SAGARPA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN

FUNDACIÓN PRODUCE Sinaloa A.C.
ENLACE, INNOVACIÓN Y PROGRESO

SINALOA ES TAREA DE TODOS
GOBIERNO DEL ESTADO DE SINALOA

Páneles 2013 de Fundación Produce Sinaloa, A.C.

COLECCIÓN MC
MEMORIA DE CAPACITACIÓN

Programa de páneles 2013 de Fundación Produce Sinaloa, A.C.

Memoria

Sustentabilidad agrícola

La biotecnología al servicio de la agricultura

*M.C. Leidy Cortegaza Ávila**

Introducción

La biotecnología se puede definir como toda técnica que utiliza organismos vivos o sustancias de estos organismos, para la crear o modificar un producto, mejorar plantas o animales o desarrollar microorganismos para usos específicos (CBD[1]).

La biotecnología se puede aplicar a todo tipo de organismos, desde los virus y las bacterias hasta a animales y plantas.

Cuando las técnicas biotecnológicas se aplican a las plantas y/o procesos agrícolas, se conoce como *biotecnología agrícola*, *biotecnología verde* o más comúnmente como *biotecnología vegetal.*

En los últimos años, muchas de las investigaciones en biotecnología vegetal han estado dirigidas a dar respuesta a problemas cruciales derivados del crecimiento de la población mundial, la cual ha crecido significativamente durante las últimas décadas. En 1999, el número de habitantes superó los 6 mil millones. La última estimación realizada a mediados del 2011 cifra la población mundial en más de 7 mil millones de habitantes. El 97% de este incremento se produce en los países en vías de desarrollo, estimándose que para el año 2050 cerca del 90% de los habitantes del planeta residirán en los países en vías de desarrollo del hemisferio sur.

Teniendo en cuenta las estadísticas, resulta evidente que el reto para el futuro debe residir en garantizar la seguridad alimentaria mundial, lo cual requiere duplicar la producción de alimentos en los próximos 50 años para lograr satisfacer las necesidades de la población.

Para este propósito, la biotecnología vegetal juega un papel clave en la mejora de la producción agrícola y para ello cuenta con

*Colaboradores: Dr. Omar Santana Méridas, Ing. Yenima Pellón Guzmán, Ing. Odalmis Dihigo Mesa, Ing. Odalis Nodarse Vazques, Ing. Lorenzo Cabrera Miranda y el Dr. Ignacio Santana Aguilar.

1 Convenio sobre Diversidad Biológica. Organización de las Naciones Unidas.

tres grandes campos de estudio:

1)El cultivo de tejidos vegetales (cultivo *in vitro*[2]).

2)La ingeniería genética[3].

3)Los marcadores moleculares vegetales.

Las aplicaciones biotecnológicas van desde lo simple a lo sofisticado y en muchos casos han sido adecuadas para su uso en países en desarrollo. Por ejemplo, las técnicas biotecnológicas, como el cultivo de tejidos vegetales, poseen aplicaciones que van desde la obtención de plantas libres de enfermedades, la propagación masiva de materiales de siembra, la conservación de recursos genéticos[4] y especies amenazadas, hasta el mejoramiento genético mediante la inducción de mutaciones y la selección *in vitro*.

En el contexto de esta temática la realización de este trabajo tiene como objetivo aportar conocimientos relativos a los fundamentos, aplicaciones de las técnicas de cultivo *in vitro* en el marco de la investigación-producción de cultivos de interés agrícola.

Desarrollo

Micropropagación: concepto, ventajas y limitaciones

La micropropagación es un conjunto de técnicas y métodos de cultivo de tejidos (*in vitro*) empleados para la propagación clonal[5] de forma rápida, eficiente, libre de enfermedades y en grandes cantidades de un determinado material vegetal.

Se considera una de las aplicaciones más prácticas y aceptadas de la biotecnología vegetal. Se basa en la capacidad que tienen las células vegetales de regenerar una planta completa (totipotencia) y comprende el establecimiento, la propagación y el enraizamiento del cultivo vegetal en condiciones controladas (*in vitro*) para su posterior climatización y establecimiento en condiciones de campo (*ex vitro*).

La regeneración de las plantas se puede lograr directamente a partir del explante[6] seleccionado (regeneración adventicia) o

2 En condiciones de laboratorio.

3 La ingeniería genética es una rama de la Genética que se encarga de la manipulación genética de los organismos con un propósito determinado como la creación de nuevas especies o variedades, la corrección de defectos genéticos o la fabricación de compuestos y fármacos.

4 Diversidad genética de las especies vegetales silvestres y cultivadas de interés para la agricultura

5 Producción de plantas a partir de partes vegetativas

6 Parte de la planta seleccionada para el establecimiento *in vitro* y cuyos

indirectamente a partir de callos[7] y/o cultivos celulares generados a partir de dicho explante (regeneración *de novo*[8]). Puede ocurrir mediante dos procesos fundamentales: organogénesis y embriogénesis.

La organogénesis es la formación de un órgano individual (brotes o raíces) directamente sobre el explante (adventicios) o a partir de callos y/o cultivos celulares generados a partir del explante (*de novo*).

La embriogénesis es la formación de una estructura bipolar con brotes y raíces directamente (adventicia) o indirectamente (*de novo*).

La propagación clonal del plantas (micropropagación) ofrece ventajas significativas sobre los métodos de propagación convencional (en campo) sobre todo en lo referente al ahorro de tiempo y espacio así como a la gran cantidad de plantas libre de enfermedades que pueden obtenerse a partir de un solo individuo.

Cuando se usa la tecnología apropiada es posible obtener cerca de un millón de vitroplantas a partir de un solo explante entre los 6-12 meses de cultivo. A continuación se resumen las principales ventajas y limitación de la aplicación de esta biotecnología:

Ventajas

Mayor rapidez en la introducción de productos

La micropropagación puede introducir un producto en el mercado más rápidamente que los métodos convencionales debido a:

Selección individual de plantas élites

Se puede reproducir una gran población uniforme a partir de una sola planta. Por lo que es posible seleccionar una planta con características deseables y obtener un elevado número de propágulos con fines comerciales.

Altos coeficientes de propagación

Los sistemas de multiplicación actuales ofrecen elevadas tasas de propagación, pudiéndose obtener hasta un millón de plantas partir de una sola en un período de 12 a 24 meses, permitiendo la entrada rápida al mercado de nuevos clones o selecciones.

tejidos tienen la capacidad de regenerar una planta completa

7 Masa de células indiferenciadas que se obtienen a partir de la proliferación de las células del explante en presencia de hormona.

8 Desde el principio.

Uniformidad en las plantas producidas

Es posible producir poblaciones uniformes de plantas, lo que permite una mejor planificación de las cosechas y reducción en el tiempo dedicado a esta labor.

Elevadas producciones en espacios reducidos

El número de plantas que se producen por área es mucho mayor que en los invernaderos o en condiciones de campo.

Mayor calidad del producto

El valor del producto se incrementa como consecuencia de:

Plantas libres de enfermedades

Las bacterias, hongos y virus se eliminan a lo largo del proceso de propagación *in vitro*.

Mejoramiento del fenotipo de las plantas

Durante el proceso, se pueden manipular varios parámetros de crecimiento y reguladores para obtener cambios deseables en el fenotipo de las plantas como es la ramificación, tamaño, madurez temprana o tardía, los cuales aumentan el valor del producto.

Mayor facilidad en la comercialización

La comercialización de plantas micropropagadas se facilita debido a:

Flexibilidad en la forma del producto

A partir de la micropropagación se puede ofertar un mayor rango de formatos del producto. Brotes en fase de multiplicación en medio de cultivo, plantas enraizadas, plantas adaptadas en cepellón o raíz desnuda, bulbos, tubérculos o esquejes.

Facilidades en la transportación y embarque

Debido a que las plantas son producidas en condiciones estériles, las mismas pueden ser certificadas como libres de todo tipo de enfermedades. Por tanto, las regulaciones fitosanitarias internacionales pueden cumplirse con mayor rigor lo cual facilita los trámites de entrada a cualquier país.

Producción durante todo el año

La producción puede ser manipulada a cualquier hora del día y en cualquier época del año. Además las plantas pueden ser almacenadas en ciertas condiciones para evitar picos de producción, aún cuando estas deben ser comercializadas en períodos cortos de tiempo.

Limitaciones

Como cualquier biotecnología, la micropropagación no está exenta de limitaciones. Entre las más reseñables podemos citar:

Costos de producción relativamente altos

La micropropagación aún requiere de un alto componente de mano de obra altamente calificada que puede representar hasta 70% del costo final.

Aparición de plantas fuera de tipo (*off type*)

Aun cuando la micropropagación es una tecnología de clonación, pueden ocurrir mutaciones durante los distintos estadios del proceso.

No es aplicable a todos los cultivos

No todos los cultivos pueden ser comercialmente propagados mediante esta tecnología. Aunque existen muchos reportes científicos en un variado número de especies, estos aún no están listos para su aplicación a escala comercial.

A pesar de las limitaciones antes mencionadas la micropropagación continúa siendo una de las tecnologías más aplicadas dentro de la biotecnología agrícola, tanto con fines comerciales como de investigación.

Con el objetivo de avalar esta información se ha elaborado el Cuadro 1 que nos muestra información actualizada sobre el establecimiento de protocolos de micropropagación en diferentes tipos de cultivos de interés agrícola e industrial.

Cuadro 1. Protocolos de micropropagación en cultivos de interés agrícola e industrial.

Categoría/ cultivo	Beneficios/resultados obtenidos
Caña de azúcar	• Vitroplantas certificadas libre de enfermedades. • Elevada tasa de multiplicación (700 plantas por explante). • Sistema patentado NovaCane® para micropropagación de caña de azúcar.
Plátano	• Elevada tasa de multiplicación (710 brotes por explante) a las seis semanas. • Protocolo de micropropagación de banana.
Aromáticas y medicinales	• Protocolo para la micropropagación de *Lavandula* sp.
Ornamentales	• Protocolo para la micropropagación a bajo costo de la rosa de Damasco.
	• Micropropagación comercial a gran escala de 100 especies de plantas ornamentales.
Árboles	• Protocolo para la micropropagación de árboles en peligro de extinción.
Frutales	• Protocolo para la micropropagación de la cereza.
	• Protocolo de micropropagación a gran escala de la piña.
Papa	• Protocolo para la micropropagación de la papa.
Especias	• Protocolo para la micropropagación y crioconservación del ajo.

MICROPROPAGACIÓN: INDICADORES DE GASTO

Una de las principales limitaciones del empleo de las tecnologías de propagación masiva son los costos de producción. Los elevados costos para producir un propágulo provocaron, en la década de los 80, una desaceleración del mercado de vitroplantas.

Los costos dependerán del sistema empleado en cada laboratorio y/o biofábrica. En la Figura 1 se muestra, de forma general, cómo contribuyen los principales indicadores de gastos en los costos de producción de un sistema basado en la micropropagación.

En la implantación de cualquier sistema de propagación masiva, la mano de obra está directamente relacionada con la cantidad de plantas producidas y representa el gasto principal. El consumo eléctrico dedicado a las tareas en enfriamiento e iluminación de los cuartos de cultivo es el segundo indicador en importancia.

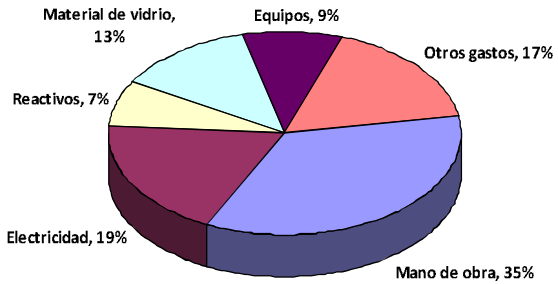

Figura 1. Contribución de los principales indicadores de gastos sobre el costo en la micropropagación.

Aunque no se encuentra representado de forma directa en la Figura 1, los coeficientes de multiplicación del material propagado, constituyen uno de los elementos esenciales de los costos. Por cada unidad de variación de este parámetro se afectan en un 10% los costos totales. Esto se debe a su efecto sobre la productividad de los operadores y los principales indicadores de gasto como el consumo de espacio, reactivos, energía, etc. Por ejemplo, en las condiciones reales de producción en caña de azúcar en Cuba, la variedad CP5243 tiene un coeficiente propagación de 7, mientras que en el caso de la Ja60-5 es solo de 3. En este caso, el costo de producción de las vitroplantas de Ja60-5 será casi el doble que las de CP5243.

La especial importancia de los costos de producción en el establecimiento exitoso de un sistema de micropropagación ha provocado que, durante los últimos años, las investigaciones

en el campo de la biotecnología agrícola hayan estado dirigidas fundamentalmente a la modificación y/o desarrollo de protocolos que contribuyan eficazmente a la reducción de los gastos de implantación de esta tecnología.

Teniendo en cuenta esto, se han desarrollado numerosas tecnologías llamadas de *low cos*t (de bajo costo), las cuales se han implementado en las diferentes etapas del proceso de micropropagación.

Entre las más importantes se encuentran el control de la contaminación, sustitución de medios de cultivo semisólidos por líquidos, sustitución del agar por un agente gelificante alternativo más barato, aprovechamiento de la luz natural, aumento del rango de temperatura en los cuartos de cultivo, regeneración de plantas completas en el mismo medio de cultivo, sustitución del enraizamiento *in vitro* por el enraizamiento *ex vitro*, entre otras.

Mecanización y automatización de la micropropagación

El desarrollo de tecnologías para la mecanización y automatización del proceso de micropropagación ayudará notablemente a disminuir los costos de manipulación, en la reducción del espacio y en el incremento de los volúmenes de producción.

La mecanización se aplica sobre los procesos de cultivo y se refiere a la implantación de la robótica y los sistemas de reconocimiento de imágenes informatizados en los procesos de corte y clasificación de explantes, transplantes, dispensación de medios de cultivo, etc. Si bien es cierto que la mecanización reduce los costos finales, la inversión inicial solo está al alcance de las grandes empresas que se dedican a la propagación masiva de plantas.

La automatización hace referencia fundamentalmente al cultivo de tejidos en medio líquido en biorreactores. Un biorrreactor es un recipiente o un sistema con un ambiente estéril capaz de mantener un sistema biológico.

Este sistema posee una serie de ventajas, entre las que se encuentran: ahorro de tiempo y trabajo; aumento de la tasa de crecimiento y multiplicación, debido a la aeración forzada; mejor disponibilidad de nutrientes debido al empleo de medios líquidos; aumento del volumen de trabajo; mayor homogeneidad en el cultivo; mejor control del entorno físico, facilitando el control de las variables de crecimiento del cultivo (aireación, agitación, temperatura, pH), entre otras.

Una de las variantes más exitosas en el empleo de biorreactores

es el cultivo en medio líquido con sistemas de inmersión temporal (TIB).

Con el empleo de esta metodología se ha logrado mejorar la calidad y tasas de multiplicación de cultivos agrícolas e industriales de gran importancia como el plátano, papa, orquídeas, agave, sándalo y caña de azúcar, entre otras.

Micropropagación a gran escala: desarrollo de biofábricas en Cuba

En Cuba la propagación masiva de plantas comenzó a finales de la década de los 70, con laboratorios que producían de 100 mil a 200 mil vitroplantas anuales de papa.

Paralelamente los grandes centros científicos del país y las universidades comenzaron a desarrollar tecnologías de cultivo de tejidos, de diagnóstico, saneamiento e identificación y caracterización de la variabilidad somaclonal[9], etcétera. En 1987 se construyó la primera biofábrica en Cuba, surgiendo en el país el término *biofábrica,* que ya se maneja en muchos países.

Actualmente Cuba dispone de una red de 16 biofábricas, con una capacidad de entre 0.5 y 5 millones de vitroplantas por año cada una**.**

En el Cuadro 2 se resume la producción total de vitroplantas en la red de biofábricas de Cuba.

9 La variación somaclonal es la variación genética que se genera durante el cultivo *in vitro* de plantas (cultivos celulares de tejidos u órganos) que provenga de células somáticas.

Cuadro 2. Producción total de vitroplantas por cultivo en la red de biofábricas en Cuba.

Cultivo	Total de vitroplantas hasta el año 2004*
Plátanos y bananos	136 084 100
Caña de azúcar	24 935 700
Papa	6 133 100
Piña	5 229 100
Ornamentales	4 151 200
Malanga	2 446 300
Forestales	85 000
Ñame	52 400
Fresa	41 600
Guayaba	32 000
Topinanbur	27 000
Col	15 500
Total	**179 191 500**

* Fuente: biofábricas para la micropropagación de especies vegetales. IBP. Forum de Ciencia y Técnica, 2006. Cuba.

El término biofábrica se emplea para definir una instalación especializada en la producción de material vegetal mediante métodos biotecnológicos. Su misión fundamental consiste en producir y comercializar vitroplantas, posturas, y servicios técnicos que satisfagan los compromisos contractuales, en condiciones de alta eficiencia, eficacia y competitividad, a través de una marcada orientación hacia a la elevación constante de la calidad, basado en el cumplimiento estricto de la disciplina tecnológica.

Desarrollo futuro por áreas geográficas

América

Ya ha comenzado en América Latina la producción de flores, vegetales y cultivos industriales los cuales son exportados fundamentalmente a Norteamérica.

Se espera una ampliación en estas producciones, debido a la eliminación de restricciones para el comercio y la transportación, además del potencial de esta área por el menor costo de producción (mano de obra).

A la vez la propagación de cultivos de importancia agrícola para

el mercado interno ha ganado importancia en estos países (plátanos y bananos, papa, caña de azúcar, palma de aceite, ajo).

Europa

Holanda ha sido tradicionalmente el centro de Europa para la producción de ornamentales y flores. Sin embargo, debido a reordenamientos en la CEE (Comunidad Económica Europea) otros países como Italia y España con mejor clima y menos costos por mano de obra tomarán parte de este mercado.

También los cambios en Europa del Este han hecho que muchas compañías (holandesas fundamentalmente) se muevan hacia estos países. En esta área se espera una feroz competencia en los próximos años.

Asia

Japón es el mayor consumidor de esta zona y ha tenido el rol principal en la producción hasta el momento. En los últimos años Taiwán y Corea han incrementado rápidamente sus capacidades de laboratorio y han creado importantes mercados internos para sus producciones.

Líneas futuras para el desarrollo de nuevos productos

Selección de plantas élites

El vigor híbrido es la base fundamental de los programas de mejoramiento convencional en los cultivos hortícolas, industriales y forestales. El vigor híbrido es creado y mantenido mediante el cruzamiento de líneas parentales o por la propagación asexual de plantas heterocigóticas. La obtención y mantenimiento de líneas parentales es extremadamente complejo y consume mucho tiempo, mientras que la propagación asexual convencional es lenta y riesgosa (enfermedades).

El cultivo de tejidos puede resolver estos problemas y permitir la propagación de plantas élites y acortar los programas de mejoramiento. Muchas compañías hortícolas están adoptando este concepto en sus programas de mejora y ya se han desarrollado nuevos productos a partir de la clonación de plantas individuales.

Plantas transgénicas

La micropropagación debe jugar un papel fundamental en la entrada rápida al mercado de plantas transgénicas (estériles). De

hecho es la única vía para producir en grandes volúmenes con rapidez y eficacia.

Mejora en el fenotipo

El fenotipo o la apariencia de las plantas pueden ser alterados manipulando condiciones físicas y químicas (forma de la planta, ramificación o ahijamiento, tamaño, ritmo de crecimiento, época de floración, proporción de sexos). A medida que se conozcan mejor estos mecanismos podrán manipularse estas y otras características que añaden valor a las plantas producidas.

Conclusiones

La propagación masiva de plantas (micropropagación) es una de las principales aplicaciones de la biotecnología vegetal, permitiendo la producción acelerada de semillas de alta calidad genética y sanitaria.

La difusión de las posibilidades reales de aplicación de la biotecnología en el sector agrícola, el incremento del número de especies que pueden ser micropropagadas, unido a la demanda de semillas de alta calidad y la necesidad de producir alimentos derivados de la agricultura en mayor cantidad y calidad; han incrementado la demanda internacional para la construcción de biofábricas, sobre todo en el área latinoamericana.

Bibliografía

Akin-Idowu, P. E.; Ibitoye, D. O.; Ademoyegun, O. T. (2009). Tissue culture as a plant production technique for horticultural crops. *African Journal of Biotechnology,* 8: 3782-3788.

Aladele, S. E.; Okere, A. U.; Jamaldinne, E.; Lyam, P. T.; Fajimi, O.; Adegeye, A.; Zayas, C. M. (2012). The science of plant tissue culture as a catalyst for agricultural and industrial development in an emerging economy. En: Recent Advances in Plant *in vitro* Culture (Leva and Rinaldo, Eds). ISBN ISBN 978-953-51-0787-3.

Bandhu, A. (2012). Plant tissue cultura for global food production. *Science Horizon*, 2nd year, 9th issue: 35-41.

Chandran, K. (2010). *In vitro* multiplication and conservation of *Saccharum* germplasm. Indian J. Plant Genet. Resour. 23: 65-68.

Chawla, H S. (2004). Introduction to plant biotechnology (2da Ed.). Science Publisher Inc. (Ed.) ISBN 1-57808-228-5. 542p.

Druart, P. (2013). Micropropagation of *Prunus* Species relevant to cherry fruit production (2013). *Methods in Molecular Biology*, 11013: 119-136.

Farahani, F.; Majd, A. (2012). Comparison of liquid culture methods and effect of temporary immersion bioreactor on growth and multiplication of banana (*Musa*, cv. Dwarf Cavendish. African Journal of Biotechnology. 11: 8302-8308.

Gonçalves, S.; Romano, A. (2013). Micropropagation of *Lavandula* spp. Methods in Molecular Biology, 11013: 189-198.

Gudeva-Liljana, K.; Mitrev, S.; Fidanka, K.; Mite, I. (2012). Micropropagation of potato *Solanum tuberosum* L. Electronic journal of biology, 8: 45-49.

Huq, A.; Akter, S.; Islam, S.; Khan, S. (2012). *In vitro* plant regeneration in banana (*Musa* sp.) cv. Sabri. *Bangladesh J. Sci. Ind. Res.,* 47:143-146.

Keller, E. R.; Senula, A. (2013). Micropropagation and cryopreservation of garlic (*Allium sativum* L.). *Methods Mol Bio*l., 11013:353-68.

Kelly, V.; Adesina, A. A.; Gordon, A. (2003). Expanding access to agricultural inputs in Africa: a review of recent market development experience. *Food Policy,* 3: 379-404.

Lavanya, A. R.; Muthukrishnan, S.; Kumaresan, V.; Franklin, J. H.; Rao, M. V. (2012). *In vitro* micropropagation of *Hildegardia populifolia* (Roxb.) Schott & Endl., an endangered tree species from Eastern Ghats of Tamil Nadu, India. *Journal of Agricultural Technology*, 8: 1727-1744.

Liu, Q.; Liu, Q. (2010). Commercial Micropropagation of Ornamental Plants in China. *Chronica Horticulturae*, 50: 16-20.

Lyam, P.; Musa, M. L.; Jamaleddine, Z. O. (2012). The Potential of Temporary Immersion Bioreactors (TIBs) in Meeting Crop Production Demand in Nigeria. *Journal of Biology and Life Science*, 3: 66-88.

Mahmoudi, H.; Ahmad, N.; Baghizadeh, A. (2012). *In vitro* propagation of the Damask rose (*Rosa damascena* Mill.). I*n Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 48: 530-538.

Mehrotra, S., Kumar-Goel, K.; Kumar-Kukreja, A.; Nath- Mishra, B. (2007). Efficiency of liquid culture systems over conventional micropropagation: A progress towards Commercialization. *African Journal of Biotechnology* , 6: 1484-1492.

Meyer, G. M.; Banasiak, M.; Keeping, N.; Pillay, N.; Parfitt, R.; Snyman, S. J. (2010). Novacane® as a tool for rapid propagation of material for the SASRI plant breeding programme. *Proc. S. Afr. Sug. Technol. Ass.,* 83: 117-121.

Pandey, R. N.; Rastogi, J.; Sharma, M. L.; Singh, R. K. (2011). Technologies for cost reduction in sugarcane micropropagation (2010). *African Journal of Biotechnology,* 10: 7814-7819.

Pérez Ponce, J. N.; Suárez-Castellá, M.; Orellana-Pérez, P. (2000). Posibilidades y potencial de la propagación masiva de plantas en Cuba. *Biotecnología Vegetal,* 1: 3-12.

Ramgareeb, S.; Snyman, S. J.; van Antwerpen, T.; Rutherford, R. S. (2010). Elimination of virus and rapid propagation of disease-free sugarcane (*Saccharum* spp. cultivar NCo376) using apical meristem culture. *Plant Cell. Tiss. Organ Cult.,* 100: 175-181.

Scherwinski-Pereira, J. E.; Araruna-Lima, E. C.; da Silva, T. L.; Gomes-Mesquita, A. G.; Maciel, S. A.; da Silva-Costa, F. H. (2012). Double-phase culture system for large scale production of pineapple. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* (PCTOC), 109: 263-269.

Snyman, S. J.; Meyer, G. M.; Banasiak, M.; Nicholson, T. L.; Antwerpen, T. van; Naidoo, P.; Erasmus, J. D. (2009). Remove from marked Records Micropropagation of sugarcane via NovaCane®: preliminary steps in commercial application. *Sugar Cane International*, 27: 245-247.

Suprasanna, P.; Sidha, M.; Bapat, V. A. (2009). Integrated approaches of mutagenesis and *in vitro* selection for crop improvement. In: Plant tissue culture and molecular markers: their role in improving crop productivity. I. K. International Pvt Ltd, Kumaar A. Ed. ISBN: 9788189866105, 688pp.

Watt, M. P- (2012). The status of temporary immersion system

(TIS) technology for plant micropropagation. *African Journal of Biotechnology*, 11: 14025-14035.

Yesil-Celiktas, O.; Gurel, A.; Vardar-Sukan, F. (2010). Large scale cultivation of plant cell and tissue culture in bioreactors. En: Transworld Research Network (Ed). ISBN 978-81-7895-474-5, 54p.

Conceptos de sustentabilidad, agricultura orgánica e integral

M.C. Jesús Valero Garza*

Introducción

La sustentabilidad (o sostenibilidad) es un término que se puede utilizar en diferentes contextos, pero en general se refiere a la cualidad de poderse mantener por sí mismo, sin ayuda exterior y sin agotar los recursos disponibles.

En la ecología, la sustentabilidad describe a los sistemas ecológicos o biológicos (como bosques, por ejemplo) que mantienen su diversidad y productividad con el transcurso del tiempo.

En el contexto económico y social, la sustentabilidad se define como la habilidad de las actuales generaciones para satisfacer sus necesidades sin perjudicar a las futuras.

El concepto desarrollo sustentable se utiliza en dos contextos diferentes:

• El primero es una combinación de la sustentabilidad ecológica y socioeconómica, y consiste en mantener un equilibrio entre la necesidad del ser humano a mejorar su situación física y emocional, y la conservación de los recursos naturales y ecosistemas que sustentarán la vida de la futura generación.

• El desarrollo sustentable también se utiliza para describir proyectos de desarrollo en comunidades que carecen de infraestructura, y se refiere a que, después de un tiempo introductorio de apoyo externo, la comunidad debe seguir mejorando su propia calidad de vida de manera independiente aunque el apoyo inicial ya se haya acabado.

Agricultura orgánica

Es un sistema de producción integral, basado en la diversidad de especies en producción, que utiliza insumos naturales, tierras de calidad, prácticas de labranza y conservación de agua y suelo,

* INIFAP- Santiago Ixcuintla

prevención natural de plagas y enfermedades, entre otras prácticas, manteniendo un alto nivel de reciclaje de los materiales empleados, minimizando insumos externos, sin riesgo para los trabajadores, sin usar aguas negras, sin usar radiación u organismos genéticamente modificados (transgénicos), sin dejar residuos tóxicos en los alimentos, enriqueciendo la tierra año tras año y sin dañar al medio ambiente.

Después de la Revolución Verde[1] se trató de corregir los errores que se cometieron con la aplicación de tantos pesticidas con una estrategia que llamaron *manejo integral de plagas, enfermedades y malezas* combinando el uso de los pesticidas con el uso del control biológico, argumentando que este último solo no era suficiente para el control de estos problemas.

La agricultura orgánica utiliza técnicas de producción agrícola cuya finalidad es aumentar la fertilidad del suelo haciendo, crecer plantas sanas. Prescinde de la utilización de sustancias químicas de síntesis, como pesticidas y fertilizantes con lo que se consigue la producción alimentos orgánicos y se evita contaminar los ecosistemas.

Para que las plantas crezcan saludables y fuertes es indispensable que sus raíces profundicen en una tierra donde la vida microbiana sea rica.

La agricultura integrada utiliza un arsenal controlado de productos químicos de síntesis y técnicas erróneas de laboreo que destruyen la vida subterránea, debilitando la resistencia de las plantas a enfermedades y plagas.

Al combatir las plagas y las adventicias con herbicidas y plaguicidas la agricultura integrada provoca más ataques parasitarios que obligan a aumentar la potencia o la cantidad de sustancias químicas que a su vez destruyen la rica vida microbiana subterránea.

Según la OMS (Organización Mundial de la Salud), cada año en el mundo acontecen 2 millones 900 mil intoxicaciones agudas y 300 mil muertes por causa de los plaguicidas.

1 Gran parte de la producción mundial de alimentos de la actualidad se ha logrado gracias a lo que se conoce como *Revolución verde*, ocurrida entre 1940 y 1970 en Estados Unidos. Esta consistió en utilizar variedades mejoradas de maíz, trigo y otros granos, cultivando una sola especie en un terreno durante todo el año (monocultivo), y la aplicación de grandes cantidades de agua, fertilizantes y plaguicidas. Con estas variedades y procedimientos, la producción es de dos a cinco veces superior que con las técnicas y variedades tradicionales de cultivo.

En México ocurren 13 mil intoxicaciones agudas y más de 700 defunciones por causa de los plaguicidas, además del incremento de cáncer, anemia aplástica, leucemia, y otras, en La Laguna, Delicias, Chihuahua, Ciudad Obregón, El Soconusco, en los valles de Sinaloa, las regiones cafetaleras de Veracruz, las regiones plataneras de Tabasco, y en la regiones tabacaleras de Nayarit, entre otras.

Después de varios decenios de producir alimentos con el uso de agroquímicos diversos autores empezaron a denunciar los efectos negativos del enfoque tan poco equilibrado de la Revolución Verde.

Es así como surgieron algunas de las corrientes de agricultura alternativa: *agricultura orgánica* (Howard y luego la familia Rodale), *agricultura biodinámica* (Steiner), *permacultura* (Mollison), *agricultura natural* (Fukoka), *tecnología apropiada* (Schummacher), *agricultura ecológica* (Aubert) y *agroecología* (Conway y Altieri).

Lo que tuvieron en común todos estos movimientos fue un enfoque principalmente dirigido a los problemas ocasionados por la Revolución Verde en la salud humana y el medio ambiente.

En este contexto se inician los estudios del impacto de los plaguicidas en la salud de los aplicadores, los problemas de residuos de plaguicidas en alimentos y la contaminación de agua potable por los mismos productos, entre otros. También inician los estudios sobre le impacto de plaguicidas y fertilizantes sobre los ecosistemas.

Los movimientos de agricultura orgánica surgen a raíz de la conciencia que toman los productores y consumidores de lo inestable y poco sostenible de las formas actuales de producción agrícola.

Además, la agricultura sostenible requiere que cuando menos los cultivos en producción se encuentre en un sistema de rotación de cultivos (por ejemplo, maíz-fríjol, o maíz-cempasúchil), con el propósito de romper los ciclos de las plagas, y para que los niveles de fertilidad del suelo se restituyan naturalmente, de la misma manera la agricultura orgánica requiere de varias especies al mismo tiempo en el mismo espacio, otras especies en rotación y en una sucesión adecuada.

Esto parece complicado, y lo es en cierta medida, ya que debe verse la integración del todo y no solo una sola especie, así que los principios de la agricultura orgánica tienen tres dimensiones y un corazón, que es el balance nutricional (Figura 1).

Figura 1. Principios fundamentales de la agricultura orgánica.

El concepto balance nutricional refiere a un buen abonado orgánico, que restituya el humus necesario para el suelo sostenga debidamente a las plantas que se desarrollan en él.

El humus tiene efectos positivos, ya que genera resistencia contra nematodos (gusanos redondos), larvas y otros patógenos del suelo, debido al incremento de la actividad microbiana, producción de antibióticos, enzimas, entre otros beneficios; además, activa el edafón, propiciando óptima aireación y abastecimiento de humedad para la planta.

Principales objetivos de la agricultura orgánica:

• Producir alimentos sanos, libres de veneno, sin contaminar el medio ambiente, eliminando todos los insumos y prácticas que los perjudiquen.

Disminuir la dependencia de insumos externos a la unidad de producción, además de desarrollar y apropiarse de tecnologías adecuadas a sus condiciones ambientales y socioeconómicas.

• Promover la estabilidad de la producción haciéndola sostenible, en relación al uso de los recursos naturales, la energía y la economía.

• Buscar la autosuficiencia económica de los productores y de las comunidades rurales (autogestión), reduciendo los costos de producción y preservando los recursos básicos que poseen.

• Trabajar con la conservación de la biodiversidad genética y el comportamiento natural de los ecosistemas y en ningún momento trabajar en contra de ellos.

• Recuperar, conservar y potencializar la fertilidad del suelo.

• Trabajar en el reciclaje de nutrientes minerales y conservar la materia orgánica.

Buscar una mayor utilidad del potencial natural, productivo, biológico y genético de las plantas y de los animales

• Manejar las unidades de producción de acuerdo a sus limitaciones y al potencial de su suelo, agua, clima y economía local.

• Asegurar la competitividad de la producción de los alimentos en mercados locales, regionales, nacionales e internacionales, acompañados de los parámetros de calidad y cantidad.

Consideraciones finales

La agricultura orgánica mejora la fertilidad de las tierras, sin dejar residuos tóxicos en sus productos, sin afectar la salud de los trabajadores del campo y de los consumidores de dichos productos y sin afectar el medio ambiente.

Existen 35 millones de hectáreas certificadas en el mundo, con 400 mil hectáreas certificadas en México y más de 60 especies de alimentos y fibras de interés económico certificadas como producción orgánica en México.

Tomando esto en cuenta esto, podemos decir que ya no se necesita usar agroquímicos tóxicos o derivados del petróleo para producir alimentos de la calidad y en la cantidad que el mundo necesita para nutrir a la población.

Además, el mercado de consumidores de alimentos orgánicos está continuamente en expansión, y solo resta que los productores comiencen a implementar esta tecnología, la cual es amigable con el medio ambiente y económicamente redituable.

Cambio climático y su impacto en la agricultura sinaloense

Funcionamiento y utilidad del sistema de red agrometeorológica en Sinaloa

M.C. Manuel Alonzo Báez Sañudo*
Lic. Jorge Manjarrez Vázquez
Dr. Tomás Osuna Enciso
I.B.Q. Rosalba Contreras Martínez

Introducción

Sinaloa es reconocido como un estado con alto potencial agrícola, debido a su numerosa infraestructura hidráulica, sus fértiles valles y la visión empresarial de sus productores.

Su alta productividad le permite participar en los mercados internacionales como exportador de productos frescos de origen hortofrutícola, que representa más de 65% de las exportaciones totales que realiza el estado.

En consecuencia, los recursos económicos derivados de esta actividad propician el mantenimiento y el crecimiento económico del estado.

La selección de cultivos y variedades, las fechas de siembra y el manejo agronómico, entre otros factores, están determinados parcialmente por la información climática presente en los distintos lugares de producción. El clima es indudablemente un recurso natural que afecta la producción agrícola. Su influencia en un cultivo está determinada por las características geográficas de la localidad en que esté situado y, en gran medida, por las labores culturales y las condiciones en que se desarrolla la producción.

El Sistema Estatal de Clima Automatizado de Sinaloa (SECAS) fue creado como una herramienta para proporcionar a los usuarios de las principales zonas agrícolas regionales información climática en tiempo real, para planificar operaciones y responder a las variaciones naturales del clima, así como a los cambios en la frecuencia, intensidad y localización de eventos extremos causados por el cambio climático.

* Todos pertenecientes al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.-Culiacán.

Desastres recientes en todo el mundo han puesto de manifiesto la importancia de comprender la interconexión entre el tiempo y el clima y la vulnerabilidad de las sociedades. Estas incluyen inundaciones, sequías, heladas, monitoreo y control de plagas y enfermedades, etapas fenológicas de los cultivos, entre otras.

Desde la convocatoria 2006-2007, Fundación Produce Sinaloa, A.C., ha estado apoyando este proyecto con la finalidad de contribuir al establecimiento de estaciones agrometeorológicas en todo el estado para crear un sistema estatal automatizado de variables climáticas que ayuden a la toma de decisiones y permita incrementar la competitividad y la eficiencia en la producción de las cadenas agrícolas prioritarias para Sinaloa.

El propósito fundamental del proyecto, además del establecimiento del sistema automatizado en tiempo real, mantener en correcta operación la red de 55 estaciones meteorológicas en los principales distritos de riego del estado así como en la parte de la sierra con potencial agrícola.

Actualmente, en el norte, desde El Carrizo (Ahome) hasta Chinitos (Angostura) se tienen 23 estaciones instaladas. En el centro del estado, desde Pericos (Mocorito) a Estación Dimas (en San Ignacio) se cuenta con 20 estaciones. Y en el sur del estado se tienen instaladas ocho estaciones desde Mármol (Mazatlán) hasta Escuinapa.

Adicionalmente, existen cuatro estaciones ubicadas en la sierra: Surutato y Los Sitios (Badiraguato), Higuera de los Vega (Mocorito) y La Labor (San Ignacio) (Cuadro 1).

Debido a la necesidad de tener información climática confiable y veraz, los productores sinaloenses a través de Fundación Produce Sinaloa, A.C., han apoyado al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD)-Culiacán para establecer un proyecto dinámico y continuo que permita contar con estaciones climatológicas en las principales zonas agrícolas de Sinaloa, y sea capaz de mostrar la información en tiempo real, fácil de interpretar y consultar, disponible en línea a través de una página de Internet al alcance de todos los usuarios a cualquier hora del día.

El proyecto inició en mayo del 2006 con el establecimiento de las primeras 15 estaciones climáticas en la región centro de Sinaloa y se amplió durante el 2007 hasta alcanzar 51 estaciones establecidas en los principales distritos de riego de Sinaloa.

En el 2008, empezaron a funcionar las cuatro estaciones instaladas en las zonas de la sierra, con lo que suman en total 55 estaciones en la actualidad.

Estas estaciones recolectan, almacenan y procesan la información de siete variables climáticas cada 15 minutos (temperatura, humedad relativa, radiación solar, precipitación pluvial, humedad de hoja, dirección y velocidad de viento), la cual es transformada para estar disponible en una página *web* en tiempo real.

Las estaciones climáticas son de fabricación austriaca y funcionan por medio de baterías que son recargadas con energía solar través de una fotocelda.

La información recopilada por cada sensor es enviada vía radio hacia equipos que sirven como enlaces colocados en lo alto de los cerros cercanos a las estaciones, para después ser retransmitidos hacia una base ubicada en Culiacán.

De los objetivos que se han propuesto durante los años de operación del proyecto se incluyen los siguientes:

1) Establecer 55 estaciones meteorológicas distribuidas en los valles de El Carrizo, El Fuerte, Sinaloa de Leyva, Guasave, Angostura, Salvador Alvarado, Culiacán, San Lorenzo, Mazatlán, Concordia, El Rosario y Escuinapa, así como en la parte de la sierra de Mocorito, Badiraguato y San Ignacio.

2) Recolectar, almacenar y procesar la información de las variables climáticas de los lugares en donde están establecidas las estaciones climáticas.

3) Mostrar la información de las variables climáticas en la página *web* en tiempo real e histórico desde la puesta en operación de las mismas.

4) Participar en la red nacional de estaciones climatológicas, enviando la información recolectada en Sinaloa en tiempo real.

5) Desarrollar las plataformas (*softwares* y/o modelos) de las aplicaciones que puede generar el sistema para obtener los pronósticos y cálculos de las etapas fenológicas de los cultivos así como de la presencia de plagas en función de los grados día desarrollo (GDD) obtenidos con las temperaturas.

Funcionamiento de la red agroclimática

A continuación se indica cómo acceder y utilizar la información de la página electrónica desarrollada para acceder al SECAS.

El usuario puede ingresar a través de las direcciones electrónicas de las páginas de Fundación Produce Sinaloa, A.C. (http://www.fps.org.mx), o del CIAD-Culiacán (http://www.ciad.edu.mx).

En ambas ligas existe un acceso directo a la página del clima

que se consigue dando un clic en la figura correspondiente de cada página.

También se puede acceder directamente escribiendo la siguiente dirección: http://www.ciad.edu.mx/clima (Figura 1).

Página principal del SECAS

Al ingresar, aparece el estado de Sinaloa con la ubicación y la temperatura en el momento que indica el reloj de la izquierda de la pantalla, de cada una de las estaciones climáticas.

Al colocar el cursor sobre una estación en particular, aparece el nombre y ubicación de la misma en la parte de abajo, y en la parte izquierda los datos de la última lectura: fecha, hora, temperaturas promedio, máxima y mínima en los últimos 15 minutos, velocidad de viento, lluvia, humedad relativa, humedad foliar y radiación solar.

En la parte superior derecha se muestra un cuadro con la información resumida de las variables climáticas en cada una de las estaciones, donde se pueden seleccionar varias estaciones para hacer comparaciones, así como ordenarlas de mayor a menor al dar clic sobre la variable de interés.

En la parte inferior derecha se muestra una gráfica con el comportamiento de la temperatura durante el transcurso del día de la estación sobre la que se tiene el cursor. En esta misma imagen, al dar clic en gráficos se puede ver la información de las demás variables climáticas seleccionando previamente una estación. Dicha información se puede obtener por un período de las últimas horas o hasta una semana previa (168 horas) (Figura 2).

Página secundaria del SECAS

Esta nueva página aparece al momento de dar clic sobre la estación que se desea consultar en la página principal del clima de manera de obtener más fácilmente la información estadística por estación en períodos de horas, días o años (Figura 3).

Aquí aparecen también los datos geográficos de ubicación e inicio de operaciones, nombre de la estación y fotografía de la misma así como los datos de la última lectura y las máximas y mínimas del día de la estación seleccionada.

La página secundaria del clima cuenta con una pestaña de Estaciones en la parte izquierda donde aparecen las opciones del *Monitoreo* (de cada estación) y *Datos históricos por mes* y *Datos históricos por período* para obtener información climática de cada estación por períodos atrasados o históricos.

Después de seleccionar la opción de *Datos históricos por mes* o *período*, aparece una página con el *Reporte de datos históricos* donde habrá que seleccionar la estación a consultar, período a consultar en año y mes así como el intervalo en días u horas.

También se selecciona la variable climática de interés o todas las variables y posteriormente se da clic en consultar para que aparezcan todos los datos solicitados así como la gráfica (Figura 4).

Ahí mismo, aparece la opción de exportar los datos a formato de Excel o PDF. En Excel, es posible graficar a la medida (barras, líneas, etc.) y realizar estadística básica (medias, valor superior, valor inferior, desviación estándar, etc.).

Utilidad agrícola de la información generada por la red agroclimática

Para un mejor manejo de los cultivos y plagas, es necesario caracterizar el crecimiento y desarrollo de los mismos en función de las unidades de desarrollo en términos de *tiempo fisiológico* en lugar de *tiempo cronológico*, por ejemplo en términos de acumulación de temperatura.

Así surge el término *grados día* (GD), definido para un período específico, como los grados acumulados sobre una temperatura base o umbral durante dicho período.

La forma de calcular los GD es:

$$GD = (Tmax + Tmin)/2 - Tbase$$

Donde: Tmax= temperatura máxima diaria del aire; Tmin= temperatura mínima diaria del aire; y Tbase= temperatura en que el proceso de interés no progresa.

En el caso del cultivo de maíz y otros, la Tbase= 10 °C (grados centígrados).

El concepto de GD al aplicarse a observaciones fenológicas ha sido de gran utilidad en la agricultura. Entre las múltiples aplicaciones de este parámetro se encuentran:

1) Programación de fechas de siembra o ciclos de cultivo.
2) Pronóstico de fechas de cosecha.
3) Pronóstico de rendimiento.
4) Determinación del desarrollo vegetal esperado en diferentes localidades.
5) Determinación del desarrollo vegetal esperado en diferentes fechas de siembra o inicios del ciclo de cultivo.
6)Determinación del desarrollo esperado de diferentes genotipos.

7) Pronóstico de coeficientes de evapotranspiración de cultivos.
8) Pronóstico de aparición de plagas y enfermedades.

Los modelos fenológicos, también conocidos como modelos de grados día (GD) son herramientas que ayudan a predecir el mejor momento para controlar una plaga (determinar cuándo es mejor aplicar un plaguicida, por ejemplo) o para los cultivos cuando pasen de una etapa a otra (flor a fruto, por mencionar uno).

Estos modelos se basan en el entendido de que el desarrollo de un insecto o de una planta está estrechamente ligado con la temperatura de donde se encuentre.

Los modelos fenológicos no funcionan en base a días-calendario (fechas) sino en base a unidades-calor (grados día).

Otra de las pestañas de la página secundaria del clima es la de *Modelos de cultivos* y *Modelos de plagas,* donde aparece la opción de *Tabla* o *Gráfico de grados día* para obtener información de las diferentes etapas fenologías de cultivo de maíz o tomate en función de los grados día (GD) obtenidos de una estación seleccionada.

Al dar clic en la opción *Modelos de cultivos*, aparece una nueva página que proporciona el cálculo de grados día necesarios para las diferentes etapas del cultivo de maíz o tomate, de acuerdo a la estación seleccionada y la fecha de siembra ingresada por el usuario (Figura 5).

Aquí se muestran los GD obtenidos para cada etapa fenológica del cultivo, así como los grados día acumulados durante el ciclo del cultivo, fechas de cuando inicia y termina cada etapa de acuerdo a los datos de temperatura proporcionados por la estación seleccionada y los días calendario que le lleva cada etapa.

Conclusiones

Adicional al uso de la temperatura para calcular los GD en el desarrollo del maíz y otros cultivos, la información generada por las estaciones de clima también puede ser utilizada para:

1) Identificar zonas potenciales de explotación agrícola.
2) Ubicar épocas de producción durante el año para establecer cultivos.
3) Calcular horas-frío para el establecimiento de frutales en zonas de la sierra.
4) Seleccionar la mejor opción de orientación en la instalación de invernaderos en función de los vientos predominantes.
5) Tener información veraz y oportuna sobre velocidad de viento,

lluvia, temperatura, etc., para solicitar el pago de siniestros a las aseguradoras.
6) Desarrollar modelos de pronóstico de etapas fenológicas en plantas y plagas.
7) Ubicar zonas de alta intensidad de viento para instalar generadores de energía eólica.
8) Determinar los coeficientes de evapotranspiración (ETo) de los cultivos diariamente.
9) Estimar láminas de riego en función de los datos de evapotranspiración.
10) Calcular el diferencial de presión de vapor (DPV) del ambiente para el desarrollo apropiado de los cultivos.

Figura 1. Página web *principal o frontal que despliega sobre el estado de Sinaloa la ubicación y la temperatura en tiempo real de cada una de las estaciones.*

Anexos

Cuadro 1. Datos de ubicación geográfica de cada una las estaciones agroclimáticas a lo largo de Sinaloa.

Zona norte

				COORDENADAS DE UBICACIÓN			
ID	Productor/COOPERANTE	POBLADO	MUNICIPIO	Latitud (N)	Longitud (O)	Altitud (msnm)	Fecha de instalacion
26	MODULO CAHUINAHUA	EL GUAYABO	Ahome	25° 56' 24"	109° 07' 45"	41	20/11/2006
29	AGRICOLA RUELAS	EJIDO CHIHUAHUITA	Ahome	26° 08' 27"	108° 59' 45"	38	25/11/2006
30	MODULO TAXTES	CAMPO TAXTES. CARR. A SAN BLAS	Ahome	25° 52' 49"	108° 57' 12"	19	25/11/2006
32	CAMPO EL CARDAL	HIGUERAS DE ZARAGOZA	Ahome	26° 01' 23"	109° 19' 20"	3	08/12/2006
33	MODULO PASCOLA	MACAPUL	Ahome	25° 54' 41"	109° 09' 41"	9	07/12/2006
34	AGRICOLA GOTSIS	EL CARRIZO	Ahome	26° 14' 15"	109° 00' 34"	25	15/01/2007
36	UEPIC	CHAVEZ TALAMANTE	Ahome	26° 19' 34"	109° 01' 41"	27	15/01/2007
39	MODULO SANTA ROSA	EJIDO LOUSIANA	Ahome	25° 46' 22"	109° 02' 14"	38	31/10/2006
55	AARFS / Modulo Mavari	LA DESPENSA	Ahome	25° 59' 22"	109° 16' 04"	10	23/03/2010
22	MELCHOR OCAMPO	CHINITOS	Angostura	25° 03' 05"	107° 53' 47"	10	16/11/2006
23	AGRICOLA PARAISO	TATEMITAS	Angostura	25° 15' 58"	108° 02' 24"	70	17/11/2006
24	EJIDO EL OSTIONAL	EL OSTIONAL	Angostura	25° 10' 08"	108° 11' 15"	3	24/11/2006
35	RANCHO LOS GATONES	LA ESPERANZA	Angostura	25° 18' 49"	108° 12' 48"	13	14/02/2007
49	BADIRAGUATO	LOS SITIOS	Badiraguato	25° 29' 39"	107° 38' 26"	332	04/08/2008
51	BADIRAGUATO	SURUTATO	Badiraguato	25° 48' 19"	107° 33' 48"	1447	02/09/2008
31	MODULO NOHME	POBLADO CAMAJOA	El Fuerte	25° 50' 53"	109° 12' 28"	21	25/11/2006
18	CAMPO EXPERIM. MIGUEL LEYSON / AARSP	EL PITAHAYAL	Guasave	25° 29' 60"	108° 22' 35"	15	12/10/2006
19	AGRICOLA BON	ESTACION BAMOA	Guasave	25° 40' 23"	108° 19' 52"	38	12/10/2006
20	AGRICOLA BORQUEZ	BATAMOTE	Guasave	25° 37' 33"	108° 38' 12"	19	13/10/2006
21	AGRICOLA YORY SPR DE RI	CAMPO DIAZ. CARR. LAS GLORIAS	Guasave	25° 31' 04"	108° 29' 55"	8	18/10/2006
25	AGRICOLA EL ENCANTO, SPR DE RL	PALOS BLANCOS	Guasave	25° 33' 04"	108° 19' 31"	16	30/11/2006
27	AGRICOLA JR SPR DE RL DE CV	RUIZ CORTINEZ	Guasave	25° 39' 16"	108° 45' 19"	21	19/10/2006
28	CAMPO EXPERIMENTAL INIFAP	JUAN JOSE RIOS	Guasave	25° 45' 49"	108° 48' 48"	7	19/10/2006
37	CAMPO LA CURVA	LAS BRISAS	Guasave	25° 29' 55"	108° 13' 11"	36	14/02/2007
48	HIGUERA DE LOS VEGA	HIGUERA DE LOS VEGA	Mocorito	25° 38' 57"	107° 57' 29"	179	15/07/2008
38	AARSO	SINALOA DE LEYVA	Sinaloa	25° 49' 40"	108° 13' 24"	79	14/02/2007

Zona centro

ID	Productor/COOPERANTE	POBLADO	MUNICIPIO	Latitud (N)	Longitud (O)	Altitud (msnm)	Fecha de instalacion
52	MALLASOMBRAS. AG. DEL CAMPO	MOJOLO	Culiacán	24° 55' 56"	107° 26' 27"	74	25/02/2009
5	AGRICOLA PAREDES	COSTA RICA	Culiacán	24° 32' 40"	107° 24' 23"	4	02/05/2006
6	AGRICOLA DEL CAMPO Y ASOCIADOS	AGUARUTO	Culiacán	24° 45' 56"	107° 30' 30"	26	02/05/2006
7	AGRICOLA JOVA	EL LIMON DE LOS RAMOS	Culiacán	24° 52' 52"	107° 29' 34"	72	02/05/2006
11	AGRICOLA EJAM, SA DE CV	SANCHEZ CELIS	Culiacán	24° 25' 40"	107° 24' 05"	11	02/05/2006
17	HUERTA URQUIDEZ	ELDORADO	Culiacán	24° 19' 43"	107° 22' 17"	41	06/09/2006
54	UNIV. AUT. DE SINALOA	FACULTAD DE AGRONOMIA	Culiacán	24° 36' 58"	107° 25' 48"	19	01/09/2009
12	AGRICOLA AGRISAN	ESTACION OBISPO	Culiacán	24° 15' 10"	107° 11' 05"	22	02/05/2006
13	AGRICOLA CEUTA	LA CRUZ	Elota	23° 53' 36"	106° 53' 20"	32	02/05/2006
14	AGRICOLA TOMBELL	EJIDO CULIACAN	Elota	24° 00' 47"	106° 59' 41"	13	02/05/2006
9	AGRICOLA EL NAZARIO	PERICOS	Mocorito	25° 03' 32"	107° 39' 46"	53	02/05/2006
10	EL ZANJON	SATAYA	Navolato	24° 38' 36"	107° 39' 31"	2	02/05/2006
1	RANCHO EL ENCANTO	NAVOLATO	Navolato	24° 43' 29"	107° 43' 34"	43	02/05/2006
3	AGRICOLA BELHER	VILLA ANGEL FLORES	Navolato	24° 50' 57"	107° 39' 05"	24	02/05/2006
4	AGRICOLA DE LA COSTA	EL VERGEL	Navolato	24° 42' 28"	107° 48' 04"	10	02/05/2006
8	AGRICOLA RITZ	VILLA JUAREZ	Navolato	24° 36' 25"	107° 32' 26"	15	02/05/2006
16	AGRICOLA 5 HERMANOS	EJIDO 5 HERMANOS	Navolato	24° 49' 45"	107° 51' 49"	11	22/09/2006
53	INTERIOR DE MALLASOMBRAS LA 25	SANTA FE	Navolato	24° 52' 11"	107° 40' 22"	19	17/03/2009
2	AGRICOLA TEJAWASHI	JUAN ALDAMA	Navolato	24° 55' 28"	107° 48' 28"	14	02/05/2006
15	EXPORTALIZAS MEXICANAS	ESTACION DIMAS	San Ignacio	23° 44' 01"	106° 49' 11"	4	02/05/2006
50	SAN IGNACIO	LA LABOR	San Ignacio	23° 50' 39"	106° 25' 33"	280	01/08/2008

ZONA SUR

ID	Productor/COOPERANTE	POBLADO	MUNICIPIO	COORDENADAS DE UBICACIÓN		Altitud (msnm)	Fecha de instalacion
				Latitud (N)	Longitud (O)		
46	RANCHO LA QUERENCIA	LA QUERENCIA	Concordia	23° 17' 22''	106° 01' 26''	111	26/01/2007
40	FUND. PRODUCE SINALOA	ESTACION CHAMETLA	El Rosario	22° 54' 36''	105° 52' 30''	1	20/12/2006
43	LOS POZOS	LOS POZOS	El Rosario	23° 01' 29''	106° 10' 46''	16	21/12/2006
45	RANCHO BUENAVISTA	TABLON VIEJO	El Rosario	23° 05' 01''	106° 01' 26''	67	30/01/2007
41	AGRICOLA LAS CABRAS SPR DE RL DE CV	LAS CABRAS	Escuinapa	22° 45' 36''	105° 51' 58''	7	20/12/2006
42	DIAZTECA	ESCUINAPA	Escuinapa	22° 48' 16''	105° 44' 27''	10	30/01/2007
44	RANCHO SAN JOSE	MARMOL	Mazatlán	23° 29' 54''	106° 29' 56''	17	25/01/2007
47	AGROINDUSTRIAS COSALA SA DE CV	EL WALAMO, VILLA UNION	Mazatlán	23° 08' 11''	106° 14' 05''	13	01/02/2007

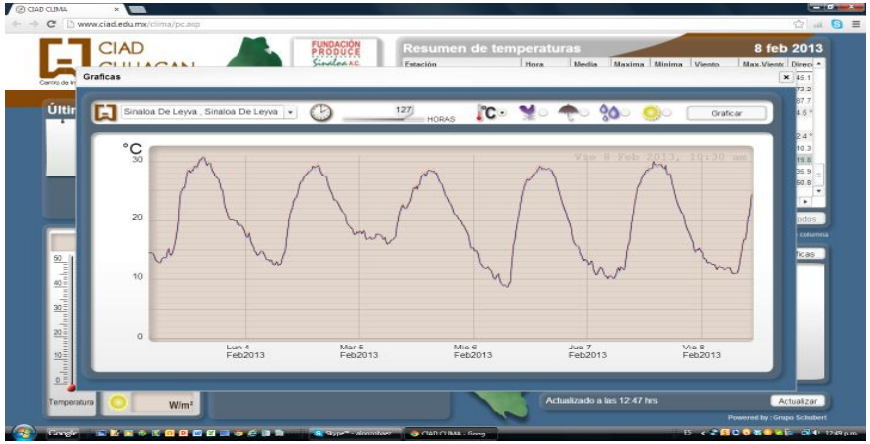

Figura 2. Página emergente que despliega la información climática de las últimas horas o hasta 7 días (168 horas) de una estación previamente seleccionada.

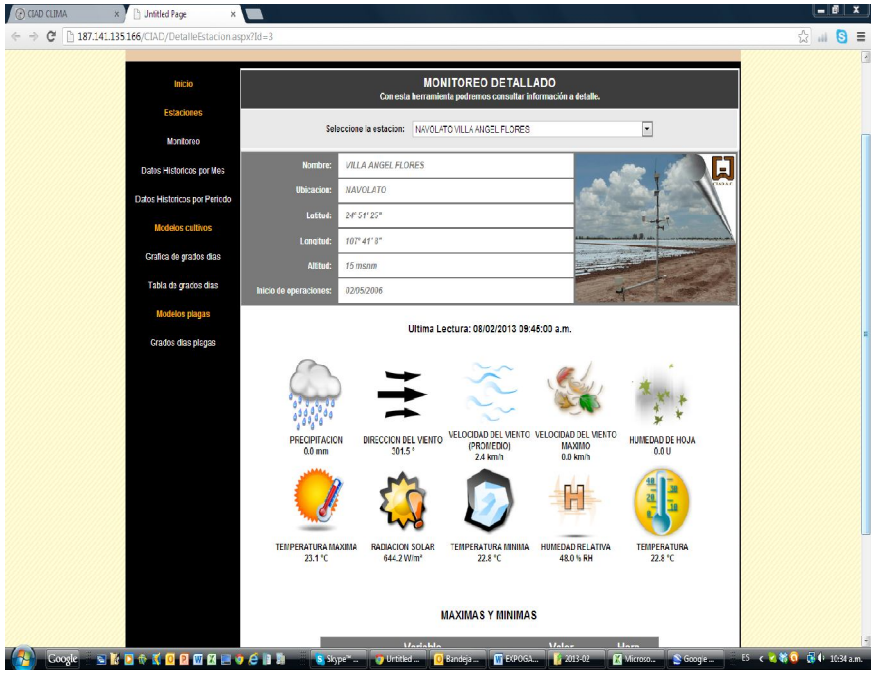

Figura 3. Página web *secundaria o trasera que despliega la información climática y datos adicionales de cada estación climática.*

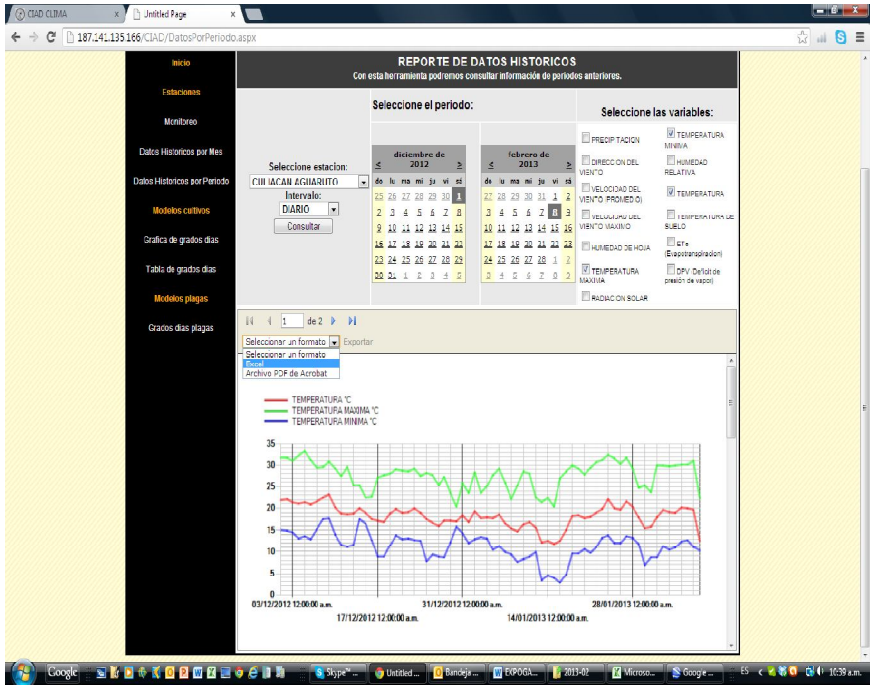

Figura 4. Página web *que muestra el reporte de datos históricos por estación, período (año y mes), intervalo (horas o diario) y variables a consultar.*

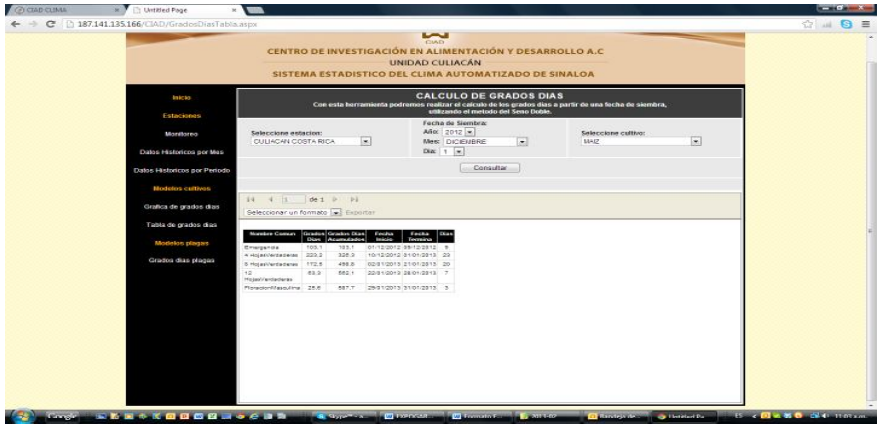

Figura 5. Página web *que proporciona las etapas fenológicas de cultivo de maíz en función de grados día (GD) obtenidos con las temperaturas de la estación seleccionada.*

Uso eficiente del agua en la agricultura

Impacto del cambio climático en las demandas hídricas de los cultivos

Waldo Ojeda Bustamante [1]
Ernesto Sifuentes Ibarra [2]
Jesús Manuel González Camacho [3]

Introducción

Existen evidencias que el calentamiento global del planeta observado a partir de la revolución industrial ha sido probablemente causado por el aumento de los gases de efecto invernadero. México ha tomado medidas principalmente de inventario y mitigación de los GEI (gases de efecto invernadero) y se han iniciado acciones de adaptación al cambio climático.

La variabilidad climática interanual e interestacional impacta el desarrollo y producción de las plantas y animales, principalmente en las zonas de alta vulnerabilidad localizadas en las regiones áridas y semiáridas del país.

La agricultura mexicana enfrenta con mayor recurrencia el impacto de eventos climáticos extremos como sequías y lluvias torrenciales. Varias zonas productivas del país han experimentado con mayor recurrencia y severidad la presencia de eventos climatológicos extremos que han puesto a prueba la sustentabilidad de los procesos productivos y de los productores rurales.

Las sequías han restringido las dotaciones normales de riego y disminuido la superficie cultivable en las zonas de riego; también se han presentado siniestros por contingencias climatológicas en las zonas de temporal a niveles intolerables por los productores.

Los pronósticos de cambio climático indican un incremento global consistente, con una variabilidad espacial y temporal regional, tanto de la temperatura y como de la concentración del bióxido de carbono.

1 Coordinación de Tecnología de Riego y Drenaje, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
2 Campo Experimental Valle de El Fuerte del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).
3 Instituto de Socioeconomía, Estadística e Informática, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.

Aunque globalmente se espera un incremento en la precipitación, se pronostica una disminución de esta variable en la mayor parte de México. Adicionalmente, se pronostica un incremento en la frecuencia e intensidad de eventos extremos como sequías, ciclones y lluvias torrenciales. Ante este panorama, el impacto del cambio climático en la agricultura puede ser catastrófico: muchas zonas agrícolas del país ya se encuentran en su nivel máximo de tolerancia

Uno de los efectos directos del cambio climático en la agricultura de riego será en la modificación de demanda hídrica de los cultivos. En este trabajo se analiza dicho cambio para el cultivo de maíz para las condiciones del norte de Sinaloa, una de las zonas maiceras más importantes de México.

Marco de referencia

Al partir de la década pasada se han generado varias simulaciones sobre los patrones climáticos futuros, principalmente para temperatura y precipitación, bajo diferentes escenarios de emisiones. Hulme y Sheard (1999) presentaron resultados para México bajo dos escenarios medios de emisiones. La Figura 1 presenta dichos resultados para el año 2080. Se observa un cambio en las temperatura de 2.5 a 5.5 °C dependiendo de la región y escenario.

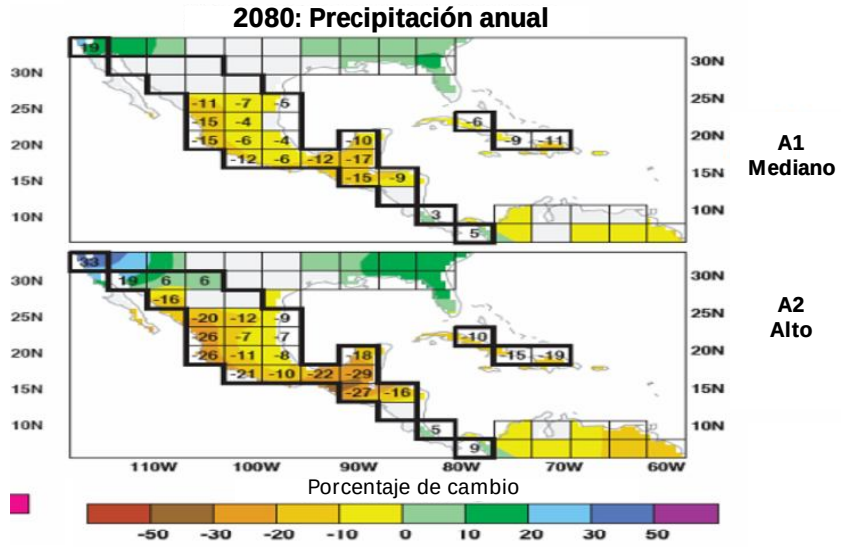

Figura 1. Cambios variables de precipitación bajo dos escenarios potenciales de emisiones para los años 2030 y 2080.

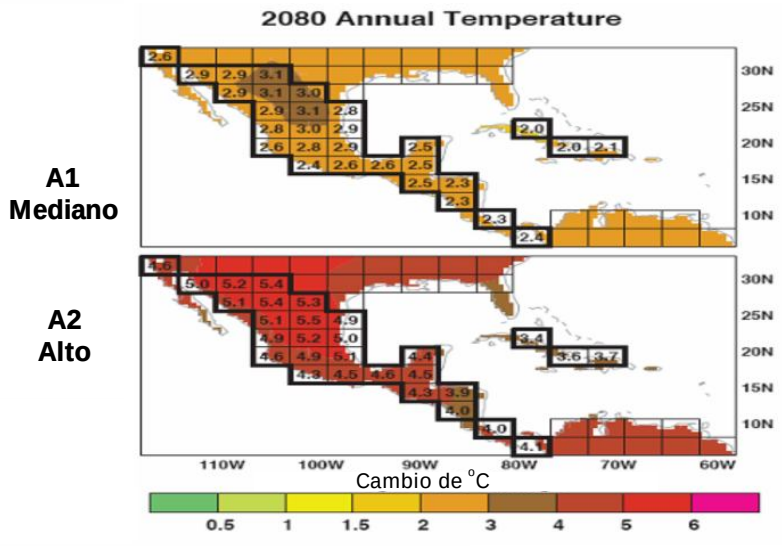

Figura 2. Cambios variables de temperatura bajo dos escenarios potenciales de emisiones para los años 2030 y 2080.

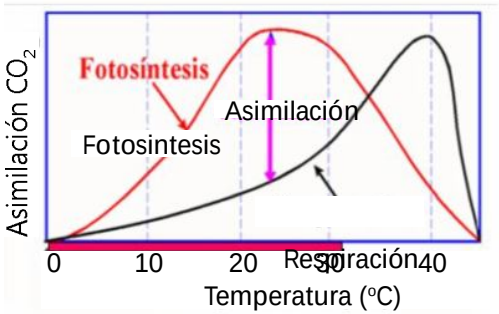

Figura 3. Variación simplificada de las tasas de fotosíntesis y respiración de los cultivos en función de la temperatura.

Se pronostica también un decremento en la precipitación para la mayor parte del país de hasta un 30% en el escenario medio alto.

La agricultura será muy afectada, ya que es una actividad productiva de alta sensibilidad a factores ambientales. Un incremento en la temperatura aumentará la tasa de desarrollo de los cultivos y su demanda hídrica. Es posible definir por cultivo un rango de los valores deseable para alta producción para las variables ambientales como temperatura, humedad relativa, radiación solar fotosintéticamente activa y bióxido de carbono. Estos rangos están relacionados con las tasas a que se realizan los procesos fisiológicos de la planta como evapotranspiración, fotosíntesis y respiración.

El impacto del cambio climático en la producción agrícola está relacionado con los cambios esperados en dichas variables climáticas. Se tiene un mayor estrés térmico de los cultivos a temperatura mayores de 30 °C, propiciando una mayor tasa de respiración con un decremento en la asimilación de CO_2, como se muestra en la Figura 2.

Un incremento en la temperatura también puede propiciar un incremento en el déficit de presión de vapor que induce a una reducción en la evapotranspiración e impide el intercambio gaseoso por el cierre de estomas. Cambios en la precipitación y temperatura afectarán los componentes y procesos asociados al ciclo hidrológico de una zona de riego (ver Figura 4). Entre los más importantes están un mayor ensalitramiento de los suelos, mayor evaporación de los embalses y canales y mayor evapotranspiración de los cultivos,

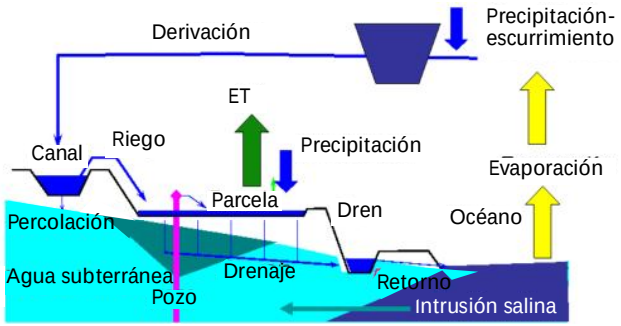

Figura 4. Los componentes del ciclo hidrológico en una zona de riego.

debido al incremento en la demanda evapotranspirativa de la atmósfera y a un decremento en la precipitación para las zonas áridas y semiáridas de México.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló en el área de influencia del Distrito de Riego 075, localizado en el valle del Fuerte, al norte de Sinaloa, a una latitud de 25° 48.89´ y longitud de 109° 1.53, con una altura promedio de 20 metros sobre en nivel del mar (msnm).

Para analizar el impacto del cambio climático en la demanda de los cultivos se usaron datos obtenido por Ojeda y colaboradores (2006) sobre la fenología y requerimientos hídricos del maíz para la variedad Pioneer 30G54 en el Valle del Fuerte. El periodo típico de siembras para maíz en el norte de Sinaloa se concentra del 15 de octubre al 15 de noviembre. Se usó el concepto de días

grado crecimiento (°D) para predecir la fenología y parámetros de calendarización de acuerdo a las ecuaciones presentadas por Ojeda y colaboradores 2006.

Resultados y discusión

La Figura 5 presenta los valores diarios de los grados día para tres cultivos (algodón, maíz y trigo). Se observa una reducción drástica a partir del 15 de octubre en los °D que coincide con el inicio del ciclo otoño-invierno. Un incremento en la temperatura acumulará más rápidamente las necesidades de calor de los cultivos e incrementará su tasa de desarrollo. Lo anterior generará una reducción del ciclo fenológico de los cultivos que generalmente se traduce en una reducción en la evapotranspiración total de los cultivos, pero con un incremento la demanda pico de riego de los cultivos. Esto implica la necesidad de implantar acciones de adaptación de la agricultura ante nuevos escenarios climático que implican un cambio en las practicas y manejo del cultivo.

La Figura 6 presenta la evapotranspiración del maíz (simulada) y su correspondiente duración en días de la fecha de siembra a la fecha donde se presenta la madurez fisiológica para diferentes fechas de siembra para Los Mochis, Sinaloa, para el ciclo de otoño-invierno usando datos promedio climáticos de la estación taxtes de la red agrometeorológica del Valle del Fuerte.

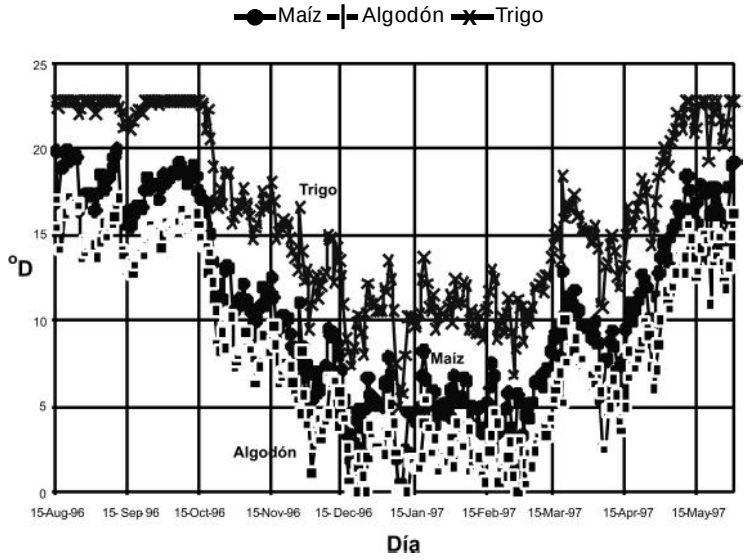

Figura 5. Variación de los DGC para tres cultivos en el norte de Sinaloa.

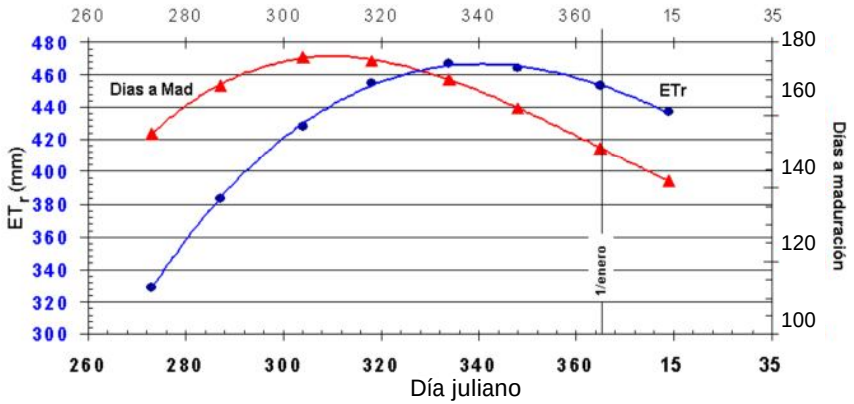

Figura 6. Evapotranspiración real simulada del maíz y duración a madurez fisiológica en función de la fecha de siembra en Los Mochis.

Los resultados indican que la variación en la fechas de siembras (de octubre a enero) genera cambios en la duración del ciclo fenológico del maíz en un rango de 142 a 176 días para alcanzar madurez fisiológica (un diferencia de 34 días). Los correspondientes valores de la evapotranspiración del cultivo del ciclo variaron de 330 mm a 467 mm (una diferencia de 34 mm).

Lo anterior implica que cambios en la acumulación del tiempo térmico durante el ciclo fenológico de los cultivos provocará cambios en la duración del ciclo y en consecuencia de las necesidades hídricas del cultivo.

Cambios en los patrones de las lluvias y temperatura obligarán a la agricultura a modificar la temporada de siembras y, en consecuencia, la de cosechas, alterando el manejo y las prácticas de los cultivos, así como la oferta y demanda hídrica, la oferta en los mercados y la disponibilidad de los alimentos. En este sentido, el conocimiento del impacto y las acciones de adaptación al cambio climático de la agricultura mexicana es un tema actual de seguridad nacional.

Cambios en la demanda hídrica de los cultivos por efecto del cambio climático, afectarán la gestión del agua de las zonas de riego en sus diferentes actividades de operación, conservación y riego. Se espera también un impacto en la disponibilidad de agua en los embalses y en la capacidad de los canales para suministrar el agua en los periodos pico de los cultivos. Muchos métodos y técnicas empleadas para elaborar los planes y programas de riego tendrán que modificarse para considerar nuevos patrones climáticos que

sin duda afectaran la diversidad y necesidad de riegos de cultivos actuales.

Bibliografía

Hulme, M. y Sheard, N. 1999. Climate Change Scenarios for Mesoamerica (Escenarios de cambios climáticos en Mesoamérica). Climate Research Unit (Unidad de Investigaciones Climáticas), Universidad de East Anglia, Norwich. U. K.

IPCC. 2001. Climate change: The scientific basis. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. UK. 892 pp. Disponible en línea http://www.ipcc.ch

Ojeda-Bustamante, W., E. Sifuentes-Ibarra, y H. Unland. 2006. Programación integral del riego en maíz. Agrociencia 40:13-25.

Métodos de conservación del agua en riego superficial: una alternativa para incrementar la eficiencia en el uso del agua

Ernesto Sifuentes Ibarra [1]
Waldo Ojeda Bustamante [2]

Introducción

En los distritos de riego de la zona noroeste de México, específicamente en el norte de Sinaloa, la aplicación del riego -a nivel parcela- se realiza en función de la facilidad de manejo y de métodos empíricos y tradicionales, dejando a un lado la técnica del riego. Esto se debe a la ausencia de reglas simples fáciles de adoptar.

En el Distrito de Riego 075, aunque se tiene en operación el sistema de pronóstico de riego en tiempo real (Spriter), todavía se tiene una baja eficiencia global (30%). Ciertamente se ha logrado una mejor distribución de los riegos, pero se siguen aplicando altas lámina de riego en la parcela; se han encontrado en riego por gravedad y en un gran número de riegos presurizados, principalmente en cultivos de media y alta demanda (maíz, caña), eficiencias del 25-30%; esto significa que de cada 100 litros de agua que entran a la parcela, solo 25 se quedan en la zona de raíces.

En el DR075, Río Fuerte, Sinaloa, predominan los cultivos de alta demanda (115 mil hectáreas) como maíz y caña de azúcar. En el caso del maíz, su requerimiento de riego es de 40 cm; sin embargo, en promedio, se le aplican 100 cm. Esto representa una eficiencia de aplicación del 40%. En caña de azúcar se llega aplicar hasta 3 metros de lámina, siendo su requerimiento de 83 cm (27% de eficiencia).

1 Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Valle de Culiacán.
2 Coordinación de Tecnología de Riego y Drenaje-Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

En este trabajo se evaluaron algunas alternativas para incrementar la eficiencia de aplicación a nivel parcelario hasta en 70%, partiendo de los requerimientos de riego calculados con el Sistema (Spriter) y realizando un diseño previo con el programa RIGRAV (Rendón, 1995). Entre estos métodos se encuentran: surcos alternos, riego intermitente y riego en camas; para esto se plantearon lo siguientes objetivos:

1.Evaluar tres métodos de aplicación de riego por gravedad en diferentes microrregiones del Distrito de Riego 075.

2.Demostrar la factibilidad de reducir significativamente láminas de riego aplicadas en parcela con mínima inversión sin reducción de rendimiento.

3.Complementar el manejo del riego que actualmente se realiza con el sistema Spriter en esta región, aplicando estos métodos, para lograr un manejo integral del agua.

Figura 1. Construcción de camas para manejo del riego en el cultivo de maíz (Valle del Fuerte, Sinaloa).

Figura 2. Riego en surcos alternos en proceso.

Figura 3. Esquemática del riego intermitente.

METODOLOGÍA

Descripción de los métodos

RIEGO EN CAMAS

Consiste en un bordo de 1.6 metros (m) de ancho y 20 cm de alto, el cual se realiza durante el primer cultivo. En la Figura 1 se muestra la construcción previa a la siembra y la etapa con el cultivo establecido en una de las parcelas evaluadas.

SURCOS ALTERNOS

El riego se aplica, dejando un surco sin regar durante el primer riego; en el segundo, el agua se aplica en el surco no regado; para el tercer y cuarto riegos se hace lo mismo. En la Figura 2 se observa un riego en proceso con este método.

Los métodos descritos se compararon con el método tradicional, que consiste en surcos con separación de 75-80 cm y longitud que varía de 300-1 metros. El riego se aplica en forma empírica bajo el criterio de mojar el último terrón, usando sifones en su mayoría de plástico y aluminio de 1.5 pulgadas de diámetro y en ocasiones

Cuadro 1. Características generales de parcelas experimentales.

Parcela	Zona	Superficie (ha)	Cultivo	Fecha de siembra	Textura	Pendiente (%)	Ubicación	Métodos evaluados
1	Guasave (Leyva)	9.43	Maíz	08/11/04	Franco arcillo-arenoso	0.15	Guasave	3
2	Guasave (Campo Experimen-tal Valle de El Fuerte)	3	Maíz	05/12/04	Arcilloso	0.019	Guasave	4 + 2R
3	Ahome (El Portón)	47.62	Maíz	08/11/04	Arcilloso	0.13	Ahome	4
4	El Fuerte (Constancia)	40.61	Fríjol	11/10/04	Arcilloso	0.05	El Fuerte	2
Total		**100.66**						

Nota: los métodos evaluados incluye el método tradicional.

mangueras de 0.5 y 0.75 pulgadas de diámetro. Los gastos por surco para sifones de 1.5 pulgadas varían de 0.5 a 1 lps y para mangueras de 0.3 a 0.5 lps. La carga hidráulica promedio es de 7-12 cm.

Cronología de actividades

1.Se identificaron zonas agroecológicas del Valle del Fuerte mediante al análisis de datos climáticos y edáficos adquiridos de la red de estaciones meteorológicas locales y de la base de datos de suelos del sistema Spriter (sistema de pronóstico del riego en tiempo real). En las zonas más representativas se establecieron cuatro parcelas de validación para su estudio como se muestra en el Cuadro 1.

2.Mediante métodos indirectos y de laboratorio se determinaron las características hidráulicas del suelo relacionadas con la aplicación del riego, como son: conductividad hidráulica a saturación (Ks), infiltración básica (I), parámetro de la función de infiltración de Green y Ampt (Hf) y la rugosidad del terreno. Con el apoyo del programa Spriter y Rigrav los parámetros anteriores se calibraron en campo.

3.Una vez calibrados los parámetros se realizaron diseños de riego para cada método con el Rigrav y se definieron procedimientos para su manejo.

4.La calendarización de los riegos de cada parcela se realizó mediante el sistema Spriter en función de fenología y grados día usando estaciones agrometeorológicas automatizadas.

5.Para fundamentar las ventajas de cada método se evaluaron los diseños y el manejo del riego en términos de láminas y eficiencias, y se determinaron las láminas infiltradas en cada riego con el método gravimétrico para estimar la uniformidad de distribución.

6.Al final del ciclo se evaluó la producción para determinar las variables asociadas con el uso eficiente del agua en términos de productividad del agua.

Cuadro 2. Parámetros hidráulicos de suelo para diseño de riego por gravedad.En suelos arcillosos con pendiente de (0-0.2%).

Parámetro	Valor	Unidad
Contenido de humedad inicial	0.320	cm^3/cm^3
Contenido de humedad a saturación	0.490	cm/cm
Conductividad hidráulica a saturación	0.004	cm/h
Parámetro Hf de la función de infiltración	158	cm

Resultados

Para las parcelas evaluadas mediante pruebas de riego y el uso del programa Rigrav, se encontraron los valores de los parámetros hidráulicos para diseño de riego por gravedad que aparecen en el Cuadro 2. En general estos valores son aplicables para la mayoría de los suelos del Valle del Fuerte; sin embargo, para zonas con características diferentes se deberán realizar nuevas calibraciones.

Análisis-Parcela 2: Guasave (Campo Experimental Valle del Fuerte)

Para un programa de riegos de tres auxilios con el programa Rigrav y a partir de los parámetros del Cuadro 2 se generaron las recomendaciones de manejo del riego para cada método que aparece en el Cuadro 3 para la parcela 2 CEVAF, donde se incluyen gasto de riego óptimo (Qo), tiempo de riego (TR) y eficiencia de aplicación esperada (EA). Asimismo, se presentan los valores de estas variables del manejo tradicional.

La calendarización del riego para los tres métodos se realizó con el sistema Spriter en función de grados día y quedó como se muestra en el Cuadro 4. El programa se realizó y aplicó considerando una eficiencia promedio del 80%, con una lámina total de 55 cm, 30 cm menor a la aplicada con el tradicional, lo que corresponde a una reducción del 33%.

Cuadro 3. Gastos y tiempos de riego recomendados para los diferentes métodos de conservación del agua para maíz bajo gravedad, en suelos característicos del Valle del Fuerte.

Método	Primer auxilio			Segundo auxilio			Tercer auxilio		
	Qo (lps/surco)	Tr (min)	EA (%)	Qo (lps)	Tr (min)	EA (%)	Qo (lps)	Tr (min)	EA (%)
Camas	0.52	300	74.02	0.52	330	91.4	0.52	300	82.5
Surcos alternos	0.52	300	66.78	0.56	330	94.8	0.52	300	94.5
Riego intermitente	1.26 y 0.63	60 y 169.8	63.56	1.25 y 0.62	109 y 67	76.3	1.04 y 0.52	150 y 87	76.2
*Tradicional	0.77	258	58.02	0.77	285	47.6	0.65	300	76.0

Nota: Los valores del método tradicional son valores que maneja el productor en forma empírica.

Cuadro 4. Calendario de riego para maíz utilizado en la parcela experimental CEVAF-INIFAP con fecha de siembra 5 de diciembre de 2004.

NR	Fecha	DDS	IR	Ln (cm)	Lb (cm)	∑°D 8.6	Fase
1*	05/12/2004	0	0	14.6	18.25	403.28	4 - 8 hojas (V4-V8)
Lluvia	26/01/2005	52		0.12	0.12	462.58	4 - 8 hojas (V4-V8)
Lluvia	05/02/2005	63		1.3	1.3	663.91	Flor masculina (VT)
2	04/03/2005	90	90	7.92	9.9	905.21	Jiloteo-grano acuoso
3	30/03/2005	116	26	10.55	13.18	1110.8	(R1-R2)
4	19/04/2005	136	20	10.11	12.63	1110.8	Grano masoso (R4)
Total		**136**	**20-90**	**36.68**	**55.38**		

Nota: el riego uno se refiere al riego de asiento, ∑°D-grados día acumulados.

En la Figura 4 se presentan láminas infiltradas del segundo riego de auxilio con el método de camas, en tres sitios de muestreo a lo largo de la parcela. La línea azul corresponde a la lámina requerida y se observa que en los tres sitios la lámina infiltrada fue suficiente para satisfacer la requerida.

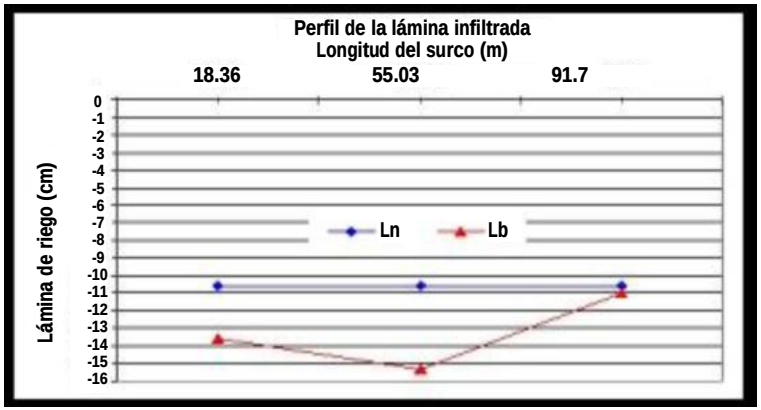

Figura 4. Lámina de agua infiltrada en camas con maíz durante el segundo riego de auxilio (116 DDS) en parcela experimental ubicada en el CEVAF-INIFAP, Juan José Ríos, Sinaloa.

En esta parcela se utilizaron dos repeticiones para cada método y el comportamiento fue similar a lo anterior. Al final se obtuvieron los siguientes resultados de rendimiento, obtenidos de muestreo aleatorios en cada tratamiento y repetición. Se observa

Cuadro 5. Evaluación del rendimiento del maíz en la parcela experimental del CEVAF-INIFAP ubicada en Juan José Ríos, Guasave, Sinaloa.

Tratamiento	Repetición I		Repetición II		Rendimiento promedio (toneladas por hectárea)
	Humedad del grano (%)	Rendimiento (toneladas por hectárea)	Humedad del grano (%)	Rendimiento (toneladas por hectárea)	
Camas	14	11.9	14.1	11.9	12.1
Surcos alternos	14.1	14.15	14.2	14.15	13.8
Riego intermitente	14.1	12.8	13.9	12.8	11.9
Tradicional	14	12.6	13.9	12.6	11.9

que el mejor tratamiento fue el riego en surcos alternos con un rendimiento promedio de casi 14 toneladas por hectárea (t/ha), seguido del método en camas con rendimiento de 12.1 t/ha; el riego intermitente y tradicional fueron similares.

Análisis-Parcela 3: Ahome (El Portón)

Al igual que la parcela 2, en la 3 se generó el calendario de riego con el sistema Spriter aplicado a los tres métodos, y quedó como se presenta en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Calendario de riego en maíz en la parcela experimental El Portón, Los Mochis, Sinaloa.

NR	Fecha	DDS	IR	Ln (cm)	Lb (cm)	∑°D	FASE
Presiembra	23/10/2004	-16		14.3	20.00		
Primer auxilio	05/01/2005	59	75	4.04	5.05	496	8 hojas (V8)
Lluvia	05/02/2005	90		0.62	0.62	739.7	Flor masculina - Jiloteo (VT)-(R1)
Lluvia	12/02/2005	97		0.22	0.22	792	Flor masculina - Jiloteo (VT)-(R1)
Segundo auxilio	24/02/2005	109	50	9.92	12.40	893.88	Jiloteo-Grano acuoso (R1-R2)
Tercer auxilio	17/03/2005	130	21	8.06	10.08	1085.9	Grano lechoso (R3)
Total		**130**	**21-75**	**37.16**	**48.15**	**1085.9**	

Obsérvese la lámina total aplicada de 48.15 cm, incluyendo la lluvia, que representa una eficiencia del 77%. Cabe mencionar que el productor cooperante en el sistema tradicional aplicó un riego adicional en una etapa previa a la madurez (R4-R5) y la lámina total aplicada fue de 85.35.

El Cuadro 7 muestra los resultados finales del rendimiento para cada método, cosechando en forma mecánica el total de las parcelas evaluadas. En esta parcela el mejor tratamiento también fue el de surcos alternos con un rendimiento promedio de 11.75 t/ha contra 11 toneladas del testigo.

En esta parcela no logró tener el control esperado por problemas operativos; sin embargo, se obtuvieron rendimientos aceptables, con una lámina relativamente baja de agua, comparada con el sistema tradicional.

Cuadro 7. Evaluación del rendimiento del maíz en la parcela experimental El Portón ubicada en Los Mochis, Sinaloa, con tres riegos de auxilio.

Tratamiento	Superficie (m2)	Peso (kg)	Peso (kg)	Humedad (%)	Rendimiento (t/ha)	Rend. Ajust (t/ha)
Camas	2,200	2,458.512	2,458.512	15	11.186	10.962
Surcos alternos	2,100	2,490.246	2,490.246	14.4	11.867	11.748
Riego intermitente	2,200	2,440.368	2,440.368	14.4	11.105	10.994
Testigo	2,200	---	---	14	11	---

Nota: los riegos aplicados incluyen el riego de asiento.

Haciendo un análisis de productividad del agua con estos resultados, se observa un a diferencia más marcada entre tratamientos, ya que en los tres tratamientos casi se incrementa ésta al doble, con respecto al método tradicional, como se observa en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Análisis de la productividad del agua en maíz en la parcela experimental El Portón, con tres riegos de auxilio.

Tratamiento	Lb (cm)	Vol. (m^3/ha)	Riegos aplicados	Rendimiento (t/ha)	Prod. Agua (kg/m^3)
Camas	48.15	4815	4	10.962	2.28
Surcos alternos	48.15	4815	4	11.748	2.44 2.28
Riego intermitente	48.15	4815	4	10.994	1.29 1.04
Testigo	85.35	8535	5	11.000	
Diferencia	37.20	3720	1	-------	

Nota: los riegos aplicados incluyen el riego de asiento.

Impactos económicos potenciales de resultados con respecto a la tecnología tradicional

En el Cuadro 9 se enumeran los impactos potenciales que podría tener esta tecnología en la zona del Valle del Fuerte, si se adoptara esta a nivel distrital. Se presenta el escenario actual (antes de aplicar la tecnología).

Conclusiones

Los métodos de conservación de agua en riego superficial: camas, surcos alternos y riego intermitente son excelentes alternativas para

Cuadro 9. Comparación de escenarios antes y después de aplicar la tecnología generada.

Antes de los resultados y/o productos	Después de los resultados y/o productos
Se utilizaba un volumen promedio de 10 millares de m^3 por hectárea (ha) para producir maíz. Un módulo de riego de 12 mil hectáreas	Aplicando el mejor método que fue el de surcos alternos es posible usar solo 6 millares de m^3 a nivel parcela.
de superficie gasta alrededor de 500 mil pesos para la compra de volúmenes de agua adicionales para completar sus ciclos agrícolas. El volumen promedio a nivel distrito usado por	Aplicando el método de surcos alternos tan solo en la superficie sembrada con maíz , es posible evitar este gasto y destinar este dinero en programas de capacitación y transferencia de tecnología.
temporada es de 2 mil millones de m^3. La producción promedio de maíz es de 10 t/ha.	A nivel distrito sería factible utilizar solo 1200 millones de m^3 por temporada que representa un ahorro de 800 millones de m^3, con los cuales se podría tener una derrama económica adicional de 840 millones de pesos si se empleara en siembra de maíz.
	El mejor método -el de surcos alternos- reportó tres toneladas de maíz más que el tradicional, considerando un costo de 1950 pesos por tonelada, que representa 5850 pesos de ingreso a adicionales por hectárea.
Para regar un lote de 10 ha se invertían 72 horas en promedio.	Con este sistema (surcos alternos), el productor reduciría al 50% sus gastos de riego, ya que el avance de éste se incrementa al doble del tradicional con excelente uniformidad final.

afrontar períodos de escasez. El riego en surcos alternos y camas son los métodos que presentaron mejores beneficios para reducir láminas de riego hasta en 40% e incrementar rendimientos hasta en 3 t/ha sobre los rendimientos convencionales, debido a que se logra mantener las condiciones adecuadas de humedad del suelo.

Adicionalmente se calibraron los parámetros hidráulicos del suelo para diseño de riego por gravedad en dos microrregiones del Valle del Fuerte, útiles para la planeación de zonas de riego.

Se agradece el apoyo recibido por de Fundación Produce Sinaloa, A.C. y del Centro de Validación y Transferencia de Tecnología de Sinaloa (zona norte) para la realización del presente trabajo.

Bibliografía

Doorenbos, J. Y A. H. Kassam. 1986. Yield response to water. FAO. Irrigation and Drainage paper No. 33. Roma, Italia. 189 pp.

Sifuentes, I.E. y Ojeda B.W. 2003. Acciones para mitigar los efectos de una sequía en zonas de riego (Caso módulo Batequis-DR075). En memorias del XII Congreso Nacional de Irrigación. Zacatecas, México.

Wang, H., C. Liu, y L. Zhang. 2002. Water-saving agriculture in China: an overview. In advances in agronomy. 75:135-171.

Comité Editorial de Fundación Produce Sinaloa A.C.

Coordinador de Seguimiento a Proyectos
Ing. Julio César Zamudio Loaiza

Coordinador del Programa Estatal
de Divulgación y Capacitación
M.C. José Nedel Sánchez Valencia

Coordinador Operativo zona norte
Ing. Fernando Antonio Urías Preciado

Coordinador Operativo zona centro
Dr. Tomás Díaz Valdes

Coordinador Operativo zona sur
MC. César Óscar Martínez Alvarado

Corrector de Estilo
Lic. Óscar Paúl Castro Montes

FUNDACIÓN PRODUCE Sinaloa A.C.

ENLACE, INNOVACIÓN Y PROGRESO

OFICINAS CENTRALES

Gral. Juan Carrasco Núm. 787 Nte.
Culiacán, Sinaloa, México.
Tel./Fax (667) 712-02-16 y 46
Correos electrónicos:
direcciongeneral@fps.org.mx
divulgacion@fps.org.mx
En Internet:
www.fps.org.mx

SAGARPA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN

SINALOA ES TAREA DE TODOS
GOBIERNO DEL ESTADO DE SINALOA

IMTA

CONAGUA
Comisión Nacional del Agua

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

DECA

SMN

CIAD

EXPO AGRO SINALOA 2013

caades