

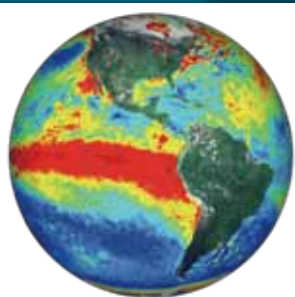


Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura

23

Entendiendo el impacto de sequía provocada por El Niño en el área agrícola mundial:

una evaluación utilizando el Índice
de Estrés Agrícola de la FAO (ASI)



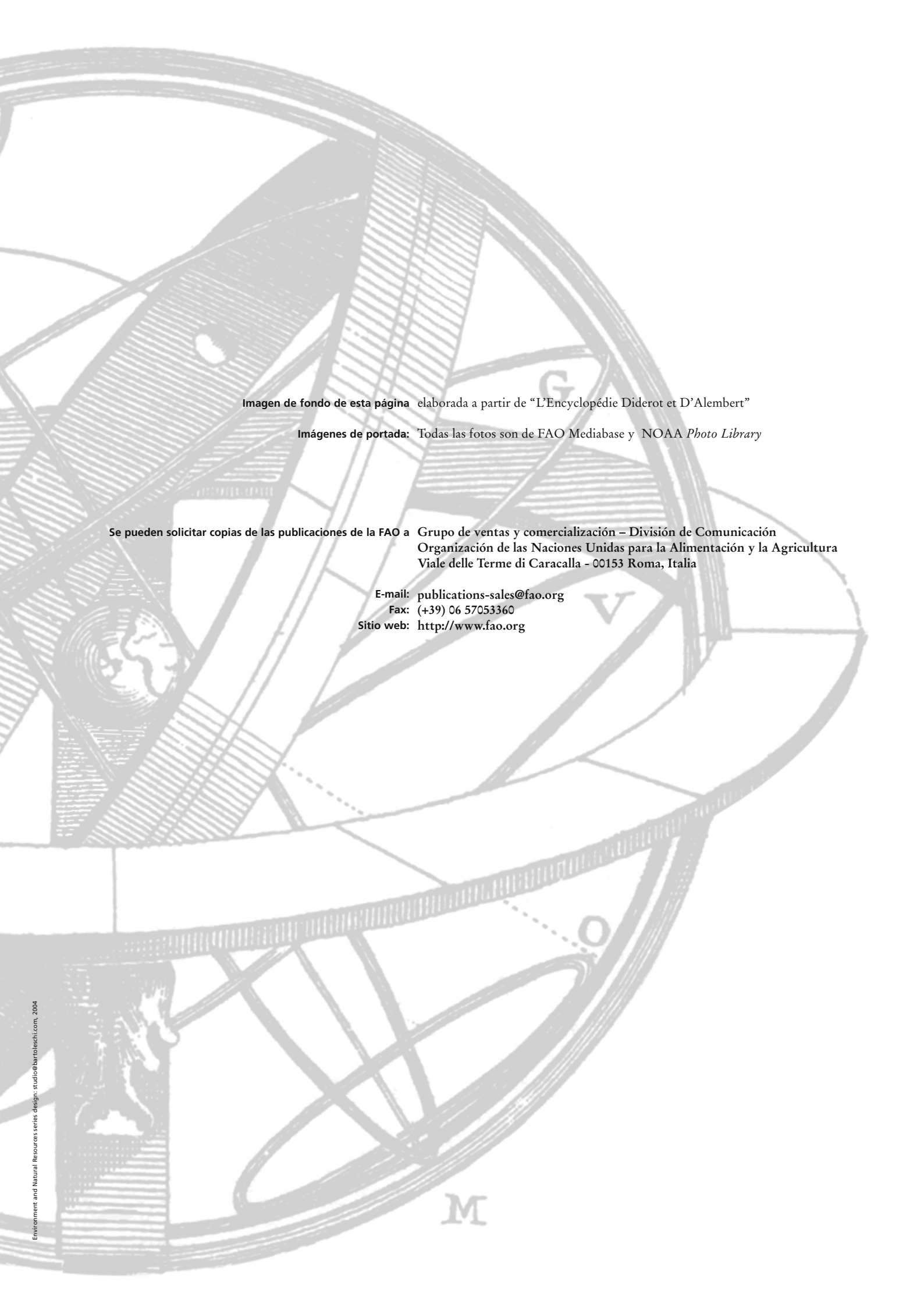


Imagen de fondo de esta página elaborada a partir de “L’Encyclopédie Diderot et D’Alembert”

Imágenes de portada: Todas las fotos son de FAO Mediabase y NOAA *Photo Library*

Se pueden solicitar copias de las publicaciones de la FAO a Grupo de ventas y comercialización – División de Comunicación
Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
Viale delle Terme di Caracalla - 00153 Roma, Italia

E-mail: publications-sales@fao.org
Fax: (+39) 06 57053360
Sitio web: <http://www.fao.org>



Entendiendo el impacto de sequía provocada por El Niño en el área agrícola mundial:

una evaluación utilizando el Índice
de Estrés Agrícola de la FAO (ASI)

Oscar Rojas, NRC (FAO)
Yanyun Li, EST (FAO)
Renato Cumani, NRL (FAO)

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o políticas de la FAO.

ISBN 978-92-5-308671-9

© FAO, 2015

La FAO fomenta el uso, la reproducción y la difusión del material contenido en este producto informativo. Salvo que se indique lo contrario, se podrá copiar, descargar e imprimir el material con fines de estudio privado, investigación y docencia, o para su uso en productos o servicios no comerciales, siempre que se reconozca de forma adecuada a la FAO como la fuente y titular de los derechos de autor y que ello no implique en modo alguno que la FAO apruebe los puntos de vista, productos o servicios de los usuarios.

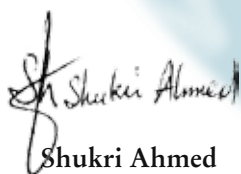
Todas las solicitudes relativas a la traducción y los derechos de adaptación así como a la reventa y otros derechos de uso comercial deberán dirigirse a www.fao.org/contact-us/licence-request o a copyright@fao.org.

Los productos de información de la FAO están disponibles en el sitio web de la Organización (www.fao.org/publications) y pueden adquirirse mediante solicitud por correo electrónico a publications-sales@fao.org.

PREFACIO

Los desastres y la inseguridad alimentaria están directamente interconectados. Sequías, inundaciones, huracanes, tsunamis y otros fenómenos pueden acabar con los alimentos, destruir la agricultura, la ganadería, la pesca, las infraestructuras para el procesamiento de los alimentos, los bienes e insumos y, por ende, la capacidad productiva. Estos episodios impiden el acceso a los mercados, el comercio y el suministro de alimentos, reducen los ingresos, agotan los ahorros y erosionan los medios de vida. La sequía, las plagas y enfermedades vegetales como las plagas de langostas o la gardama, las enfermedades animales como la peste porcina africana y la contaminación o adulteración de los alimentos tienen un impacto económico directo al reducir o eliminar la producción agrícola, afectando negativamente a los precios, el comercio y el acceso al mercado y disminuyendo los ingresos y el empleo agrícola. Las crisis económicas como el alza del precio de los alimentos reducen los ingresos reales, fuerzan a los más pobres a vender sus bienes, disminuyen el consumo de alimentos, reducen la diversidad de la dieta y el acceso a alimentos seguros y de calidad. Los desastres crean trampas de pobreza que aumentan la prevalencia de la inseguridad alimentaria y malnutrición.

La FAO, a través de sus numerosas unidades especializadas, realiza un seguimiento de la evolución de estos fenómenos y facilita indicaciones tempranas y advertencias sobre los posibles impactos en la agricultura y la seguridad alimentaria. Uno de estos fenómenos es la ocurrencia periódica de El Niño. Durante los episodios de El Niño los patrones habituales de precipitaciones y circulación atmosférica se ven alterados, desencadenando episodios climáticos extremos en distintos lugares del planeta: sequías, inundaciones y cambios en la intensidad y frecuencia de los huracanes. La agricultura es uno de los principales sectores de la economía que podría verse severamente afectado por el fenómeno de El Niño. La FAO hace un seguimiento del fenómeno de Oscilación Sur de El Niño (ENSO), entre otros fenómenos meteorológicos relacionados, prestando especial atención a los potenciales impactos sobre el sector agrícola. FAO-SMIA comunica los desarrollos durante el periodo de gestación y lanza alertas y advertencias cuando resulta oportuno. El objetivo de este estudio es mejorar nuestra comprensión del fenómeno de El Niño utilizando el Sistema del Índice de Estrés Agrícola de la FAO (ASI, siglas en inglés). El FAO-ASI, desarrollado con el apoyo del Programa de mejora de la gobernanza mundial para la reducción del hambre de la UE/FAO, se basa en datos de teledetección remota que destacan anomalías en el crecimiento de la vegetación y potenciales sequías en tierras cultivables durante una determinada estación agrícola. Este estudio ha sido desarrollado bajo el auspicio del nuevo Marco estratégico de la FAO, concretamente bajo el Objetivo Estratégico n° 5 “Aumentar la resiliencia de los medios de vida ante las amenazas y crisis”, y el área principal de trabajo sobre fenómenos naturales. Esperamos que los resultados de este estudio promuevan otros debates para seguir entendiendo el fenómeno de El Niño más allá de la bibliografía existente. Ello serviría, a cambio, para mejorar la eficacia de la alerta temprana de la FAO y sus socios para poner en marcha puntualmente las medidas adecuadas de reducción del riesgo de desastres.



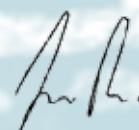
Shukri Ahmed

Economista superior
(EST)



Stephan Baas

Oficial de Recursos Naturales
(NRC)



Luca Russo

Coordinador de Programa
(ESA)

AGRADECIMIENTOS

Queremos dar las gracias a todas las personas que han contribuido directa o indirectamente a la elaboración de esta publicación. Nos gustaría agradecer la participación de nuestros compañeros de EST/SMIA, por sus útiles comentarios sobre cuestiones de alerta temprana y seguridad alimentaria, los compañeros de ESS Jairo Castaño y Michael Kao, por su asesoría sobre análisis estadístico y a Fabrizio Puzzilli por su asistencia en el diseño.

ÍNDICE

iii	Prefacio
iv	Agradecimientos
1	INTRODUCCIÓN
3	QUÉ SABEMOS Y QUÉ NOS GUSTARÍA SABER SOBRE EL NIÑO
5	DATOS UTILIZADOS EN ESTE ESTUDIO
5	A. El Índice del Niño Oceánico (INO)
5	B. El Índice de Oscilación del Sur (IOS)
6	C. El Índice de Estrés Agrícola (ASI)
7	D. Datos auxiliares
9	LA INFLUENCIA DE EL NIÑO EN LAS ZONAS AGRÍCOLAS MUNDIALES
9	El Niño 1986-1988
10	El Niño 1991/1992
10	El Niño 1994/1995
11	El Niño 1997/1998
11	El Niño 2002/2003
12	El Niño 2004/2005
12	El Niño 2006/2007
13	El Niño 2009/2010
23	Características de cada episodio de El Niño
25	5. RELACIÓN ENTRE EL ASI Y EL NIÑO
27	Análisis estadístico
33	Frecuencia de la sequía agrícola
35	DESARROLLOS 2014
37	CONCLUSIONES
41	BIBLIOGRAFÍA CITADA
42	FUENTES DE LOS DATOS PARA LA ELABORACIÓN DE LOS MAPAS

El Niño consiste en un calentamiento local de las aguas superficiales que tiene lugar en toda la zona ecuatorial del océano Pacífico, tanto central como oriental de la costa peruana y que afecta a la circulación atmosférica en todo el mundo (Kiladis y Díaz, 1989). Normalmente, el evento alcanza su máxima intensidad alrededor de la Navidad, de ahí su nombre (por la celebración católica del nacimiento del niño Jesús). La Niña hace referencia a la fase fría del evento. Es un fenómeno meteorológico recurrente que tiene lugar entre dos o siete años y que normalmente dura entre 12 y 18 meses (CPC, 2005). Un episodio de El Niño está definido por un alto Índice de El Niño Oceánico (INO), que se basa en alteraciones en la Temperatura de la Superficie del Mar (SST, siglas en inglés) respecto a la media en la región central del Pacífico ecuatorial. Un episodio de El Niño está asociado a temperaturas más altas de lo normal y persistentes en la superficie del mar, provocando cambios en los patrones de vientos y precipitaciones (figura 1) (Ropelewski y Halpert, 1992; IRI, 2013). Pese a sus manifestaciones periódicas y recurrentes, El Niño no tiene una **tendencia determinada**¹ con periodos fijos de ocurrencia e intensidad constante. Por ello se han desarrollado modelos **estocásticos**² para predecir el inicio y la intensidad de sus episodios. No obstante, pese a que la precisión de estos modelos es considerablemente alta para predecir el inicio de un episodio de El Niño, la intensidad es mucho menos previsible debido a las perturbaciones atmosféricas aleatorias que podrían amortiguar o amplificar la intensidad de un evento y de esta forma su impacto sobre los patrones meteorológicos (CPC, 2005).

La Oscilación Sur es un movimiento de masas de aire de este a oeste entre zonas del Pacífico y áreas indoaustralianas. Está asociada (con cierta sincronización) a determinados patrones de viento y a El Niño, y es medida con el Índice de Oscilación Sur (IOS) (Parker, 1983). El Niño es el componente oceánico, mientras que la Oscilación Sur es el atmosférico. Esta combinación da lugar al término ENOS (El Niño – Oscilación Sur). Aunque no existe una correlación perfecta entre El Niño y la Oscilación Sur, ya que existen mínimas variaciones, valores altos negativos del IOS pueden asociarse con las fases calientes del fenómeno.

1 Los procesos o proyectos que tienen solo un resultado son calificados como determinísticos: su resultado es predeterminado. En un algoritmo determinístico, por ejemplo, si siempre se introduce el mismo tipo de información, producirá siempre el mismo resultado.

2 En la teoría de la probabilidad, un sistema puramente estocástico es aquel cuyo estado es no determinístico (esto es, aleatorio) de forma que el consiguiente estado del sistema se determina con carácter probabilístico. Cualquier sistema o proceso que deba ser analizado usando la teoría de la probabilidad es estocástico, al menos parcialmente.

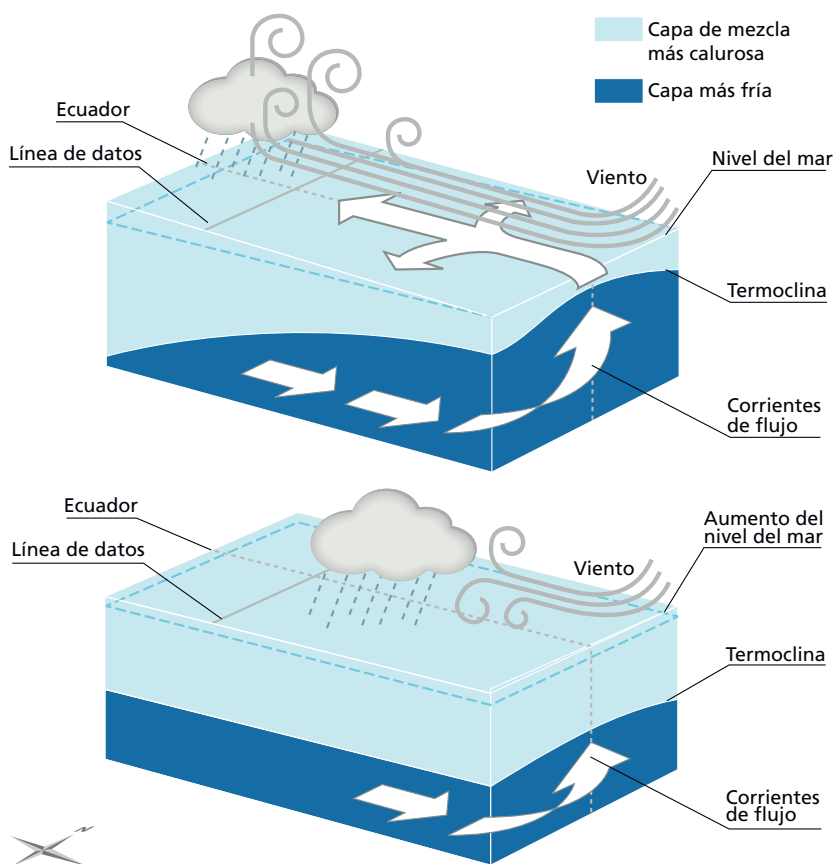


La FAO no tiene un mandato sobre los aspectos geofísicos del fenómeno de El Niño. El interés de la organización se centra en los impactos que este fenómeno pueda tener sobre la agricultura, y por ende sobre la seguridad alimentaria (FAO, 2013).

Las condiciones de El Niño son seguidas de cerca por importantes institutos meteorológicos, que se encargan también de actualizar las previsiones. La alerta temprana facilitada por los científicos cada año permite a los gobiernos de la región debatir, preparar y poner en marcha planes de contingencia relacionados con el fenómeno. Este documento describe el impacto que El Niño ha tenido en las principales zonas de producción agrícola, centrándose principalmente en los granos básicos. Para evaluar el impacto de la sequía, se utiliza como indicador el Índice de Estrés Agrícola (ASI, siglas en inglés). Este se basa en datos de teledetección remota que ponen en relieve anomalías en el crecimiento de la vegetación y potencial sequía en las áreas agrícolas durante una campaña agrícola (Rojas *et al.*, 2011). La principal amenaza para las zonas agrícolas es la sequía. No obstante, El Niño podría producir otros impactos climáticos, tales como inundaciones repentinas o huracanes intensos, que podrían afectar a la campaña agrícola. El ASI no puede evaluar el impacto negativo de las inundaciones repentinas o los huracanes, solo podría detectar un posible efecto positivo debido al aumento de la disponibilidad de agua debido a las lluvias intensas.

FIGURA 1

Condiciones normales (parte superior) comparadas con condiciones de El Niño (parte inferior).



Fuente: Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA).

QUÉ SABEMOS Y QUÉ NOS GUSTARÍA SABER SOBRE EL NIÑO

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2014), la investigación desarrollada en las últimas décadas ha producido considerable información sobre el importante rol que juegan las interacciones entre la atmósfera y el océano en el cinturón tropical del Océano Pacífico, alterando la temperatura global y los patrones climáticos mundiales. Durante los episodios de El Niño, por ejemplo, las temperaturas de la superficie del mar en la zona tropical del Océano Pacífico central y oriental son notablemente más altas de lo normal. Por el contrario, durante los episodios de La Niña las temperaturas de la superficie del mar en estas regiones son más bajas de lo normal. Estos cambios de temperatura están fuertemente vinculados a las principales fluctuaciones climáticas en el planeta y, una vez desencadenados, estos eventos pueden durar 12 meses o más.

El fuerte episodio de El Niño de 1997-1998 fue seguido por un largo periodo de La Niña, que se prolongó desde mediados de 1998 hasta principios de 2001. Los fenómenos de El Niño/La Niña cambian la probabilidad de un patrón climático global, pero los resultados de cada evento nunca son exactamente los mismos. Más aún, mientras que normalmente existe una relación entre los impactos globales de un episodio de El Niño/La Niña y su intensidad, siempre existe potencial para que un episodio genere impactos notables en algunas regiones independientemente de su intensidad. Existe un amplio consenso sobre los impactos generales de El Niño en todo el planeta, resumidos en la figura 2.

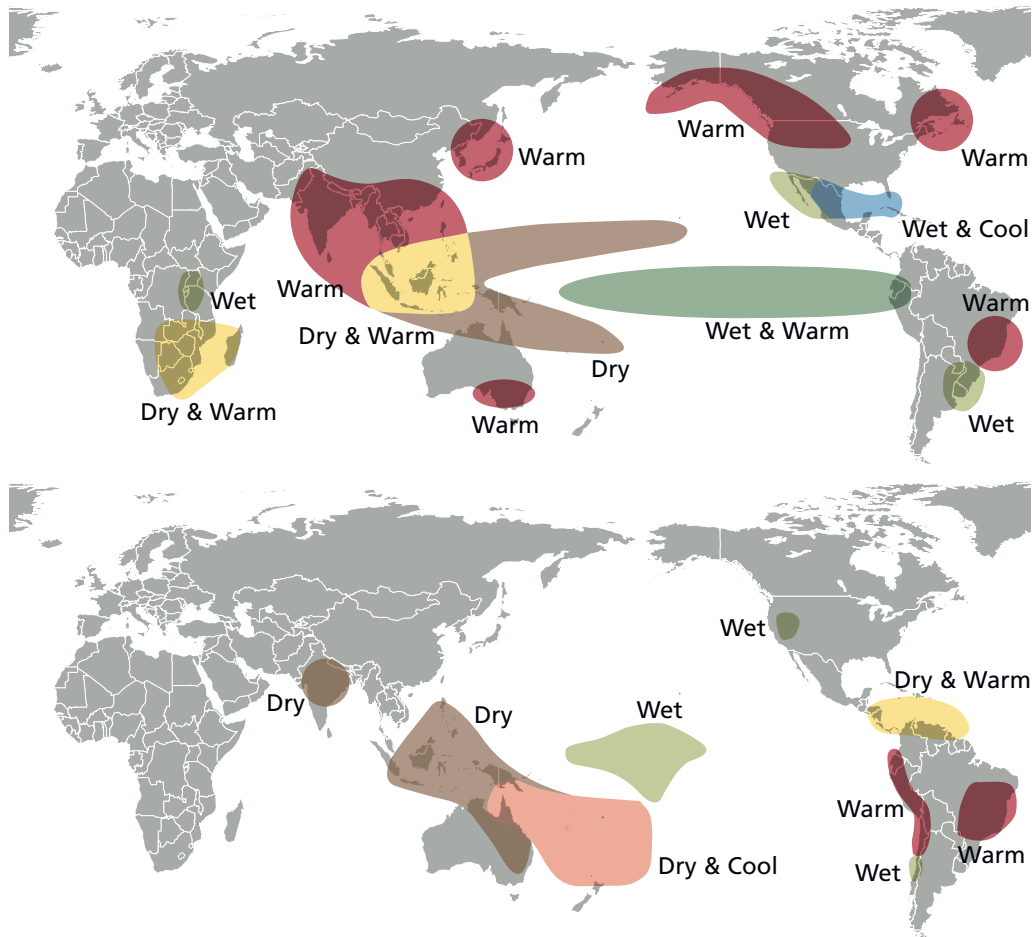
Desde un punto de vista agrícola, y en este caso en particular referido solo a los cultivos cerealeros, es importante conocer los posibles impactos de El Niño y tener respuesta a las siguientes preguntas: ¿está vinculado el potencial daño de sequía con la intensidad, duración e inicio del fenómeno? ¿son algunos países o regiones más vulnerables al impacto que otros? ¿cuál ha sido la frecuencia de los impactos de la sequía en las áreas de cultivo en los últimos 30 años?

Con el fin de responder a estas preguntas se han examinado los resultados recientes del ASI, desde 1984 hasta la fecha. Durante este periodo de 30 años de teledetección remota, solo han tenido lugar nueve episodios de El Niño (cada episodio cubre normalmente dos años).



FIGURA 2

La mitad superior corresponde al invierno del hemisferio norte (de octubre a marzo) y la mitad inferior cubre los impactos de abril a septiembre. La palabra "Dry" indica sequía, "Wet" se usa para precipitaciones inusualmente altas (no necesariamente inusualmente intensas) y "Warm" equivale a periodos anormalmente calurosos



Fuente: http://www.srh.noaa.gov/jetstream/tropics/enso_impacts.htm

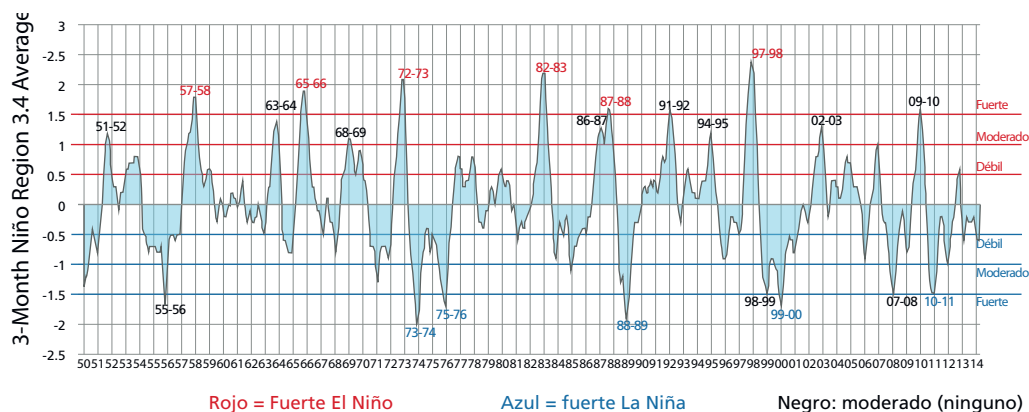
DATOS UTILIZADOS EN ESTE ESTUDIO

A. EL ÍNDICE DEL NIÑO OCEÁNICO (INO)

El Índice Oceánico del Niño (INO) se ha convertido de facto en el estándar que la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, siglas en inglés) utiliza para identificar episodios de El Niño (fase caliente) y La Niña (fase fría) en el Pacífico tropical (Figura 3). Se emplea la anomalía media de 0,5 grados o más, que ocurra durante tres meses consecutivos en la superficie del mar (SST, siglas en inglés) en la región de El Niño (esto es, 5°N-5°S, 120°-170°W) para definir un evento. Los episodios se definen en un periodo de tres meses de tiempo con +0,5 °C o más de anomalía caliente (El Niño) o episodios de -0,5 °C o menos de anomalía de fase fría (La Niña). El umbral, de esta forma, se rompe provocando episodios débiles (con una anomalía de 0,5 a 0,9 SST), moderados (1,0 a 1,4) o fuertes (≥ 1.5). Para que un evento sea categorizado como débil, moderado o fuerte debe haber alcanzado o superado este umbral por un periodo de al menos tres meses consecutivos.

FIGURA 3

El Índice del Niño Oceánico (INO)



Fuente: <http://ggweather.com/enso/oni.htm>

B. EL ÍNDICE DE OSCILACIÓN DEL SUR (IOS)

El Índice de Oscilación del Sur (IOS) indica el desarrollo e intensidad de los episodios de El Niño o La Niña en el Océano Pacífico. El IOS se calcula utilizando las diferencias de temperatura entre Tahití y Darwin. Hay distintas formas de calcular el IOS. Este estudio utiliza los datos calculados por la Oficina Australiana de Meteorología.

<http://www.bom.gov.au/climate/glossary/soi.shtml>



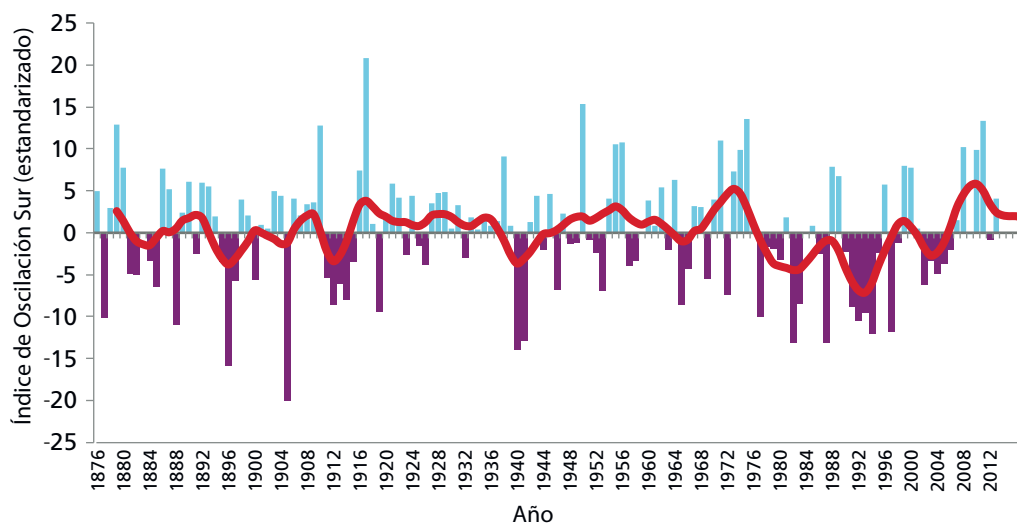
Valores negativos del IOS por debajo de -8 indican a menudo episodios de El Niño. Estos valores negativos se acompañan a menudo de un calentamiento estable del Océano Pacífico tropical central y oriental y de una disminución de la fuerza de los vientos alisios del Pacífico.

Valores positivos del IOS por encima de $+8$ son típicos en un episodio de La Niña. Están asociados con vientos alisios del Pacífico más fuertes y temperaturas del mar más cálidas en el norte de Australia. Las aguas en el Océano Pacífico tropical y central se vuelven más frías durante esta época.

<http://www.bom.gov.au/climate/current/soihtm1.shtml>

FIGURA 4

Índice de Oscilación Sur (IOS) (1950-2013) calculado por la Oficina Australiana de Meteorología



Fuente: <http://www.bom.gov.au/climate/current/soihtm1.shtml>

C. EL ÍNDICE DE ESTRÉS AGRÍCOLA (ASI)

El Índice de Estrés Agrícola (ASI) es un indicador de la FAO que pone en relieve anomalías en el crecimiento de la vegetación y sequías potenciales en las áreas de cultivo durante una determinada temporada agrícola

<http://www.fao.org/giews/earthobservation/>

El ASI integra el Índice de Salud de la Vegetación (VHI, siglas en inglés) en dos dimensiones críticas para evaluar un episodio de sequía en la agricultura: el tiempo y el espacio. El ASI evalúa la intensidad temporal y la duración de periodos de sequía y calcula el porcentaje de área cultivable afectada por la sequía. Los píxeles con un valor de VHI por debajo del 35 por ciento fueron identificados como críticos en estudios previos de evaluación de las sequías (Kogan, 1994; Unganai y Kogan, 1998). Todo el área administrativa es clasificada de acuerdo con el porcentaje de área cultivable afectada por las condiciones de sequía (Rojas, *et al.* 2011). El ASI no puede evaluar los impactos de las inundaciones repentinas. La versión actual del ASI presenta las siguientes limitaciones:

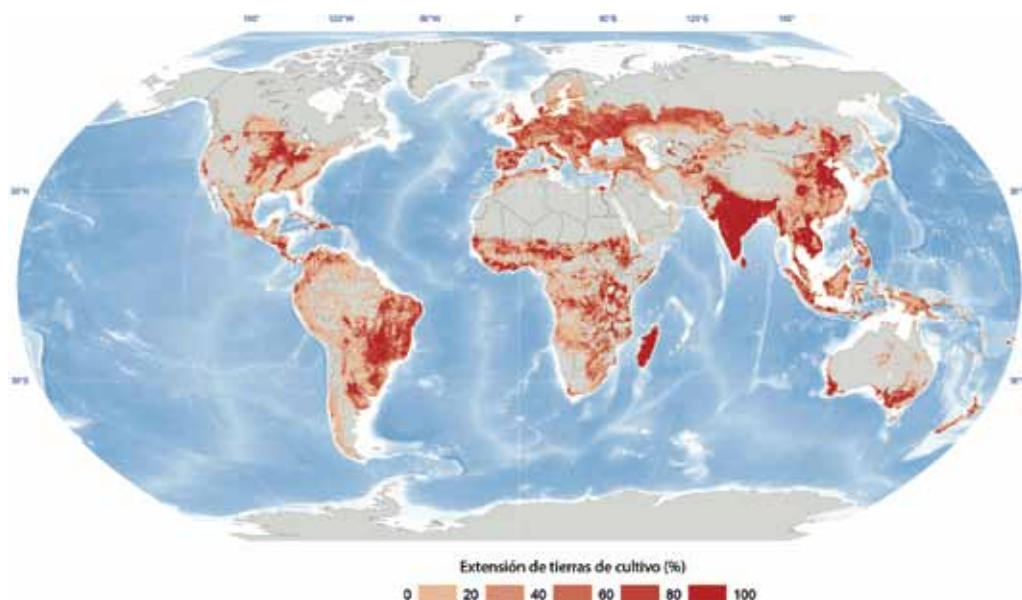
- El índice detecta episodios extremos de sequía, lo que significa que las zonas agrícolas afectadas por sequías moderadas (refiriéndonos a intensidades temporales en un determinado punto serían obviadas).
- Define dos campañas agrícolas en todo el planeta. Esto es válido para la mayoría de zonas, pero hay regiones de América Central con tres campañas en un año natural. En ASI la primera campaña no es necesariamente la principal, solo es la primera que sucede en el tiempo en un año natural.
- La versión actual da un peso similar a todas las fases fenológicas a la hora de calcular la integración temporal, sin tener en cuenta los requisitos de agua y sus implicaciones en la reducción del rendimiento de los cultivos.

D. DATOS AUXILIARES

Este estudio utiliza una máscara de cultivos generalizada global de 250 m producida por el Centro Común de Investigación (JRC, siglas en inglés) (Vancutsen *et al.* 2013), que combina mapas existentes de cobertura terrestre/uso del suelo³. Para determinar el periodo de crecimiento, el inicio de la campaña (SOS, siglas en inglés) y el final de la campaña (EOS, siglas en inglés) se derivaron de series temporales SPOT-VGT (1998-2011). El método de White *et al.* (1997) fue modificado aplicando un umbral del 25 por ciento para el SOS y de un 75 por ciento para el EOS, los umbrales considerados más adecuados por el estudio para definir el periodo de crecimiento de las cosechas anuales. Esto desembocó en los siguientes mapas:

FIGURA 5.

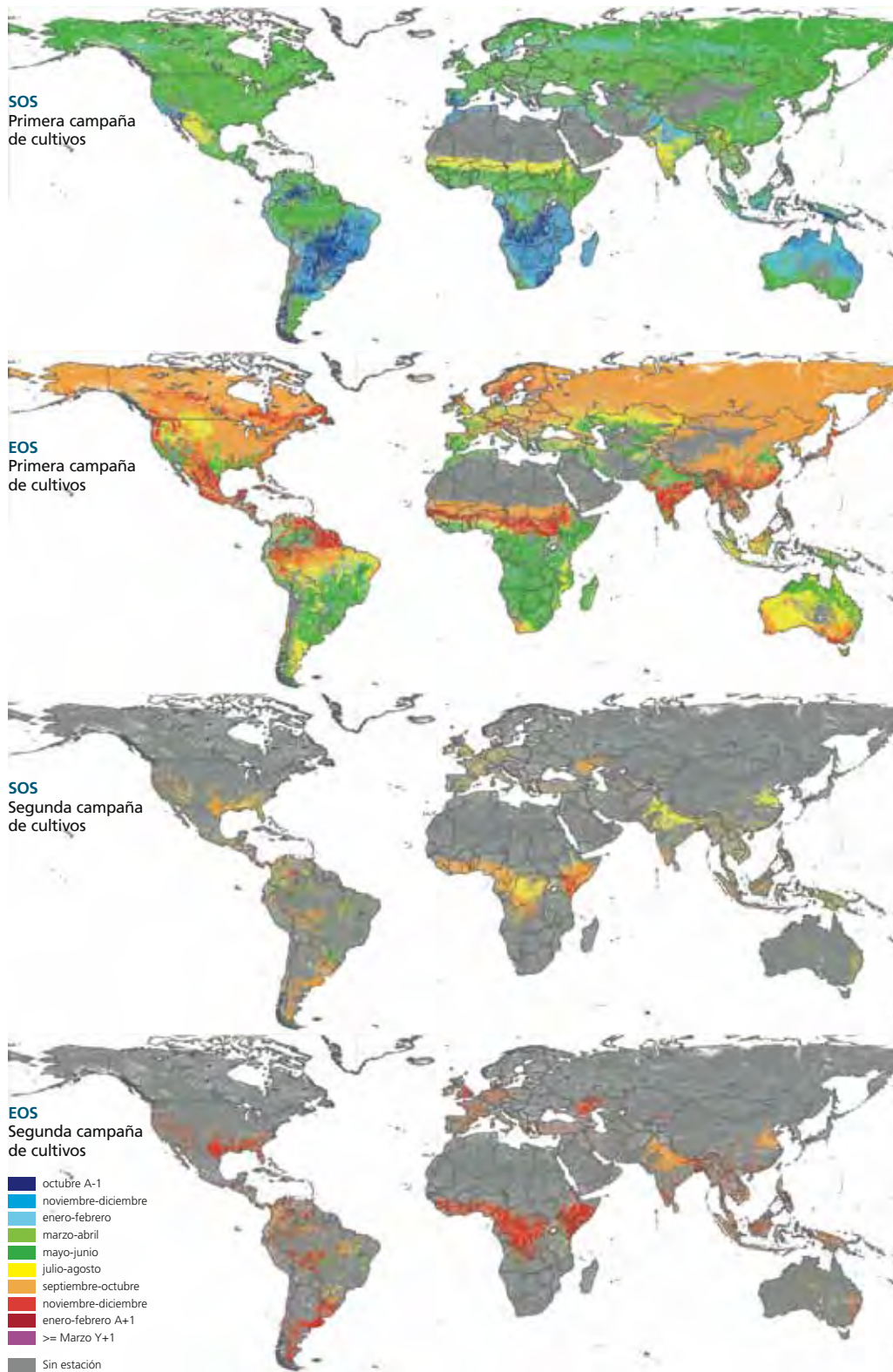
Máscara mundial generalizada de cultivos producida por el JRC y adaptada por VITO a 250 m



³ La metodología es descrita por Vancutsen *et al.* (2013) para el caso del continente africano. La máscara mundial de cultivos fue ligeramente modificada basándose en la experiencia de campo de FAO-SMIA. El Departamento de Agricultura, Pesca y Silvicultura del Gobierno Australiano, ABARES contribuyó a la máscara de cultivos de Australia.

FIGURA 6

Inicio de campaña (SOS) y Final de campaña (EOS) para dos campañas de cultivos a nivel mundial basados en datos SPOT-VGT (1998-2011).



LA INFLUENCIA DE EL NIÑO EN LAS ZONAS AGRÍCOLAS MUNDIALES

EL NIÑO 1986-1988

El Niño 1986/87 y 1987/88 conformaron dos episodios consecutivos calientes sin interrupción que influyeron en el clima durante 19 meses, el periodo más prolongado desde 1984. El Niño 1986/87 fue clasificado como moderado mientras que el de 1987/88 fue clasificado como fuerte. Esta combinación de El Niño moderado/fuerte ha sucedido solo una vez en 64 años de registro del fenómeno (1950-2013), representando un caso particular. El INO de El Niño 1986/87 sobrepasó el valor de 0.5 en julio-agosto-septiembre de 1986 y alcanzó 1,3 en enero-febrero-marzo de 1986 (relativamente tarde), y El Niño 1987/88 alcanzó 1,6 excepcionalmente pronto, en julio-agosto-septiembre de 1987. Las condiciones previas de El Niño 86/87 fueron neutras, con valores del INO cercanos a -0.5.

La figura 4 muestra que los países afectados por la sequía de 1986 durante la primera campaña agrícola fueron: en **América**, Estados Unidos, México (algunos puntos de sequía), el sur de Brasil y algunos puntos de Argentina; en **África**, Marruecos (algunos puntos), Túnez (gravemente afectado⁴), Mauritania, Senegal, Malí, Níger, Nigeria, Chad, Sudán, Botswana (gravemente afectada), Sudáfrica y Madagascar.

Durante la segunda campaña agrícola de 1986, los países afectados fueron Somalia, Pakistán, India y China (figura 5).

Durante la primera campaña de 1997, los países afectados fueron: en **América**, algunos puntos de sequía en Estados Unidos, México, Brasil y Argentina; en **África**, Marruecos, Malí, Burkina Faso, Níger, Nigeria, Chad, Sudán, Eritrea, Etiopía, Somalia, Namibia, Botswana (gravemente afectada), Zimbabwe, Sudáfrica y el sur de Mozambique; y en **Asia**, Pakistán, India (gravemente afectada), Bangladesh (gravemente afectado), Tailandia, Camboya y China (figura 4).

Durante la segunda campaña de 1987, Pakistán e India fueron gravemente afectados por la sequía (figura 5).

Durante la primera campaña de 1998, hubo un impacto de sequía bajo, excepto en India, donde hubo algunos puntos en los que el ASI muestra un impacto moderado. Esto podría deberse al pico excepcionalmente temprano de El Niño 1987/88, aproximadamente tres

⁴ Se refiere a una sequía fuerte/moderada considerando la dimensión espacial del episodio y no la temporal. Se entiende por sequía moderada un evento de sequía con una difusión media en la unidad administrativa, considerando el número de píxeles clasificados como severamente afectados por la sequía (VHI<35).



meses antes de lo normal (los picos de El Niño normalmente se producen en diciembre). Sin embargo, durante 1988, hubo una sequía severa en Estados Unidos y Canadá, áreas normalmente vinculadas a El Niño que fueron menos evidentes durante 1986 y 1987.

EL NIÑO 1991/1992

El Niño 1991/92 duró 14 meses, fue el segundo más largo de los últimos 30 años y fue clasificado de intensidad moderada. Las condiciones previas a El Niño 1991/92 se consideraban neutras con valores del INO cercanos a 0,4.

La figura 6 muestra zonas afectadas por la sequía durante la primera campaña agrícola de 1991. En **América**, la sequía afectó a Estados Unidos, Centroamérica (Nicaragua y Honduras) y el Caribe (Haití y República Dominicana), Colombia, Venezuela, y Rio Grande do Sul y Natal en Brasil. En **Asia**, las áreas afectadas por la sequía fueron India, Irán, Pakistán, Tailandia, Camboya, Filipinas y algunos puntos de China. En **África**, Sudán, Etiopía, Senegal, Mauritania, Níger, Nigeria, el sur de Madagascar y Zimbabwe fueron afectados.

Durante la segunda campaña agrícola de 1991, las zonas afectadas por la sequía fueron: en **América**, la parte central de Estados Unidos y el estado de California, Centroamérica, Colombia, Venezuela y Rio Grande do Sul y Santa Catarina en Brasil. En **África**, la sequía afectó a Sierra Leona, Costa de Marfil, Ghana, Nigeria, Etiopía, Uganda y Somalia. En **Asia**, se vieron afectados Pakistán, India e Indonesia.

Durante la primera campaña agrícola de 1992, las zonas afectadas por la sequía fueron: en **América**, el noroeste de Estados Unidos y zonas nortes de Brasil y Perú. En **África** la sequía afectó a Marruecos, Senegal, Somalia y el sur del continente, que se vio gravemente afectado (Sudáfrica, Zimbabwe, Botswana, Malawi, y la zona sur de Madagascar). En **Asia**, India, Turquía, Filipinas, Camboya, Tailandia y algunas zonas de Indonesia se vieron afectadas.

Teniendo en cuenta la magnitud de los impactos negativos provocados por El Niño 1991/92 en las zonas agrícolas de todo el planeta, se ha clasificado, desde un punto de vista agrícola, como el episodio más severo de los últimos 30 años. Basándose exclusivamente en el indicador del INO, es difícil concluir por qué El Niño 1991/92 produjo un desastre devastador para la agricultura mundial.

EL NIÑO 1994/1995

El Niño 1994/95 empezó relativamente tarde, en agosto-septiembre-octubre de 1994 y duró solo siete meses. Fue clasificado como de intensidad moderada, alcanzando 1.2 en noviembre-diciembre-enero. Durante la primera campaña agrícola de 1994, algunas áreas fueron afectadas por sequía moderada en las islas de **Asia-Pacífico**, especialmente en Indonesia y Malasia (figura 7).

Durante la segunda campaña agrícola de 1994, el ASI muestra solo una sequía moderada en Sumatra, Indonesia. Durante la primera campaña agrícola de 1995, la figura 7 muestra algunos puntos en **América**: el norte de Texas, en Estados Unidos, la zona norte de México y algunos puntos en Bahía, Brasil. En **África** hubo un fuerte impacto

en Marruecos, Túnez, Botswana y Zimbabwe. En Europa, la zona sur de España se vio afectada y en **Asia** se registraron algunos puntos moderados en China y la zona norte de Bangladesh. Debido a su corta duración y pico tardío, El Niño 1994/95 causó solo algunos impactos negativos en la agricultura mundial.

EL NIÑO 1997/1998

El Niño 1997/98 fue clasificado de intensidad fuerte, alcanzando el máximo valor INO de los últimos 64 años, un 2,4. Comenzó en abril-mayo-junio de 1997 y duró 12 meses. Las condiciones previas a El Niño 1997/98 se consideraron neutras, con valores INO cercanos a los -0,5. Debido a su extrema intensidad, se le llamó “el episodio climático del siglo”. No obstante, los impactos en el sector agrícola no parecen directamente proporcionales a la intensidad del fenómeno. En la región centroamericana los daños son abultados por la ocurrencia del huracán Mitch, que surge del paso de un evento El Niño a un evento de La Niña en forma consecutiva.

La figura 8 muestra los impactos en zonas agrícolas durante la primera campaña agrícola de 1997. En **América** se vieron gravemente afectados algunos puntos en Estados Unidos y México. La sequía también afectó algunos puntos en Argentina. En **Asia**, se vieron afectados Irán, Pakistán, norte de Afganistán y algunos puntos en India y China. En **África**, Senegal, Argelia y Túnez se vieron gravemente afectados, así como algunos puntos con sequía moderada en Níger, Sudán, Etiopía y norte de Tanzania. En **Oceanía**, el sur de Australia fue afectado por sequía moderada.

Durante la segunda campaña agrícola de 1997, hubo algunos puntos de sequía en Colombia (**América**), y en China e Indonesia (**Asia**).

Durante la primera campaña agrícola de 1998, las zonas afectadas por sequía en **América** fueron puntos en Estados Unidos y México, y la parte noreste de Brasil (severamente afectada). En **África** se registró sequía moderada en el norte de Namibia y Botswana. En **Asia** hubo algunos puntos de sequía moderada en Myanmar e Indonesia y en **Oceanía**, Papúa Nueva Guinea fue afectada con algunos puntos de sequía moderada.

EL NIÑO 2002/2003

El Niño 2002/03 fue clasificado como moderado en intensidad con un valor INO de 1.3 que alcanzó su máximo en octubre-noviembre-diciembre de 2002. Comenzó en abril-mayo-junio de 2002 y duró diez meses. Las condiciones previas a El Niño 2002/03 se consideraban neutras con valores de INO cercanos a -0.3 (figura 9).

Durante la primera campaña agrícola de 2002, los impactos en la agricultura se vieron en **América**: en Canadá y Estados Unidos, algunos puntos en México, Colombia y Venezuela (gravemente afectados). En **África** la sequía afectó a Senegal, Malí, Burkina Faso, Nigeria, Sudán, Etiopía, Coast Province en Kenya, Marruecos y Argelia. En Europa se vio afectada Sicilia, en Italia. En **Asia** los países afectados fueron Pakistán, India, China y Mongolia (gravemente afectados). En **Oceanía** se vio gravemente afectada Australia.

Durante la segunda campaña agrícola de 2002, las zonas afectadas en **América** fueron algunos puntos en la zona central de Estados Unidos, Colombia, Venezuela, Ecuador y

Brasil. En **África** la sequía afectó a algunos puntos en Etiopía. En **Asia** los países afectados fueron Pakistán, India (gravemente afectada), China y algunos puntos en Indonesia.

Durante la primera campaña agrícola de 2003, se vieron afectados por la sequía los siguientes países: en **América**, Canadá, Estados Unidos (gravemente afectados); algunos puntos en México, Colombia, Honduras, Nicaragua, norte de Brasil y Argentina. En **África** la sequía afectó a Etiopía, Nigeria, Tanzania, Botswana (severamente afectados) y Sudáfrica. En **Asia** la sequía afectó a India y Myanmar, China y Mongolia con puntos moderados, y las islas de **Asia-Pacífico**. En **Oceanía**, hubo sequía en Australia y Nueva Zelanda (severamente afectada).

EL NIÑO 2004/2005

El Niño 2004/05 fue clasificado de intensidad débil, con un valor INO de 0,8 que alcanzó su pico relativamente temprano, en agosto-septiembre-octubre de 2004 y duró solo siete meses. Las condiciones previas a El Niño 2004/05 se consideraban neutras, con valores INO cercanos a -0,3.

La agricultura sufrió el impacto de El Niño 2004/05 principalmente durante la primera campaña agrícola de 2004 (figura 10). En **América**, la sequía afectó a puntos del noroeste de Estados Unidos, México, Honduras, Cuba, Colombia, Ecuador, Brasil, Uruguay y Argentina. En **África** los países afectados fueron Malí, Burkina Faso, Sudán, Etiopía, Somalia (gravemente afectada), Tanzania, Coast Province en Kenya y Uganda (los dos últimos países fueron severamente afectados). En **Asia**, Pakistán, Myanmar, Tailandia, Vietnam, Indonesia, Malasia, China y Mongolia fueron afectados. En **Oceanía**, la sequía afectó a Australia y Nueva Zelanda (gravemente afectada).

Durante la segunda campaña agrícola de 2004 la sequía afectó a algunos puntos de **América** (sur de Brasil y Argentina); algunos puntos de **África** (en Kenya y Tanzania); **Asia** (algunos puntos de Pakistán, India, Myanmar, Tailandia y un reducido número de puntos en Indonesia).

Durante la primera campaña agrícola de 2005 los impactos de la sequía en las zonas agrícolas del planeta fueron mucho menores. Hubo algunos puntos de sequía moderada en los Estados Unidos, México, sur de Brasil, Somalia, China, Myanmar, Tailandia, Vietnam y Australia.

EL NIÑO 2006/2007

El Niño 2006/07 fue clasificado de intensidad leve, con un valor INO de 1.0 que alcanzó su pico en octubre-noviembre-diciembre de 2006. Comenzó tarde, en agosto-septiembre-octubre de 2006 y duró solo cinco meses, la duración más corta en 64 años. Las condiciones previas a El Niño 2006/07 son consideradas como negativas, con valores INO con el pico en -0.9 (pasando de La Niña a El Niño) (figura 11). No obstante, El Niño 2006/07 produjo graves sequías en Tanzania y Australia (las peores sequías en ambos países de los últimos 30 años).

En 2006, la mayoría de impactos se concentraron durante la primera campaña agrícola. En **América**, Estados Unidos se vieron severamente afectados. También hubo sequía en Paraguay

y el sur de Brasil, y sequía moderada en el sur de Argentina. En **África** la sequía afectó al sur de Malí, la parte central de Etiopía, Somalia (sequía de moderada a fuerte), Madagascar y Tanzania (severamente afectados). En **Asia**, Afganistán, Pakistán, India, y algunos puntos de China fueron afectados. En **Oceanía**, Australia sufrió la peor sequía del siglo.

Durante la segunda campaña agrícola de 2006 se notaron impactos en algunos puntos localizados de Estados Unidos, Brasil, India y China.

Durante la primera campaña agrícola de 2007, El Niño provocó algunos puntos de sequía en **América** (Estados Unidos y México, y zonas localizadas del sur de la Provincia de Buenos Aires, en Argentina). En **África** la sequía afectó a Marruecos (de forma severa), Malí y Burkina Faso, con puntos de sequía moderada en Níger y Nigeria, y Somalia. Uganda fue severamente afectada y se dieron puntos de sequía severa en Botswana, Sudáfrica y Madagascar. En **Asia** se vieron afectadas Turquía, Afganistán, Mongolia y China. En **Oceanía** se dio una sequía entre moderada y severa en Australia.

EL NIÑO 2009/2010

El Niño 2009/10 tuvo una clasificación de intensidad moderada, con un valor INO de 1,6 que alcanzó su pico en noviembre-diciembre-enero de 2009, Comenzó relativamente tarde, en junio-julio-agosto de 2009 y duró diez meses. Las condiciones previas a 2009/10 fueron consideradas como negativas, con valores INO que alcanzaron -0.8, pasando de La Niña a El Niño (figura 12).

Durante la primera campaña agrícola de 2009, los impactos de El Niño en la agricultura se notaron en numerosos países. En **América** la sequía afectó a algunos puntos de Estados Unidos, Venezuela con sequía de moderada a severa, Argentina severamente afectada, Paraguay y Brasil, con algunos puntos de sequía moderada. En **África** los países afectados fueron Sierra Leona, Sudán con sequía moderada, Etiopía, Somalia y Kenya, con la peor sequía en 30 años. En **Asia** se dieron algunos puntos de sequía en India y China. En **Oceanía** el sureste de Australia fue afectado por la sequía.

Durante la segunda campaña agrícola de 2009, los países afectados en **América** fueron: Argentina, gravemente afectada, y algunos puntos de Colombia y Venezuela. En **África** hubo algunos puntos de sequía moderada en Somalia, Kenya y Tanzania, y en **Asia** algunos puntos localizados en Pakistán, India y China.

Durante la primera campaña agrícola de 2010, hubo solo cuatro puntos importantes de sequía que afectaron a la agricultura mundial: Madagascar, Pakistán, noroeste de India y suroeste de Australia.

FIGURA 7

Episodios de El Niño asociados a las condiciones de crecimiento de los cultivos

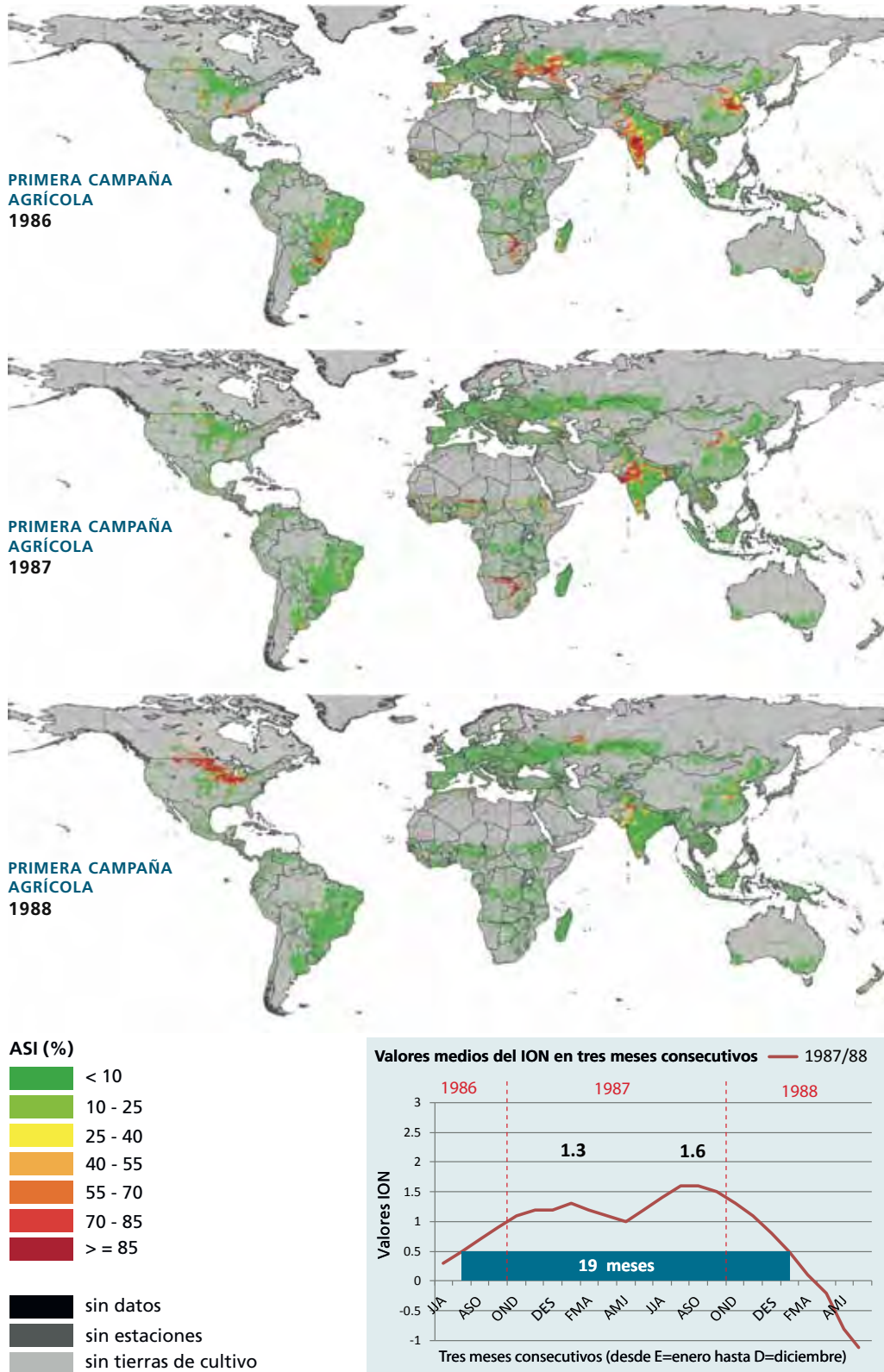


FIGURA 8

Episodios de El Niño asociados a las condiciones de crecimiento de los cultivos

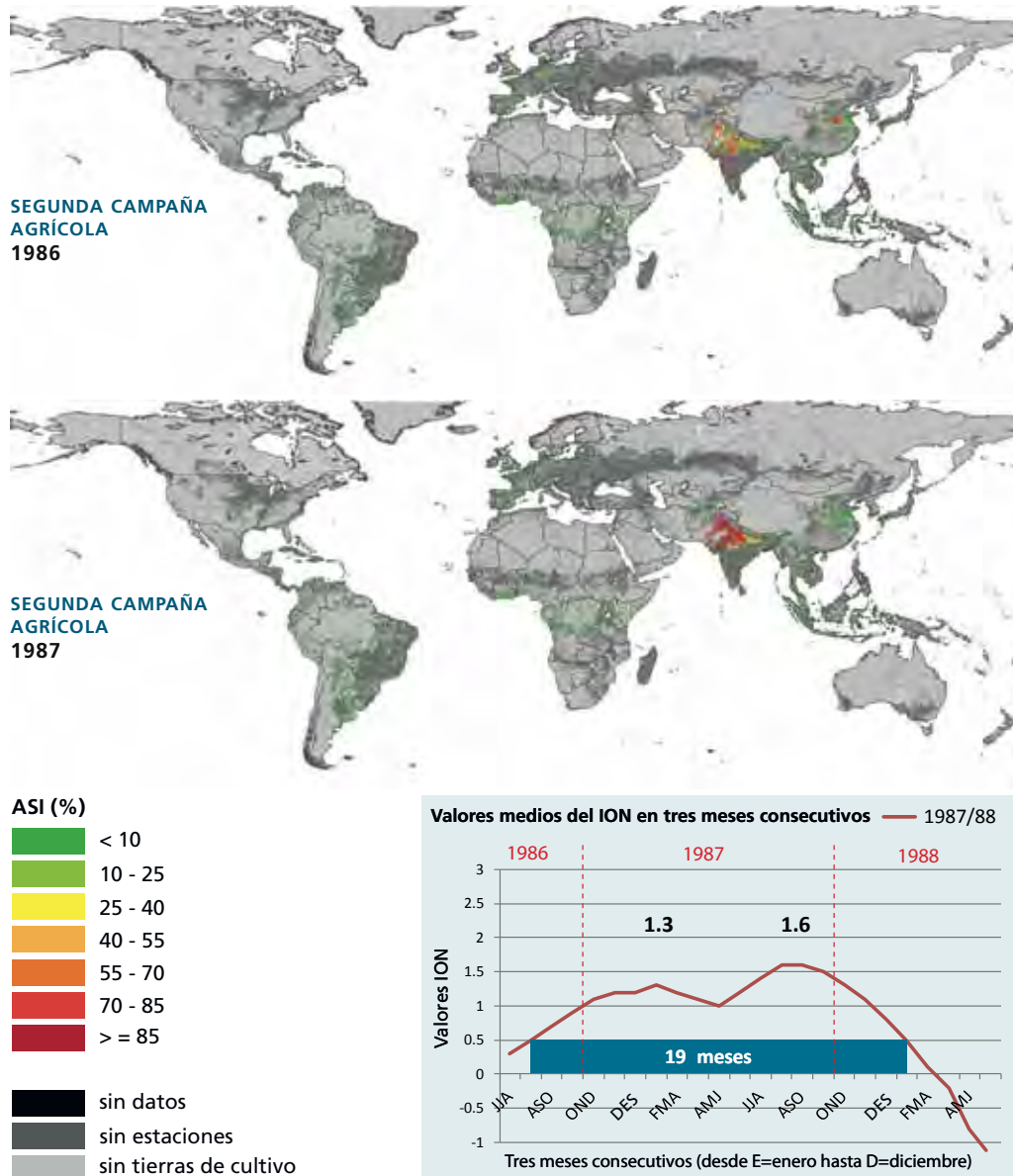


FIGURA 9

Episodios de El Niño asociados a las condiciones de crecimiento de los cultivos

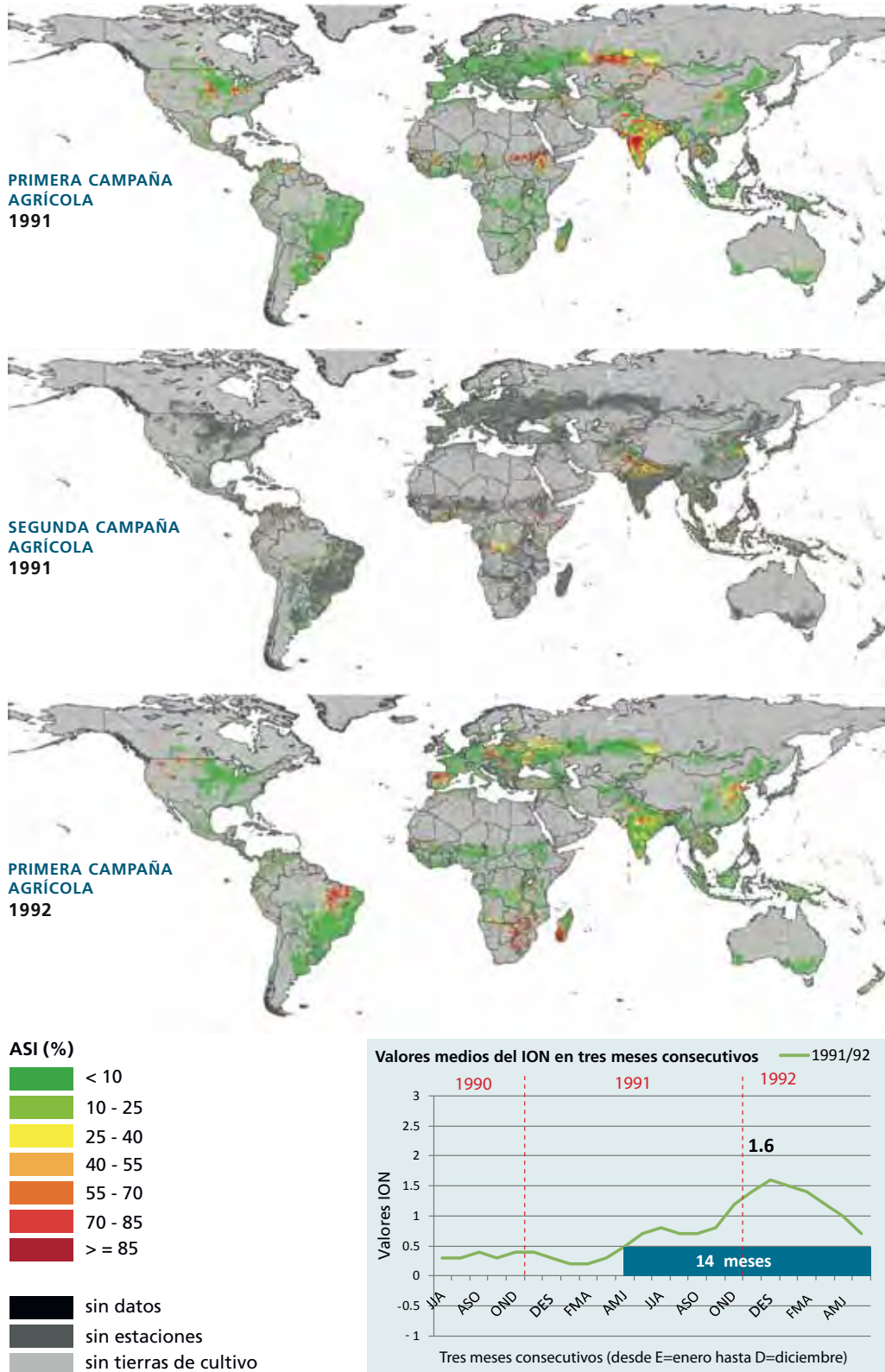


FIGURA 10

Episodios de El Niño asociados a las condiciones de crecimiento de los cultivos

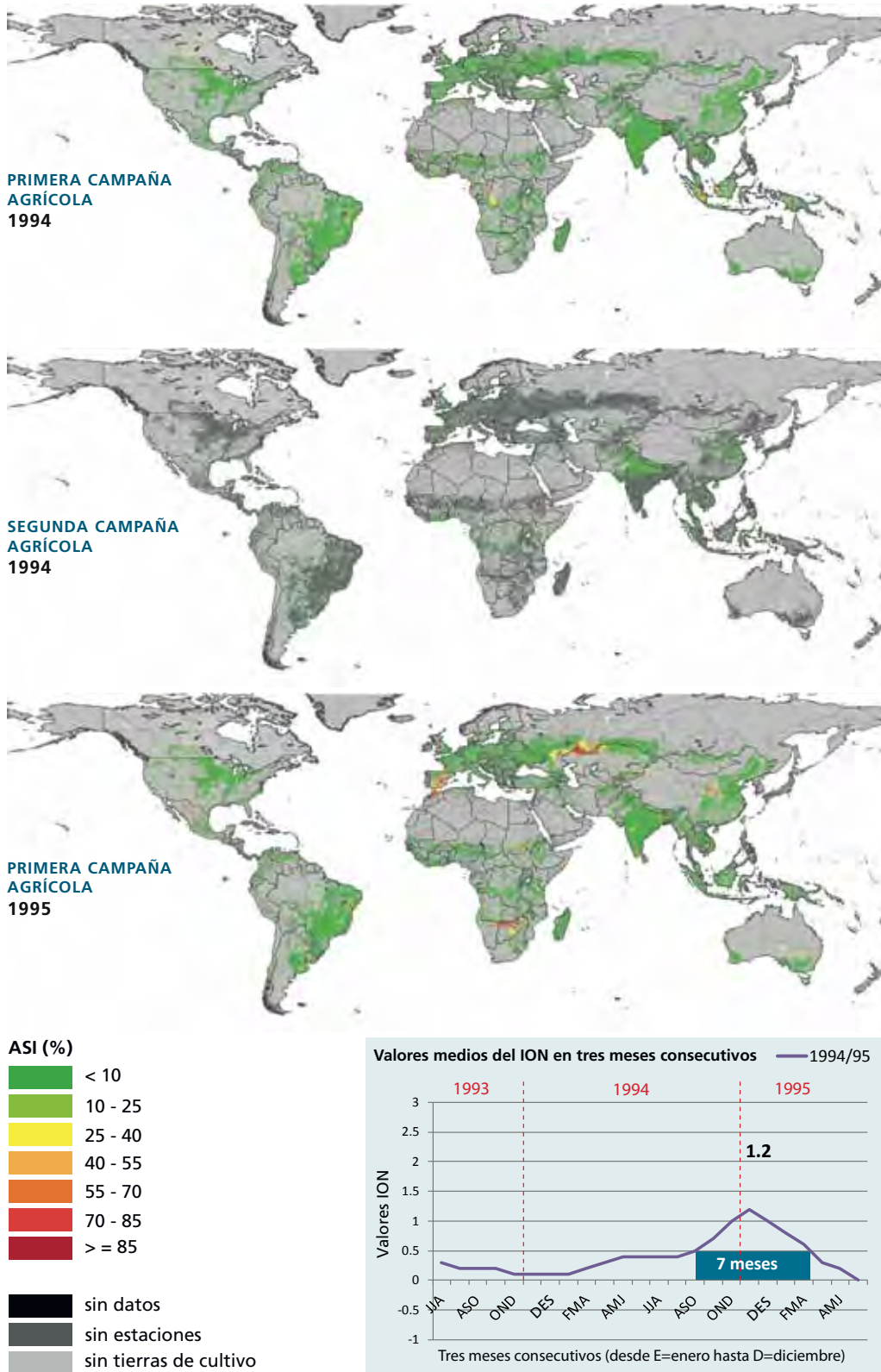


FIGURA 11

Episodios de El Niño asociados a las condiciones de crecimiento de los cultivos

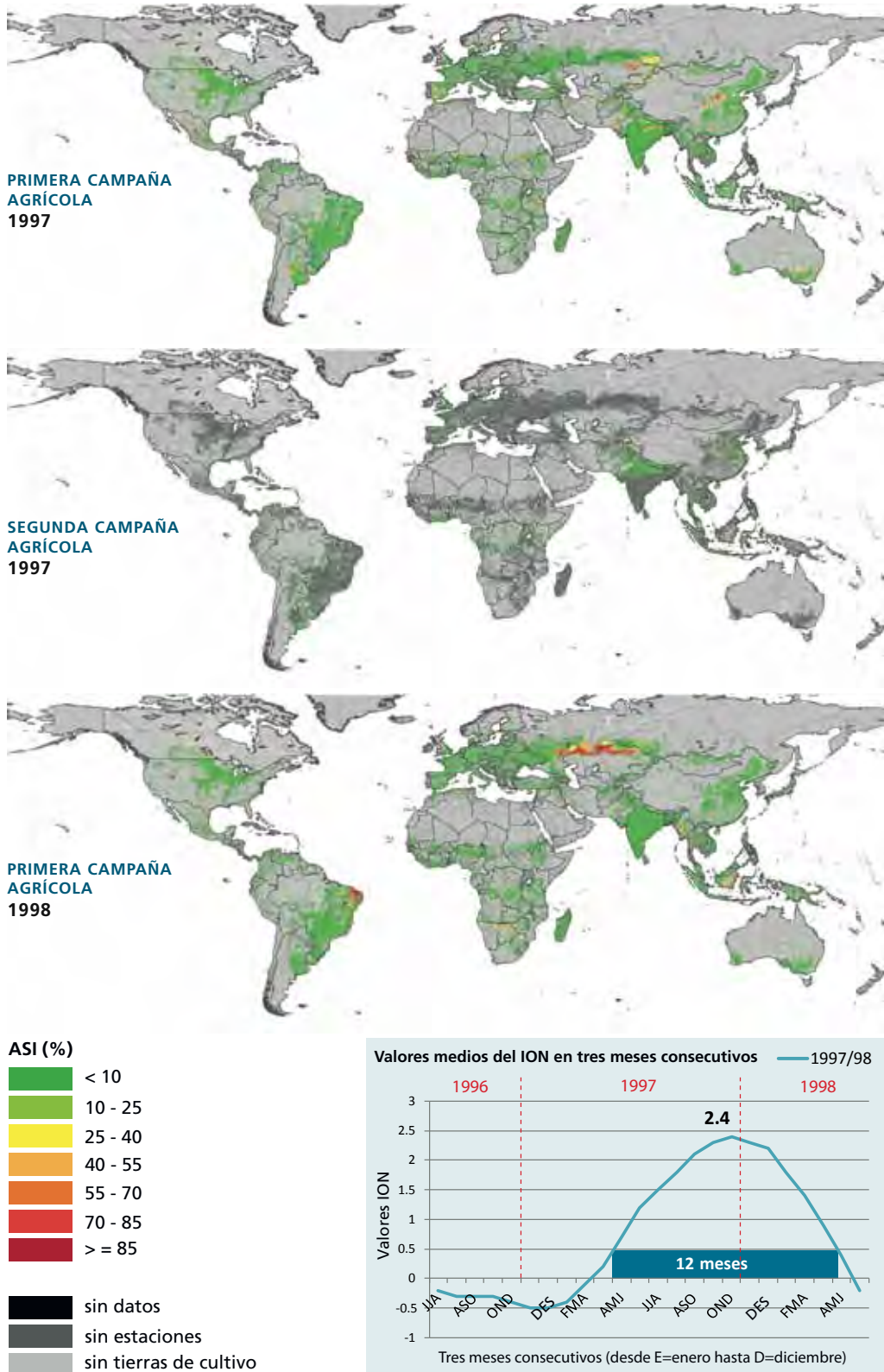


FIGURA 12

Episodios de El Niño asociados a las condiciones de crecimiento de los cultivos

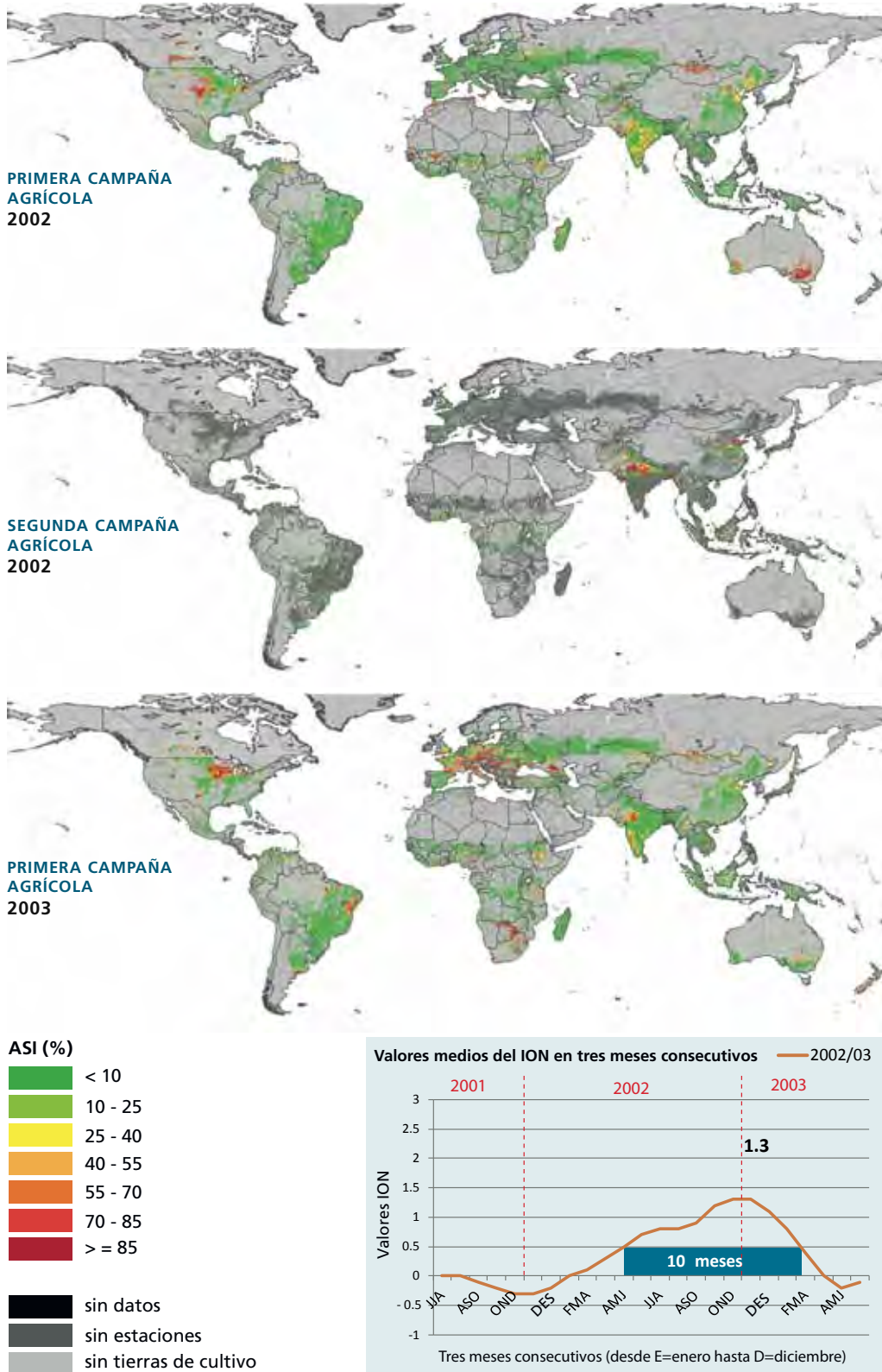


FIGURA 13

Episodios de El Niño asociados a las condiciones de crecimiento de los cultivos

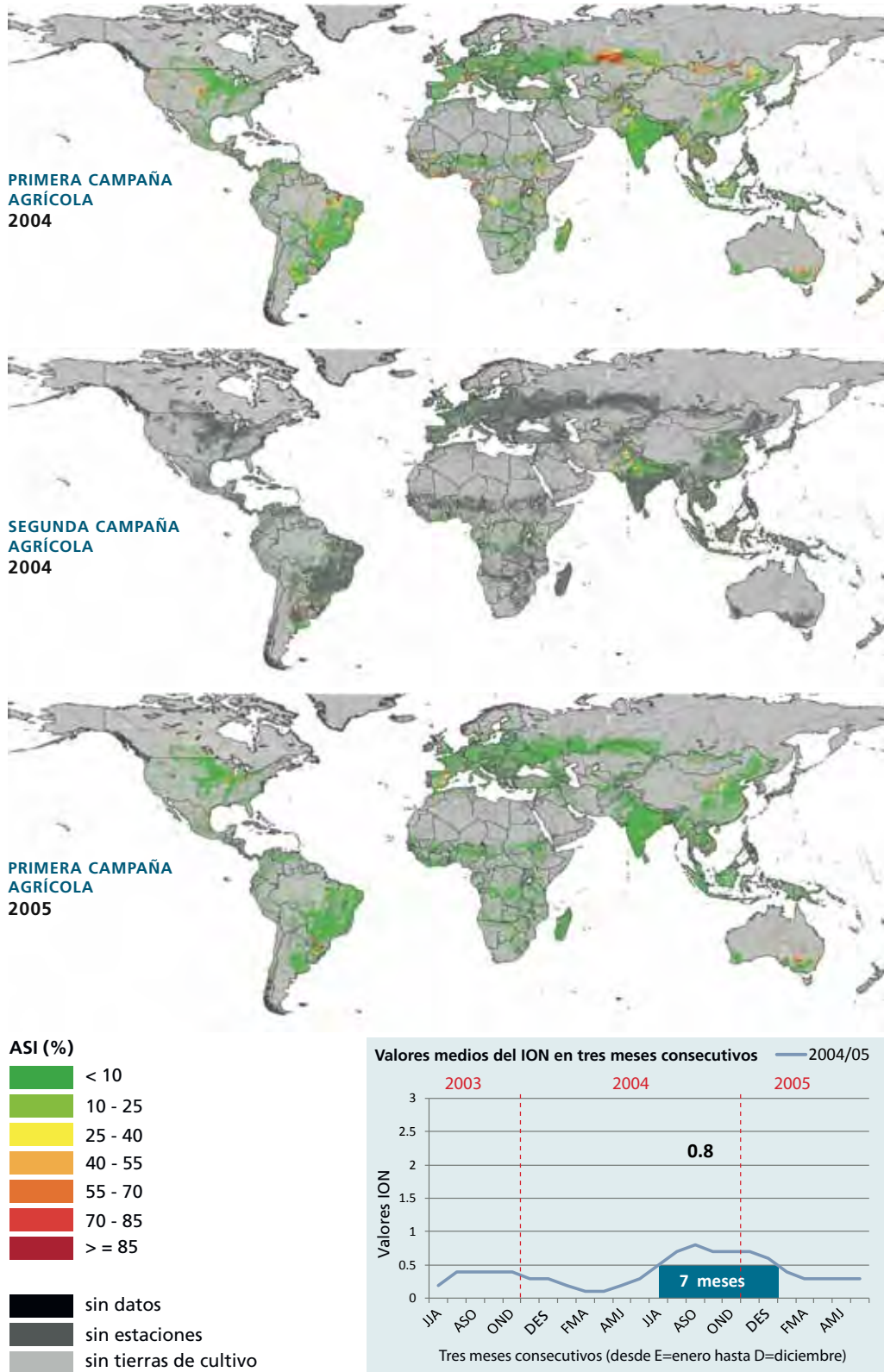


FIGURA 14

Episodios de El Niño asociados a las condiciones de crecimiento de los cultivos

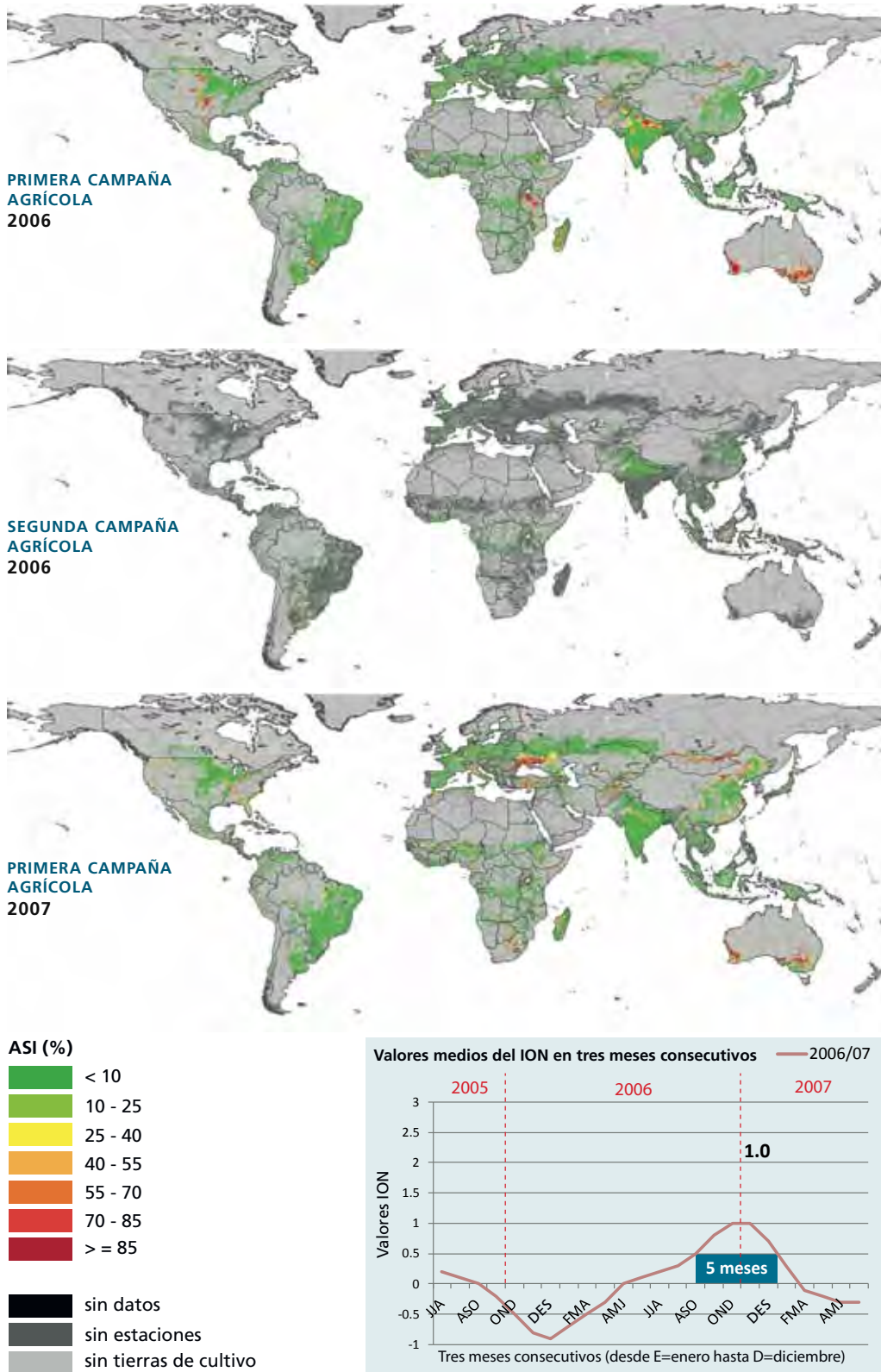
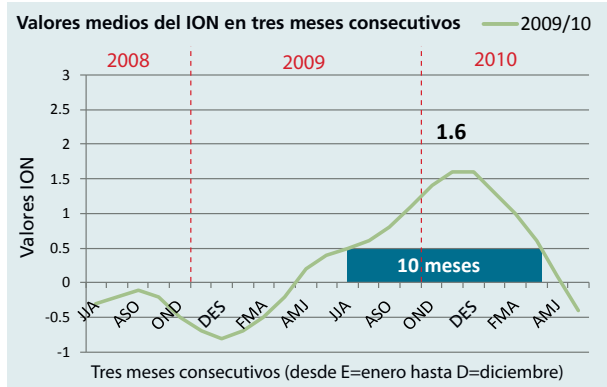
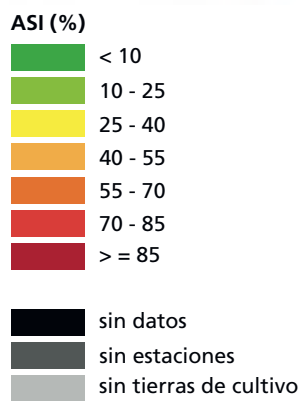
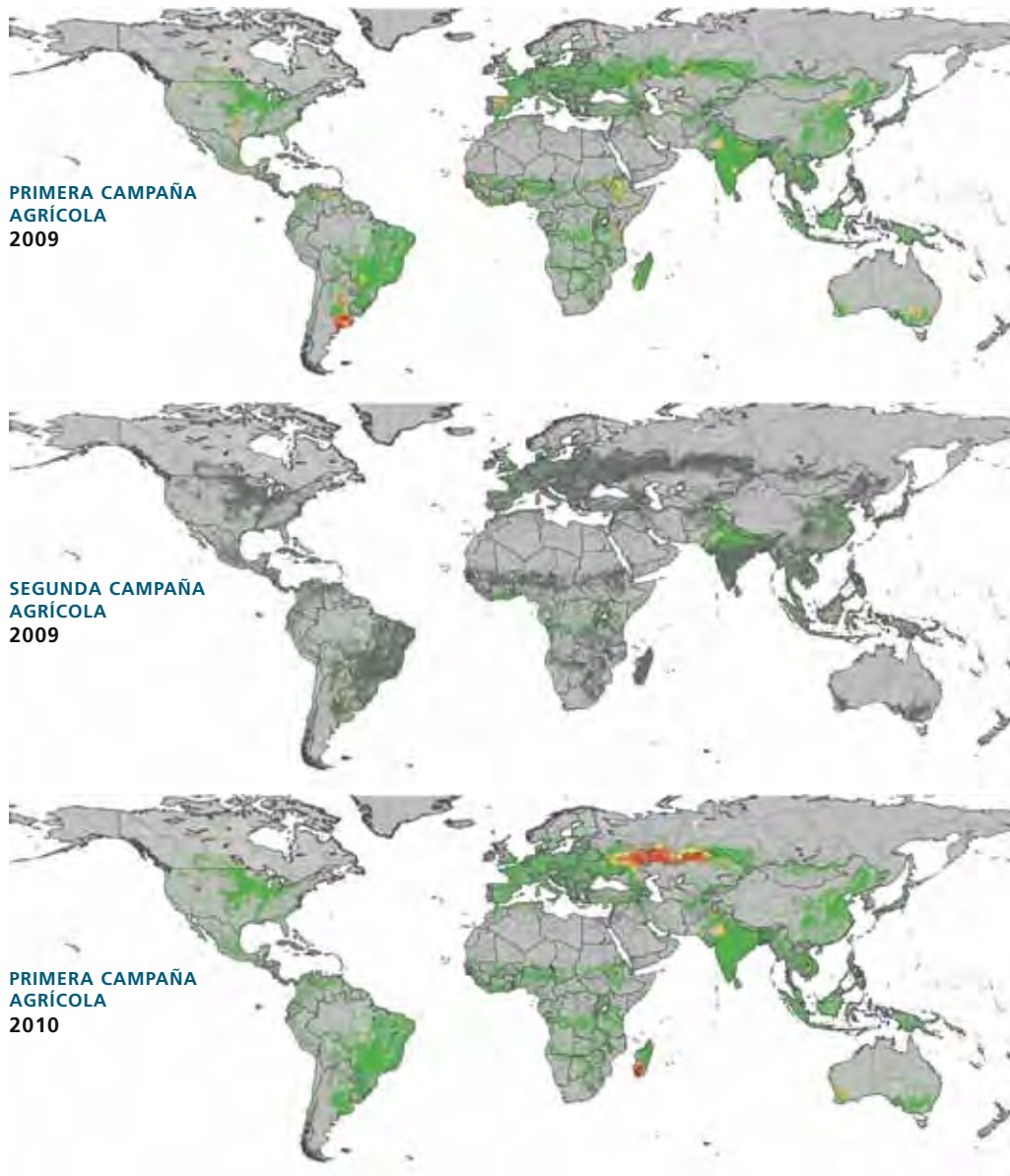


FIGURA 15

Episodios de El Niño asociados a las condiciones de crecimiento de los cultivos



CARACTERÍSTICAS DE CADA EPISODIO DE EL NIÑO

La tabla 1 resume algunas características de cada episodio de El Niño ocurrido durante los últimos 30 años, ordenados por duración. El Niño 1986/87 y 1987/88 se considera un solo episodio ya que fueron eventos consecutivos sin interrupción, manteniendo valores INO superiores a 0,5 durante 19 meses.

TABLA 1.

Características de cada episodio de El Niño

EL NIÑO	DURACIÓN EN MESES	INICIO DEL EPISODIO	MÁXIMO VALOR INO	MESES DE PICO	INTENSIDAD
1986-88	19	JAS	1.3 - 1.6	EFM y JAS	Moderada/Fuerte
1991/92	14	AMJ	1.6	DEF	Moderada
1997/98	12	AMJ	2.4	OND	Fuerte
2002/03	10	AMJ	1.3	OND	Moderada
2009/10	10	JJA	1.6	NDE	Moderada
1994/95	7	ASO	1.2	NDE	Moderada
2004/05	7	JJA	0.8	ASO	Débil
2006/07	5	ASO	1	OND	Débil

RELACIÓN ENTRE EL ASI Y EL NIÑO

La figura 16 muestra que cualquier fase (neutra, caliente o fría) podría ser asociada con sequías en las zonas de agrícolas del planeta. Desde un punto de vista climático y oceánico los años neutros tienen características específicas, pero estas están menos claras en lo que se refiere a los impactos de la sequía en la agricultura. Durante el periodo de análisis (1984-2013), hubo dos años puramente neutros: 1990, cuando la sequía tuvo un impacto alto en las zonas agrícolas (12%), y 1993, cuando tuvo un impacto bajo (3%).

Pocos años se encuentran bajo la influencia de una sola fase específica. La mayoría de los años están caracterizados por una fase de transición. En los últimos 30 años, nueve fueron influenciados por una sola fase, y entre ellos, solo uno lo fue por una fase caliente (El Niño): 1987 (caliente), 1990 (neutra), 1993 (neutra), 1996 (fría), 1999 (fría), 2000 (fría), 2008 (fría), 2011 (fría) y 2012 (fría).

Este estudio revela que existen ciclos en años consecutivos que estuvieron bajo la influencia de una fase caliente o fría: de 1984 a 1992, la fase de El Niño aparece de forma dominante durante nueve años; de 1993 a 2000, ocho años estuvieron influidos por una fase fría, donde dominan los años de La Niña; de 2001 a 2007 fueron años influidos por el efecto de El Niño y los años del 2008 al 2013 estuvieron bajo el ciclo dominante de La Niña. Es interesante notar que los ciclos dominados por El Niño han sido asociados con una mayor superficie afectada por la sequía a nivel de la agricultura mundial, independientemente que en medio de este ciclo existan años neutros o eventos fríos (figura 13).

Los años neutros y de La Niña durante el ciclo de dominio de El Niño se comportan como años de El Niño, provocando amplias sequías en la agricultura. La mayor sequía que tuvo lugar en los últimos 30 años, durante la primera campaña agrícola, corresponde a La Niña (1989), bajo la influencia del ciclo dominante de El Niño, afectando al 20 por ciento de la superficie agrícola global. El año 1990, un año neutro también bajo la influencia del ciclo dominante de El Niño, produjo extensas sequías en la agricultura mundial (12 %).

Por otra parte, un año de El Niño que tiene lugar durante el ciclo bajo el dominio de La Niña parece tener menor impacto sobre las zonas agrícolas, provocando menor intensidad de sequía agrícola. Esto podría explicar por qué El Niño 1997/98 no produjo los impactos anticipados, afectando solo al cuatro por ciento del área agrícola total con sequía. Los ciclos históricos de las fases dominantes aparecen con claridad en los índices que miden El Niño, como el INO y el IOS (figura 4). Desafortunadamente, no hay información disponible de teledetección anterior a la década de los 80 del siglo pasado para confirmar la hipótesis desde un punto de vista de afectación de sequía agrícola.



FIGURA 16.

Relación entre el ASI y los episodios de El Niño en el Pacífico tropical de los últimos 30 años para la primera y segunda campaña agrícolas. Las barras representan la superficie agrícola afectada por la sequía, en porcentaje. Enero está en la parte superior de la barra y diciembre en la parte inferior para cada año. Dos colores presentes en una barra significan un episodio de transición en el mismo año. La línea roja representa la media cambiante de cinco periodos de la superficie de cultivo afectada a nivel global. La superficie total de cultivo usada como referencia es 2,344 Mha y 580 Mha durante la primera y segunda campaña agrícolas, respectivamente. El Índice de Oscilación del Sur (IOS) ofrece una indicación del desarrollo e intensidad de los episodios de El Niño o La Niña en el Océano Pacífico. El IOS se calcula utilizando las diferencias de presión entre Tahití y Darwin. Se han utilizado los valores medios anuales del IOS de la media cambiante de cinco periodos.



ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Comparaciones de dos medias

Se ha desarrollado una prueba t-Students sobre dos conjuntos de datos para comparar las medias de las zonas agrícolas afectada por la sequía durante los años de El Niño y La Niña. Normalmente los test cuantifican la relación señal/ruido, donde la señal es la diferencia de medias y el ruido es una función del error en torno a las medias. Si la señal es grande y el ruido es pequeño, se puede confiar más en que la diferencia de medias sea real o significativa. Para probar una diferencia significativa, la hipótesis nula tiene que ser rechazada. La hipótesis nula (H_0) implica que no hay diferencia entre las dos medias. Si podemos rechazarla, podemos también afirmar que los dos grupos son estadísticamente diferentes con un nivel aceptable de confianza. Los resultados de los dos conjuntos de datos muestran que en los años de El Niño y La Niña no hay evidencias significativas como para descartar la hipótesis nula, lo que quiere decir que la superficie afectada por la sequía es similar en los años de El Niño y La Niña (tabla 2). La misma prueba test se realizó agrupando la superficie agrícola afectada por la sequía durante los ciclos dominantes de El Niño y La Niña. En este caso, utilizando la función del t-test, con $colas = 2$ y un tipo de $test = 3$, la función da un valor de T-test de $6.511E^{-06}$. Dado que el valor del T-test es menor de 0.05 (95 por ciento de nivel de confianza), podemos concluir que la hipótesis nula puede ser rechazada, lo que implica que las dos medias de la zona agrícola afectada por la sequía son estadísticamente diferentes con un nivel de confianza del 95% durante los ciclos de dominio de El Niño y de La Niña.

TABLA 2.

Valor del T-test utilizando la función T-TEST, con $colas=2$ y tipo de $test=3$ para los años de El Niño y La Niña y los ciclos dominantes de El Niño y La Niña.

	EL NIÑO/ LA NIÑA YEARS	EL NIÑO/ LA NIÑA YEARS DOMINANCE CYCLE
Valor del t-test	0.56	6.51E-06

El t-test Student confirmó que, desde el punto de vista de la superficie agrícola afectada por la sequía, no existen diferencias significativas durante los años de El Niño y La Niña, produciendo ambos eventos sequías similares. No obstante, el t-test muestra que hay una diferencia estadística del impacto de la sequía durante los ciclos de dominio de El Niño o La Niña.

Correlación entre las zonas afectadas por sequía y los índices de El Niño

Se realizó un análisis de la correlación entre la superficie agrícola afectada por la sequía (ASI) y los índices de El Niño (INO e IOS). Las series temporales de datos fueron divididas en dos conjuntos de datos, uno con los valores positivos de cada indicador de El Niño y el otro con los negativos. Los valores positivos del INO representan años de El Niño (en

caso de valores negativos del IOS) y los valores negativos del INO representan años de La Niña (valores positivos del IOS). Los años neutros no fueron considerados como tales, sino que entran según sus valores positivos o negativos en el análisis de correlación, esto según la base de nuestras conclusiones anteriores.

La correlación de Spearman es una medida no parametrizada de dependencia estadística entre dos variables, aunque su relación no sea lineal. La señal de la correlación de Spearman indica la dirección de asociación entre la variable independiente (índice El Niño) y la variable dependiente (ASI). Si la superficie agrícola afectada por sequía tiende a aumentar cuando el índice de El Niño (INO e IOS) aumenta, el coeficiente de correlación de Spearman es positivo. Si la superficie agrícola afectada por sequía tiende a disminuir cuando el índice de El Niño aumenta, el coeficiente de correlación de Spearman es negativo.

El color rojo se asigna a la correlación positiva porque la superficie afectada por sequía aumenta a nivel GAUL 2 (nivel de distrito) cuando el índice de El Niño aumenta. Las zonas rojas de los mapas muestran las zonas agrícolas más sensibles durante los años de El Niño. Las zonas verdes muestran una relación inversa durante los años de El Niño. Estas zonas parecen recibir condiciones climáticas favorables durante El Niño y se espera una mejor producción. Incluso si los dos índices generales de El Niño (INO e IOS) determinan las mismas áreas de correlación positiva durante la primera campaña agrícola, resulta claro que los valores INO durante los años de El Niño están altamente relacionados con las sequías de la agricultura en África, Centroamérica y el Caribe. A su vez el IOS está estrechamente relacionado con las sequías en Asia e Indonesia. Este es el caso especialmente de la frontera entre Kazajistán y Rusia, donde el INO está positiva o neutralmente relacionado con las sequías y el IOS está negativamente correlacionado.

Durante los años de La Niña, ambos índices de El Niño están positivamente correlacionados en el Cuerno de África y la zona sur de América del Sur. Sin embargo, existe alguna disparidad en los resultados referentes al hemisferio norte.

FIGURA 17

Coeficiente de correlación de Spearman entre el Índice de Estrés Agrícola y valores positivos del Índice de El Niño Oceánico (El Niño) – Primera campaña agrícola.

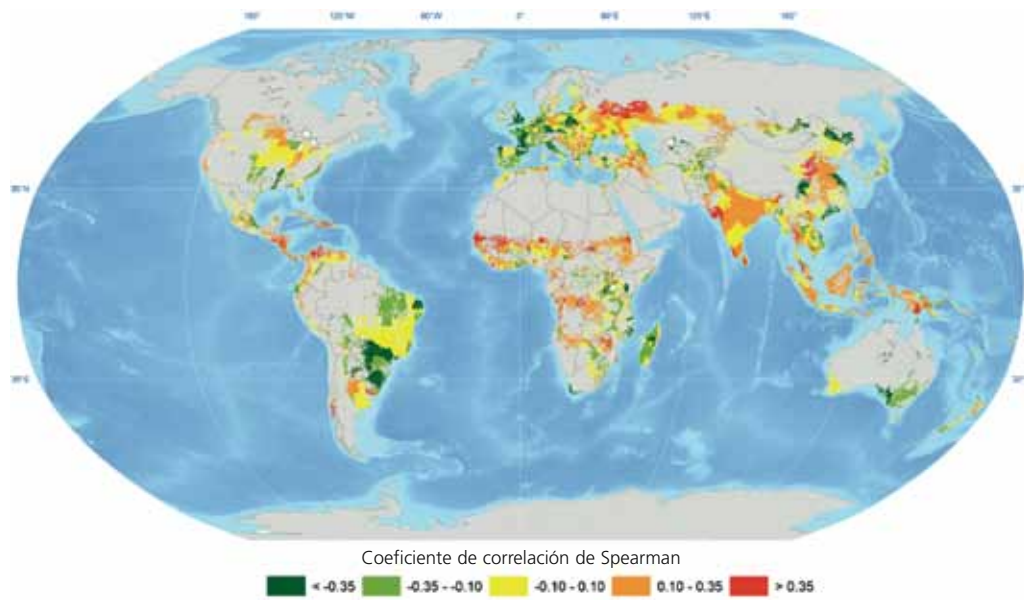


FIGURA 18

Coeficiente de correlación de Spearman entre el Índice de Estrés Agrícola y valores negativos del Índice Oceánico de El Niño Oceánico (La Niña) – Primera campaña agrícola.

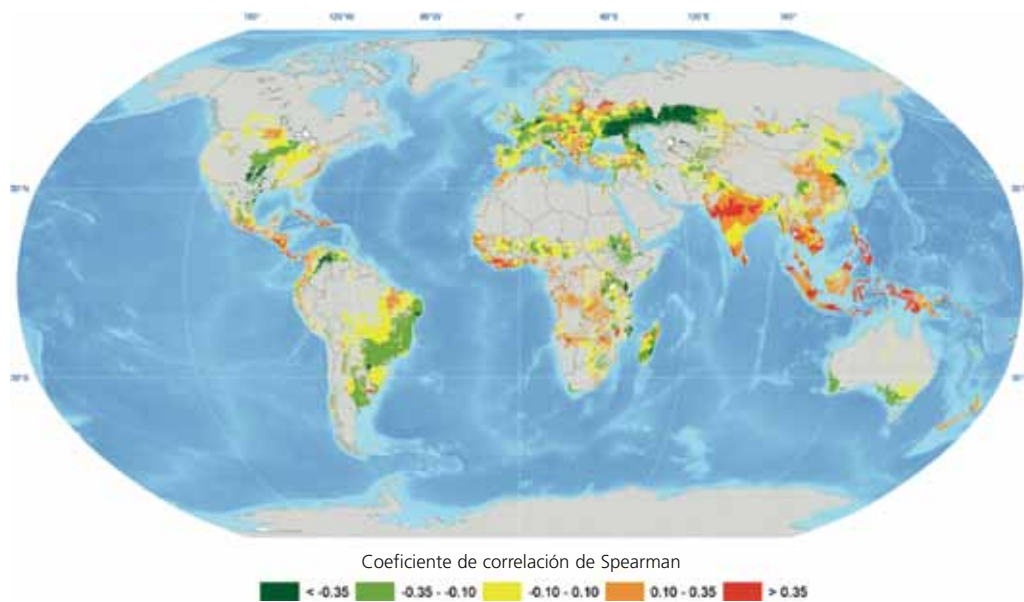


FIGURA 19

Coefficiente de correlación de Spearman entre el Índice de Estrés Agrícola y valores negativos del Índice de Oscilación del Sur (El Niño) - Primera campaña agrícola.

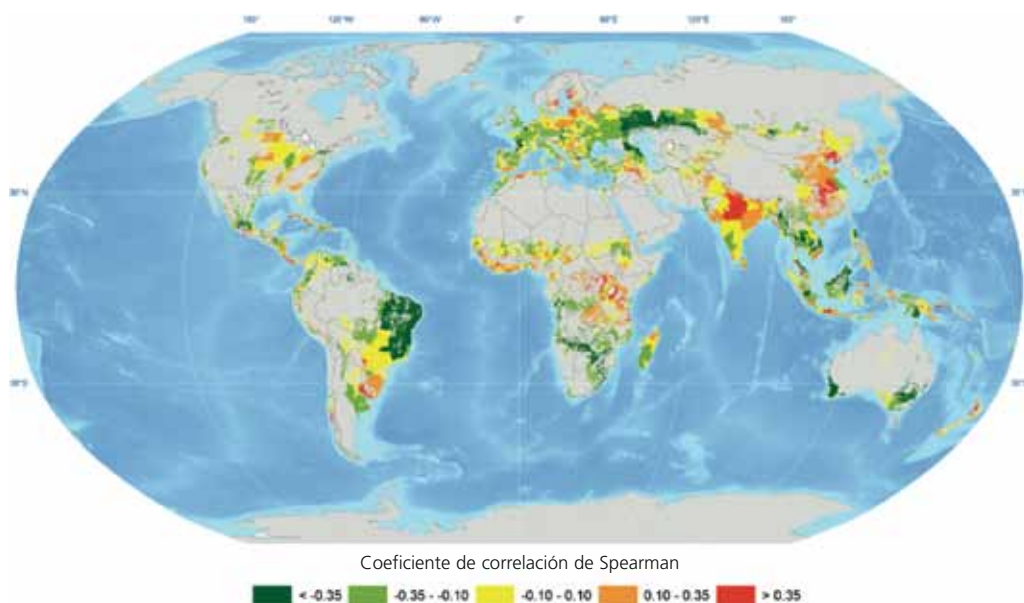


FIGURA 20

Coefficiente de correlación de Spearman entre el Índice de Estrés Agrícola y valores positivos del Índice de Oscilación del Sur (La Niña) - Primera campaña agrícola.

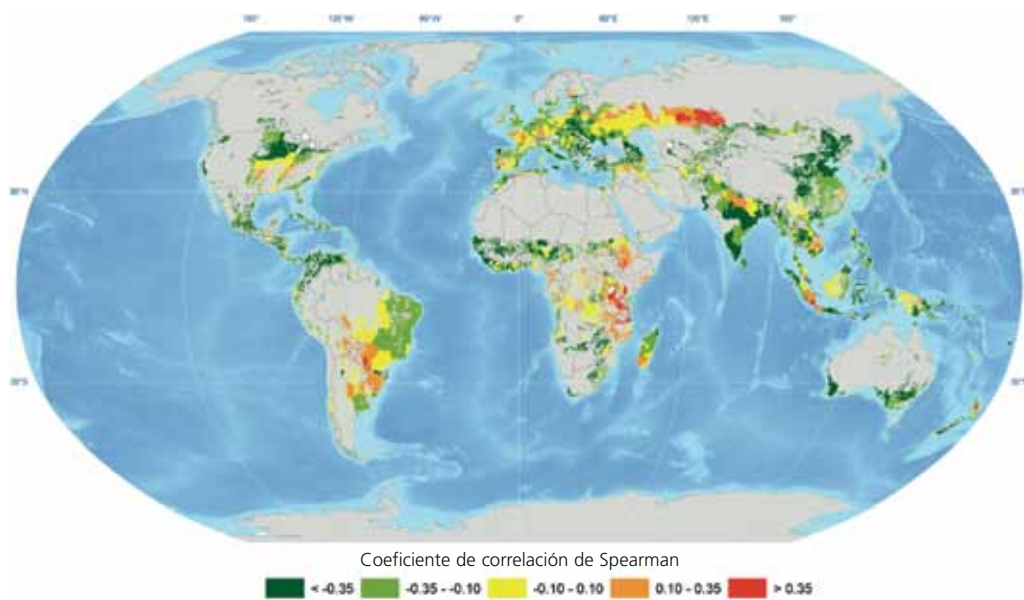


FIGURA 21

Coeficiente de correlación de Spearman entre el Índice de Estrés Agrícola y valores positivos del Índice de El Niño Oceánico (El Niño) – Segunda campaña agrícola.

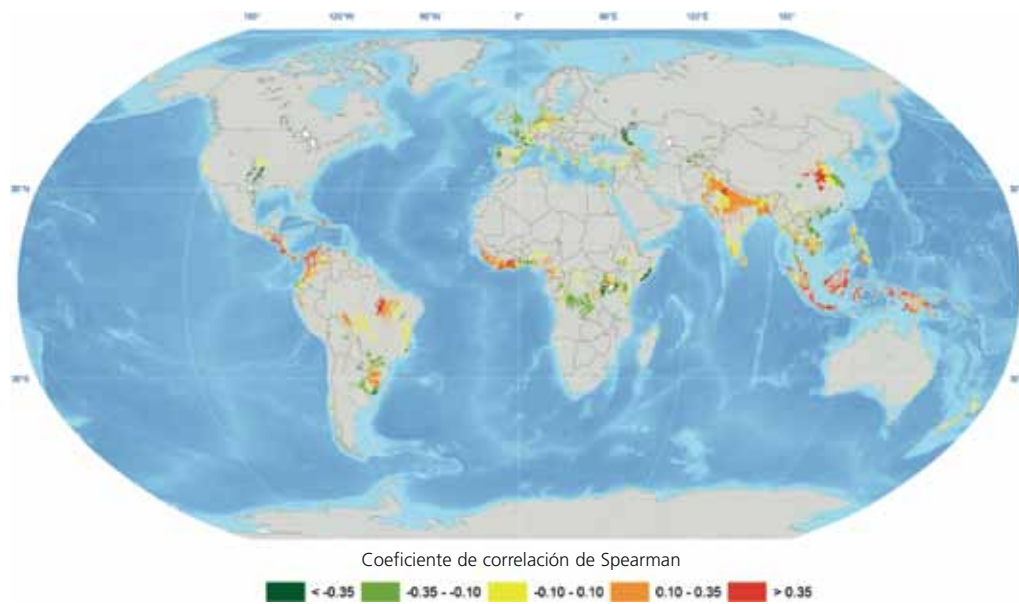


FIGURA 22

Coeficiente de correlación de Spearman entre el Índice de Estrés Agrícola y valores negativos del Índice Oceánico de El Niño Oceánico (La Niña) – Segunda campaña agrícola.

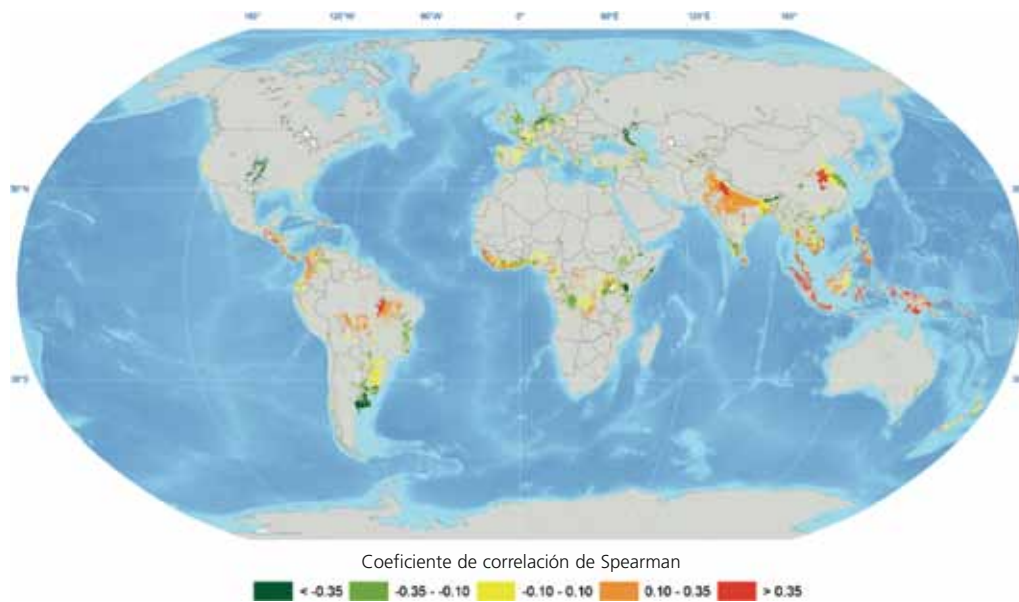


FIGURA 23

Coefficiente de correlación de Spearman entre el Índice de Estrés Agrícola y valores negativos del Índice de Oscilación del Sur (El Niño) - Segunda campaña agrícola.

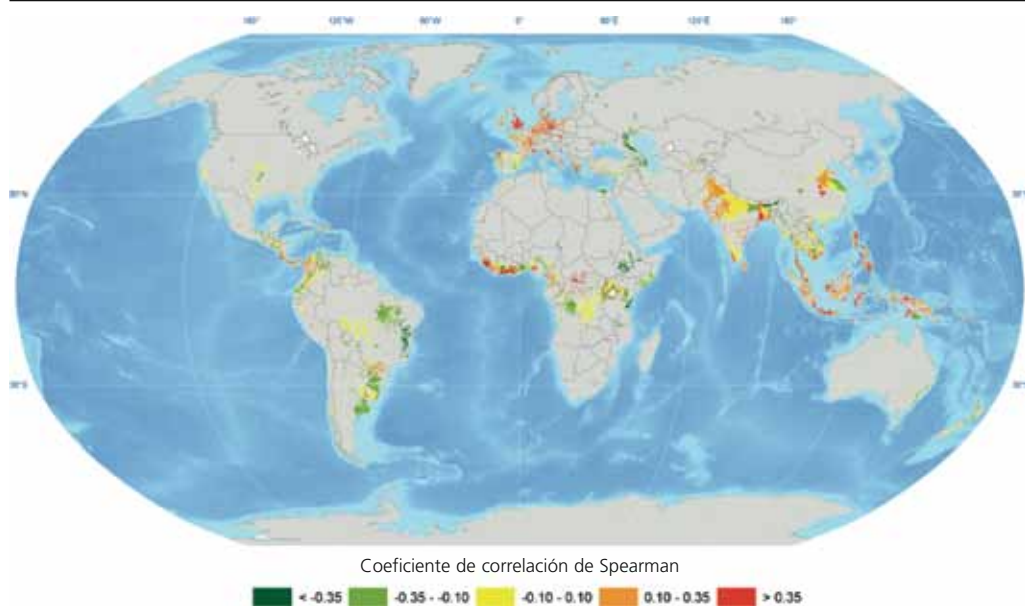
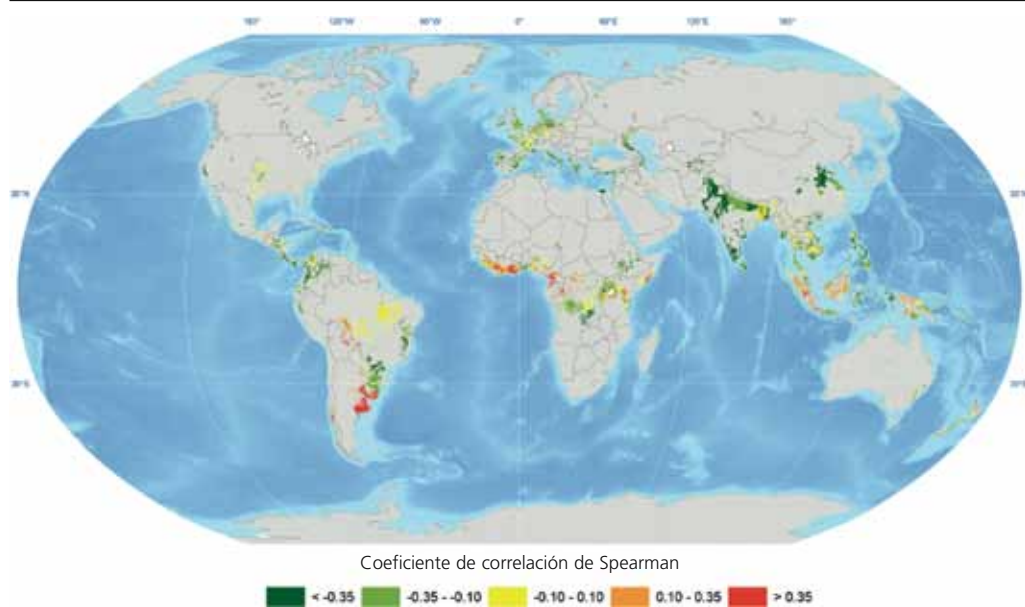


FIGURA 24

Coefficiente de correlación de Spearman entre el Índice de Estrés Agrícola y valores positivos del Índice de Oscilación del Sur (La Niña) - Segunda campaña agrícola.



FRECUENCIA DE LA SEQUÍA AGRÍCOLA

La frecuencia de la sequía que afecta a más del cinco por ciento de la superficie cultivable a nivel 2 GAUL (nivel de distrito) fue calculada como un análisis complementario de la correlación presentada en la sección anterior. El análisis muestra las zonas de puntos calientes a nivel mundial que podrían verse seriamente afectadas durante los años de El Niño y la frecuencia de su recurrencia. La frecuencia fue calculada de forma independiente para la primera y la segunda campaña agrícola (figuras 25 y 26). Después se calculó la frecuencia conjunta del cinco por ciento de la superficie afectada por la sequía durante la primera y/o la segunda campaña. Los resultados fueron expresados con un índice de frecuencia de sequía agrícola (figura 27). Durante la primera campaña las mayores frecuencias de sequía se localizan en las zonas occidentales de Estados Unidos, norte de México, norte de Colombia, norte de Venezuela, Cuerno de África, Pakistán, India, noreste de China, sur de Myanmar y New South Wales en Australia. Durante la segunda campaña, las frecuencias generales disminuyen. Las frecuencias más altas se localizan en California en los Estados Unidos, el Cuerno de África e Indonesia. El riesgo conjunto muestra el aumento de frecuencias en el Cuerno de África, principalmente en Somalia y en la región Amhara de Etiopía. En Asia existe una zona de frecuencia de sequías relativamente alta durante los años de El Niño en la frontera norte entre Kazajistán y Rusia.

FIGURA 25

**Frecuencia de sequías en la agricultura para los años declarados El Niño (1984-2013)
Primera campaña agrícola.**

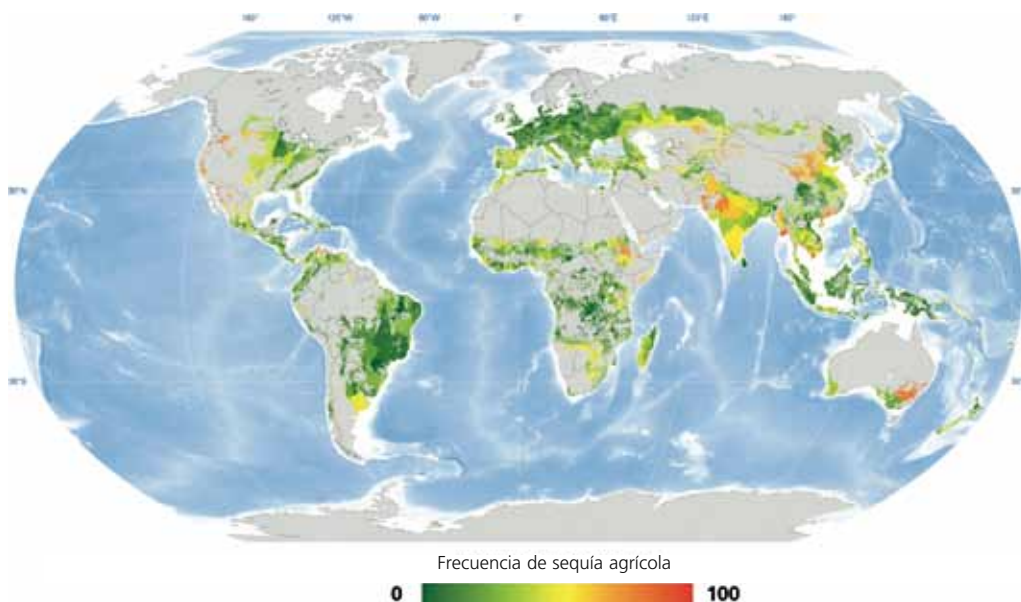


FIGURA 26

Frecuencia de sequías en la agricultura para los años declarados El Niño (1984-2013)
Segunda campaña agrícola.

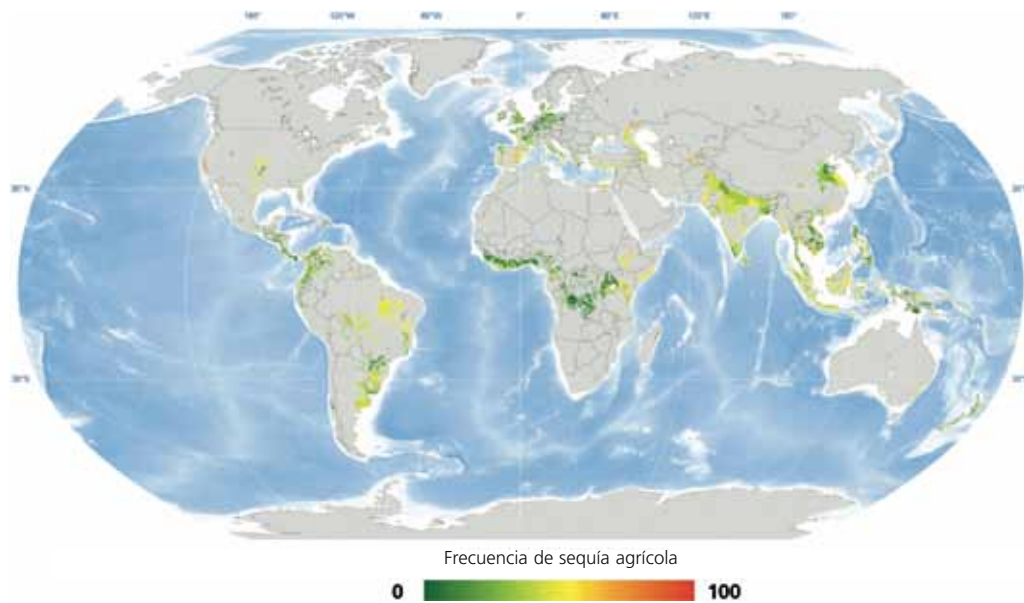
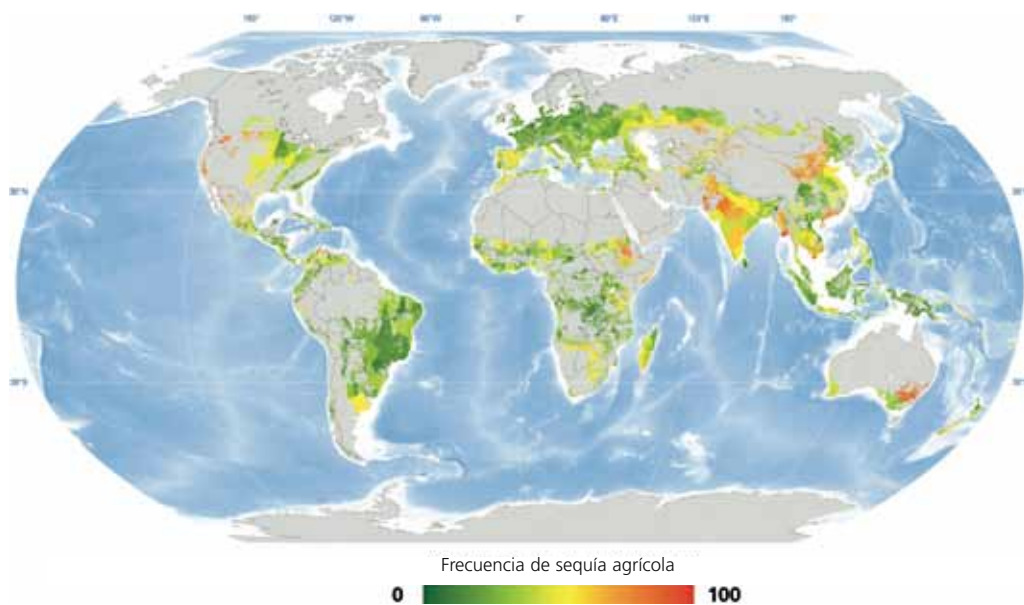


FIGURA 27

Índice de frecuencia de sequías en la agricultura para los años declarados El Niño
(1984-2013) - Primera y segunda campaña agrícola.



CUADRO 1**¿Es tan importante entender los impactos en la agricultura durante el periodo de gestación como la previsión de la ocurrencia de El Niño?**

por Oscar Rojas y Shukri Ahmed

A diciembre de 2014 no se había declarado oficialmente El Niño, dado que la temperatura de la superficie del mar del Océano Pacífico (Niño región 3.4) no había alcanzado el umbral de +0,5 grados durante tres meses consecutivos. Los centros meteorológicos, no obstante, declaraban un 70 por ciento de posibilidades de que el Niño fuese declarado en los meses siguientes. Sin embargo, la gestación de un probable El Niño 2014/15 (figura 28) podría haber provocado ya condiciones de sequía en el Corredor Seco de Centroamérica y en Colombia y Venezuela entre mayo y julio de 2014. Además, en Nicaragua y Venezuela, las condiciones de sequía observadas por satélite en 2014 son muy similares a las de El Niño de 1991/92, el episodio más severo de los últimos 30 años desde el punto de vista agrícola (figura 29).

Las probabilidades anunciadas de desarrollo de un fenómeno de El Niño en 2014 se basaban en los resultados de numerosos modelos distintos que no aportaban recomendaciones específicas para una acción temprana durante el periodo de gestación encaminadas a mitigar los posibles efectos negativos. Todavía más, en la primera semana de diciembre de 2014 había signos aparentemente anormales de sequía en zonas normalmente asociadas con el fenómeno de El Niño, incluyendo Brasil, Argentina y la provincia de Santa Cruz en Bolivia, todos ellos en Sudamérica, y en Sudáfrica, Mozambique, Zambia y Madagascar, en el sur de África.

Estos ejemplos podrían indicar que hay una carencia importante en la comprensión de las complejidades del fenómeno de El Niño. Aunque se han hecho avances considerables en las últimas décadas, el fenómeno de El Niño y sus posibles impactos en la agricultura requieren más trabajo de investigación para proveer una alerta adecuada y puntual a las autoridades nacionales y a los agricultores.



FIGURA 28

Media de tres meses sucesivos del Índice de El Niño Oceánico (INO). Valores del INO de 2014/15 (en rojo) comparados con episodios previos de fases calientes de los últimos 30 años.

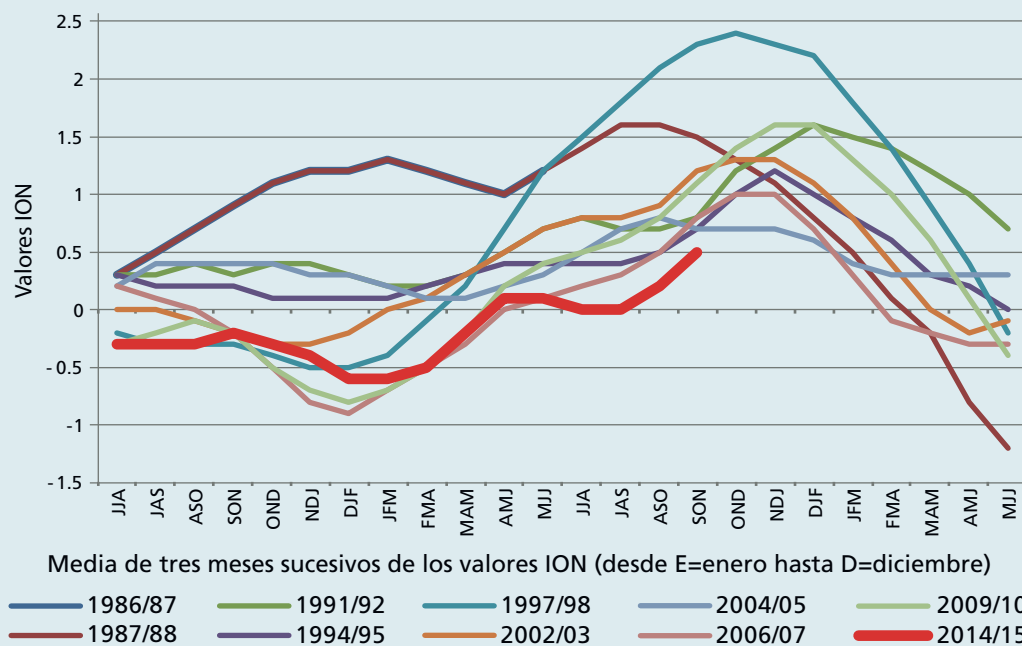
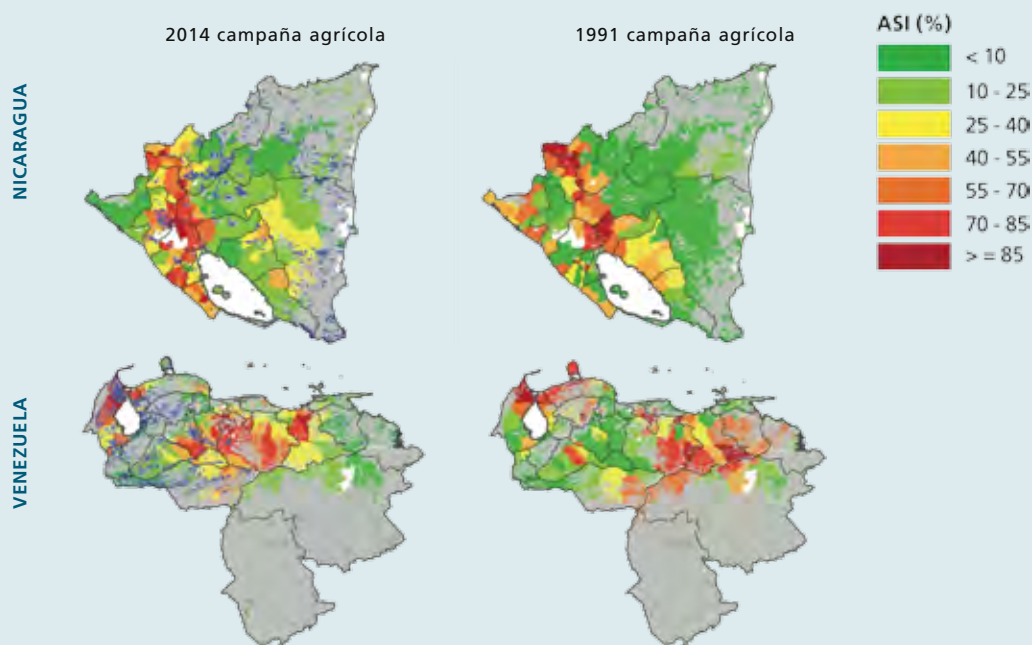


FIGURA 29

Porcentaje de zonas agrícolas afectadas por la sequía (ASI) durante (a) la temporada de cultivo de 2014 en Nicaragua y Venezuela y (b) la temporada de cultivo de 1991 en Nicaragua y Venezuela.



- De acuerdo con los resultados de este estudio, los impactos de sequía en la agricultura de El Niño pueden ser mitigados por los ciclos de dominio de La Niña y, viceversa, los impactos en sequía de La Niña pueden ser exacerbados por el ciclo de dominancia de El Niño. Este hecho podría explicar la baja correlación encontrada entre la intensidad de El Niño y las condiciones de sequía agrícola a nivel global (capítulo 5). Por ejemplo, El Niño 1997/98, definido como “el evento climático del siglo” no tuvo impactos mayores en la agricultura global. Las razones no están del todo claras, El Niño 1997/98 comenzó en el mismo periodo que El Niño 1991/92 (abril-mayo-junio) y tuvo una duración similar (solo dos meses más corto) y casi el doble de intensidad, pero tuvo muy poca influencia en agricultura. El Niño 1991/92 provocó sequía que afectó aproximadamente a 350 millones de hectáreas, mientras que El Niño 1997/98 afectó a 80 millones de hectáreas (77 por ciento menos) Se necesita más información (a parte de los índices de ENOS, INO e IOS) para capturar la complejidad de la interacción entre producción agrícola, el clima y las temperaturas y corrientes en el océano.
- Cualquier caracterización de El Niño y la conexión con sus impactos en agricultura es muy difícil de realizar debido a la incertidumbre que existe dado el número de variables que interactúan en cada evento, incluyendo el periodo de gestación, el cual puede iniciar a partir de una fase neutra, fría (La Niña) o caliente (El Niño), el momento de inicio en el año, la intensidad y duración del evento. Todas estas variables, a su vez, interactúan con otras variables dinámicas del desarrollo de los cultivos (figura 30). El impacto de El Niño en los cultivos depende de la sensibilidad de la fase fenológica en que se encuentre el cultivo durante el pico de mayor influencia del evento, siendo las fases de floración y llenado del grano las más sensibles al estrés hídrico. Se debe, también considerar que las condiciones de cultivo y el tiempo en que se dé cada fase fenológica son más heterogéneas durante la primera estación de cultivo que durante la segunda. También es importante considerar la variación tecnológica utilizada en las diferentes regiones agrícolas del mundo (Iizumi *et al.*, 2014). Se desconoce el número real de variables que podrían interactuar, haciendo la situación aún más compleja, mientras atmósfera, océano y la dinámica de los cultivos interactúa en diferentes momentos. La situación global se asemeja a resolver un cubo Rubik (Figura 31).
- Los cultivos anuales sembrados entre octubre y noviembre en el hemisferio sur tienen menor probabilidad de verse afectados durante el primer año de El Niño desde un punto de vista climatológico (valor INO por encima de 0.5), porque la siembra tiene lugar el año previo y la cosecha en marzo-abril, normalmente antes de la declaración

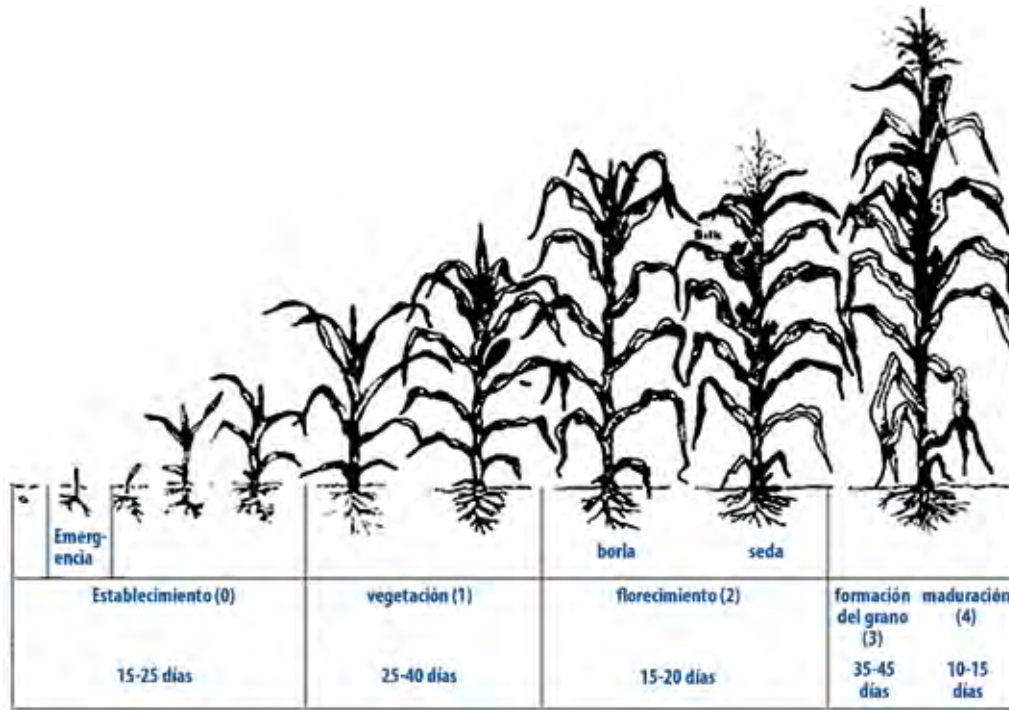


de El Niño. La afectación se da con mayor intensidad durante el segundo año de la presencia de El Niño, esto es El Niño 1991/92 tendría mayor impacto en la cosechas del año 1992 que en el año 91. Durante los últimos 30 años, la llegada temprana de un episodio de El Niño se ha producido en abril-mayo-junio, con la excepción de El Niño 1953/54 que alcanzó un valor oceánico INO de 0.5 en diciembre de 1952 y en enero-febrero de 1953, representando un caso único en los 64 años de registro. Por otra parte, estas áreas tienen mayor probabilidad de ser afectadas durante el segundo año de El Niño. La intensidad del impacto negativo ha probado estar relacionada con la duración del evento. Las cosechas anuales sembradas en abril-mayo en el hemisferio sur y cosechadas en agosto-septiembre tienen más posibilidad de ser afectadas por El Niño el mismo año de gestación y desarrollo del evento. Por ejemplo, en Australia, los cultivos se vieron afectados por la sequía desde el principio hasta el final de la campaña agrícola de 2006. Sin embargo, en 2007 (el segundo año de El Niño 2006/07), los cultivos se vieron afectados principalmente durante la primera mitad de la campaña. Las condiciones mejoraron al final del ciclo, cuando los efectos de El Niño disminuyeron.

- En el hemisferio norte, los cultivos anuales sembrados en mayo en América durante algunos años de El Niño dan las primeras señales de sequía durante el desarrollo del episodio. Por ejemplos, el Corredor Seco de Centroamérica, el Caribe, Colombia y Venezuela tienen grandes probabilidades de sufrir sequía si la gestación de El Niño se desarrolla al principio del año (antes de mayo). En Centroamérica, El Niño podría intensificar el efecto del fenómeno conocido como canícula, una reducción de las lluvias durante julio-agosto, que afecta principalmente a la campaña de la primera cosecha (Primera) y a la segunda (Postrera). Los Estados Unidos y Canadá, donde se siembra en marzo/abril, pueden verse afectados durante el primer año de El Niño porque la floración y el crecimiento de los granos se producen en torno a agosto. En el segundo año de El Niño, resulta menos probable que esas zonas se vean afectadas (se produjeron excepciones en 2008 y 2003). En Asia, los países con una siembra temprana, como China, pueden verse afectados por El Niño durante la segunda mitad de la campaña agrícola del primer año. Países como Indonesia o Sri Lanka, en los que la siembra tiene lugar al final del año (noviembre), pueden verse afectados durante todo el ciclo.
- El análisis estadístico muestra las zonas donde El Niño tiene mayores probabilidades de afectar negativamente a la agricultura causando sequía, con las correspondientes reducciones de producción agrícola y sus implicaciones en la seguridad alimentaria. En estas áreas, los gobiernos deberían implementar programas de mitigación a la sequía para incrementar la resiliencia de los agricultores durante los eventos de El Niño.
- Finalmente, los resultados de la investigación arrojan nuevos retos para la comunidad científica. Si nuestra hipótesis de los ciclos de dominio de El Niño/La Niña es correcta, no sería suficiente prever años de El Niño o La Niña para predecir los impactos de sequía en la agricultura, sino que también sería necesario conocer si el evento pronosticado se encuentra en un ciclo de dominio de El Niño o La Niña. Identificar los puntos de inflexión del ciclo de dominio Niño/Niña representa un enorme reto para la comunidad científica.

FIGURA 30

Fases fenológicas del maíz en las que la floración y la formación del grano son más sensibles al déficit de agua.



Fuente: http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_maize.html

FIGURA 31

Cubo Rubik: variables determinantes de un episodio de El Niño

■ ATMÓSFERA

ESTADO INICIAL,
INTERACCIÓN CON OTROS
FENÓMENOS, EQUILIBRIO
ENERGÉTICO, ETC.

■ DESCONOCIDO



■ PLANTAS

REQUISITOS DE
AGUA DE LAS
DISTINTAS FASES
FENOLÓGICAS Y
LOS DISTINTOS
CULTIVOS

■ OCÉANO

ESTADO INICIAL,
TEMPERATURA
DEL MAR EN LA
SUPERFICIE Y EN LA
PROFUNDIDAD ETC.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Centro de Predicción del Clima.** 2005. Preguntas frecuentes ENSO: ¿con qué frecuencia ocurren normalmente El Niño y la Niña? Centro Nacional de Predicción Ambiental. (*ENSO FAQ: How often do El Niño and La Niña typically occur? National Centres for Environmental Prediction*) <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>
- FAO.** 2013. Impacto del clima en la agricultura. *An El Niño primer*. Roma. <http://www.fao.org/nr/climpag>.
- Kiladis G., & Diaz H.** 1989. Anomalías climáticas mundiales asociadas a extremos en la oscilación del sur. (*Global climatic anomalies associated with extremes in the southern oscillation*). *Journal of Climate*, 2: 1069–1090.
- Kogan, F.** 1994. Sequías de finales de los 80 en Estados Unidos derivadas de los datos satelitales de la órbita polar del NOAA. (*Droughts of the late 1980's in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data*). *Boletín de la Sociedad Meteorológica Americana*, 76(5): 655–668.
- Parker D.** 1983. Documentación de un índice de Oscilación Sur (*Documentation of a southern oscillation index*). *Revista Meteorológica. (Meteorological Magazin)*, 12: 184–188.
- Rojas O., Vrieling A., y Rembold F.** 2011. Evaluación de la probabilidad sequía en zonas agrícolas de África con imágenes de teledetección remota de baja resolución. (*Assessing drought probability for agricultural areas in Africa with coarse resolution remote sensing imagery*). *Teledetección remota del medio ambiente (Remote Sensing of Environment)*, 115: 343–352. doi:10.1016/j.rse.2010.09.006.
- Ropelewski, C. F. y Halpert, M. S.** 1992. Esquemas de precipitaciones a escala mundial y regional asociados con la Oscilación Sur de El Niño (*Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation*). *Mon. Wea. Rev.*, 115: 1606–1626 (1992).
- Instituto Internacional de Investigación para la Predicción del Clima (IRI).** 2013. Efectos Esquemáticos del ENSO (*Schematic effects of ENSO*) http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/globalimpact/temp_precip/region_elnino.html
- Iizumi, T. et al.** Impactos de la Oscilación Sur de El Niño en el rendimiento global de los principales cultivos (*Impacts of El Niño southern oscillation on the global yields of major crops*). *Nature Communi.*, 5: 3712; doi: 10.1038/ncomms4712 (2014).
- Unganai, L. y Kogan, F.** 1998. Seguimiento de la sequía y estimación del rendimiento del maíz en el sur de África con datos AVHRR (*Drought monitoring and corn yield estimation in Southern Africa from AVHRR data*). *Teledetección remota del medio ambiente (Remote Sensing of Environment)*, 63; 219–232.
- Vancutsem, C., Marinho, E., Kayitakire, F. See, L., y Fritz S.,** 2013. Armonizar y combinar los conjuntos de datos existentes sobre cobertura terrestre y uso de la tierra para el seguimiento de las tierras agrícolas en el continente africano (*Harmonizing and combining existing land cover/land use datasets for cropland area monitoring at the African continental scale*). *Teledetección remota (Remote Sensing)* 2013, 5: 19–41; doi:10.3390/rs5010019.
- White, M. A., Thornton, P. E., y Running, S. W.** 1997. Un modelo fenológico continental para monitorear las respuestas de la vegetación a la variedad climática interanual. (*A continental phenology model for monitoring vegetation responses to inter-annual climatic variability*). *Global Biogeochemical Cycles*, 11(2): 217–234.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM),** 2014. Contexto de El Niño/La Niña. http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcasp/enso_background.html

FUENTES DE LOS DATOS PARA LA ELABORACIÓN DE LOS MAPAS

Datos de El Niño:

<http://ggweather.com/enso/oni.htm>

Datos del ASI:

<http://www.fao.org/giews/earthobservation>

GAUL:

www.fao.org/geonetwork

Batimetría:

<http://www.gebco.net>

Imagen de fondo de los mapas:

Elaborado a partir de “General Bathymetric Chart of the Oceans”





Durante los episodios de El Niño los patrones habituales de precipitaciones tropicales y circulación atmosférica se ven alterados, desencadenando episodios climáticos extremos en distintos lugares del planeta: sequías, inundaciones y cambios en la intensidad y frecuencia de los huracanes. Los desastres crean trampas de pobreza que aumentan la prevalencia de inseguridad alimentaria y malnutrición. La agricultura es uno de los principales sectores de la economía que podría verse severamente afectado por el fenómeno de El Niño. La FAO hace un seguimiento del fenómeno de El Niño-Oscilación Sur (ENOS), entre otros fenómenos meteorológicos relacionados, prestando especial atención a los potenciales impactos sobre el sector agrícola.

El objetivo de este estudio es mejorar nuestra comprensión del fenómeno de El Niño utilizando el Sistema del Índice de Estrés Agrícola de la FAO (ASI, siglas en inglés). Este estudio ha sido desarrollado bajo el auspicio del nuevo Marco estratégico de la FAO, concretamente bajo el Objetivo Estratégico n° 5 “Aumentar la resiliencia de los medios de vida ante las amenazas y crisis”. Esperamos que los resultados de este estudio alienten otros debates para seguir entendiendo el fenómeno de El Niño más allá de la bibliografía existente. Ello serviría, a cambio, para mejorar la eficacia de alerta temprana de la FAO y sus socios para poner en marcha puntualmente las medidas adecuadas de reducción del riesgo de desastres.



Publicaciones de la División de Clima, Energía y Tenencia de Tierras (NRC)

Series: www.fao.org/climatechange/61878

Documentos de trabajo: www.fao.org/climatechange/61879

Contacto NRC: NRC-Director@fao.org

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
www.fao.org

ISBN 978-92-5-308671-9 ISSN 2071-0992



9 789253 086719

I4251S/1/12.15