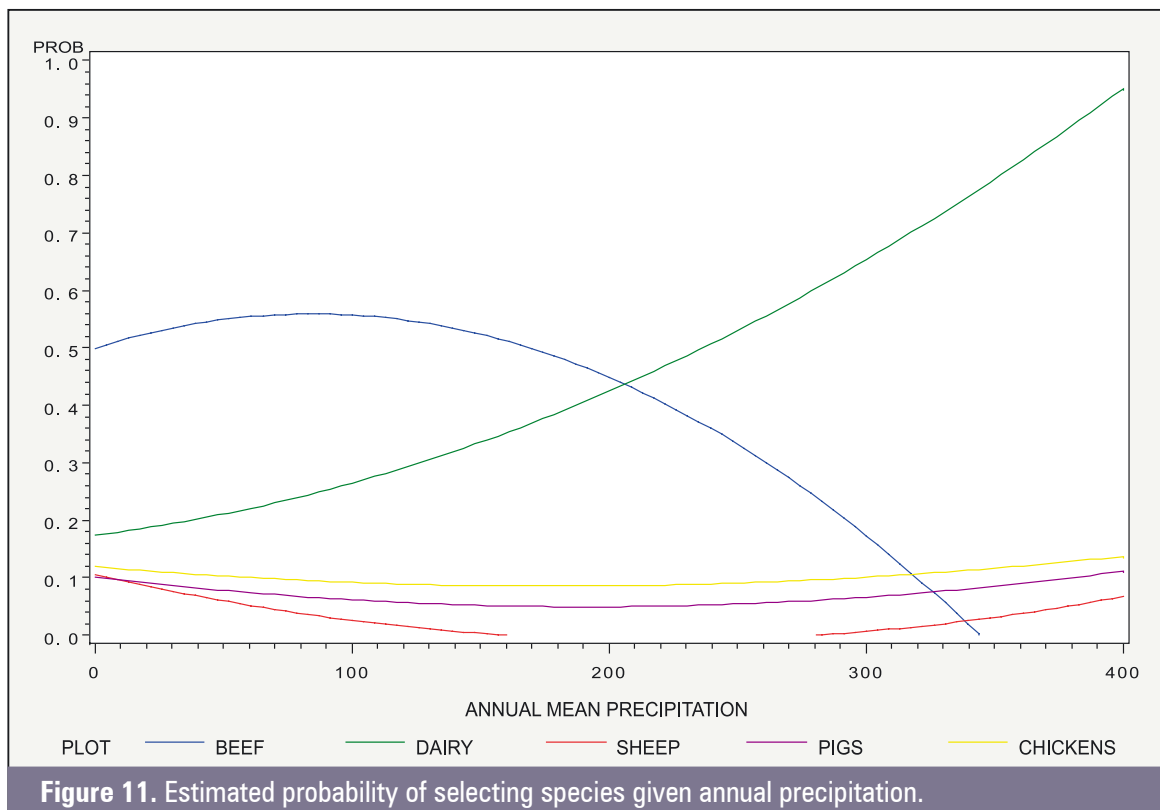


Figure 11. Estimated probability of selecting species given annual precipitation.

delsohn, 2006a). Irrigation may permit crops to survive warmer temperatures but irrigation is more profitable in cooler locations.

The Israeli study also examined the use of cover (usually plastic) by farmers. The study found that farmers chose to use of cover in hotter locations. Covering plants from the sun is an adaptation against the heat. Both cover and

irrigation have no relationship with precipitation. Interestingly, both investments were less likely with clay soils confirming that farmers will only make these high capital investments if conditions are otherwise ideal. The Israeli study also revealed that both investments were less likely the larger the farm. Irrigation and cover systems are more ideally suited for small targeted operations.



6. CONCLUSION AND POLICY RECOMMENDATIONS

6.1. REGIONAL LEVEL

Using cross sectional evidence from more than 2500 farmers from 7 countries in South America, land values follow a hill-shaped pattern with respect to temperature. Land values are low in cool areas, rise to a maximum in temperate areas, and then fall again in hot tropical areas. Because the average temperature in farms is warmer than the “optimum”, the results suggest that warming will in general be harmful to Latin American agriculture. Results using net revenues yield similar results with respect to temperature. Irrigated farms are relatively less sensitive to temperature compared to dryland farms.

Farms in places with more/less precipitation have slightly higher/lower land values. Dryland farms follow the same pattern as described above but the land values of irrigated farms are more sensitive to precipitation. The high sensitivity of irrigated farms to precipitation is likely due to their location in relatively dry places.

The cross sectional results have implications for global warming. Because most farms in Latin America are already warmer than in the temperate zone, the average farm will lose land value or net revenues as temperatures rise. Further, if farms in hot climates in the future react like farms in hot places today, there could be very large damages associated with severe climate scenarios. CCC predicts a gradual increase in average damages per farm from about 16% in 2020, to 33% in 2060, to 61% in 2100. In contrast, the CCSR model predicts damages of about half that size and the PCM model about one fourth as large.

The impacts of warming, however, vary a great deal across the landscape. Depending on the

scenario, some areas are especially hard hit and some areas benefit. Farmers need to be prepared for what will happen in their local area. Governments need to consider what areas will need relief and what areas are likely to prosper. They should be careful to target assistance to where it will be needed because the effects of climate change will vary across the landscape.

Another interesting result from the research is that small and large farms have very similar final impacts in Latin America. Warming will cause about the same percentage loss in land value and net revenue for both small and large farms. Both small and large farms are equally vulnerable to global warming.

The project also investigates whether current farmers have adapted to the climates that they are in. That is, the study explores whether farmers make different choices in different climates. The study finds that farmers change whether they plant crops, grow livestock, or raise both crops and livestock depending on the climate. Farmers in places that are temperate and wet tend to raise crops. Farmers in places that are dry tend to raise livestock. Farmers in places that are hot tend to raise both crops and livestock. Another choice that depends upon climate is irrigation. Farmers are more likely to choose irrigation if their farm is in a cool and dry location. Earlier studies that assumed irrigation is exogenous consequently produce biased welfare estimates since they assume the fraction of farms that irrigate will not change with global warming. Finally, farmers will switch crops and livestock species as well as climate changes. These effects will reduce the damages that would otherwise occur but the analysis still predicts there will be overall damages from warming.

The adaptation results provide strong evidence that farmers will make adjustments in how they grow crops in order to cope with global warming. Impact studies that fail to include these adaptations will overstate the damages from future warming. Of course, it is important to recognize that adaptation does not eliminate damages. Even with the projected adaptation in Latin America, the impact models still predict that warming will lead to substantial damages to the agricultural sector.

Several important factors that have not been accounted for in this study include carbon fertilization, technical change, and changes in prices. Carbon fertilization is predicted to increase crop productivity (Reilly *et al.*, 1996). Technical change is predicted to make large changes in productivity (Evenson and Gollin, 2003). Technical change may also be able to change the sensitivity of crops to climate. For example, crop scientists could use the tools of modern genetics to design crops for hot and dry conditions. This would make a large difference to farmers who currently have few alternatives. Finally, the study does not explicitly consider prices. If there are large changes in production, both input and output prices could change. These price changes would tend to reduce the size of the damages estimated in this study. For example, farmers would get higher prices if productivity and supply falls or they would have to pay lower wages if there is much less work.

6.2. COUNTRY LEVEL

The seven studies developed regressing land value on climate and other control variables revealed that climate plays a significant role in explaining the variation of land values across the sample. Temperature has a hill-shaped relationship with land values and net revenues. Farmland values in cool locations are relatively low, values in temperate locations are high and values in hot locations are relatively low. Slight temperature increases have different effects on

farms depending on their current temperature. The study finds that slight warming would generally reduce land values. However, these results vary across the sample. The farms located in cooler places would increase in value with slight warming.

Small and large farms showed similar but not identical responses to temperature. They both had hill-shaped relationships between land value and temperature, but land value peaked at a lower temperature for large farms than for small farms. The study also revealed that farm land values are higher in places with higher summer precipitation, and that farm land values with higher winter precipitation are lower. On an annual basis, these effects are offsetting so that annual precipitation has only a small net effect.

Future climate scenarios for each country were obtained from three AOG Climate Models. The scenarios represent a broad range of possible future climate outcomes for Latin America. The analysis revealed that Latin American agriculture will generally be harmed by global warming. Within the more severe scenarios, farms could lose up to 62% of their value by 2100. Within an “average” scenario of a 3°C warming, by 2100 farms would likely lose about 30% of their value. Within modest climate change scenarios farms may lose only 15% of their value. In all tested scenarios global warming will damage net values.

The adaptation analysis revealed that farmers will change the type of farm, irrigation, crops and livestock depending on climate. Farmers in wet temperate locations choose to grow crops, farmers in dry locations choose to raise livestock, and farmers in hot locations often choose to raise both crops and livestock.

The study also investigates the impacts of climate change in Israel. The Israeli study found that farmers are more likely to choose to cover their crops if the temperature is higher. Israelis have also invested in intensive irrigation systems. This result has enabled some Israeli

farmers to grow crops in very hot locations. The Israeli study suggests there may be further adaptations that Latin American farmers can make in the future to cope with global warming.

These results have important implications for the climate change policy. First, the study provides strong evidence that Latin American agriculture will be vulnerable to warming. Second, the study quantifies the magnitude of the resulting damages. Third, the study shows that farmers are likely to adapt by changing the way in which they farm. Fourth, the study shows that the impacts will not be uniform across the continent but will vary a great deal from one place to another. Governments must consid-

er providing assistance to prioritize programs where needed.

In this context of climate changes and due to the serious effects expected to be felt by farmers given the AOGCM scenarios for the next decades in the Southern Cone and in the Andean region, each country's Government should adopt policy measures to mitigate these impacts on the agricultural sector. The policy recommendations should be oriented at minimizing the negative effects expected by the changes in winter temperature on small farmers. In the case of commercial farmers, these policies should try to mitigate the negative effects expected from changes in the precipitation level during the summer.

7. REFERENCIAS

- Avila, F.; Irias, L.J. y de Lima, M. A. 2006. "Global Warming Effects on Brazilian Agriculture: Economic Assessment on Land Values". EMBRAPA. Brasil. 26p.
- Boer, G.; Flato, G. y Ramsden, D. 2000. "A transient climate change simulation with greenhouse gas and aerosol forcing: projected climate for the 21st century", *Climate Dynamics* 16, 427-450.
- Cap, E. y Lozanoff, J. 2006. "El impacto del cambio climático sobre la Agricultura Argentina: Un estudio económico". Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria e Instituto de Economía y Sociología, Argentina.
- Cline, W. 1996. "The Impact of Global Warming on Agriculture: Comment", *American Economic Review*, 86, 1309-1312.
- Emori, S.; Nozawa, T.; Abe-Ouchi, A.; Namaguti, A. y Kimono, M. 1999. "Coupled Ocean-Atmospheric Model Experiments of Future Climate Change with an Explicit Representation of Sulfate Aerosol Scattering", *J. Meteorological Society Japan* 77: 1299-1307.
- Evenson, R. y Gollin, D. (2003). *Assessing the Impact of the Green Revolution, 1960-2000*. Science 300, 758-762.
- Fleischer, A.; Lichtman, I. y R. Mendelsohn. 2006a. "Climate Change, Irrigation, and Israeli Agriculture: Will Warming Be Harmful?". Informe Preliminar.
- Fleischer, A.; Shifrin, I. y Lichtman, I. 2006b. "Israeli Agriculture and Climate Change - The Role of Science, Technology and Extension". Informe Preliminar.
- Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2003. *Mapa Digital de los Suelos del Mundo: Versión 3.6* (Enero 2003), Roma, Italia.
- González, J. y Velasco, R. 2006. "Estudio del Impacto del Calentamiento Global en Chile: Incorporación del Clima a las Estrategias de Desarrollo Rural" Capítulo INIA Chile.
- Granados, J.; Baquero, I.; Gomez, M. R. y F. Gomez. 2006. "Efectos del Calentamiento Global en la Agricultura Colombiana: Evaluación del Impacto Económico bajo una aproximación Ricardiana".
- Houghton, J.; Ding, Y.; Griggs, D.; Noguera, M.; Van der Linden, P.; Dai, X.; Maskell, K. y Jonson, C. (eds.) 2001, *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press: Cambridge.
- Jativa, F. 2006. "Efecto del Calentamiento Global en la Agricultura Ecuatoriana: Evaluación del Impacto Económico sobre el Valor de la Tierra" Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Ecuador.
- Kelly, D.; Kolstad, C. y Mitchell, G. 2005. "Adjustment Costs From Environmental Change" *Journal Environmental Economics and Management* 50: 468-495.
- Kurukulasuriya, P. y Mendelsohn, R. 2006a. "Modeling Endogenous Irrigation: The Impact Of Climate Change On Farmers In Africa" World Bank Policy Research Series Working Paper (próximamente).
- Kurukulasuriya, P. y Mendelsohn, R. 2006b. "A Ricardian Analysis of The Impact of Climate Change on African Cropland" World Bank Policy Research Series Working Paper (próximamente).
- Lanfranco, B. y Lozanoff, J. 2006. "Climate and Rural Property in Uruguay: Incorporating Climate into Rural Development Strategies". Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Uruguay.
- Kurukulasuriya, P. y Mendelsohn, R. 2006c. "Crop Selection: Adapting to Climate Change in Africa" World Bank Policy Research Series Working Paper (próximamente).
- McCarthy, J., Canziani, O.; Leary, N.; Dokken, D. y White, K.(eds.) 2001, *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press: Cambridge.
- Mendelsohn, R.; Nordhaus, W. y Shaw, D. 1994. "The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis", *American Economic Review* 84, 753-771.
- Mendelsohn, R. y Nordhaus, W. 1996. "The Impact of Global Warming on Agriculture: Reply to Cline", *American Economic Review* 86, 1312-1315.
- Mendelsohn, R. y Nordhaus, W. 1999. "Reply to Quiggin and Horowitz", *American Economic Review* 89, 1046-1048.
- Mendelsohn, R. y Dinar, A. 1999. "Climate Change Impacts on Developing Country Agriculture" *World Bank Research Observer* 14: 277-293.
- Mendelsohn, R.; Dinar, A. y Sanghi, A. 2001. "The Effect of Development on the Climate Sensitivity of Agriculture", *Environment and Development Economics* 6: 85-101.
- Mendelsohn, R.; Basist, A.; Kogan, F. y P. Kurukulasuriya. 2006a. "Climate Analysis with Satellite Versus Weather Station Data" *Climatic Change* (próximamente).
- Mendelsohn, R. y Seo, N. 2006. "An Integrated Farm Model of Crops and Livestock: Modeling Latin American Agricultural Impacts and Adaptation to Climate Change". Informe Preliminar del Proyecto para América Latina.
- Pacheco, R. 2006. "Clima y Pobreza Rural: Incorporación del Clima a las Estrategias de Desarrollo Rural". Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Venezuela.
- Quiggin, J. y Horowitz, J. 1999. "The impact of global warming on agriculture: A Ricardian analysis: A comment." *American Economic Review* 89, 1044-1045.
- Reilly, J. et al. 1996. "Agriculture in a Changing Climate: Impacts and Adaptations" in IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), Watson, R.; Zinyowera, M.; Moss, R. and Dokken, D.(eds.) *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations, and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses* Cambridge University Press: Cambridge.
- Schenkler, W.; Hanemann, M., y Fisher, A.: 2005. "Will US Agriculture Really Benefit From Global Warming? Accounting for Irrigation in the Hedonic Approach" *American Economic Review* 95: 395-406
- Seo, Niggol S., Mendelsohn, R. y Munasinghe, M. 2005. "Climate Change and Agriculture in Sri Lanka: A Ricardian Valuation", *Environment and Development Economics* 10: 581-596.
- Seo, N. y Mendelsohn, R. 2006a. "The Impact of Climate Change on Livestock Management in Africa: A Structural Ricardian Analysis" World Bank Policy Research Series Working Paper (próximamente).
- Seo, N. y Mendelsohn, R. 2006b. "Climate Change Impacts on Animal Husbandry in Africa: A Ricardian Analysis" World Bank Policy Research Series Working Paper (próximamente).
- Seo, N. y Mendelsohn, R. 2006c. "A Ricardian Analysis of the Impact of Climate Change Impacts on Latin America Farms". Informe Preliminar del Proyecto para América Latina.
- Seo, N. y Mendelsohn, R. 2006d. "An Analysis of Crop Choice: Adapting to Climate Change in Latin American Farms". Informe Preliminar del Proyecto para América Latina.
- Seo, N. y Mendelsohn, R. 2006e. "An Analysis of Livestock Choice: Adapting to Climate Change in Latin American Farms". Informe Preliminar del proyecto para América Latina.
- Washington, W. et al., "Parallel Climate Model (PCM) 2000: Control and Transient Scenarios". *Climate Dynamics* 16: 755-774.
- World Development Indicators. 2004. World Bank. Washington D.C. <http://devdata.worldbank.org>
- World Resources Institute. 2005. World Resources. World Resources Institute. Washington D.C. 8. Model (PCM) 2000: Control and Transient Scenarios". *Climate Dynamics* 16: 755-774.
- World Development Indicators. 2004. World Bank. Washington D.C. <http://devdata.worldbank.org>
- World Resources Institute. 2005. World Resources. World Resources Institute. Washington D.C. 8.

8. GLOSSARY

AOGCM	- Atmosphere-Ocean General Circulation Model
CCC	- Canadian Climate Centre
CCSR	- Center for Climate Study and Research
CORPOICA	- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
EMBRAPA	- Brazilian Agricultural Reserch Corporation (Brazil)
INIA	- Institute of Agricultural Research (Chile)
INIA	- Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (Venezuela)
INIA	- National Agriculture Research Institute (Uruguay)
INIAP	- National Autonomous Institute for Agricultural Research (Ecuador)
INTA	- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Argentina)
IPCC	- Intergovernmental Panel on Climate Change
PCM	- Parallel Climate Model
PROCISUR	- Cooperative Program for Agri-food and Agroindustrial Technological Development of the Southern Cone
WMO	- World Meteorological Organization

Esta publicación
se terminó de imprimir en los
talleres gráficos de URBANA IMPRESOS,
en el mes de agosto de 2007.

Yí 1760 - Montevideo - Uruguay