

CIENCIAS NATURALES

Editor: Guillermo Bendaña García
guibendana@gmail.com

Ing. Agr. M.Sc., Consultor Independiente

Teléfono: 2265 2678 (casa-oficina)

Celulares: (505)8265 2524 (Movistar)

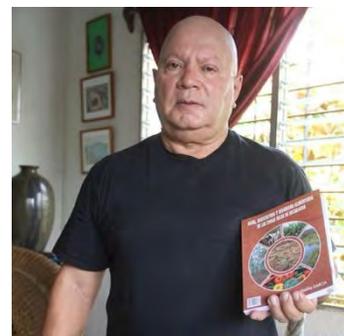
y (505) 8426 9186 (Claro)

Revisores:

Ing. M. Sc. Ramón Guevara Flores.

Tel. (505) 8701-8037

rsgflores@yahoo.com



Vamos a mantener la actual política editorial en la sección de Ciencias Naturales, que consiste en dar a conocer, desde una perspectiva académica, el mundo vegetal y animal de nuestro país (flora, fauna, flora etno-botánica útil), así como la anterior diversidad de temas abordados. El editor tiene algunos artículos escritos sobre esos temas que no he podido publicar en Nicaragua y conoce profesionales muy calificados que, como en el caso del editor, no tienen espacios para sus creaciones técnico-científicas.



Podemos incluir otros temas de mucho interés en el país como: Cambio Climático y sus afectaciones en la caficultura, en la ganadería nicaragüense, etc.; medidas de mitigación y adaptación al cambio climático; efectos de la deforestación en bosques de pinares o de latifoliadas sobre las características físicas y químicas de los suelos; medio ambiente: ej. los humedales de San Miguelito o los manglares del Estero Real y su importancia medio-ambiental; turismo rural:

ventajas, desventajas; métodos de medición de la afectación por sequía en el corredor seco; alternativas agrícolas y ganaderas en las zonas secas; seguridad alimentaria; los suelos de Nicaragua: degradación, recuperación.

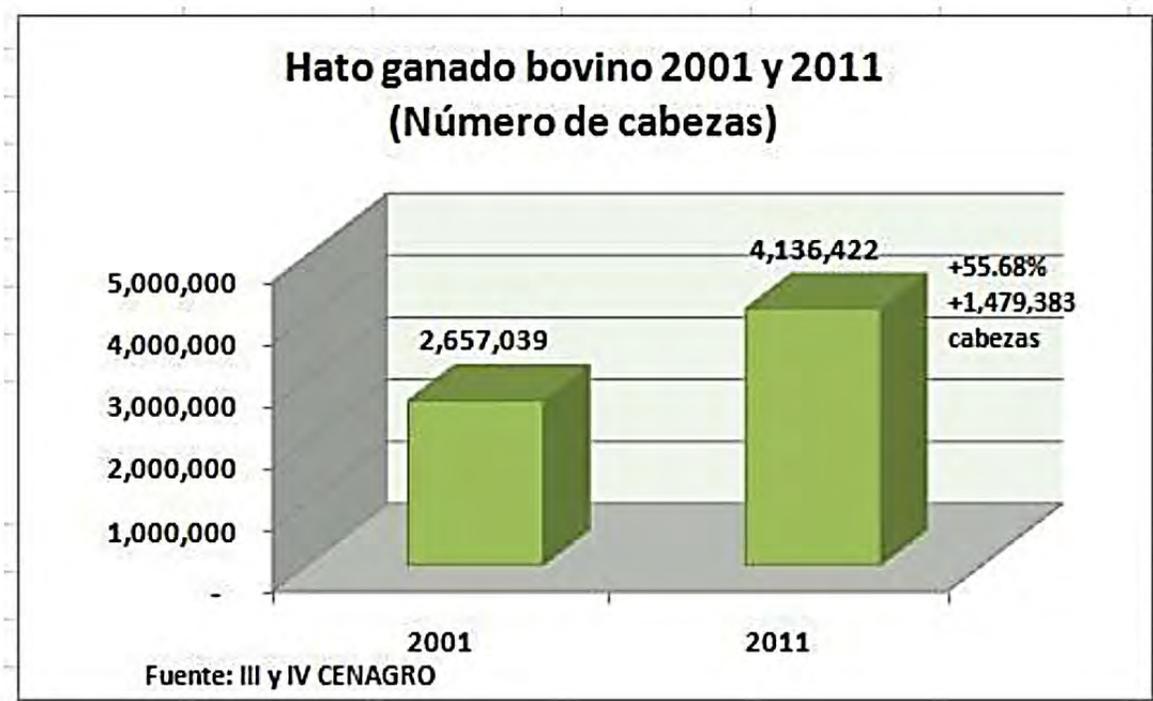
Los potenciales autores y colaboradores de la sección de Ciencias Naturales pueden enviar artículos inéditos, tesis o resúmenes de tesis; si en los trabajos se utilizan mapas, gráficos, dibujos, etc., estos deben ser claros, citando siempre las fuentes. ■

La Costa Caribe tiene el 38% del ganado bovino, y Chontales el 10%

Reproducido del Seminario de graduación Para Optar al título de Licenciatura en Economía Agrícola por Br. Javier Alberto Espinoza Baltodano Y Br. Eduald Bismarck Urbina Contreras, Tutor Msc. Irene Mariana Guevara Ordoñez, Managua, Nicaragua, Mayo, 2016, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua

La ganadería en Nicaragua se inicia en el año 1526, con la colonización española y quien introdujo los primeros ejemplares fue Pedrarias Dávila. Él fue quien puso la base de lo que hoy es una industria en Nicaragua, siendo de mucha importancia en la economía del país. Cabrales., L. A. (2001.).

En el transcurso de los años hasta la actualidad en el país se han venido realizando pastoreos excesivos, cultivos en laderas, tumba y quema de vegetación, llevando a la degradación de las tierras. Además, las inadecuadas prácticas ganaderas¹ han causado la mala calidad en los productos derivados del ganado siendo afectada la salud de las personas y la economía de los productores, provocando a su vez pérdidas significativas en la productividad de las fincas y daños ambientales a largo plazo. Ochoa, D. K. (2011).

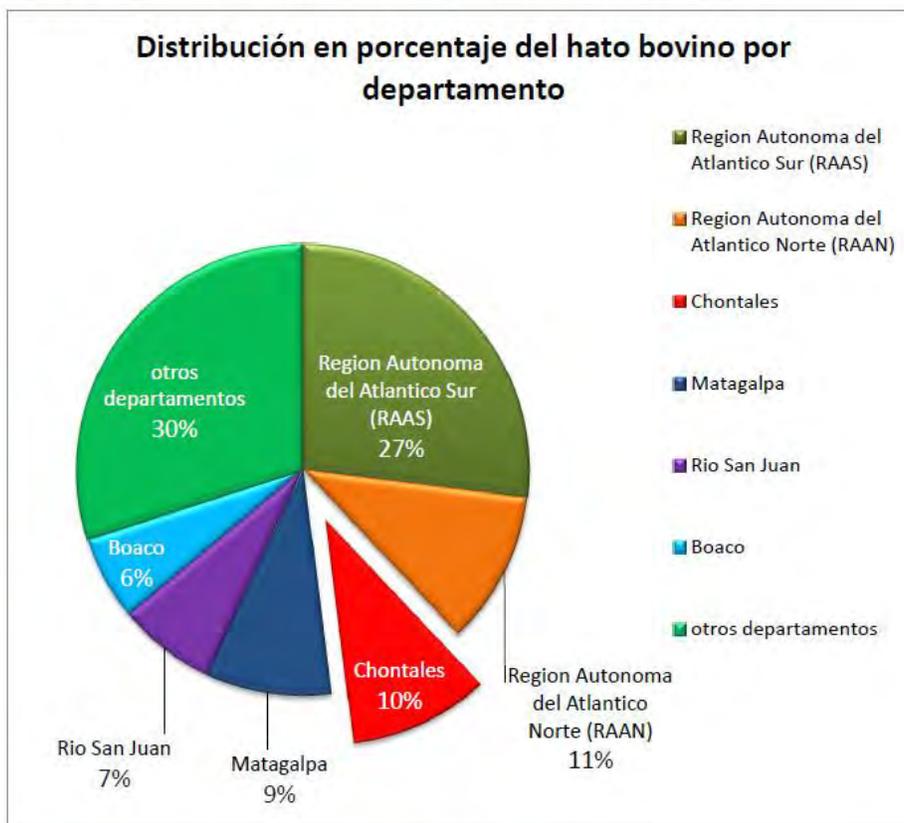


1 PRACTICAS GANADERAS: se refiere a todas las acciones involucradas en el eslabón primario de la ganadería bovina. El hato de ganado bovino en 2011 fue de 4,136,422 cabezas conforme el IV Censo Nacional Agropecuario (CENAGRO), registrando un incremento de 1, 479,383 cabezas (55.68%) con respecto a 2, 657,039 cabezas en 2001, registradas en el III CENAGRO ver grafica 1.

Gráfica: 1. Hato ganado bovino 2001 y 2011 (incremento de cabezas de ganado bovino)

Los principales departamentos productores de ganado son: la Región Autónoma del Atlántico Sur (RAAS) con el 27%, la Región Autónoma del Atlántico Norte (RAAN) con el 11%, Chontales con el 10%, Matagalpa con el 9%, Río San Juan con el 7% y Boaco con el 6%, absorbiendo estos departamentos el 70% del hato ganadero y en los demás departamentos se contabilizan el 30%. INIDE, M. (2011). (Ver Gráfico 2)

Grafica 2. Distribución en porcentaje del hato bovino por departamento.



Fuente: Elaboración propia con base a datos del INIDE, M. (2011).

El Servicio Técnico Agrícola de Nicaragua (STAN)

Saavedra Montano, D. y Briones, M.A.

Reproducido de Saavedra Montano, D. y Briones, M.A. 2019. Evolución del Sistema de Extensión Agrícola de Nicaragua, ¿qué debemos de aprender? FUNICA 2019.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento económico de Nicaragua ha estado sustentado en el desarrollo de la agricultura y la ganadería desde sus inicios. En toda la historia de Nicaragua se ha percibido que el sector agropecuario proveerá toda la riqueza del país para lograr el desarrollo económico y social esperado, eso ha sido la estrategia que hemos trazado y en la cual la inversión y el desarrollo se han orientado hacia el sector. La producción agropecuaria comenzó con el añil, cacao, ganadería y los granos básicos, posteriormente se incorporan otros cultivos de exportación como café, algodón, caña de azúcar, maní y otros.

El desarrollo de sector agropecuario depende de muchos factores tanto externos como internos, de servicios y de políticas públicas. En ese ámbito, los servicios de extensión juegan un papel importante en el desarrollo del sector, ya que ellos proveen el conocimiento, la aplicación del mismo y las habilidades para lograr maximizar la interacción recursos naturales, planta y las condiciones climáticas que permitan la efectividad y eficiencia de la producción.

La extensión agropecuaria, es un servicio que desde sus inicios ha sido otorgado como bien público, es muy importante para sustentar el conocimiento para aplicar correctamente las nuevas innovaciones tecnológicas, tomar decisiones en la producción, procesamiento y mercadeo de los bienes agropecuarios.

La extensión también tiene un carácter formativo, genera cambios en la actitud, en la conducta de las personas, lo cual, son procesos que requieren tiempo para lograr cambios sustantivos. Desde la perspectiva de los extensionistas, también requiere vocación, estímulos, sacrificios y sentimientos, ya que las condiciones en las cuales los extensionistas trabajan no son las idóneas, bajo condiciones adversas, lo cual requiere de un espíritu de colaboración, solidaridad y altruismo.

A veces cuando iniciamos nuestra formación académica en agricultura, orientamos nuestra aspiración hacia la extensión o la investigación. Para ello, es necesario que el futuro extensionista o los que trabajamos actualmente conozcamos su historia, de donde surgieron las corrientes que generaron el

desarrollo de la extensión, los cambios que a lo largo del tiempo ha experimentado, los aciertos, lecciones aprendidas y la visión de futuro hacia dónde va en función de los desafíos y oportunidades que el contexto cada día ofrece.

En ese sentido, en este primer esfuerzo se ha tratado de documentar parte de la historia, con un sentido crítico para integrar procesos de reflexión y retomar las experiencias para intervenciones futuras. Cómo un primer ensayo requiere de ajustes y cambios que descifren con mayor exactitud la evolución del sistema de extensión en Nicaragua.

II. LA CONFORMACIÓN DEL SERVICIO TÉCNICO AGRÍCOLA DE NICARAGUA (STAN)

La educación agraria en Nicaragua formalmente tuvo sus inicios el 25 de mayo de 1917 y con el posterior reglamento de la Escuela de Agricultura aprobado el 29 de junio del mismo año¹. El reglamento para ese tiempo admitía alumnos con cuatro grados de escolaridad y emitía el título de labrador científico. Los egresados de la escuela trabajaban en sus propiedades, ofrecían servicios puntuales sin establecer un sistema de extensión formal. En 1918, la Escuela de agricultura fue refundada por el presidente Emiliano Chamorro y trasladada a Chinandega.

El Servicio Técnico Agrícola de Nicaragua (STAN) inició el 12 de octubre del año 1942², mediante un memorándum de entendimiento firmado en México el 15 de julio de 1942 entre el Ministro del Trabajo y Agricultura de Nicaragua José María Zelaya y el Secretario de Agricultura de los Estados Unidos de América Claude Wickard. En el memorándum de entendimiento establecía la conformación de una estación experimental agropecuaria en Nicaragua, lo que dio origen el Centro Experimental el Recreo ubicado en el Rama y la subestación de Kukra Hill.

El acuerdo tenía como finalidad la realización de investigaciones y la transferencia de tecnologías para el desarrollo de cultivos como el caucho, plantas medicinales, plantas con propiedades insecticidas (rotenonas), oleaginosas (palma africana) y ganadería. Los resultados de investigación proveerían soporte

¹ Visitar [REGLAMENTO INTERIOR DE LA ESCUELA DE AGRICULTURA](#), Aprobado el 29 de Junio de 1917, Publicado en La Gaceta No. 157 del 18 de Julio de 1917

² [AGRICULTURAL EXPERIMENT STATION](#), Exchange of notes at Washington October 12 and 27, 1942, Entered into force October 27, 1942; operative from July 15, 1942 Superseded by agreement of January 25 and February 1, 1950; 56 Stat. 1810; Executive Agreement Series 286

técnico a una posible siembra masiva de caucho en el Atlántico del país, que tenía como finalidad satisfacer la demanda de materia prima para la segunda guerra mundial. Por otro lado, había interés por parte de los Estados Unidos en ampliar sus influencias en Latinoamérica, ya que en esta misma época también surgen las demás estaciones experimentales como la de El Salvador, Costa Rica, Ecuador y Brasil.



**Foto 1. Plantación De Teca Con Banano En El Recreo 1949
Auspiciada Por Stan**

Por otro lado, el café como uno de los rubros de exportación también desarrolló su sistema de investigación-extensión, tal fue el caso de la finca experimental de Masatepe dedicada a la investigación y transferencia de tecnología del cultivo.

En 1949 una misión de la FAO vino a Nicaragua a evaluar el sistema de extensión. Los servicios de extensión en la zona del pacifico lo realizaba el Ministerio de Agricultura, Ministerio de Economía, el Banco Nacional, ésta instituciones disponían de servicios a los productores de manera desordenada, sin una institucionalidad que articulara todos los esfuerzos; tanto de investigación como de transferencia. Por otro lado, las autoridades no visibilizaban a la extensión como un servicio que a corto y mediano plazo mejoraría la economía

del país, lo cual redundaría en retorno de la inversión (FAO, 1950)³. La misma misión propuso el establecimiento de un Instituto de Agricultura en la comarca San Cristóbal, la finalidad era concentrar un equipo de especialistas para apoyar los procesos de investigación y transferencia de tecnologías y dejar las otras facilidades existentes como representativas de cada zona las que incluían El Recreo, Escuela de Chinandega y Masatepe.

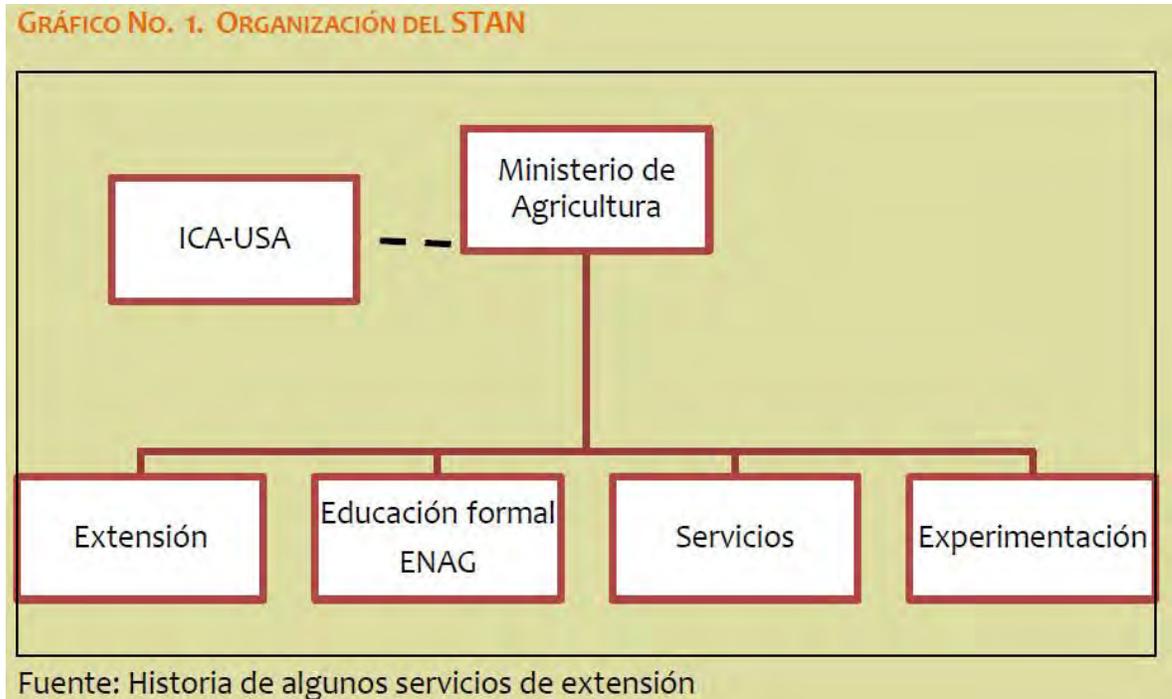
Estos primeros esfuerzos fueron el embrión del sistema de generación y transferencia de tecnologías en Nicaragua. Como no existía una institucionalidad, ni recurso humano dedicado a tiempo completo a la labor de extensión y la transferencia de tecnología generada por el Recreo y la finca en Masatepe, eran por panfleto, boletines técnicos, semillas, materiales de propagación asexual e informes anuales técnicos. En ese momento el 65% de la población era rural, aproximadamente existían 47,200 dueños de fincas y un 70% de analfabetismo.

En el proceso de formalizar institucionalmente el sistema de extensión, se realizaron algunos esfuerzos preliminares, en el año 1949 una comisión integrada por Paul G. Adams del servicio de extensión del estado de Oklahoma de los Estados Unidos de Norteamérica vino a Nicaragua a promover los servicios de extensión. Posteriormente, en el marco de la misión agrícola el punto cuatro del STAN dirigido se conformó oficialmente el servicio. El primer director de extensión fue Paul Adams y su asistente el Sr. Rodrigo Salmerón egresado de la Escuela de Agricultura de Chinandega. Una vez que finalizó la misión del Sr. Adams, el sistema de extensión fue asumido por el Sr. Salmerón, el cual fue el primer director nacional de extensión agropecuaria.

El modelo que se estableció inicialmente fue el land grant college, el cual administraba en un mismo sistema la investigación, asistencia técnica y la educación vocacional (IICA, 1957) bajo las directrices del Ministerio de Agricultura. Para la unión de los tres servicios, se trasladó de Chinandega a Managua la Escuela de Agricultura y Ganadería, del Rama una parte del Centro Experimental el Recreo, todas quedaron cerca del aeropuerto en la Calera (Roberts, 1958), (IICA, 1957), (Rosado, 1970). La finalidad era construir un sistema similar al de las Universidades Federales de Norteamérica. En el siguiente gráfico se muestra la estructura organizativa del STAN en el año 1953 (FAO, 1957).

³ [Report of the FAO Mission for Nicaragua](#)

La Escuela de Agricultura se conformó legalmente el 9 de octubre de 1951 mediante decreto presidencial aprobado por la cámara de diputados y senadores⁴. En el siguiente gráfico se muestra la organización del STAN en Nicaragua.



La conceptualización y operación de los servicios técnicos tienen su fundamento en las experiencias y aprendizajes del sistema establecido en los Estados Unidos en 1862 y fortalecido en 1914 llamado land grant college.

2.1. Características del modelo de extensión en el marco del STAN

El sistema de extensión en el marco del STAN focalizaba sus esfuerzos hacia la familia rural, para ello contaba con tres servicios de apoyo. El primero dirigido a las mujeres con el subprograma de mejoramiento del hogar, el segundo a los jóvenes y el tercero a los productores varones. Los servicios inician en un contexto donde el analfabetismo en el campo rondaba el 70% (FAO, 1950), limitado acceso a energía eléctrica en el área rural, poca infraestructura vial, poco personal con experiencia en extensión y otras, esta condición limitaba el acceso y disponibilidad del servicio.

⁴ [Report of the FAO Mission for NICARAGUA](#)

Mejoramiento del hogar, enfocaba sus esfuerzos en la mujer rural, las capacitaba para la mejora de la nutrición, preparación de los alimentos, producción en huertos de patios y manejo de las finanzas del hogar. Esta actividad estaba promovida por mujeres con formación de maestras que inicialmente fueron capacitadas en Estados Unidos para desempeñar las funciones establecidas, en el marco de los servicios de extensión.

El subprograma para jóvenes se conoció como el club 4S, orientado al fortalecimiento de capacidades de los jóvenes para la producción agropecuaria y servicios a la comunidad, la finalidad era generar cambios en la juventud para incidir en el desarrollo rural. De igual forma tenía la finalidad de desarrollar el relevo generacional en los productores.

Apoyo a los productores varones, era el servicio de asistencia técnica agropecuaria, dirigida a los varones, el cual proveía de nuevas innovaciones, capacitación y otros mecanismos de extensión, la finalidad era el fortalecimiento de capacidades en un proceso modular para la mejora de la productividad.

La extensión estaba a cargo de una división del Ministerio de Agricultura manejados por peritos agrónomos egresados de la Escuela de Chinandega, posteriormente con las primeras graduaciones de la Calera se seleccionó a los egresados para integrar el STAN. Las mejoradoras del hogar que era otra orientación de la extensión y que trabajaban directamente con las mujeres estaban a cargo de profesoras normalistas.

El STAN se organizó por agencias, en las cuales estaban los tres servicios manejados por peritos agrónomos para los aspectos productivos y maestras para el mejoramiento del hogar. En el fortalecimiento de capacidades y control de calidad de los servicios, se contaba con supervisores de campo que daban seguimiento al desempeño de la extensión. En un inicio las agencias se localizaron en los departamentos del pacífico de Nicaragua y posteriormente se ampliaron a otras zonas del país. En el año 1953 se contaba con 6 agencias, y ya para el año 1968 se había crecido a 20 agencias en zonas de potencial productivo.

El modelo de extensión era visita y capacitación con traslado de conocimiento de arriba hacia abajo con algunas acciones de retroalimentación en los procesos de planificación y evaluación. Con el tiempo, el modelo integró parcelas demostrativas y todo lo referente a divulgación técnica. Para lograr mayor cobertura, los servicios se promovían el capital social en los productores (as), lo cual facilitaba algunos procesos de extensión, sin embargo, en los primeros momentos de implementación del servicio la asistencia era puntual. El servicio siempre se entregó como bien público, el productor no entregaba pago,

sin embargo, en la medida que la extensión llegaba a nuevas zonas los productores ofrecían facilidades para que los extensionistas desarrollaran su trabajo. La población meta eran pequeños productores dedicados en su mayor parte a la seguridad alimentaria y algunos excedentes para el mercado local.

A pesar, que en el mismo espacio estaban los tres servicios, tanto educación y la investigación, la articulación con la extensión no estaba estructurado dentro de procesos recurrentes, ordenados, como parte de la política institucional.

Aunque el capital social en el sector rural no estaba desarrollado, los agentes de extensión realizaban capacitaciones grupales, demostración práctica, días de campo y publicación (boletines, panfletos, circulares y hojas divulgativas). Muchas de estas actividades fueron orientadas a la mejora de la adopción de las tecnologías de la revolución verde, es importante mencionar que el auge algodonero y el surgimiento de nuevas plagas incentivo la orientación del servicio de extensión.

De acuerdo con los resultados del estudio de impacto de la extensión en 1970 se analizaron la adopción de tres prácticas que eran la fertilización, uso de semilla mejorada y el combate de plagas y enfermedades. En el caso del maíz, el 82% utilizaba fertilizantes y el 52% semilla mejorada, en arroz el 95% usaba fertilizantes, productos para el combate de plagas y un 82% variedades mejoradas, en frijol el uso de fertilizantes el 79 % y variedades mejoradas el 29% (Rosado, 1970).

A la par del STAN, surgieron innovaciones incrementales motivadas por la mejora de la productividad y acelerar la incorporación de innovaciones tecnológicas. Estos nuevos modelos nacieron con el auge exportador y la revolución verde. En ese contexto se conforma el modelo del Banco Nacional de Nicaragua, el cual era orientado a productores con rubros dirigidos a la exportación como el algodón, ganadería, café y granos básicos.

2.2.Experiencia de Latinoconsult en Ganadería 1964 al 1972

A la par de la oferta del crédito, el banco disponía de servicios de asistencia técnica que se proveían directamente de la institución y otros que eran entregados por empresas consultoras, tal es el caso del modelo de la ganadería con la empresa de Argentina Latinoconsult.

La empresa vino a Nicaragua en el año iniciando su actividad con un diagnóstico de la ganadería en el país. En el caso de la asistencia técnica en ganadería la proveía el Ministerio de Agricultura, Banco Central, Banco Nacional, Instituto de Fomento, Instituto Agrario, y el INCEI (Instituto Nacional de Comercio Exterior e Interior), lo importante es que había superposición del servicio, cada una de las instituciones llegaba al productor lo cual ocasionaba contradicciones y

confusión a los productores. Un modelo interesante de inversión era el arriendo, que consistía en ceder 30 vaquillas y toros sementales a productores con la finalidad de capitalizar y distribuir la ganancia entre la institución y el productor.

Para la organización del servicio de asistencia técnica la empresa contaba con agrónomos, veterinarios, economistas y algo importante los capataces de campo, los cuales eran personas experimentadas con conocimientos prácticos que apoyaban el proceso de asistencia técnica. Adicionalmente, la operación conjugaba dos actores, el operador que era el responsable directo ante el productor y el equipo de especialistas que jugaban un rol de soporte técnico y apoyo al operador en la planificación de cada finca.

Para la difusión de las tecnologías se utilizaba parcelas demostrativas y la radio para difundir los mensajes, de esta manera, se fue promoviendo las nuevas innovaciones. A la par los servicios lo dividieron en fincas asesoradas permanentemente, de forma periódica y esporádica, el nivel de interés estaba dado en parte por el crédito y las posibilidades de integrarlos al programa. En los productores que recibían el servicio permanente tenían la obligación de integrar todas las recomendaciones promovidas por los extensionistas, había un compromiso de doble vía entre ellos.

Una primera tarea de los extensionistas era un diagnóstico técnico y económico de la finca, definir acciones y replantear la producción a una sola vía leche o carne. Entre las innovaciones promovidas estaban que promovió la inclusión de nuevas razas, cruces, alimentación, facilidades, manejo zoonosanitario y tecnologías para el manejo de la ganadería.

El programa mostró resultados muy importantes entre ellos fue lograr la especialización de la producción orientada a leche o carne, llegando al especializar al 93% de las fincas atendidas, aumento de la superficie de pastos mejorados, aumento de la población ganadera, carga animal por área, la producción de leche llegó a 2,000 litros/vaca/año permitiendo la duplicación de la producción láctea y otras.

Entre las conclusiones después de 7 años de implementación del programa están:

- El bajo nivel técnico de los productores limitó grandemente la velocidad de integración de las innovaciones en las fincas
- El equipo multidisciplinario del equipo aprovechó las capacidades y conocimiento para ofrecer un servicio de calidad

- El modelo de servicios solamente es aplicado en fincas con alta rentabilidad por su alto costo del servicio
- La integración de asistencia técnica y el crédito garantizó el uso eficiente y la aplicación de los recursos lo cual aseguró su destino

El programa ganadero de Latinoconsult ofreció buenos resultados, sin embargo, la incorporación de los servicios financieros orientados a rubros rentables generaba exclusión del servicio, lo cual se concentraba en medianos a grandes ganaderos que estaban en áreas de mayor potencial productivo y capacidad de inversión relegando a los pequeños y medianos productores.

Otro esfuerzo que articuló los servicios de extensión y el crédito fue el Instituto Nicaragüense de Bienestar Campesino (INBIERNO), institución creada como resultado de análisis realizado por la UNASEC. La finalidad de la institución era mejorar las condiciones de vida de las familias rurales mediante el otorgamiento de crédito, asistencia técnica, facilitar los procesos de comercialización y la organización. Esta innovación se asemejaba al sistema del Banco Nacional, con la salvedad que el servicio era un bien público y dirigido a pequeños productores.

A inicios de 1976 se conforma el INTA como una organización que depende del Ministerio de Agricultura dedicada a la generación y transferencia de tecnología. La nueva institucionalidad nace con el apoyo de la cooperación y del BID absorbiendo las estaciones experimentales y las agencias de extensión en el país. Un elemento importante de este cambio fue que mantuvo las acciones originales establecidas en el STAN donde articulaba la extensión, educación y asistencia técnica.

A la par, surgieron modelos de servicios privados como el Plan Piloto de Asistencia Técnica Algodonera (PPATA), el cual consistía en que el productor pagaba al técnico con el préstamo del Banco. Esta modalidad funcionaba mediante bonos de asistencia técnica manejados por el productor el cual se entregaba al técnico a satisfacción de la calidad y satisfacción del servicio entregado. Una vez firmado el bono por el productor el técnico lo hacía efectivo en el banco. Este modelo desarrollado para el algodón controlaba la calidad del servicio y el desempeño del técnico al momento de los resultados obtenidos al final de la cosecha.

2.3. Algunas consideraciones sobre la extensión en el período

- El sistema de extensión y transferencia de tecnología en Nicaragua hasta el año 1979, sufrió transformaciones institucionales; entre ellas están la conformación del STAN y la integración con los servicios de investigación y

educación con la ENAG, la segunda transformación fue la conformación de INTA.

- La integración de los hombres, jóvenes y mujeres en el servicio con un enfoque de familia fue en ese período innovador, este enfoque con el tiempo se fue perdiendo; lo cual es un tema actual que tiene que ver con la inclusión e integración social.
 - En este período se lograron avances en la integración del crédito y los servicios de extensión, entre estas innovaciones estuvieron INBIERNO, el Programa del Banco Central y el Plan Piloto para el Algodón.
 - Un importante avance fue el establecimiento de los servicios de extensión privada, mediante recuperación de costos asociados al crédito tanto en ganadería como en cultivos de exportación. Sin embargo, la experiencia de Latinoconsult, aunque fue exitosa demostró exclusión en los ganaderos pequeños y algunos medianos
 - La articulación de la producción primaria con la comercialización fue otro de los aspectos innovadores desarrollados en este período, la integración del INCEI⁵ en este proceso supuso una garantía de la comercialización de la producción y de la inversión en los procesos productivos por parte de los productores.
 - La visión productivista y la integración de la revolución verde, aunque tuvo sus aciertos, probablemente no era coherente con la conservación del ambiente y la biodiversidad.
 - El modelo de capacitación y visita con un enfoque de arriba hacia abajo limitó la participación de los beneficiarios en los procesos; tanto desde la planificación de sus demandas, el seguimiento y la evaluación del servicio.
 - El modelo asistencia técnica-servicios financieros tuvo sus resultados, el mayor problema fue en su sostenibilidad ambiental, la cual, en aras de la rentabilidad, la productividad y la reducción de riesgos desarrolló cartas tecnológicas que involucraban uso recurrente
- 5 Instituto de comercio interior de plaguicidas sin considerar los impactos ambientales y efectos secundarios a la salud humana, tal fue el caso del algodón y banano.

⁵ Instituto de comercio interior.

- El problema de muchos actores ofreciendo el mismo servicio con limitada coordinación evidencia la poca eficiencia y efectividad del mismo, esta situación ha sido recurrente en los servicios de apoyo técnico a los productores **en Nicaragua. ■**

Tendencias climáticas históricas, deforestación y rendimiento de maíz y frijol en Nicaragua

Sharon Gourdjia et al.

LOS AUTORES Y SUS FILIACIONES SON

Sharon Gourdjia* a, Peter Läderach b, Armando Martínez Valle b, Carlos Zelaya Martínez b, David B. Lobellc, d

a Centro Internacional de Agricultura Tropical, (CIAT), Cali, Colombia

b Centro Internacional de Agricultura Tropical, (CIAT), Managua, Nicaragua

c Center on Food Security & the Environment, Stanford University, Stanford, CA 94305, Estados Unidos

d Departamento de Ciencias Ambientales del Sistema Terrestre, Universidad de Stanford, Stanford, CA 94305, Estados Unidos

* Autor para correspondencia en: Centro Internacional de Agricultura Tropical, Km 17, Recta Cali-Palmira Cali, Colombia. Tel.: +57 2 4450100 x3680. Dirección de correo electrónico: s.m.gourdji@cgiar.org (S. Gourdjia).

© 2014 Los Autores. Publicado por Elsevier B.V. Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia CC BY-NC-ND

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>)

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 14 de abril de 2014

Recibido en forma revisada el 9 de septiembre de 2014

Aceptado el 1 de octubre de 2014

On-line el 14 de noviembre de 2014

RESUMEN

Nicaragua ya ha experimentado un cambio climático sustancial, en parte debido a la pérdida de la mitad de su cubierta forestal en el último medio siglo.

En este estudio, evaluamos hasta qué punto las tendencias climáticas históricas han contribuido al estancamiento de los rendimientos del maíz (*Zea mays*) y el frijol (*Phaseolus vulgaris*), los dos principales cultivos básicos del país. Primero analizamos 40 años de datos meteorológicos históricos en Nicaragua para estimar tendencias y evaluar hasta qué punto estas tendencias se correlacionan con los patrones de deforestación espacial. Luego, creamos un modelo de regresión que vincula los rendimientos de maíz y frijol a nivel de departamento con las condiciones climáticas estacionales, y usamos el modelo para estimar el impacto de las tendencias climáticas históricas en los rendimientos. Se realizan regresiones para los rendimientos tanto en el área cosechada como en la sembrada, y esta última representa el efecto de las pérdidas totales de la cosecha. Los resultados confirman fuertes tendencias de calentamiento en todo el país, con temperaturas diurnas en áreas deforestadas que aumentan a más del doble de la tasa de los promedios globales en los trópicos. También se observan disminuciones en la frecuencia de las lluvias en casi todas partes, junto con un final más temprano de la temporada de lluvias. Los resultados del modelo de regresión muestran, como se esperaba, que el frijol rojo es un cultivo muy sensible a la temperatura y que el maíz tiene más limitaciones de agua que el frijol debido a su mayor duración estacional. Las temperaturas más cálidas y las lluvias menos frecuentes han provocado pérdidas relacionadas con la sequía para ambos cultivos en las principales zonas de producción comercial, mientras que las lluvias más intensas en la siembra y la cosecha también han afectado negativamente los rendimientos, especialmente en el frijol. Además, la reducción de las precipitaciones en diciembre y enero ha afectado negativamente la producción de frijol en el apante, o estación seca, de importancia comercial, en el lado atlántico húmedo del país. En estas áreas, sin embargo, sigue habiendo una incertidumbre sustancial del modelo para el maíz, con una formulación de modelo alternativo que muestra beneficios sustanciales de condiciones más secas y soleadas. A escala nacional anual, los frijoles se han visto más afectados por las tendencias climáticas desde 1970 que el maíz, con una disminución del rendimiento de $\sim 5\%$ por década en el área cosechada de frijol y $\sim 4\%$ de maíz, y disminuciones de rendimiento de $\sim 12\%$ y $\sim 7\%$, respectivamente en el área sembrada (con el modelo alternativo mostrando ganancias para el maíz). Las respuestas de adaptación climática incluyen los esfuerzos del gobierno para limitar las exportaciones de frijoles para controlar los precios al consumidor, un cambio de frijoles rojos a negros para las ventas comerciales y la exportación, y la expansión y migración del área de frijoles para mantener los niveles de producción.

Palabras clave: Cambio climático, Rendimientos agrícolas, Centroamérica, Modelos estadísticos de clima agrícola

1. INTRODUCCIÓN

A pesar de los avances tecnológicos en todo el mundo, la producción agrícola sigue dependiendo en gran medida del clima. Además del riesgo de pérdidas de cosechas por la variabilidad del clima de un año a otro y los eventos extremos, un clima no estacionario con patrones climáticos que cambian lentamente (es decir, el cambio climático) requiere una planificación proactiva, dado que es probable que cambie la idoneidad a largo plazo de los cultivos en determinados lugares. Sin embargo, las proyecciones futuras de los impactos del cambio climático en la agricultura tienen múltiples niveles de incertidumbre que complican los esfuerzos de planificación proactiva (Challinor et al., 2009; Hoffmann y Rath, 2013; Koehler et al., 2013; Vermeulen et al., 2013). Un enfoque que puede ayudar a comprender mejor los mecanismos de los impactos del cambio climático en la agricultura es mirar hacia atrás en el tiempo para una determinada región y conjunto de cultivos, a fin de comprender cómo las tendencias climáticas ya han impactado los rendimientos hasta la fecha y cómo los agricultores han comenzado para enfrentar estos impactos.

Este estudio se centra en la producción agrícola en Nicaragua, un país tropical de América Central que depende principalmente de la agricultura de secano.

Fig. 1. Rendimientos de maíz y frijol en Nicaragua desde 1960 hasta el presente, en comparación con los promedios mundiales.

Fuente: FAOSTAT.

producción en pequeñas fincas para cultivar dos cultivos básicos clave: maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*). El maíz y el frijol se cultivan tanto para el consumo doméstico como para la venta comercial, y aproximadamente una quinta parte de la producción nacional de frijol se exporta a países como El Salvador, Venezuela y Estados Unidos (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2012).

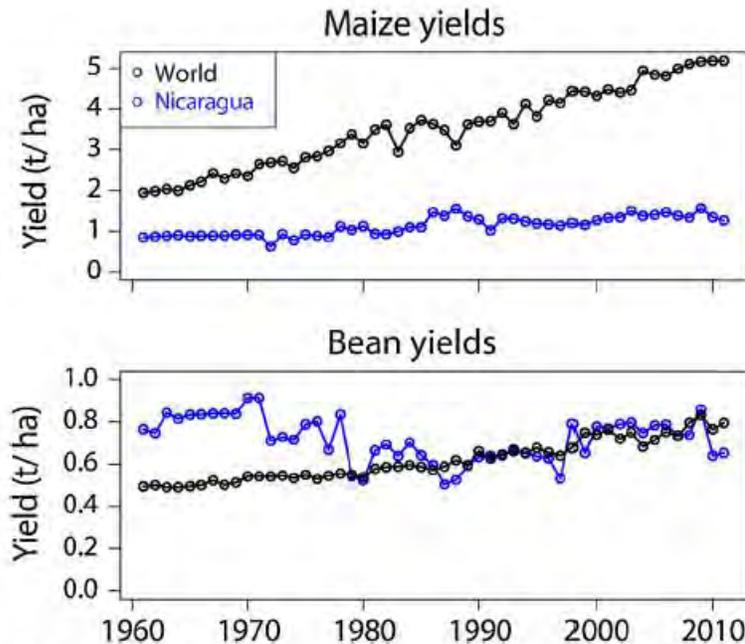


Fig. 1. Maize and bean yields in Nicaragua from 1960 to the present, as compared to world averages.
Source: FAOSTAT.

Los rendimientos de maíz y frijol nicaragüenses son bajos en comparación con los promedios mundiales, y el crecimiento del rendimiento también ha estado relativamente estancado en el último medio siglo, especialmente para el frijol (Fig. 1). Los rendimientos del maíz casi se han duplicado desde 1960, aunque todavía eran menos de un tercio de los promedios mundiales en la década de 2000. En contraste, los rendimientos del frijol, aunque se acercan a los promedios mundiales en los últimos años, ¡en realidad han caído desde la década de 1960! El estancamiento del rendimiento en Nicaragua tiene una serie de causas que incluyen la inestabilidad política en el último medio siglo (guerras y embargos comerciales), desastres naturales (tanto terremotos como eventos climáticos extremos como huracanes y sequías) (Kinzer, 2007; LeoGrande, 1996; Pielke et al., 2003), disminución de la fertilidad del suelo (Stoorvogel y Smaling, 1998) y acceso limitado a semillas e insumos mejorados (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2012). Hoy, entre un tercio y la mitad de los agricultores nicaragüenses utilizan fertilizantes químicos (CENAGRO, 2010), especialmente para la producción de maíz. Sin embargo, el uso de insumos sigue siendo bajo, la mecanización es casi inexistente y menos del 3% de las fincas del país están equipadas para riego (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2012). Para hacer frente al estancamiento de los rendimientos, la expansión agresiva de la frontera agrícola hacia la Costa Atlántica

ha ayudado a incrementar la producción, con una pérdida de más de un tercio de la cubierta forestal nicaragüense desde 1980 (Redo et al., 2012, Fig.2).

Los estudios observacionales han demostrado un cambio climático en curso en Centroamérica en el último medio siglo, principalmente calentamiento, precipitaciones más intensas y menos frecuentes (Aguilar et al., 2005) y cambios en el momento de la temporada de lluvias (Ray, 2013), relacionados con tanto el calentamiento global inducido por los gases de efecto invernadero como la deforestación regional. En los sistemas agrícolas de secano, los agricultores siempre se han enfrentado a riesgos de producción debido a la variabilidad interanual de las precipitaciones, tanto en volumen total como en tiempo, frecuencia e intensidad. Sin embargo, las lluvias cada vez más erráticas e impredecibles al comienzo de la temporada están afectando la capacidad de los agricultores para determinar las fechas adecuadas de siembra y gestionar el riesgo (Eakin, 1999; Simelton et al., 2013). Además, a medida que avanza el calentamiento y los episodios de lluvia se vuelven menos frecuentes, las pérdidas por evaporación aumentan y la humedad del suelo disminuye, lo que es consistente con informes anecdóticos de aumento de la sequía por parte de muchos agricultores nicaragüenses.

Los rendimientos tanto del maíz como del frijol son sensibles a la temperatura (Hatfield et al., 2011) debido a los efectos del calor en la duración del cultivo, la transpiración y la floración y la formación de granos. Se cree que las altas temperaturas nocturnas son especialmente dañinas para el frijol (Konsens et al., 1991), debido a sus efectos negativos en la producción de vainas. Además, en comparación con el maíz, el frijol tiene una temperatura óptima más baja (Hatfield et al., 2011; Prasad et al., 2002) y, por lo tanto, ya se cultiva a grandes altitudes y temperaturas más frías dentro de Nicaragua (Cuadro 1). En particular, se espera que un mayor calentamiento reduzca sustancialmente la idoneidad para el cultivo de frijoles en Centroamérica sin una adaptación agresiva y esfuerzos de mejoramiento de cultivos para mejorar la tolerancia al calor y la sequía en el germoplasma (Schmidt et al., 2012). En contraste, el maíz, con una temperatura óptima más alta, se cultiva en casi todas las tierras cultivables de Nicaragua. Sin embargo, algunos estudios también han sugerido grandes impactos proyectados del cambio climático en el maíz, principalmente en condiciones de secano (Jones y Thornton, 2003; Lobell et al., 2011a) y especialmente con baja fertilidad del suelo (Schmidt et al., 2012), como es típico en Nicaragua.

Con el fin de comprender mejor el estancamiento del rendimiento y ayudar a orientar los esfuerzos futuros de adaptación climática para la producción de maíz y frijol en Nicaragua, este estudio mira retrospectivamente para plantear la

pregunta: ¿en qué medida las tendencias climáticas a largo plazo de las últimas décadas han retrasado el crecimiento del rendimiento de maíz y frijol? en Nicaragua? Si bien reconoce que los rendimientos se ven afectados por muchos otros factores no climáticos, este estudio ayuda a evaluar hasta qué punto las tendencias climáticas están haciendo hincapié en los esfuerzos para intensificar la producción y aumentar los rendimientos. Este estudio es complementario al estudio prospectivo Tortillas on the Roaster (Schmidt et al., 2012) que analizó los impactos futuros del cambio climático en la producción de maíz y frijol en cuatro países centroamericanos. Sin embargo, este análisis retrospectivo representa el primer intento en la literatura (que conocemos) de identificar el impacto histórico de las tendencias climáticas en la producción de cultivos básicos en América Central, utilizando métodos similares a los de otros estudios que se han centrado en Estados Unidos, China, y el mundo (Lobell et al., 2011a; Maltais-Landry y Lobell, 2012; Tao et al., 2012).

El objetivo final de este estudio es evaluar el impacto histórico de las tendencias climáticas en los rendimientos de maíz y frijol en Nicaragua. Por lo tanto, realizamos tres análisis secuenciales para llegar a este resultado. Primero analizamos un conjunto de datos meteorológicos históricos de estaciones meteorológicas en todo el país para evaluar las tendencias desde 1970 en varias variables climáticas estacionales. En segundo lugar, creamos un modelo estadístico que vincula los rendimientos de maíz y frijol a nivel de departamento en la década de 2000 con datos meteorológicos reconstruidos en las principales áreas de cultivo para cada cultivo. Después de interpretar los coeficientes estimados del modelo, finalmente usamos el modelo para retroceder el impacto de las tendencias climáticas históricas en los rendimientos, lo que nos permite identificar los departamentos y las temporadas de cultivo donde los agricultores probablemente han experimentado el mayor estrés climático en la producción. Este trabajo sienta las bases para el trabajo futuro destinado a evaluar las medidas de adaptación en curso o futuras que podrían adoptar los agricultores de estas regiones.

2. Métodos y fuentes de datos

2.1. Zonas de cultivo de maíz y frijol y temporadas de cultivo

Nicaragua se puede dividir en tres zonas climáticas principales: la costa del Pacífico cálida y seca, las áreas de cultivo secas más frías en el altiplano central y el lado atlántico cálido, húmedo, lluvioso y mayormente boscoso (Figuras 2 y 3). Las temporadas de cultivo en el Pacífico y las zonas centrales suelen seguir las lluvias estacionales de mayo a julio (denominadas primera) y de septiembre a noviembre (o postrera), mientras que, en la mitad oriental del país, más lluviosa, también se realiza una tercera cosecha, cultivado en la estación seca de diciembre a marzo (el apante; Fig. 3).

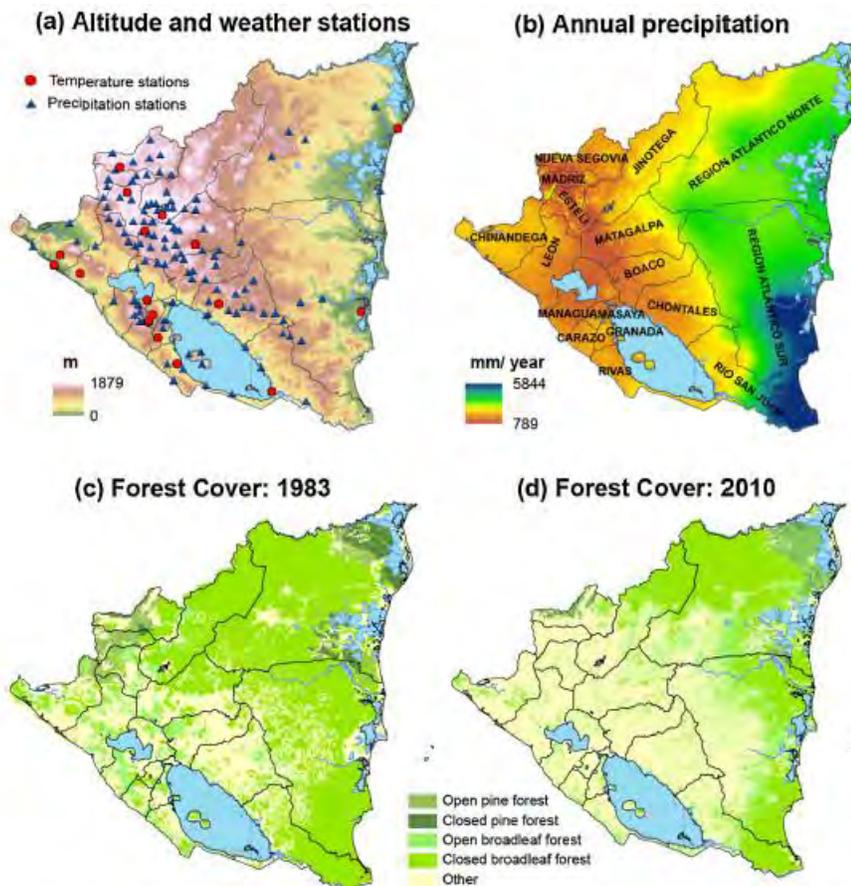


Fig. 2. (a) Altitud (m) con ubicaciones de estaciones meteorológicas de temperatura y precipitación. (b) Precipitación anual (mm/año). (c) Cobertura forestal en 1983. (d) Cobertura forestal en 2010. (Fuente: MARENA para cobertura forestal, WorldClim para precipitación). Departamental boundaries are included on all maps, with names in (b).

Fig. 2. (a) Altitud (m) con ubicaciones de estaciones meteorológicas de temperatura y precipitación. (b) Precipitación anual (mm / año). (c) Cobertura forestal en 1983. (d) Cobertura forestal en 2010. (Fuente: MARENA para cobertura forestal, WorldClim para precipitación). Los límites departamentales se incluyen en todos los mapas, con nombres en (b).

La temporada de cultivo principal del maíz es la primera, o la primera temporada de lluvias, para la cual la siembra se produce en casi los 17 departamentos del país (Fig. 4). La producción de frijol es más alta en la temporada apante o seca, seguida por la postrera o segunda temporada lluviosa, con áreas de cultivo distintas para cada temporada (Cuadro 1, Fig. 4). Las áreas de cultivo de frijol en la primera y postrera se concentran en la sierra central norte y la producción de apante para ambos cultivos se lleva a cabo en la mitad

oriental más húmeda del país. La siembra se produce en las tres estaciones sólo en un número limitado de departamentos, especialmente para el frijol (Fig. 4).

2.2. Formulación del modelo de regresión

Creamos modelos de regresión que emparejan los rendimientos departamentales con los datos climáticos promedio en las áreas de cultivo utilizando la formulación del modelo definida aquí:

$$\log \text{Rendimiento} = \text{Temperatura promedio} + \text{Rango de temperatura diurna} + \text{Precipitación de siembra} + \text{Precipitación estacional} + \text{Precipitación estacional}^2 + \text{Precipitación de cosecha} + \text{Días secos} + \text{Año} + \text{Departamento} + \epsilon$$

El uso del rendimiento logarítmico como variable de respuesta permite interpretar los resultados del modelo como cambios en el rendimiento en relación con los valores medios.

La estimación de los cambios de rendimiento relativo tiene sentido cuando los rendimientos promedio varían sustancialmente entre departamentos, como es el caso aquí (Figura S1). También creamos modelos de regresión separados con las dos definiciones de rendimiento, dividiendo la producción entre la primera, el área cosechada y la segunda, el área sembrada.

y_h = área cosechada

y_s = área sembrada

El área cosechada puede ser sustancialmente menor que el área sembrada en cualquier temporada, debido a pérdidas de cultivos por plagas, enfermedades o condiciones climáticas extremas. Por tanto, los dos tipos de rendimientos calculados aquí excluyen e incluyen alternativamente los efectos de estas pérdidas. También ejecutamos modelos separados para maíz y frijol, asumiendo que estos dos cultivos tienen diferencias estructurales en su respuesta al clima, lo que resulta en un total de cuatro modelos para una formulación dada.

Las variables climáticas incluidas en los modelos se definen para todos los departamentos utilizando las fechas de siembra y cosecha en la Tabla 1. Aquí asumimos calendarios de cultivo fijos, aunque en realidad, las fechas típicas de siembra varían según la región del país, y las fechas reales de siembra varían entre anualmente con la aparición de las lluvias. El uso de calendarios de cultivos fijos probablemente contribuya con la incertidumbre a los resultados de la regresión, particularmente para las variables de precipitación.

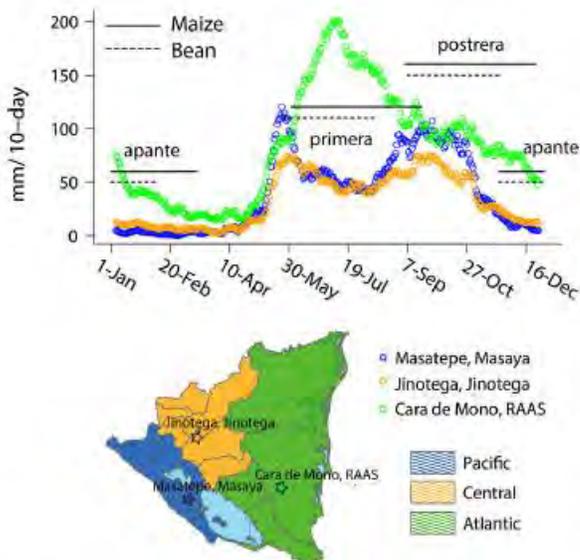


Fig. 3. Typical seasonal precipitation for weather stations in the three climatic zones of Nicaragua (Masatepe, Masaya in the Pacific, Jinotega, Jinotega in the Central zone, and Cara de Mono, RAAS in the Atlantic zone). Daily precipitation values represent 10-day moving sums, averaged from 1970 to 2007.

Fig. 3. Precipitación estacional típica para estaciones meteorológicas en las tres zonas climáticas de Nicaragua (Masatepe, Masaya en el Pacífico, Jinotega, Jinotega en la zona Central y Cara de Mono, RAAS en la zona del Atlántico). Los valores diarios de precipitación representan sumas móviles de 10 días, promediadas entre 1970 y 2007.

Las dos variables de temperatura, la temperatura promedio diaria y el rango de temperatura diurna (DTR, es decir, temperatura máxima diaria - temperatura mínima diaria) se calculan como promedios estacionales (en $^{\circ}\text{C}$) desde la siembra hasta la cosecha. También creamos variables de temperatura separadas por etapas de crecimiento, como en estudios anteriores (Gourdji et al., 2013). Sin embargo, incluimos esto como una prueba de sensibilidad en el material complementario dado que es probable que estos resultados sean menos confiables debido a la incertidumbre en la estimación del momento de las etapas de crecimiento. Además, la mayor parte de la variabilidad de temperatura en los trópicos se debe a gradientes altitudinales, con poca variabilidad temporal a lo largo del año.

Para las variables de precipitación (en mm), dividimos la temporada en tres períodos de tiempo, incluidas algunas semanas antes de la siembra y después de la cosecha. Para el primer y tercer período de tiempo, calculamos la precipitación de siembra y cosecha sumando las precipitaciones de 2 semanas antes y después

de las fechas de siembra y cosecha. Para el período intermedio, incluimos la precipitación acumulada desde 2 semanas después de la siembra hasta el 80% de la duración del cultivo después de la siembra (justo antes de la madurez fisiológica, Cuadro 1), a lo que nos referimos como precipitación estacional. Este es el momento en que una cantidad suficiente de lluvia es especialmente importante para el establecimiento y el crecimiento de los cultivos (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria, 2012). Para la precipitación estacional, también incluimos un término cuadrático para dar cuenta de las relaciones no lineales y la respuesta diferencial a los cambios de precipitación en las regiones secas vs. húmedas del país. Dado que no solo es importante el volumen total de precipitación, sino también su momento e intensidad (Barron et al., 2003; Biazin et al., 2012), definimos una variable con el número total de días secos desde la siembra hasta la cosecha, ya que esperamos que las rachas prolongadas de sequía se asocien con descensos y pérdidas de rendimiento relacionados con la sequía.

Además de las variables meteorológicas, también incluimos un período de año y efectos fijos por departamento en los modelos estadísticos. El término anual intenta capturar el progreso tecnológico en los rendimientos durante este corto período (como en Lobell et al., 2011b), mientras que los efectos fijos departamentales representan promedios estimados de suelos relativamente estáticos y diferencias de manejo que varían espacialmente en todo el país.

También utilizamos una formulación de modelo alternativo con términos de interacción como prueba de sensibilidad, dado que todas las variables meteorológicas están correlacionadas y tienen vínculos mecánicos entre ellas, como

Table 1

Sowing and harvest dates, and length of crop cycle, for maize and bean as specified in the statistical models for the three growing seasons. Also shown are national yield (on sown area), production, altitude and seasonal precipitation and temperature averaged across cultivation areas from 2000 to 2007 for each crop and season, with inter-annual standard deviations in parentheses.

	Sowing date	Harvest date	Crop duration (days)	Yield (t/ha)	Production (000st)	Altitude (m)	Seasonal precipitation (mm)	Seasonal temperature (°C)
Maize								
Primera	Jun. 1	Sep. 19	110	1.36 (0.15)	296(52)	464	592(54)	25.7 (0.2)
Postrera	Sep. 5	Dec. 24	110	1.66 (0.24)	165(37)	370	452(105)	25.5 (0.3)
Apante	Nov. 23	Mar. 13	110	0.87 (0.07)	63(10)	203	240(65)	25.4(0.4)
Bean								
Primera	May 25	Aug. 10	77	0.62 (0.12)	36(8)	644	287(74)	25.0 (0.2)
Postrera	Sep. 7	Nov. 23	77	0.67 (0.12)	57(14)	632	326(98)	24.6 (0.4)
Apante	Nov. 23	Feb. 8	77	0.86 (0.06)	109(18)	289	135(30)	24.1 (0.3)

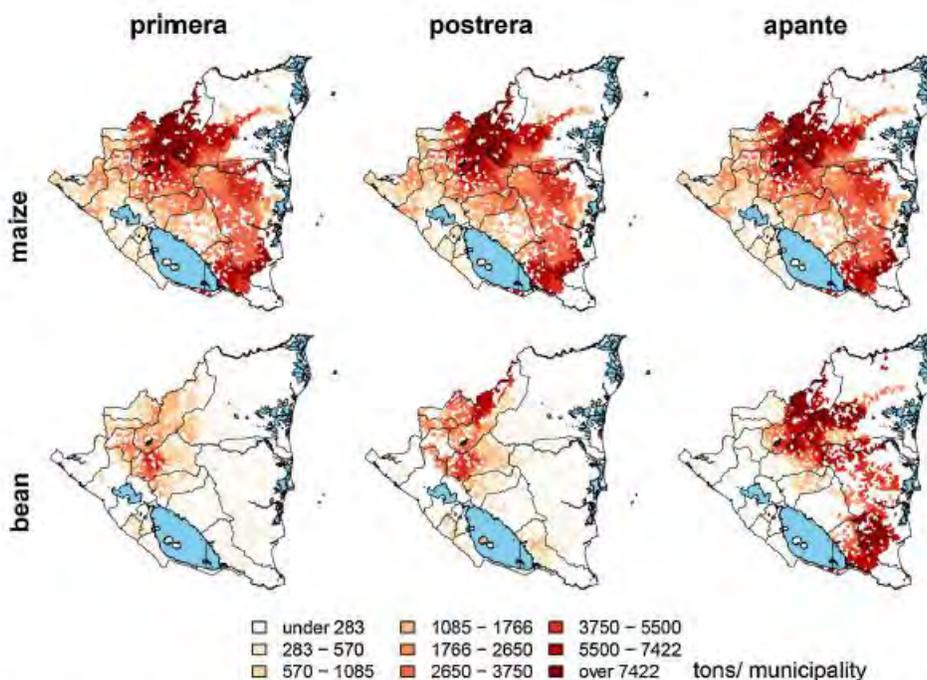


Fig. 4. Growing area maps for maize and bean by season. Non-white values represent municipal-level production (tons/municipality) projected to the census unit scale.

Fig. 4. Mapas de áreas de cultivo de maíz y frijol por temporada. Los valores no blancos representan la producción a nivel municipal (toneladas / municipio) proyectada a la escala de la unidad del censo.

Fechas de siembra y cosecha, y duración del ciclo de cultivo, para maíz y frijol, como se especifica en los modelos estadísticos para las tres temporadas de cultivo. También se muestran el rendimiento nacional (en el área sembrada), la producción, la altitud y la precipitación estacional y la temperatura promediadas en las áreas de cultivo de 2000 a 2007 para cada cultivo y temporada, con desviaciones estándar interanuales entre paréntesis.

Fecha de siembra Fecha de cosecha Duración de la cosecha (días)
Rendimiento (t / ha) Producción (000s t) Altitud (m) Estacional

más pérdida de agua a altas temperaturas. Por lo tanto, para nuestros modelos alternativos, comenzamos con las mismas variables climáticas y luego agregamos una serie de términos de interacción: precipitación estacional (tanto lineal como cuadrática) multiplicada por días secos y temperatura promedio multiplicada por días secos. La formulación del modelo alternativo se define como:

$$\text{Log Rendimiento} = \text{Temperatura promedio} + \text{Rango de temperatura diaria}$$

- + Precipitación de siembra + Precipitación estacional
- + Precipitación estacional² + Precipitación de cosecha
- + Días secos + Precipitación estacional * Días secos
- + Precipitación estacional² * + Días secos
- + Temperatura media * Días secos + Año
- + Departamento + [^]

Los términos de interacción capturan nuestras expectativas de que los períodos secos prolongados son especialmente dañinos con precipitaciones estacionales bajas, y que la precipitación suficiente es aún más importante cuando las lluvias son poco frecuentes. De manera similar, las altas temperaturas (asociadas con la pérdida de agua) son aún más dañinas con eventos de lluvia poco frecuentes. Los resultados del modelo alternativo se discuten brevemente en el texto principal, pero se presentan principalmente en el material complementario.

Observamos aquí que estos modelos empíricos no tienen como objetivo capturar todos los impulsores de las fluctuaciones y tendencias del rendimiento, como el uso de insumos o la degradación del suelo a largo plazo. Sin embargo, para utilizar los modelos para evaluar el impacto de las tendencias climáticas en los rendimientos, solo requerimos que la varianza inexplicable en el modelo no esté correlacionada con las variables predictoras del clima. Por ejemplo, asumimos que las fluctuaciones en el uso de insumos a lo largo del tiempo no están correlacionadas con la variabilidad climática, o están impulsadas por la variabilidad climática (por ejemplo, si más lluvia hace que los agricultores apliquen más fertilizantes).

Para evaluar la incertidumbre del modelo, utilizamos bootstrapping, un procedimiento de remuestreo, para generar múltiples estimaciones de cada coeficiente del modelo, a partir de las cuales se pueden calcular los intervalos de confianza. En este caso, usamos el bootstrapping de bloques, definiendo cada bloque como un solo año de producción de 2000 a 2007. Al seleccionar un año completo a la vez, este método tiene en cuenta la correlación espacial entre departamentos y, por lo tanto, proporciona una estimación más conservadora de errores estándar que los de la regresión de mínimos cuadrados ordinarios (Hall et al., 1995). Cada uno de nuestros modelos se arranca 500 veces seleccionando al azar años de producción y luego incluyendo todos los registros de ese año en cada iteración.

2.3. Conjuntos de datos

El conjunto de datos meteorológicos utilizados en este estudio consiste en registros diarios de largo plazo recolectados de 18 estaciones de temperatura y 135 estaciones de precipitación en Nicaragua (Fig.2) que son mantenidos por el Instituto Nacional de Estudios Territoriales (abreviado INETER en español). Las estaciones de temperatura, ubicadas en las capitales de cada departamento, se encuentran escasamente ubicadas en todo el país. La cobertura de las estaciones de precipitación es más densa que la de temperatura, pero todavía hay un número limitado de estaciones de precipitación en la mitad atlántica del país. Usamos datos históricos de precipitación y temperatura de 1970 a 2007 para evaluar las tendencias climáticas a largo plazo.

Los datos de producción a nivel de departamento y área sembrada / cosechada provienen del Ministerio de Agricultura y Bosques de Nicaragua (MAGFOR), y van del 2000 al 2011 (excluyendo 2008 y 2009) para 17 departamentos y 3 temporadas de cultivo por año. Desafortunadamente, no tenemos datos de precipitación diaria después de 2007, por lo que no pudimos incluir datos de producción para 2010 y 2011 en los modelos estadísticos, ni analizar el impacto de eventos climáticos severos recientes tanto en los rendimientos como en las tendencias climáticas a largo plazo. Dado que, en la mayoría de los departamentos, cada cultivo se cultiva en solo dos de las tres temporadas de crecimiento, utilizamos 272 puntos de datos para el frijol y 265 puntos de datos para el maíz de 2000 a 2007 en los modelos estadísticos (es decir, el período de tiempo de los datos meteorológicos coincidentes). Todos los conjuntos de datos utilizados en el estudio se describen con más detalle en la Tabla S1 del material complementario.

Para identificar áreas de cultivo para cada cultivo por temporada, combinamos datos de producción estacional a nivel municipal (promediados para los años 2000 y 2010) con datos censales estáticos que muestran el número de fincas de maíz y frijol por unidad censal (en 2001) (Tabla S1), como se describe abajo.

2.4. Procesamiento y análisis de datos

Para identificar las áreas de cultivo, mapeamos la producción estacional municipal (normalizada por área) a unidades censales con al menos una finca / km² para cada cultivo (Fig. 4). Ambas fuentes de información se combinaron para aprovechar la escala espacial relativamente fina de las unidades censales (~ 25 km² frente a ~ 800 km² para los municipios) y la información estacional de los datos municipales. Los centroides de las unidades censales con una densidad de

finca mínima y producción distinta de cero para cada temporada se utilizaron a su vez para representar puntos dentro de las áreas de cultivo. Con mapas de producción a nivel municipal solo para 2000 y 2010, asumimos mapas de áreas de crecimiento fijas para el período de la regresión (2000-2007). Sin embargo, en realidad, las áreas de cultivo pueden cambiar de un año a otro, a medida que los agricultores limpian nuevas tierras para el cultivo, cambian los cultivos en las áreas de cultivo existentes o pasan de tierras de cultivo a pastizales u otros usos. A pesar de algunos cambios en el área sembrada departamental de 2000 a 2007, este supuesto es en su mayoría robusto para un período de 8 años.

En cada una de las estaciones meteorológicas, calculamos las variables meteorológicas estacionales definidas previamente. Estas variables a nivel de estación se interpolan luego a los puntos del área de cultivo usando ponderación de la distancia angular (New et al., 2000) con una disminución de la correlación.

distancia de 150 km. Dado que la mayor parte de la variación espacial en la temperatura en Nicaragua se puede explicar por la altitud, combinamos los datos de temperatura de la estación con las normales climáticas (de 1950 a 2000) a una resolución de 1 km en el producto de datos WorldClim (Hijmans et al., 2005) para para reconstruir mejor las temperaturas históricas en diferentes regiones del **país, como en Gourdji et al. (2013). Al interpolar solo las anomalías del "clima normal", este método evita sesgar la interpolación debido a gradientes espaciales persistentes de temperatura asociados con variaciones altitudinales.**

Dado que no existen correlaciones simples entre la precipitación y la altitud, interpolamos los indicadores de precipitación "tal cual". Esto debería ser razonable en la escala de tiempo promedio estacional o mensual de nuestras variables meteorológicas, dado que la precipitación varía relativamente suavemente en el espacio en escalas de tiempo agregadas.

Finalmente, luego de interpolar todas las variables climáticas a los puntos seleccionados en nuestras áreas de cultivo, promediamos los valores interpolados a nivel de departamento, ponderando por área municipal sembrada por temporada en cada punto de área de cultivo. Las variables climáticas no lineales en los modelos de regresión se calculan luego a partir de los términos lineales a nivel de departamento. (Los valores medios de las variables meteorológicas por departamento y temporada se muestran en la Figura S2 en el material complementario).

Con datos climáticos promedios reconstruidos por departamento, calculamos las tendencias a largo plazo desde 1970 hasta 2007, asumiendo las áreas de cultivo fijas en uso en la década de 2000. Luego ejecutamos los modelos de regresión para cada cultivo, definición de rendimiento y formulación del modelo. Finalmente, multiplicamos los coeficientes estimados del modelo de cada

modelo con tendencias a largo plazo en cada una de las variables climáticas para evaluar el impacto de las tendencias climáticas de varias décadas en los rendimientos por departamento y temporada.

3. Resultados y discusión

3.1. Tendencias climáticas históricas estimadas y relación con la deforestación

Las áreas de cultivo de maíz han experimentado un calentamiento sustancial desde 1970 en todo el país y para todas las temporadas, pero especialmente durante la temporada de primera (hasta 0.4 ° C / década), y en los departamentos central y oriental en comparación con la costa del Pacífico (Fig.5). (Las tendencias climáticas para el frijol, que se muestran en la Figura S3 en el material complementario, son similares a las del maíz, a pesar de una temporada de cultivo de un mes más corta.) Los aumentos en la DTR para las áreas de cultivo de maíz también son positivos, lo que, junto con temperaturas más altas, implica calentamiento más rápido durante el día que durante la noche. El número de días secos estacionales también ha aumentado en casi todas partes, pero con aumentos aún más rápidos a lo largo de la frontera agrícola y durante la temporada de primera.

Por el contrario, los cambios en la siembra, la cosecha y la precipitación estacional son en la mayoría de los casos insignificantes, lo que implica que la lluvia está cambiando principalmente en términos de tiempo e intensidad, más que en volumen total. Hay algunos cambios significativos ($p < 0,1$) en la precipitación estacional. Estos incluyen aumentos a lo largo de la costa del Pacífico durante la postrera debido a aumentos en las precipitaciones en octubre, y disminuciones en el apante en la mayoría de los departamentos central y atlántico, asociados con disminuciones en las precipitaciones en diciembre y enero. Las precipitaciones en el mes de siembra están disminuyendo casi en todas partes en todas las estaciones, lo que indica retrasos en el inicio de la temporada de lluvias, aunque solo algunos de estos cambios son significativos a nivel de departamento. (A nivel de la estación, se puede ver un cambio claro hacia un inicio más tardío de la temporada de lluvias en algunos lugares, Figura S4.) La precipitación de la cosecha está disminuyendo principalmente en la postrera, que es el mismo que el mes de siembra de apante (como se define aquí), lo que implica una temporada de lluvias general más corta. También hay evidencia de una reducción en las precipitaciones locales durante la temporada de lluvias en áreas en la frontera agrícola que han experimentado altos niveles de deforestación, p. en la Región Autónoma Atlántica del Sur (RAAS) y partes de Jinotega (Figura S4).

Junto con más días secos, temperaturas diurnas más altas y menos nubes, ha habido aumentos en la radiación de onda corta en la superficie en todo el país, como se ve en un análisis de datos de radiación del conjunto de datos POWER de la NASA de 1983 a 2007 (Zhang et al., 2007). Estos aumentos son aún mayores en áreas recientemente deforestadas en las regiones montañosas centrales y de bosque atlántico. Sin embargo, no incluimos estos datos en nuestro modelo de regresión, dado que no pudimos encontrar una fuente de datos coherente para la radiación de 1970 a 2007, en cuanto a las variables de temperatura y precipitación.

El cambio climático global provocado por los gases de efecto invernadero, así como la deforestación regional, están contribuyendo a las tendencias climáticas que se encuentran aquí. En particular, el calentamiento diurno está especialmente asociado con la deforestación local (Castillo y Gurney, 2013; Houspanossian et al., 2013). En este estudio, encontramos que las temperaturas máximas diurnas están aumentando $\wedge 0.40 \text{ }^\circ \text{C} / \text{década}$ en áreas que han experimentado una rápida deforestación dentro de un radio de 50 km desde 1983, una tasa que es aproximadamente tres veces el promedio global (Fig.6). Por el contrario, los aumentos de temperatura mínima durante la noche para todas las estaciones son $\wedge 0,18 \text{ }^\circ \text{C} / \text{década}$, una tasa más consistente con los promedios mundiales.

Los cambios observados en la precipitación que se encuentran aquí son consistentes con otros estudios de cambios históricos de precipitación en los trópicos debido tanto a los impulsores globales como al cambio regional en el uso de la tierra. El cambio climático global se ha utilizado para explicar temporadas más húmedas y estaciones secas más secas (Chou et al., 2013), retrasos en el inicio de la temporada de lluvias en el Sahel (Biasutti y Sobel, 2009) y aumentos de las precipitaciones en esta última parte de la temporada de lluvias en los sistemas monzónicos (Seth et al., 2011). Sin embargo, la deforestación también amplifica los cambios en el forzamiento a gran escala del ciclo hidrológico (por ejemplo, Zhang et al., 2009). En este estudio, encontramos que los patrones de deforestación tienen una alta correlación con las reducciones en la precipitación estacional en la primera ($r = \wedge 0.76$; Figura S5), lo que puede deberse a una reducción en las retroalimentaciones locales de la cubierta forestal que ayudan a iniciar las lluvias. temporada, como está bien documentado en la Amazonía (Fu y Li, 2004). En contraste, un aumento en los días secos estacionales tiene la correlación espacial más alta ($r = 0.50$) con la deforestación en el apante o temporada seca. Esto es en parte consistente con (Ray, 2013), quien demostró que los cambios en las precipitaciones de la estación seca en Centroamérica son altamente sensibles a la deforestación.

El aumento de los días secos, junto con el aumento de las temperaturas (que se encuentran aquí y son consistentes con los resultados de Aguilar et al. (2005)), probablemente estén aumentando la evaporación del suelo y reduciendo

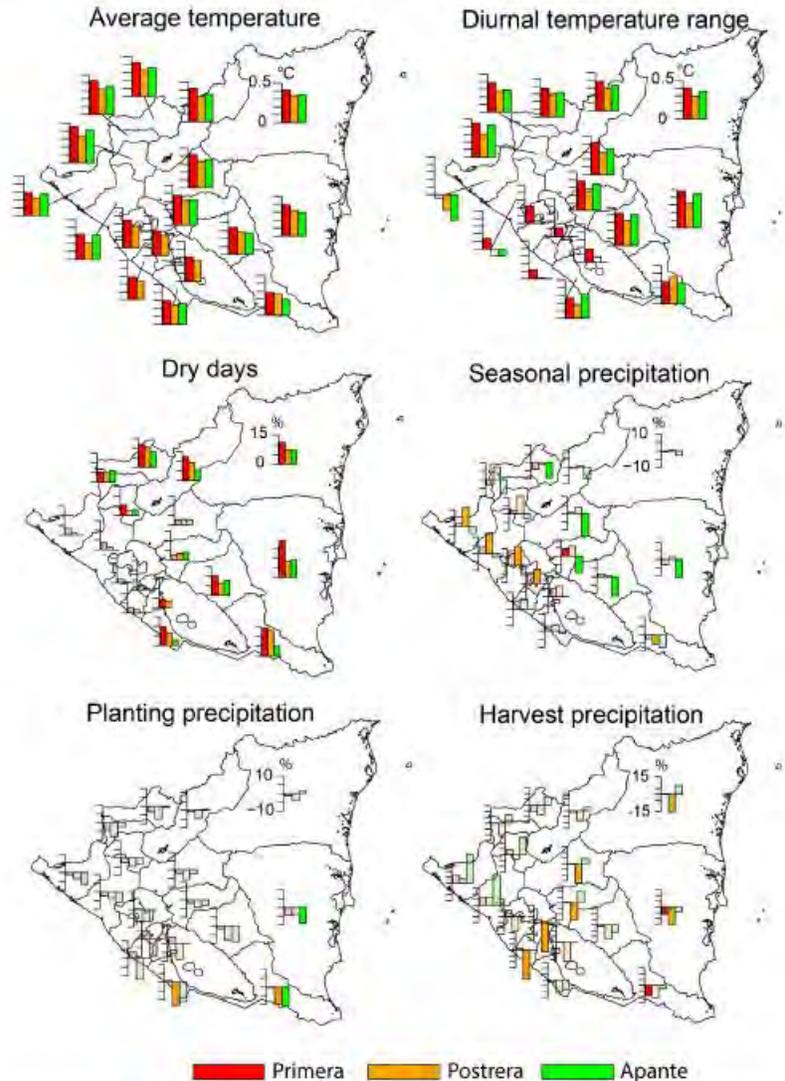


Fig. 5. Department-level decadal trends since 1970 for weather variables included in the maize models. (Climate trends for the bean models are shown in the supplemental material, Figure S1.) The temperature trends are expressed in °C/decade. The decadal trends for the dry days and precipitation variables (in days/decade) are expressed as a percent of their mean values from 1970 to 2007 to better represent relative changes. Solid bars represent significant trends ($p < 0.1$), whereas bars with hatching represent insignificant trends.

la humedad del suelo en los campos de los agricultores en todo el país. Estos hallazgos pueden ayudar a explicar los informes sobre la creciente incidencia de sequías agrícolas en la región. Sin embargo, nuestros hallazgos de cambios insignificantes en la cantidad total de lluvia también son consistentes con los resultados de otros estudios sobre el cambio de lluvia en regiones tropicales (Kassie et al., 2013; Simelton et al., 2013). Los cambios menores en la

precipitación anual total implican cierto margen para capturar y almacenar la escorrentía a través de proyectos de recolección de agua de lluvia para hacer frente a los períodos de sequía (Rockstrom et al., 2002).

3.2. Resultados de modelos de regresión

Los modelos de regresión de cultivos explican una cantidad sustancial de variabilidad del rendimiento, y los modelos de maíz tienen un r^2 ajustado más alto que los del frijol (0.57 y 0.55 vs. 0.35 y 0.39, Cuadro 2). La menor cantidad de variabilidad explicada por los modelos de frijol puede deberse a las áreas de cultivo más específicas y de gran altitud para este cultivo en relación con el maíz, lo que podría implicar una calidad potencialmente menor de los mapas de áreas cultivadas y los datos meteorológicos reconstruidos. Las áreas de frijol también se han expandido rápidamente en Nueva Segovia y la Región Autónoma Atlántico del Norte (RAAN) en la década de 2000 (MAGFOR, 2013), lo que también podría introducir errores en la

Fig. 5. Tendencias decenales a nivel de departamento desde 1970 para las variables climáticas incluidas en los modelos de maíz. (Las tendencias climáticas para los modelos de frijoles se muestran en el material suplementario, Figura S1.) Las tendencias de temperatura se expresan en ° C / década. Las tendencias decenales para los días secos y las variables de precipitación (en días / década) se expresan como un porcentaje de sus valores medios de 1970 a 2007 para representar mejor los cambios relativos. Las barras sólidas representan tendencias significativas ($p < 0,1$), mientras que las barras con sombreado representan tendencias insignificantes.

reconstrucción climática, dado nuestro supuesto de áreas de cultivo fijas.

Para todos los modelos, los efectos fijos del departamento explican aproximadamente la mitad de la variabilidad incluida en el modelo, y las variables meteorológicas explican la otra mitad. Las variables climáticas muestran efectos más significativos para los modelos en el área sembrada (es decir, ys como variable dependiente), en relación con aquellos que consideran el rendimiento solo en el área cosechada (o yh). Los coeficientes anuales, o las tendencias tecnológicas derivadas, aunque ligeramente más altos para el maíz que para el frijol, no son significativos para ninguno de los cultivos ($p < 0,1$). De aquí en adelante, nos referiremos a los resultados de los modelos con ys como variable dependiente, a menos que se indique lo contrario. Además, todos los cambios porcentuales en el rendimiento deben interpretarse como cambios en relación con los valores medios locales.

Los resultados del modelo muestran que el frijol es muy sensible a la temperatura, con una disminución del rendimiento del 21% en relación con los valores medios por ° C (intervalos de confianza del 90%: ^ 47% a ^ 4%). El maíz también es sensible a la temperatura, pero menos, con pérdidas de rendimiento del 14% por ° C (intervalos de confianza del 90%: ^ 34% a 4%). Ambos cultivos se benefician de aumentos en el DTR,

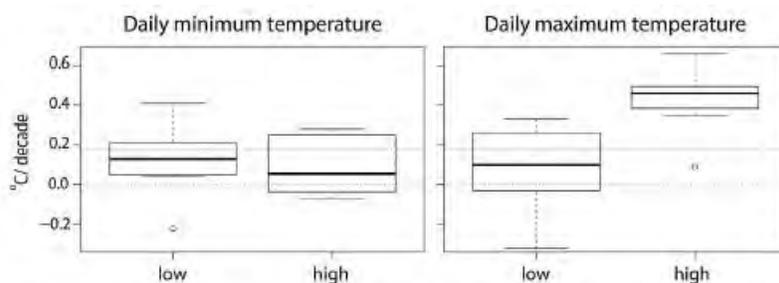


Fig. 6. Decadal trends in minimum and maximum temperatures from 1983 to 2007 for the 18 temperature stations in the department capitals. Station-level trends are binned by levels of deforestation within a 50 km buffer zone (with low defined as $\leq 25\%$ loss of forest cover within the buffer zone during this period, and high as $> 25\%$). Red dashed lines represent the global average trends from stations in the tropics (23°N to 23°S) in the Global Surface Summary of the Day database (Smith et al., 2011).

Fig. 6. Evolución decenal de las temperaturas mínimas y máximas de 1983 a 2007 para las 18 estaciones de temperatura de las capitales departamentales. Las tendencias a nivel de estación están agrupadas por niveles de deforestación dentro de una zona de amortiguamiento de 50 km (con un nivel bajo definido como $< 25\%$ de pérdida de cobertura forestal dentro de la zona de amortiguamiento durante este período, y alto como $> 25\%$). Las líneas punteadas rojas representan las tendencias promedio globales de las estaciones en los trópicos (23°N a 23°S) en la base de datos del Resumen de la superficie global del día (Smith et al., 2011).

pero los efectos no son significativos, quizás debido a correlaciones con otras variables meteorológicas en la regresión (Tablas S2 y S3). Un DTR alto se asocia con más radiación y condiciones menos húmedas, lo que podría ser beneficioso para el crecimiento de los cultivos con un suministro de agua suficiente, p. en el lado atlántico húmedo de Nicaragua. La prueba de sensibilidad que utiliza variables de temperatura y DTR por etapa de crecimiento muestra que los efectos de la temperatura son más importantes en la etapa de llenado del grano, seguida de la etapa reproductiva del maíz (Cuadro S4).

Ambos cultivos tienen una respuesta fuertemente negativa a un aumento en el número de días secos estacionales. Es muy probable que la disminución del rendimiento del 8 al 10% para un aumento del 10% en los días secos estacionales esté asociada con pérdidas relacionadas con la sequía, dado que el coeficiente

estimado de esta variable no es significativo para los modelos retrocedidos en yh . (Estimamos los cambios en el rendimiento como una función de los cambios de precipitación relativa, dado que la precipitación media y los días secos varían mucho en todo el país; ver la Figura S2 en el material complementario). Mientras que las curvas inferidas para la precipitación estacional muestran que tanto la precipitación mínima como la excesiva son problemático, ambos cultivos están actualmente más limitados por un déficit que por un exceso de precipitación (es decir, el 74% de los puntos de datos de maíz y el 68% de los puntos de frijoles podrían beneficiarse de un aumento en el volumen total de precipitación estacional). En el valor mediano de la precipitación estacional, el modelo de maíz responde más a un aumento del 10% que el del frijol (aumento del rendimiento del 5 frente al 1%), aunque esta sensibilidad varía a lo largo de las curvas inferidas (Fig. 7). Los modelos que utilizan ys en comparación con los de yh son, como es lógico, más sensibles a las precipitaciones demasiado escasas y excesivas, ya que ambos extremos pueden provocar pérdidas, especialmente para el frijol.

Los coeficientes inferidos sobre precipitación de siembra y cosecha son más negativos para el frijol que para el maíz, aunque los efectos son menos significativos estadísticamente. Esto es en parte consistente con la percepción de los agricultores de que el frijol es más sensible al exceso de lluvia que el maíz, especialmente en la época de la cosecha. Independientemente, los efectos generales de la precipitación de la siembra y la cosecha sobre el rendimiento son relativamente pequeños en magnitud en relación con los coeficientes inferidos para otras variables en el modelo.

Los resultados de la formulación del modelo alternativo (Tabla S5) son ampliamente consistentes con los del modelo principal, pero ayudan a dilucidar aún más los mecanismos del impacto del clima en los rendimientos. Primero, los efectos de la temperatura (que tienen en cuenta la interacción de los días secos) siguen siendo significativamente negativos para ambos cultivos, y especialmente para el frijol, pero son peores en un número elevado de días secos. Esto enfatiza la ruta probable de los impactos de la temperatura a través de la pérdida de agua. Además, la magnitud de los efectos de la temperatura se reduce en relación con el modelo principal, lo que implica que el mecanismo de pérdida de agua ahora se explica mejor por otras variables del modelo. En segundo lugar, como era de esperar, el óptimo de precipitación estacional aumenta con el número de días secos estacionales (Figura S6; es decir, se necesita un mayor volumen de lluvia cuando los eventos de lluvia son poco frecuentes). Las curvas de precipitación estacional estimadas con los términos de interacción también muestran que el frijol es más sensible al exceso de precipitación que el maíz, mientras que el maíz tiende a tener más escasez de agua, especialmente con un gran número de días

secos y quizás debido a una temporada más larga. La sensibilidad del frijol al exceso de precipitación está respaldada por discusiones con agrónomos y expertos agrícolas de la región.

3.3. Impacto de las tendencias climáticas históricas en los rendimientos

Ahora usamos los modelos estadísticos para evaluar la influencia de las tendencias climáticas históricas en los rendimientos multiplicando las tendencias climáticas a nivel de departamento desde 1970 por coeficientes de modelo inferidos para

Table 2
Estimated model coefficients, with significance levels, and adjusted r^2 s for each model for maize and bean regressed on y_h and y_s . Units of the coefficients are log(yield in t/ha) per unit of the weather variable. Units of the weather variables are shown after their names. Department fixed effects, while included in the models, are not shown here. Significance levels for the coefficients are calculated using 1000 bootstraps, where † $p < 0.1$, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, and *** $p < 0.001$. Also shown in parentheses is the relative yield response to changes in weather variables, i.e. percent yield change due to a 1 °C temperature increase or a 10% increase for the precipitation variables relative to their median values in the 2000s.

	Maize		Bean	
	y_h	y_s	y_h	y_s
Average temperature (°C)	-0.06 (-6.1%)	-0.14 (-13.5%)	-0.09† (-8.4%)	-0.24* (-21.4%)
Diurnal temperature range (°C)	0.01 (0.6%)	0.09 (8.0%)	-0.02 (-1.7%)	0.02 (1.5%)
Dry days (days per season)	-0.006 (-3.1%)	-0.018*** (-9.7%)	-0.007 (-2.7%)	-0.021* (-8.2%)
Planting precipitation (mm)	-3.2e-4 (-0.7%)	1.1e-4 (0.2%)	-4.9e-4 (-0.9%)	-7.8e-4 (-1.5%)
Seasonal precipitation* (mm)	2.3e-3** (2.6%)	4.3e-3** (4.7%)	0.7e-3 (0%)	2.8e-3 (1.4%)
Seasonal precipitation ² (mm ²)	-2.0e-6***	-3.9e-6***	-1.4e-6	-4.2e-6
Harvest precipitation (mm)	-0.1e-3 (-0.1%)	-1.4e-3† (-1.4%)	-1.0e-3 (-0.6%)	-1.7e-3 (-1.1%)
Year	0.016 (1.6%)	0.018 (1.9%)	0.014 (1.4%)	0.017 (1.7%)
Adjusted r^2	0.57	0.55	0.35	0.39

* The relative change in yield is shown for the derived seasonal precipitation curve at the median precipitation value.

Coefficientes del modelo estimados, con niveles de significancia, y r^2 ajustados para cada modelo para maíz y frijol retrocedidos en y_h e y_s . Las unidades de los coeficientes son log (rendimiento en t / ha) por unidad de la variable meteorológica. Las unidades de las variables meteorológicas se muestran después de sus nombres. Los efectos fijos de departamento, aunque están incluidos en los modelos, no se muestran aquí. Los niveles de significancia para **los coeficientes se calculan usando 1000 bootstraps, donde † $p < 0.1$, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$** . También se muestra entre paréntesis la respuesta del rendimiento relativo a los cambios en las variables climáticas, es decir, el porcentaje de cambio en el rendimiento debido a un aumento de la temperatura de 1 ° C o un aumento del 10% para las variables de precipitación en relación con sus valores medios en la década de 2000.

a El cambio relativo en el rendimiento se muestra para la curva de precipitación estacional derivada en el valor mediano de precipitación.

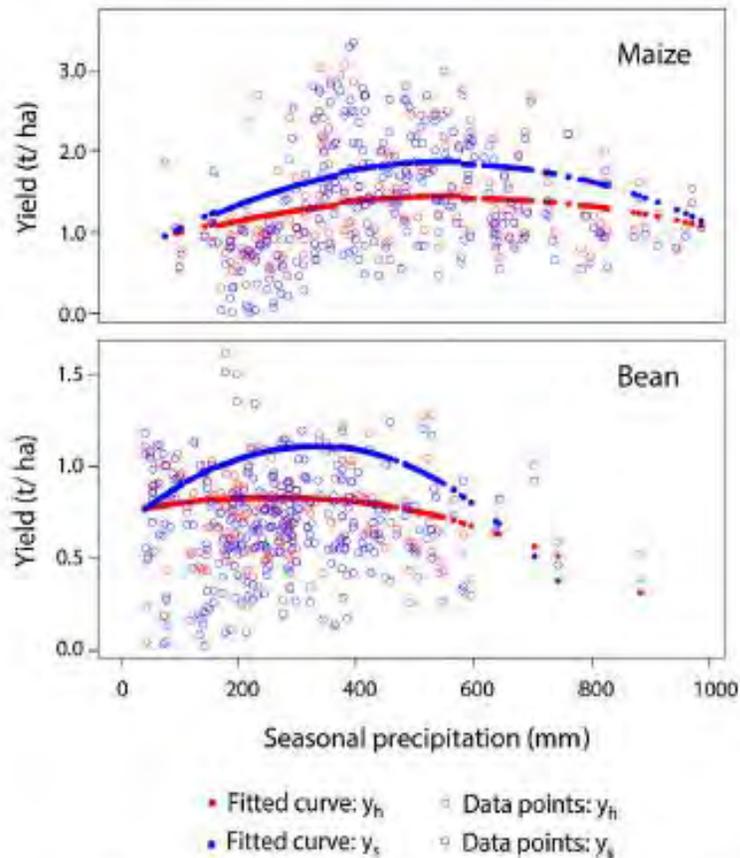


Fig. 7. Derived curves for yield response to seasonal precipitation from the maize and bean models with y_s and y_h . The filled circles represent the modeled yield response, and the open circles represent individual data points in the models.

Fig. 7. Curvas derivadas para la respuesta del rendimiento a la precipitación estacional de los modelos de maíz y frijol con y_h and y_s . Los círculos rellenos representan la respuesta de rendimiento modelada y los círculos abiertos representan puntos de datos individuales en los modelos.

las variables meteorológicas. En general, ambos cultivos muestran una disminución en el rendimiento en casi todos los departamentos y temporadas debido a las tendencias climáticas, pero con impactos más fuertes y significativos para el frijol en relación con el maíz (Fig. 8). Las disminuciones de rendimiento estimadas son siempre más severas cuando se considera el impacto de las pérdidas en el área sembrada, y esto es especialmente cierto para el frijol. Este resultado también es consistente con mayores pérdidas reales en el área sembrada en la década de 2000 para el frijol, con una relación entre el área cosechada y el área sembrada de 83% en la primera y 86% en la postrera (versus 90% y 93% para el maíz). Las pérdidas reales en el apante son mínimas para ambos cultivos.

Para la primera y postrera, las tendencias climáticas han tenido los impactos negativos más fuertes en los rendimientos en las zonas atlántica y central, con impactos más leves en la costa del Pacífico cerca de la capital. Las caídas de rendimiento en Jinotega, departamento de las zonas central y atlántica y con la mayor producción de maíz y la segunda mayor producción de frijol, son $\hat{9}$ y $\hat{8}$ % / década para el maíz en la primera y postrera, y $\hat{15}$ y $\hat{12}$ % para frijol. Para el maíz, parece haber pérdidas relativamente débiles o incluso ganancias en la temporada de primera en los departamentos del Atlántico, p. Ej. la RAAS.

En el apante, los impactos tanto para el maíz como para el frijol son significativamente negativos en todos los departamentos donde se produce el cultivo, con pérdidas que alcanzan hasta el 13% por década en Chontales y la RAAS para el maíz y el 17 y 16% para el frijol en Nueva Segovia y Jinotega. Esto se debe principalmente al secado en diciembre y enero en todo el país, y la respuesta negativa al secado en el modelo, especialmente con las menores cantidades de precipitación estacional en el apante (típicamente menos de la mitad que en la primera y postrera). Sin embargo, también es probable que el modelo tenga la menor habilidad en la temporada de apante, debido a dos factores. En primer lugar, la producción de apante se basa en un perfil de humedad del suelo en declive después del final de la temporada de lluvias, lo que puede no estar bien explicado por las variables climáticas estacionales incluidas en el modelo. En segundo lugar, hay pocas estaciones meteorológicas en la mitad oriental del país, lo que reduce la calidad del clima reconstruido en las áreas de cultivo de apante.

El modelo alternativo con términos de interacción muestra impactos menos severos de las tendencias climáticas en los rendimientos de ambos cultivos en todas las estaciones en relación con el modelo principal. Los resultados del modelo alternativo incluso muestran ganancias de rendimiento positivas para el maíz en la primera y postrera en la mitad atlántica del país, incluidos los dos departamentos con mayor producción (Jinotega y Matagalpa; Figura S7). En estas áreas, es posible que el cultivo de maíz se haya vuelto más adecuado debido al secado inducido por la deforestación, que ha reducido la podredumbre y la presión de enfermedades y ha llevado a una nubosidad reducida y una mayor radiación. Un aumento en la idoneidad climática para la producción de maíz también es consistente con las percepciones de los expertos agrícolas en Nicaragua, quienes sostienen que esta mejora en la idoneidad climática puede ayudar a explicar los patrones de migración hacia el este del país (comunicación personal).

También calculamos el impacto de las tendencias climáticas en el rendimiento a escala nacional, ponderando las estimaciones a nivel de

departamento por su producción promedio (Fig. 9). Este ejercicio ayuda a evaluar la cantidad de oferta general que puede haber sido afectada por estas tendencias. Para los modelos con ys, vemos que los impactos climáticos en el frijol son significativamente negativos y aproximadamente similares entre temporadas ($\hat{\Delta} 13$, $\hat{\Delta} 11$ y $\hat{\Delta} 14\%$ de disminución del rendimiento por década para primera, postrera y apante). En contraste, los impactos climáticos sobre el maíz son más altos en el apante ($\hat{\Delta} 12\%$) y solo la mitad que en la primera y postrera ($\hat{\Delta} 6$ y $\hat{\Delta} 7\%$). A escala anual y nacional, las disminuciones del rendimiento del maíz y frijol en el área sembrada son $\hat{\Delta} 7$ y $\hat{\Delta} 13\%$ por década, mientras que para los modelos con yh, las pérdidas anuales nacionales son $\hat{\Delta} 4\%$ y $\hat{\Delta} 5\%$ por década.

Cabe señalar que los resultados de la formulación del modelo alternativo muestran que el maíz tiene disminuciones de rendimiento significativamente más débiles, e incluso ganancias, a escala nacional en las tres temporadas en relación con el modelo principal (Fig. 9). De hecho, las ganancias de rendimiento estimadas en la primera para el maíz con el modelo alternativo son $+ 16\%$ por década, debido a las fuertes ganancias climáticas estimadas por este modelo en los departamentos central y oriental. Además, a escala nacional anual, los modelos alternativos muestran efectos insignificantes de las tendencias climáticas en ambas definiciones de rendimiento tanto para el maíz como para el frijol. Sin embargo, las barras de error estimadas para estos modelos son más amplias debido a los grados reducidos de libertad asociados con la inclusión de los términos de interacción, lo que podría influir en este resultado.

A pesar de la incertidumbre asociada con la formulación del modelo para el maíz en la mitad atlántica del país, los impactos negativos estimados de las tendencias climáticas en los rendimientos de maíz y frijol estimados por los modelos principales son impulsados principalmente por las fuertes tendencias de calentamiento y los aumentos en el número de sequía estacional. días en todo el país, lo que implica un desarrollo más rápido de los cultivos y menores niveles promedio de humedad del suelo. Los fuertes impactos negativos del calentamiento en nuestros modelos son consistentes con trabajos previos (Lobell y Burke, 2008; Lobell et al., 2011b) que muestran que las tendencias de temperatura son especialmente importantes para los impactos a largo plazo del cambio climático en la agricultura, dado el alto -Variabilidad anual de la precipitación anual. Sin embargo, mostramos aquí que los cambios graduales en el momento y la intensidad de las precipitaciones también están teniendo impactos sustanciales en los sistemas de cultivo de secano. Aunque no se incluyen en los modelos aquí, los retrasos en el inicio de la temporada de lluvias probablemente están introduciendo un riesgo adicional en la producción debido a una mayor dificultad para elegir las fechas de siembra adecuadas. Además, el aumento de la intensidad de las lluvias también puede agravar los problemas de erosión del suelo.

derivados del procedimiento de arranque en bloque. Los departamentos están coloreados por las zonas Pacífico (azul), Central (naranja) y Atlántico (verde), y luego ordenados de sur a norte en el Pacífico, de norte a sur en el centro y de sur a norte en las zonas atlánticas.

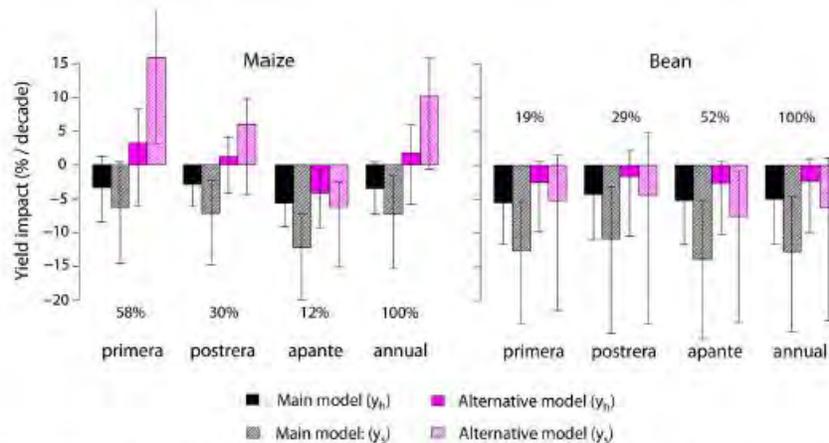


Fig. 9. Decadal impacts on maize and bean yields due to climatic trends at the national scale for the three growing seasons and at the annual timescale. Results are aggregated to the national scale by weighting by departmental production. Results are shown for both the main and alternative models regressed on both definitions of yield (y_h and y_s), and compared with 90% confidence intervals from the block bootstrapping procedure. The percent of production in each season is also shown for each crop.

Fig. 9. Impactos decenales en los rendimientos de maíz y frijol debido a las tendencias climáticas a escala nacional para las tres temporadas de cultivo y en la escala de tiempo anual. Los resultados se agregan a la escala nacional ponderando la producción departamental. Los resultados se muestran para los modelos principal y alternativo retrocedidos en ambas definiciones de rendimiento (y_h e y_s), y se comparan con los intervalos de confianza del 90% del procedimiento de arranque en bloque. También se muestra el porcentaje de producción en cada temporada para cada cultivo.

lado del país en la década de 2050. (Otras temporadas no se incluyeron en el estudio). Las conclusiones de TOR para la primera son en su mayoría consistentes con nuestros resultados modelados empíricamente, aunque solo encontramos una idoneidad creciente en el lado atlántico para el maíz utilizando el modelo alternativo con términos de interacción. De manera similar al estudio TOR, nuestros resultados muestran que el maíz se ve menos afectado por las tendencias climáticas que el frijol, aunque no contabilizamos explícitamente los impactos en suelos de alta fertilidad vs. Nuestros resultados reflejan el estado actual de los suelos, que en general son de baja fertilidad en la región.

También comparamos los resultados de nuestro modelo con las tendencias de rendimiento observadas de 1970 a 2007 de la base de datos FAOSTAT, que son $\hat{} 0,4\%$ por década para el frijol y 16% por década para el maíz en Nicaragua (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2012).

Los rendimientos observados reflejan el impacto no solo de las tendencias climáticas, sino también de las tendencias en la tecnología y el uso de insumos, y otros factores como la disminución de la fertilidad del suelo y los cambios en el manejo agronómico. La brecha entre los impactos climáticos estimados aquí y las tendencias de rendimiento observadas debería reflejar el impacto de estos otros factores. Esta comparación sugiere que el progreso tecnológico y los cambios de manejo han logrado superar las tensiones climáticas más fácilmente para el maíz que para el frijol en Nicaragua. También sugiere que los beneficios del rendimiento del maíz en la frontera agrícola debido al secado, como lo muestra el modelo alternativo, son plausibles.

Aunque está más allá del alcance de este estudio examinar las respuestas de adaptación climática, mencionamos brevemente algunas iniciativas en curso dentro del país para enfrentar el estrés climático en la producción de maíz y frijol. Primero, la expansión del área está ayudando a mantener la producción frente a las presiones climáticas (por ejemplo, un aumento del 50% en el área sembrada de frijol de 2000 a 2011). Curiosamente, la expansión del área parece estar desplazando la producción general a altitudes más altas con temperaturas más frías, particularmente para el frijol. Entre 2000 y 2011, las áreas de producción de frijol migraron de una altitud promedio de 603 a 685 m para el frijol en la primera, y de 241 a 337 m en el apante, las dos temporadas más secas y con mayor escasez de agua. (Hubo pocos cambios para la postrera.) De manera similar, el maíz migró hacia arriba en las temporadas de primera y apante.

En segundo lugar, las fuertes pérdidas de cultivos de frijol en 2009-2010 provocaron la prohibición de las exportaciones de frijoles rojos para abordar el aumento de los precios al consumidor y las preocupaciones de seguridad alimentaria dentro del país (Unión Nacional de Agricultores y Ganaderos (UNAG), 2012). (Aunque no se incluye en nuestros modelos, el 40% del área sembrada de postrera para frijol se perdió en 2009, seguido de pérdidas de 37% en la primera de 2010, Figura S8). Desde entonces, más agricultores comerciales también han estado cambiando de rojo a frijoles negros, que se exportan principalmente a Venezuela (Unión Nacional de Agricultores y Ganaderos (UNAG), 2012). Como anécdota, los frijoles negros son un cultivo más resistente y tolerante al calor que el frijol rojo, y pueden cultivarse en elevaciones más bajas.

En tercer lugar, los programas de mejoramiento en la región y en centros internacionales como el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y el Centro Internacional del Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) han estado trabajando para desarrollar germoplasma mejorado con mayor tolerancia al calor y la sequía durante décadas. (Beebe et al., 2008; Porph et al., 2007), una

necesidad demostrada en la región. Sin embargo, todavía hay una aceptación limitada de semillas mejoradas en Nicaragua ([^] 18% en el censo de 2011 (INIDE et al., 2012)) debido a una falta percibida de beneficios financieros netos a nivel de finca. Finalmente, los proyectos de recolección de agua de lluvia, las prácticas agroforestales y las medidas de conservación del suelo tienen potencial como medios para que los agricultores amortigüen los fenómenos meteorológicos extremos y, además, mejoren los ingresos y diversifiquen el riesgo (Holt-Gimenez, 2002; Lin, 2007; Rockstrom et al., 2002; Stroosnijder, 2009).

4. CONCLUSIONES

Este estudio examina el impacto del cambio climático en curso en la producción de maíz y frijol de secano en Nicaragua, cultivos básicos clave en este país y, en general, en América Central. El análisis de los registros meteorológicos históricos muestra tendencias climáticas muy fuertes en los últimos 40 años, principalmente temperaturas cálidas, junto con eventos de lluvia menos frecuentes, pero más intensos. El calentamiento está ocurriendo en todo el país, pero las temperaturas diurnas se han estado calentando a un ritmo de más del doble del promedio mundial en áreas a lo largo de la frontera agrícola que experimentan una deforestación sustancial. También ha habido cambios en el calendario de las estaciones lluviosas, con un inicio más tardío, un final más temprano y más lluvias a mitad de la temporada (especialmente en octubre) en muchas áreas del país. Sin embargo, estos cambios no son tan consistentes espacialmente en todo el país como los cambios en la frecuencia e intensidad de las precipitaciones. Un cambio espacialmente consistente en la precipitación acumulada ha sido una tendencia a la sequía en diciembre y enero en todo el país, o el final de la temporada de lluvias y el comienzo de la temporada seca. Dada la importancia de la producción comercial de frijol en el apante o estación seca, esto representa un desafío importante para mantener los ingresos de los agricultores y la seguridad alimentaria nacional.

Los resultados de nuestros modelos empíricos confirman la comprensión previa de que el frijol es un cultivo particularmente sensible a la temperatura y el maíz, debido a su temporada más larga, es especialmente susceptible al estrés hídrico y las pérdidas relacionadas con la sequía. Ambos cultivos también son sensibles al exceso de lluvia en el momento de la cosecha. El modelo alternativo con términos de interacción muestra una fuerte interacción entre la temperatura promedio y el número de días secos en la temporada, lo que implica que un mecanismo clave de los impactos del estrés por calor es a través de la pérdida excesiva de agua en los días cálidos y secos.

Los resultados también muestran un claro impacto de las tendencias climáticas en los rendimientos, especialmente para el frijol a través de las temporadas, y para el maíz en la primera y aparte en las zonas del Pacífico y Central. En general, los modelos que se retroceden en ys (y por lo tanto tienen en cuenta las pérdidas de cultivos) muestran disminuciones de rendimiento más negativas y significativas que los que se retroceden en yh. Los rendimientos de frijol en el área sembrada parecen verse particularmente afectados en la postrera, quizás debido a las lluvias más intensas y las pérdidas durante esta temporada. El modelo alternativo con términos de interacción también muestra ganancias positivas para el maíz en el lado atlántico en la primera, lo que apunta a algunos beneficios potenciales del secado en áreas húmedas.

A escala agregada anual y nacional, los principales resultados del modelo muestran disminuciones en el rendimiento del frijol aproximadamente el doble que el del maíz (Δ 12 frente a Δ 7% por década para los modelos de área sembrada). Las ganancias tecnológicas y el uso de insumos probablemente hayan mitigado algunas de estas tensiones climáticas sobre los rendimientos, en particular para el maíz, pero el aumento de las pérdidas de frijol en la década de 2000, junto con el estancamiento observado de los rendimientos, implican un mayor riesgo de producción para este cultivo.

La adaptación de los agricultores a estas tendencias climáticas ya está ocurriendo en Nicaragua, por ejemplo, con un cambio continuo de frijol rojo a frijol negro para los agricultores comerciales, y una expansión del 50% del área de frijol rojo desde 2000. El trabajo futuro considerará medidas de adaptación en la finca, como como adopción de semillas mejoradas, riego a pequeña escala y medidas agroforestales y de conservación del suelo que podrían ayudar a mitigar los crecientes impactos de las tendencias climáticas en el rendimiento y la producción de cultivos básicos en Nicaragua y otros sistemas agrícolas tropicales que enfrentan cambios similares.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se llevó a cabo en el marco del Programa de Investigación de CGIAR sobre Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS), y fue apoyada por la Fundación Rockefeller y por una beca Fulbright NEXUS para Sharon Gourdji. Queremos agradecer el uso de fuentes de datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Nicaragua (MAGFOR) y del Instituto de Estudios Territoriales (INETER), que mantiene la red de estaciones meteorológicas en el país. Carlos J. Pérez del Programa de las Naciones Unidas

para el Desarrollo también ofreció valiosas sugerencias para mejorar el manuscrito.

APÉNDICE A. Datos complementarios

Los datos complementarios asociados con este artículo se pueden encontrar, en la versión en línea, en <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.10.002>.

REFERENCES

Aguilar, E., Peterson, T.C., Obando, P.R., Frutos, R., Retana, J.A., Solera, M., Soley, J., Garcia, I.G., Araujo, R.M., Santos, A.R., Valle, V.E., Brunet, M., Aguilar, L., Alvarez, L., Bautista, M., Castanon, C., Herrera, L., Ruano, E., Sinay, J.J., Sanchez, E., Oviedo, G.I.H., Obed, F., Salgado, J.E., Vazquez, J.L., Baca, M., Gutierrez, M., Centella, C., Espinosa, J., Martinez, D., Olmedo, B., Espinoza, C.E.O., Nunez, R., Haylock, M., Benavides, H., Mayorga, R., 2005. Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. *J. Geophys. Res. Atmos.* 110, D23107, <http://dx.doi.org/10.1029/2005JD006119>.

Barron, J., Rockstrom, J., Gichuki, F., Hatibu, N., 2003. Dry spell analysis and maize yields for two semi-arid locations in east Africa. *Agric. For. Meteorol.* 117, 23–37, [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1923\(03\)00037-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1923(03)00037-6).

Beebe, S.E., Rao, I.M., Cajiao, C., Grajales, M., 2008. Selection for drought resistance in common bean also improves yield in phosphorus limited and favorable environments. *Crop Sci.* 48, 582–592, <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2007.07.0404>.

Biasutti, M., Sobel, A.H., 2009. Delayed Sahel rainfall and global seasonal cycle in a warmer climate. *Geophys. Res. Lett.* 36, L23707, <http://dx.doi.org/10.1029/2009GL041303>.

Biazin, B., Sterk, G., Temesgen, M., Abdulkedir, A., Stroosnijder, L., 2012. Rainwater harvesting and management in rainfed agricultural systems in sub-Saharan Africa – a review. *Phys. Chem. Earth* 47–48, 139–151, <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2011.08.015>.

Castillo, C.K.G., Gurney, K.R., 2013. A sensitivity analysis of surface biophysical, carbon, and climate impacts of tropical deforestation rates in CCSM4-CNDV. *J. Clim.* 26, 805–821, <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00382.1>.

Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE), Ministerio Agropecuario y Forestal (MAGFOR) y Equipo Técnico del IV CENAGRO, 2012, IV Censo Nacional Agropecuario, Nicaragua.

Challinor, A.J., Ewert, F., Arnold, S., Simelton, E., Fraser, E., 2009. Crops and climate change: progress, trends, and challenges in simulating impacts and informing adaptation. *J. Exp. Bot.* 60, 2775–2789, <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erp062>.

Chou, C., Chiang, J.C.H., Lan, C.-W., Chung, C.-H., Liao, Y.-C., Lee, C.-J., 2013. Increase in the range between wet and dry season precipitation. *Nat. Geosci.* 6, 263–267, <http://dx.doi.org/10.1038/NGEO1744>.

Eakin, H., 1999. Seasonal climate forecasting and the relevance of local knowledge. *Phys. Geogr.* 20, 447–460.

Food and Agriculture Organization, 2012. FAOSTAT: Food Balance Sheets.

Fu, R., Li, W., 2004. The influence of the land surface on the transition from dry to wet season in Amazonia. *Theor. Appl. Climatol.* 78, 97–110, <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-004-0046-7>.

Gourdji, S.M., Mathews, K.L., Reynolds, M., Crossa, J., Lobell, D.B., 2013. An assessment of wheat yield sensitivity and breeding gains in hot environments. *Proc. R. Soc. B: Biol. Sci.* 280, 20122190, <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2012.2190>.

Hall, P., Horowitz, J.L., Jing, B.-Y., 1995. On blocking rules for the bootstrap with dependent data. *Biometrika* 82, 561–574, <http://dx.doi.org/10.1093/biomet/82.3.561>.

Hatfield, J.L., Boote, K.J., Kimball, B.A., Ziska, L.H., Izaurralde, R.C., Ort, D., Thomson, A.M., Wolfe, D., 2011. Climate impacts on agriculture: implications for crop production. *Agron. J.* 103, 351–370, <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2010.0303>.

Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., Jarvis, A., 2005. Very high-resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 25, 1965–1978, <http://dx.doi.org/10.1002/joc.1276>.

Hoffmann, H., Rath, T., 2013. Future bloom and blossom frost risk for *Malus domestica* considering climate model and impact model uncertainties. *PLOS ONE* 8, e75033, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0075033>.

Holt-Gimenez, E., 2002. **Measuring farmers' agroecological resistance after Hurricane Mitch in Nicaragua: a case study in participatory, sustainable land**

management impact monitoring. *Agric. Ecosyst. Environ.* 93, 87–105, [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809\(02\)00006-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00006-3).

Houspanossian, J., Noretto, M., Jobbagy, E.G., 2013. Radiation budget changes with dry forest clearing in temperate Argentina. *Glob. Change Biol.* 19, 1211–1222, <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.12121>.

INIDE, MAGFOR, Equipo técnico del VI censo, 2012. Informe Final – IV Censo Nacional Agropecuario.

Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria, 2012. Adaptación de maíz y frijol al cambio climático en Centroamérica y República Dominicana: una herramienta para mitigar la pobreza.

Jones, P.G., Thornton, P.K., 2003. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Glob. Environ. Change Hum. Policy Dimens.* 13, 51–59, [http://dx.doi.org/10.1016/S0959-3780\(02\)00090-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0959-3780(02)00090-0).

Kassie, B.T., Hengsdijk, H., Rotter, R., Kahiluoto, H., Asseng, S., Van Ittersum, M., 2013. Adapting to climate variability and change: experiences from cereal-based farming in the central rift and Kobo Valleys, Ethiopia. *Environ. Manage.* 52, 1115–1131, <http://dx.doi.org/10.1007/s00267-013-0145-2>.

Kinzer, S., 2007. *Blood of Brothers: Life and War in Nicaragua*. Harvard University Press, Cambridge, MA.

Koehler, A.-K., Challinor, A.J., Hawkins, E., Asseng, S., 2013. Influences of increasing temperature on Indian wheat: quantifying limits to predictability. *Environ. Res. Lett.* 8, 034016, <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/034016>.

Konsens, I., Ofir, M., Kigel, J., 1991. The effect of temperature on the production and abscission of flowers and pods in snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ana. Bot.* 67, 391–399.

LeoGrande, W.M., 1996. Making the economy scream: US economic sanctions against Sandinista Nicaragua. *Third World Q.* 17, 329–348.

Lin, B.B., 2007. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agric. For. Meteorol.* 144, 85–94, <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.12.009>.

Lobell, D.B., Baenziger, M., Magorokosho, C., Vivek, B., 2011a. Nonlinear heat effects on African maize as evidenced by historical yield trials. *Nat. Clim. Change* 1, 42–45, <http://dx.doi.org/10.1038/NCLIMATE1043>.

Lobell, D.B., Burke, M.B., 2008. Why are agricultural impacts of climate change so uncertain? The importance of temperature relative to precipitation. *Environ. Res. Lett.* 3, 034007, <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/3/3/034007>.

Lobell, D.B., Schlenker, W., Costa-Roberts, J., 2011b. Climate trends and global crop production since 1980. *Science* 333, 616–620, <http://dx.doi.org/10.1126/science.1204531>.

MAGFOR, 2013. Agricultural Production Statistics.

Maltais-Landry, G., Lobell, D.B., 2012. Evaluating the contribution of weather to maize and wheat yield trends in 12 US counties. *Agron. J.* 104, 301–311, <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2011.0220>.

New, M., Hulme, M., Jones, P., 2000. Representing twentieth-century space-time climate variability. Part II: Development of 1901–96 monthly grids of terrestrial surface climate. *J. Clim.* 13, 2217–2238, [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<2217:RTCSTC>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<2217:RTCSTC>2.0.CO;2).

Pielke, R.A., Rubiera, J., Landsea, C., Fernandez, M.L., Klein, R., 2003. Hurricane vulnerability in Latin America and the Caribbean: normalized damage and loss potentials. *Nat. Hazards Rev.* 4, 101–114, [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2003\)4:3\(101\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2003)4:3(101)).

Porch, T.G., Bernsten, R., Rosas, J.C., Jahn, M., 2007. Climate change and the potential economic benefits of heat-tolerant bean varieties for farmers in Aticintida, Honduras. *J. Agric. Univ. P. R.* 91, 133–148.

Prasad, P.V.V., Boote, K.J., Allen, L.H., Thomas, J.M.G., 2002. Effects of elevated temperature and carbon dioxide on seed-set and yield of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Glob. Change Biol.* 8, 710–721, <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00508.x>.

Ray, D.K., 2013. Dry season precipitation over the Mesoamerican Biological Corridor is more sensitive to deforestation than to greenhouse gas driven climate change. *Clim. Change* 119, 775–783, <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-013-0753-0>.

Redo, D.J., Ricardo Grau, H., Aide, T.M., Clark, M.L., 2012. Asymmetric forest transition driven by the interaction of socioeconomic development and environmental heterogeneity in Central America. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 109, 8839–8844, <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1201664109>.

Rockstrom, J., Barron, J., Fox, P., 2002. Rainwater management for increased productivity among small-holder farmers in drought prone

environments. *Phys. Chem. Earth* 27, 949–959, [http://dx.doi.org/10.1016/S1474-7065\(02\)00098-0](http://dx.doi.org/10.1016/S1474-7065(02)00098-0).

Schmidt, A., Eitzinger, A., Sonder, K., Sain, G., 2012. Tortillas on the Roaster (TOR): Central American Maize–Bean Systems and the Changing Climate. CIAT, CRS, CIMMYT.

Seth, A., Rauscher, S.A., Rojas, M., Giannini, A., Camargo, S.J., 2011. Enhanced spring convective barrier for monsoons in a warmer world? *Clim. Change* 104, 403–414, <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-010-9973-8>.

Simelton, E., Quinn, C.H., Batisani, N., Dougill, A.J., Dyer, J.C., Fraser, E.D.G., Mkwambisi, D., Sallu, S., Stringer, L.C., 2013. Is rainfall really changing? **Farmers' perceptions, meteorological data, and policy implications.** *Clim. Dev.* 5, 123–138, <http://dx.doi.org/10.1080/17565529.2012.751893>.

Smith, A., Lott, N., Vose, R., 2011. The integrated surface database recent developments and partnerships. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 92, 704–708, <http://dx.doi.org/10.1175/2011BAMS3015.1>.

Stoorvogel, J.J., Smaling, E.M.A., 1998. Research on soil fertility decline in tropical environments: integration of spatial scales. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 50, 151–158, <http://dx.doi.org/10.1023/A:1009732126336>.

Stroosnijder, L., 2009. Modifying land management in order to improve efficiency of rainwater use in the African highlands. *Soil Tillage Res.* 103, 247–256, <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2008.05.019>.

Tao, F., Zhang, Z., Zhang, S., Zhu, Z., Shi, W., 2012. Response of crop yields to climate trends since 1980 in China. *Clim. Res.* 54, 233–247, <http://dx.doi.org/10.3354/cr01131>.

Unión Nacional de Agricultores y Ganaderos (UNAG), 2012. El cultivo de frijol en Nicaragua.

Vermeulen, S.J., Challinor, A.J., Thornton, P.K., Campbell, B.M., Eriyagama, N., Vervoort, J.M., Kinyangi, J., Jarvis, A., Laderach, P., Ramirez-Villegas, J., Nicklin, K.J., Hawkins, E., Smith, D.R., 2013. Addressing uncertainty in adaptation planning for agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 110, 8357–8362, <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1219441110>.

Zhang, H., Yaohui, L., Xuejie, G., 2009. Potential impacts of land-use on climate variability and extremes. *Adv. Atmos. Sci.* 26, 840–854, <http://dx.doi.org/10.1007/s00376-009-8047-1>.

Zhang, T., Stackhouse, P.W., Chandler, W.S., Hoell, J.M., Westberg, D., Whitlock, C.H., 2007. A Global Perspective on Renewable Energy Resources:

NASA'S Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER) Project. Tsinghua University Press, Beijing. ■

Tendencias climáticas históricas, deforestación y rendimiento de maíz y frijol en Nicaragua

Tomás Rodríguez, et al. ©– editor@temasnicas.net

