

**CONFERENCIAS
MAGISTRALES**
MAGISTRALES
CONFERENCIAS

DESARROLLO DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CULTIVOS SUSTENTABLES EN REGIONES ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS

Jeffrey C. Silvertooth, Profesor y Director del Departamento de Suelos, Agua y Ciencias Ambientales de La Universidad de Arizona, Tucson, Arizona, USA

El desarrollo de sistemas sustentables de producción de cultivos (alimentos y fibra) representa hoy en día uno de los problemas más críticos para las ciencias ambientales y para el manejo de los recursos. Contar con sistemas de producción de alimentos y sistemas agrícolas capaces de sostener a las poblaciones humanas ha sido y seguirá siendo siempre un tema de suma importancia.

Es importante empezar a discutir y definir la sustentabilidad agrícola y establecer el contexto apropiado. En muchos aspectos, la sustentabilidad es sinónimo de “la conservación del agua y los suelos” y del “buen cuidado/manejo o la buena custodia” de los recursos naturales. Muchos de los principios fundamentales asociados con lo que hoy se considera normalmente como un sistema de producción de cultivos sustentables, han sido bien establecidos por mucho tiempo en la agronomía, la ecología de los cultivos y la conservación de los suelos y el agua (Guobin, 1999). La atención que se le ha dado últimamente al desarrollo de los sistemas sustentables demuestra la importancia que existe cada vez mayor de utilizar efectivamente las prácticas de buen manejo de los suelos y el agua (Lewis et al., 1997; Matson et al., 1997, Horrigan et al., 2002). Tenemos la necesidad a corto plazo de producir suficientes alimentos y fibras a partir de nuestros recursos de suelo y agua para mantener a la población global actual, por tanto, es nuestra responsabilidad desarrollar sistemas de producción que no disminuyan la capacidad de las generaciones futuras de utilizar los mismos recursos finitos de agua y suelo para que igualmente continúen su supervivencia. Los sistemas sustentables son aquellos que cumplen con estos requisitos básicos.

Necesitamos pensar en la sustentabilidad agronómica en términos del desarrollo y manejo de los sistemas de producción de cultivos que puedan mantener una producción balanceada y consistente cuando menos para los próximos 50 a 100 años. Los sistemas de producción de cultivos sustentables necesitan basarse en principios ecológicos fundamentales y en la conservación de los recursos naturales con énfasis en la conservación de los suelos y el agua y con marcos de tiempo mayores a los tres y cinco años (que son comunes hoy en día). Estos no son conceptos nuevos pero las circunstancias y los retos de implementar con éxito los sistemas de producción de cultivos sustentables en éste contexto son enormes y deben ser incentivo suficiente para que les brindemos la atención apropiada.

Las circunstancias a las que nos enfrentamos en los primeros años del siglo 21 presentan una serie de problemas sin precedente en el curso de la historia humana. Tenemos en la actualidad aproximadamente 6.7 billones de personas en el planeta con un crecimiento poblacional del 1.16% y una proyección poblacional de 9.2 billones para el 2050 (Glenn et al., 2008). El Proyecto Milenio *Estado del Futuro 2008* (en inglés, “*State of the Future 2008*” de Glenn et al., 2008) sugiere que la producción global de alimentos tendrá que aumentar un 50% para el 2013 y doblarse para el 2050 para poder cumplir con las demandas de la población que crece rápidamente. Otra parte del problema es que ya estamos utilizando la mayor parte del suelo potencialmente cultivable del planeta para la producción de cultivos. Solo aproximadamente el 11% de la superficie terrestre es cultivable y ésta ya ha sido explotada extensivamente. Durante los últimos 50 años también se ha continuado con el avance en tierras cada vez más marginales para la producción de cultivos (FAO, 2002b). Por lo tanto, el desarrollo de nuevas tierras de cultivo no es una opción real.

Pogge (2005) reporto que el 4% de la población del mundo vive por debajo de la línea internacional de pobreza de US\$2 al día por persona y consume solo 1.3% de la producción anual global. Actualmente, aproximadamente 30,000 personas mueren de hambre cada día (Borlaug et al., 2009). Solamente en el África subsahariana, la desnutrición mata a más de 10M

de personas cada año (Annan, 2002). Por otro lado, el 80% de la producción global anual es consumido por el 16.7% de la población (World Bank, 2003) y relativamente un alto porcentaje de personas en las naciones ricas actualmente sufren de obesidad (Roberts, 2008). Mucho del crecimiento poblacional en los próximos 40 años se espera en alrededor de solo 5 naciones: China, India, Pakistán, Nigeria, y Etiopía, donde los consumos per cápita actualmente son mucho menores que en el segmento del 16.7% de la población rica del mundo (Pearce, 2009). Así es que no solo tenemos un reto en términos del crecimiento poblacional masivo proyectado, sino que también tenemos serios problemas con respecto a la distribución global de alimentos, que a su vez se relaciona directamente con un gran número de asuntos económicos y geopolíticos. Por tanto, la sustentabilidad agrícola no es solamente un problema de producción de los cultivos, factores agroeconómicos, y manejo de los recursos naturales.

Además del terreno y los suelos, el agua es un componente crítico para los sistemas de producción de cultivos en las regiones áridas y semiáridas. Aproximadamente 20% del terreno de cultivo en el planeta es irrigado. Más del 40% de la producción global actual de cultivos proviene de tierras irrigadas y 60% de la producción global de granos. Los sistemas de producción agrícolas utilizan 70% del agua dulce del planeta (FAO, 2002a; Evett and Tolk, 2009). Al mismo tiempo, aproximadamente 700 millones de personas viven en condiciones de escasez severa de agua y solo alrededor de 2.5% del agua dulce del planeta es potable (Glenn et al., 2008). Por tanto, la competencia por el agua dulce entre los sistemas agrícolas y los intereses urbanos/industriales está aumentando rápidamente en muchas partes del mundo y esto es particularmente cierto en las regiones áridas y semiáridas. Con la demanda siempre mayor por el agua dulce y la necesidad de aumentar las capacidades de la producción de cultivos, es claro que los sistemas de producción agrícola irrigados deben tratar siempre de ser sistemas más eficientes que incluyan una mejor conservación tanto del agua como de los nutrientes utilizados (Doorenbos and Kassam, 1979).

Sistemas de Producción de Cultivos Sustentables: Factores Agronómicos en Regiones Áridas y Semiárida

En un esfuerzo por desarrollar sistemas de producción de cultivos sustentables por lo menos para los próximos 50 a 100 años, manteniendo los niveles de producción actuales, y aumentando la producción para cumplir con la demanda global, es esencial que se mejoren los sistemas de cultivos existentes para poder tener éxito. La eficiencia en la producción de cultivos se puede describir cuando menos de tres formas: 1) agronómica (respuesta del cultivo a una contribución en particular), 2) económica (rentabilidad de la inversión), y 3) ambiental (el impacto ambiental total asociado con el aporte en particular al cultivo). Estas tres formas para describir las eficiencias de la producción de cultivos no se excluyen una de la otra y se pueden tratar concurrentemente con éxito. Agronómicamente se necesita seguir entendiendo mejor las relaciones complejas suelo-planta de cada agroecosistema.

Este documento trata de proporcionar un esquema agronómico básico que pueda ayudar a tomar los pasos interactivos necesarios en este proceso utilizando los sistemas de producción de cultivos existentes comunes en muchas de las regiones áridas y semiáridas alrededor del mundo. No existe ninguna tecnología en particular, sistema, pequeño subconjunto de tecnologías, o método específico que vayan a servir de panacea. Más bien, gran parte del reto estará en identificar e integrar con éxito la combinación apropiada de prácticas y tecnologías necesarias para desarrollar y mantener los sistemas de producción de cultivos sustentables. En éste sentido, los agrónomos y los administradores de sistemas de cultivos deberán ser capaces de poder utilizar la base de conocimientos existentes y habilidades de nuestros precursores e incorporar apropiadamente habilidades y tecnologías modernas.

Los sistemas de producción de cultivos son ecosistemas complejos (p.ej. agroecosistemas) y existen muchos factores que interactúan y operan simultáneamente. Sin embargo, hay cuando menos cinco aspectos básicos de la gestión agronómica que necesitan ser atendidos en un esfuerzo por desarrollar sistemas de producción de cultivos más eficientes y sustentables. Voy a

proporcionar un esquema básico de los componentes fundamentales de cada uno de estos cinco sistemas de producción de cultivos. Estas cinco áreas fundamentales incluyen:

- 1) Genética
- 2) Fenología de los cultivos
- 3) Manejo de los recursos hidráulicos
- 4) Manejo de los nutrientes
- 5) Integración de los sistemas

Genética

Una de las cosas más importantes que un agricultor hace, después de que decide qué es lo que va a cultivar en su terreno, es seleccionar la variedad. La variedad proporciona el material genético total para el cultivo en particular convirtiéndose entonces en el punto clave para ese campo o sistemas de producción. Los programas para mejorar cultivos y desarrollar variedades proporcionan los materiales biológicos más fundamentales que pueden ser utilizados en el desarrollo de cualquier sistema de producción de cultivos. Somos actualmente los beneficiarios del gran esfuerzo en el campo de la fitogenética y el mejoramiento de los cultivos que se lograron en su mayor parte durante la última mitad del siglo XX. Es más, la “Revolución Verde” es un ejemplo excelente de las ganancias dramáticas que se pueden lograr a partir del manejo apropiado, la dirección correcta y la implementación adecuada de los programas de mejoramiento de los cultivos (Roberts, 2008; Borlaug, et al., 2009; Evett and Tolk, 2009). También es justo mencionar que esencialmente todos los cultivos del mundo se han beneficiado de alguna manera del mejoramiento de los cultivos y el uso de variedades mejoradas. Para lograr el desarrollo futuro de los sistemas de producción de cultivos, será esencial continuar con el desarrollo de programas progresivos y productivos de fitogenética y mejoramiento de cultivos.

En años recientes (desde 1995), el desarrollo de cultivos transgénicos se ha hecho muy común en muchos sistemas de producción de cultivos y ha sido muy positivo para aumentar nuestra capacidad de continuar mejorando los rendimientos y la calidad de nuestros alimentos y nuestras fibras. El desarrollo de cultivos o variedades transgénicas depende directamente de los programas convencionales de fitogenética y mejoramiento de cultivos que proporcionan las variedades básicas a partir de las cuales se desarrollan las líneas transgénicas. Muchos expertos disputan que los sistemas genéticos mejorados (a través de la fitogenética y los programas transgénicos) servirán como la clave para nuestra capacidad de cumplir las crecientes demandas por alimentos y fibras de una población global que crece rápidamente. Sin embargo, los avances genéticos por si solos no podrán resolver o hacerle frente a estos problemas. Se requerirá de mejores prácticas agronómicas y la integración apropiada de las herramientas y tecnologías proporcionadas por los cultivos transgénicos. Las mejoras en el manejo de los suelos, los sistemas de cultivos, el control de plagas (insectos, malas hierbas, y enfermedades), la nutrición de las plantas, el manejo de la irrigación, etc., serán esenciales para lograr mayores rendimientos de los cultivos y los sistemas sustentables. Las plantas transgénicas son solo un componente en un complejo sistema que requiere de un manejo integrado.

Fenología de los Cultivos

El comportamiento fisiológico de las plantas varía tremendamente a lo largo de su ciclo de vida. Esto es cierto tanto para las plantas perennes como anuales. A medida que las plantas cambian fisiológica y morfológicamente a través de sus diversas etapas de crecimiento, los requerimientos de agua y de nutrientes también cambian considerablemente. Si bien las plantas tienen similitudes en sus patrones de crecimiento, cada especie de plantas individual posee requisitos únicos. Por tanto, en el manejo eficiente de un cultivo es importante entender la relación entre los cambios morfológicos y fisiológicos que ocurren en un sistema de cultivo en función de la etapa de crecimiento de las plantas.

Una buena forma de empezar a integrar los sistemas de producción de cultivos con respecto a la irrigación, la nutrición y el manejo del cultivo, es entendiendo bien los patrones de crecimiento y desarrollo (fenología), en función de las unidades de calor (HUs por sus siglas en inglés- Heat

Units) o días después de la siembra (DDS, que es uno de los métodos básicos para llevar el registro de las etapas de crecimiento de los cultivos). Las guías fenológicas para cultivos describen las etapas críticas del crecimiento en relación a las unidades de calor acumuladas. Éstas guías fenológicas pueden utilizarse para describir el uso de agua de un cultivo o los patrones de consumo en relación a las etapas críticas del crecimiento. Además, los patrones de adquisición de nutrientes se pueden describir en relación a las unidades de calor (HU) acumuladas y las etapas críticas en el crecimiento y desarrollo del cultivo. Por lo tanto, la línea base o punto de partida común para coordinar el uso de agua y la adquisición de nutrientes de los cultivos se da en la forma de un cronograma fenológico basado en las unidades de calor acumuladas para el manejo apropiado de los aportes de agua y de nutrientes.

Manejo de los Recursos Hidráulicos

Cuando irrigamos un cultivo, el principio fundamental es prevenir el estrés por falta de agua (estrés hídrico) y optimizar el crecimiento, rendimiento y la calidad de las plantas. Un paso crítico inicial en el manejo adecuado de un sistema de irrigación es darle la atención necesaria al manejo del agua del cultivo que se está sembrando. Por tanto, es importante que entendamos los requerimientos de agua específicos, o los patrones de uso consuntivo (UC) para cada cultivo en particular y cómo cambian los requerimientos de agua de los cultivos en relación a las etapas del crecimiento (Hagan et al., 1967; Doorenbos and Kassam, 1979; FAO, 2002b; y Wasson, 2007). No solo es importante entender los patrones de UC para un cultivo en particular y como es que estos se relacionan con las etapas importantes del crecimiento así como con la cantidad máxima o total de agua de irrigación utilizada, si no que también es importante conocer cuáles son los umbrales óptimos con respecto a la cantidad de agua disponible para las plantas (PAW por sus siglas en ingles - Plant Available Water) para el cultivo en particular. Los cultivos varían tremendamente con respecto a sus umbrales y capacidades de mantener un crecimiento y desarrollo óptimo bajo diversos niveles de depleción o agotamiento del agua disponible para las plantas (PAW) (Hagan et al., 1967; Doorenbos and Kassam, 1979). Por ejemplo, los cultivos de algodón y de melón tienen la capacidad de mantener el crecimiento y desarrollo óptimo o adecuado cuando PAW es > 55%. Sin embargo, otros cultivos como la lechuga (*Lactuca sativa* L.) o los chiles (chiles en general) comenzarán a sufrir estrés hídrico (estrés por falta de agua) y limitar su crecimiento, desarrollo y rendimiento cuando los niveles PAW bajan a menos del 70%. Por consiguiente, es importante tener una evaluación cuantitativa de estos umbrales para cada uno de los cultivos en particular y ser capaces de relacionar éstos umbrales con las etapas de crecimiento y las cantidades adecuadas de agua requeridas e igualar las tasas de irrigación con las tasas de UC.

Manejo de la Salinidad y Fracciones de Lavado (FL)

En todos los sistemas de irrigación de zonas áridas y desérticas, se debe siempre tomar precaución y manejar con cuidado la salinidad, el sodio y otros elementos o solutos de interés (Ghassemi, et al., 1995). Esto es importante para el manejo a corto plazo y muy importante para la sustentabilidad. Para manejar la salinidad de los suelos comúnmente se utilizan los Requerimientos de Lavado (RL) a través de los sistemas de irrigación en los sistemas suelo-planta. El RL es la cantidad adicional de agua de irrigación que se requiere por arriba del UC del cultivo que proporcione la lixiviación o el lavado adecuado de las sales solubles del perfil del suelo. Este método toma en consideración la salinidad del agua y la tolerancia del cultivo a las sales. Con frecuencia se refiere a la Fracción de Lavado (FL) como a la porción de agua aplicada que realmente pasa a través de y por debajo de la zona radicular (por arriba del uso consuntivo del cultivo) en el sistema irrigado en particular. Existen diversos métodos para calcular el RL. Un método muy bueno se describe en la Publicación 29 de la FAO (Ayers and Westcot, 1985).

$$RL = \frac{CE_w}{5(CE_s) - CE_{ar}}$$

Donde:

RL = requerimiento de lavado

CE_{ar} = salinidad del agua de riego aplicada ($dS\ m^{-1}$)

CE_s = salinidad máxima del suelo (promedio) tolerada por el cultivo

Eficiencia del Uso del Agua y los Sistemas de Irrigación

Existen muchos tipos de sistemas de irrigación utilizados en las regiones áridas y semiáridas alrededor del mundo. La eficiencia de los sistemas de irrigación es un factor importante en la conservación de los suelos y los recursos hidráulicos y en el desarrollo de los sistemas sustentables (Howell, 2001; Oster and Willchens, 2003; Lenton, 2004). Las eficiencias de irrigación pobres son muy comunes y brindan así una tremenda oportunidad para poder ahorrar agua.

Por tanto, otro factor importante asociado con el tipo de sistema de irrigación que se está utilizando es la "eficiencia de irrigación" (EI) la cual puede ser considerada de acuerdo a diversa definiciones: 1) eficiencia agronómica (la habilidad del sistema de proporcionar la cantidad de agua adecuada para cumplir con los requerimientos del cultivo), 2) eficiencia económico (el retorno o la ganancia económica del cultivo en relación al costo del agua y del sistema total de irrigación (incluyendo la fertirrigación), y 3) la eficiencia de la ingeniería (la cantidad de agua que en realidad se le da al cultivo). El cumplir con las eficiencias agronómicas y económicas constituye puntos primordiales a considerar. Algunos sistemas de irrigación se aproximan pero muy pocos llegan a una Eficiencia de Irrigación de la Ingeniería (EIE) del 100%. En la medida que las EI sean menores, mayores serán las pérdidas de agua y de fertilizantes (en el caso de los programas de fertirrigación). Uno de los mayores retos en el desarrollo de producción de cultivos irrigados sustentables es mejorar las EI.

La eficiencia del uso del agua (WUE por sus siglas en inglés- Water Use Efficiency), o el rendimiento por unidad de agua utilizada, es un método común para evaluar un sistema de cultivo con respecto al uso del agua (Evetts and Tolck, 2009). La eficiencia del uso del agua (WUE) de un cultivo puede ser aplicada tanto a los sistemas sobre los terrenos secos como los irrigados y se considera que normalmente depende de la genética y la fisiología del cultivo. Particularmente en los sistemas de irrigación comunes en los ambientes áridos y semiáridos, es importante distinguir entre el uso consuntivo (UC) de un cultivo y la cantidad de agua que se requiere a través del sistema de irrigación para producir un cultivo. Con frecuencia es incorrecto asumir que estas dos cantidades son iguales, pues la eficiencia de la irrigación (EI) es normalmente menor al 100%. Los sistemas con EI bajos disminuyen las eficiencias del uso del agua (WUE) para un cultivo y sistema de cultivo en particular incrementando la cantidad de agua de irrigación requerida por unidad de cultivo producido.

Manejo de los Nutrientes

Después del agua, los nutrientes (particularmente el N biodisponible) son normalmente los factores más limitantes en cualquier ecosistema terrestre, incluyendo los agroecosistemas. Para manejar la nutrición de las plantas, normalmente pensamos en términos generales y consideramos el rango completo de nutrientes esenciales para las plantas. Se puede proporcionar un complemento completo de los nutrientes esenciales a través de un sistema de producción de cultivos si éste es manejado apropiadamente (Bar-Yosef, 1999; Hebbbar et al., 2004; Malakouti, 2004; Shah, et al., 2003; Ombódi et al., 2006). El manejo eficiente de los nutrientes será crítico para el desarrollo de sistemas de producción de cultivos sustentables en muchos lugares del mundo, no solo en regiones áridas y semiáridas (Roberts, 2009). El manejo de la ecología del suelo (microorganismos del suelo y propiedades bioquímicas) es también extremadamente importante y se relaciona directamente con el manejo de los nutrientes y la integración en general del manejo de los cultivos y los suelos en un sistema de producción de cultivos. (Dick, 1992; Darwish et al., 2003; Francis, 2004).

Es importante reconocer que cada cultivo va a tener un requerimiento de nutrientes muy específico. En un esfuerzo por obtener el mayor nivel de eficiencia en términos de la adquisición/absorción o utilización de nutrientes de los cultivos, será necesario equiparar las tasas de fertilización con las demandas de los cultivos. Por lo tanto, la información que describe los patrones de absorción de nutrientes en relación a la fenología del cultivo para el cultivo en particular es muy importante en el esfuerzo por igualar (equiparar) la fertilización del cultivo con

las demandas reales de nutrientes del cultivo y el mejoramiento de la eficiencia de adquisición de los nutrientes.

Integración de Sistemas

El método general que se ha descrito aquí brevemente es un buen ejemplo de un sistema de producción de cultivos integrado de una manera más completa. Cada paso que tomemos para la obtención de sistemas de irrigación más completos y efectivos requiere de un entendimiento más completo de los sistemas de cultivo (o agroecosistemas) y las respuestas de esos sistemas a nuestro manejo. Esto es también un buen ejemplo de la necesidad que existe de tener administradores expertos que posean la habilidad de integrar las ciencias y la tecnología dentro de un sistema de producción de cultivos. He aquí el arte de la producción de cultivos, que ha sido y seguirá siendo siempre un elemento importante en la producción de alimentos y fibras y en el desarrollo de sistemas de producción de cultivos sustentables.

Resumen

Tenemos la necesidad clara y presente de manejar los sistemas de producción de cultivos que tengan la capacidad de apoyar a la población global de hoy y del futuro cercano. También está claro que es nuestra responsabilidad no destruir o disminuir la capacidad de las generaciones futuras de continuar sosteniéndose a partir de los mismos recursos de suelo y de agua con los que contamos hoy en día. Ese es el reto de desarrollar sistemas de producción de cultivos sustentables y algo que se encuentra completamente dentro de nuestro dominio. Esto es sin duda el "Gran Reto Ambiental" de nuestra generación actual. El mejoramiento de las eficiencias de producción de cultivos a partir de los sistemas existentes con los que estamos trabajando el día de hoy constituye un paso importante hacia el desarrollo de sistemas de producción de cultivos en regiones áridas y semiáridas.

LOS INSECTOS COMO INDICADORES DEL CAMBIO CLIMÁTICO.

José L. Martínez Carrillo. Instituto Tecnológico de Sonora. 5 de Febrero 818 sur Cd. Obregón, Sonora.
jlmarca@hotmail.com

Palabras clave: Cambio Climático, Herbívoros, Parasitoides, Plagas.

RESUMEN

La habilidad de los insectos para adaptarse rápidamente a las condiciones cambiantes del medio, pueden ser aprovechadas para utilizar estos organismos como bioindicadores del cambio climático que esta ocurriendo en la atmosfera terrestre. A pesar de que existe gran controversia, entre diversos grupos de activistas y científicos, sobre la veracidad de la ocurrencia de un incremento de la temperatura debido a las actividades antropogénicas y su contribución al cambio climático global; los cambios en la importancia de las plagas en los sistemas de producción mundial están indicando que algo esta ocurriendo. En el presente artículo se dan a conocer los puntos de vista del autor sobre los cambios en importancia de algunos insectos plaga desde principios de los años 1980's hasta la fecha. Según diversos autores, existen ciclos decenales de cambio climático que pueden afectar el comportamiento de los insectos y los demás elementos del sistema, como las plantas y sus enemigos naturales. Se presentan ejemplos con insectos del orden Hemiptera sub orden Homóptera como Mosca Blanca, Paratrioza y Diaforina que se han transformado en plagas importantes en México y a nivel mundial. Los brotes de estas plagas pueden reflejar los cambios climáticos que están ocurriendo a nivel global y servir como Bioindicadores de este cambio.

ABSTRACT

The ability of the insects to rapidly be adapted to the changing environmental conditions may be used to take advantage of these organisms as indicators of the climatic change that is happening in the earth's atmosphere. Even though several activists and scientific groups question the genuineness of the increase in temperature as an anthropogenic activity and its contribution to the global climatic change, the transformation of some insects as key pests on the world production systems, indicates that something is happening. In this article our points of view are presented over the alteration of insect pest status, since early 1980's up to date. Some authors consider that there are decanal cycles of climatic change, which may interfere with insect behavior and other elements of the production system, such as plants and natural enemies. Examples are presented with insects of the Hemiptrean sub order Homoptera as the whitefly, Tomato-Potato Psyllid, and Citrus Asian Psyllid, which have been transformed in key pests in México and at the international level. The outbreaks of these pests may be related the climatic changes that are occurring in the world and may be used as bioindicators of this change.

INTRODUCCIÓN

Los insectos son organismos que han permanecido en la tierra por millones de años, inclusive son anteriores a la aparición del hombre. Ellos se han adaptado a las diferentes condiciones de vida del planeta y se encuentran distribuidos en prácticamente todos los ecosistemas existentes. Los insectos tienen una gran plasticidad y habilidad para adaptarse a los cambios que ocurren en su medio, ellos son una evidencia del fenómeno de la selección natural propuesto por Charles Darwin. Los organismos que no se adaptan son eliminados y desaparecen, de esta forma a medida que el clima de la tierra cambia, o presenta una variabilidad climática importante estos organismos se ajustan rápidamente ocupando nichos ecológicos nuevos o aquellos que son dejados por otros organismos que no se adaptaron al cambio. Los insectos, dentro del estudio de ecología de poblaciones, están considerados como organismos oportunistas que utilizan estrategia de sobrevivencia "r". Son de tamaño pequeño, producen una gran progenie, pero no todos los descendientes sobreviven. Si las condiciones del medio se modifican, estos organismos efectúan cambios en su comportamiento reproductivo y pueden inclusive tender a la especiación a través de una combinación de factores del medio dependientes de los organismos y del hábitat donde se desarrollan (Percy, 2003).

Recientemente se ha dado mucha importancia al impacto que puede tener el cambio climático sobre los diferentes organismos que pueblan la tierra entre ellos el hombre. El calentamiento global del planeta es un tema controversial sobre el cual se han escrito infinidad de artículos científicos y otros especulativos. Existen evidencias de que el CO₂ de la atmosfera se ha incrementado y participa en forma importante en el efecto invernadero, provocando incremento en la temperatura de la atmosfera (Gore 2007) .Esto se atribuye principalmente a las actividades del hombre.

Otros consideran que el calentamiento global es una consecuencia natural de la evolución de la tierra y que existen ciclos de calentamiento y enfriamiento de la tierra que se presentan en periodos de 25 a 30 años. De acuerdo con el Don J. Eaesterbrook profesor de Geología de la Universidad de Western Washington existen ciclos de calentamiento y enfriamiento del planeta, el último ciclo de calentamiento ocurrió de 1977 a 1998 y se entro en un ciclo de enfriamiento que puede prolongarse durante las tres próximas décadas. El sostiene que los modelos de predicción elaborados por el grupo IPCC donde se indica que se avecina un calentamiento global catastrófico no son correctos.

Impacto en organismos poiquiloterms.

Los organismos poiquiloterms como los insectos y las plantas pueden ser buenos indicadores de los cambios que ocurren en la atmosfera, Debido a que su metabolismo esta directamente influenciado por las condiciones climáticas que prevalecen en una región, los cambios observados en su densidad de población y diversidad de especies a través de tiempo sirven como indicadores de lo que esta ocurriendo en los biosistemas. El desplazamiento de poblaciones de insectos de los trópicos hacia latitudes mas al norte o al sur de las zonas tropicales indica que se esta presentando un cambio en su hábitat y ellos buscan mejores condiciones para sobrevivir o se adaptan -formando biotipos- a las condiciones cambiantes del medio donde se desarrollan.

La observación de brotes de plagas en los sistemas de producción puede ser una indicación del cambio climático que esta ocurriendo. Cuando las temperaturas se elevan los insectos tienden a ampliar su rango de acción. También llegan a causar más daño a los cultivos ya que al incrementarse la temperatura tienden a consumir mas alimento y a ser menos afectados por factores de mortalidad como los parasitoides. Es importante considerar el impacto del clima sobre las interacciones de las diferentes especies que se presentan en un ecosistema o en una agroecosistema. Stireman III et al. (2008), presentan información sobre la interacción larva-parasitoide en un amplio gradiente de variabilidad climática. Indican que existe un decremento en los niveles de parasitismo conforme la variabilidad climática se incrementa. Esta variabilidad interfiere con la habilidad del parasitoide para localizar a su huésped. Dada la importancia de estos organismos para regular las poblaciones de plagas tanto en sistemas naturales como aquellos manejados por el hombre, estos autores pronostican un incremento en la frecuencia e intensidad de los brotes de plagas herbívoras por la disrupción de la dinámica herbívoro-enemigo natural, conforme el clima se hace más variable,

Plagas que han mostrado incrementos en sus poblaciones.

Las plagas tradicionales de los cultivos han variado a través del tiempo y organismos que no se consideraban plagas son ahora de gran importancia en la agricultura regional. Un ejemplo de esto es la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Genn), plaga que se observo con brotes importantes en el Valle Imperial de California a principio de los años 1980's. Posteriormente sus poblaciones disminuyeron para de nuevo incrementarse significativamente a principio de los años 1990's, un ciclo de 10 años. Este incremento ocurrió en 1991 en el Valle Imperial y en el Valle de Mexicali en 1992 y 1993 fue un verdadero problema, que posteriormente se desplazo hacia el sur de México, llegando al Valle del Yaqui, Sonora en 1993, y alcanzando altas poblaciones en 1995 (Martínez-Carrillo 2006).. En esta región se implementaron medidas de control para reducir sus

poblaciones, sin embargo de nuevo en el 2005 se convirtió en una plaga importante de los diversos cultivos que se establecen en este Valle (Martínez-Carrillo 2006). Este incremento importante ocurrió de nuevo diez años después del primero. Un análisis de las condiciones climáticas que ocurrieron en 2005 indica que este año las temperaturas de los meses de Junio, Julio y Agosto en las cuales la plaga adquiere sus mayores poblaciones fueron 2 grados menores que en años anteriores lo que favoreció su incremento (Lagunes comunicación personal). La mosca blanca se convirtió en un serio problema a nivel mundial en los años 1990's, tal vez influenciado en gran medida por el impacto del cambio climático sobre las interacciones plaga-parasitoides-planta como se señala anteriormente.

Otro insecto del mismo grupo es el pulgón saltador *Paratrioza cockerelli* (Sulc), también es conocido con los nombres comunes de salerillo o simplemente como paratrioza. Este insecto se reporta en México desde 1947. A partir de los años 1970's se consideró una plaga importante de solanáceas. En los años 1990's redujo la producción de Jitomate en un 60% en el estado de Guanajuato, reduciéndose la superficie de siembra en los años subsecuentes en 85% (Garzón 2003).

El insecto se consideraba que estaba adaptado a condiciones climáticas frescas y que no soportaría altas temperaturas. Sin embargo esta plaga se ha desplazado a todas las zonas productoras de solanáceas como chile, tomate y papa, causando serios daños a la producción. En los últimos tres años sus densidades de población se han incrementado significativamente en el sur de Sonora, como lo demuestran los datos obtenidos en esta región (Figura 1). Las condiciones climáticas del noroeste de México son completamente diferentes de las que prevalecen en el Bajío, donde la plaga ha sido un problema serio, como se menciona anteriormente. Sin embargo, la paratrioza se ha adaptado y esta presente como una seria amenaza principalmente para los productores de papa y tomate en el noroeste de México, aunque también afecta chile que es una hospedera preferida (Garzón 2003).

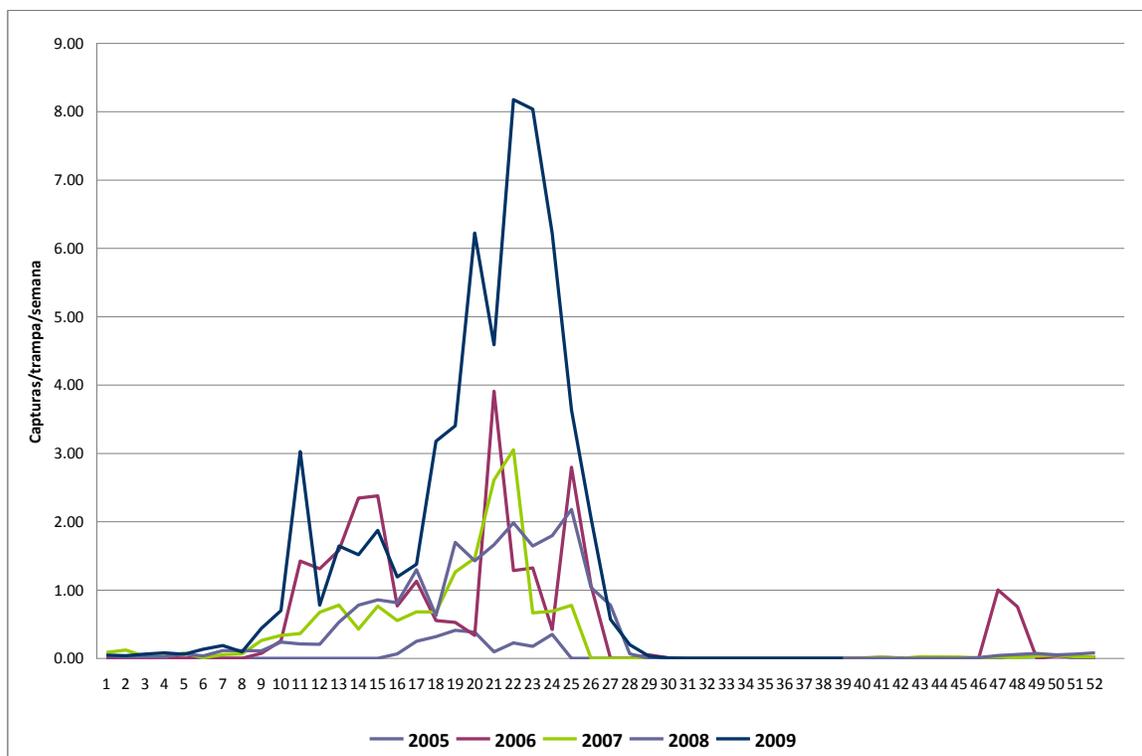


Figura 1. Fluctuación de poblaciones del salerillo *Paratrioza cockerelli* (Sulc) en Sonora 2005-2009.

La Diaforina o Psilido Asiático de los Cítricos *Diaphorina citri* Kuwayama, es otra plaga que se ha convertido en una seria amenaza para la producción mundial de cítricos. Este insecto se encuentra en las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Su importancia como plaga radica principalmente en el daño indirecto que puede causar al los cítricos al transmitir la enfermedad conocida como enverdecimiento (Grenning) y aceptada ahora como Huanglongbing (HLB). La Diaforina, se ha dispersado rápidamente en todas las áreas citricotas de México a gran velocidad (Figura 2). En 2002 fue reportada por primera vez en Campeche y para 2008 ya había alcanzado el norte del país encontrándose en la zona urbana de Tijuana, Baja California (López Arrollo et al. 2005, NAPPO 2008). Afortunadamente la enfermedad no se presentó hasta este año 2009, en Tizimin Yucatán. Las poblaciones de Diaforina se han adaptado rápidamente a las diferentes condiciones climáticas que prevalecen en las áreas productoras de cítricos de la república Mexicana (Figura 2). Lo que demuestra la gran plasticidad que tienen estos organismos para explotar nuevos hábitats. Las poblaciones de esta plaga son más abundantes cada año en las áreas donde se esta presentando



Figura 2. Distribución de *Diaphorina citri* Kuwayama en México.

CONCLUSIONES

Los insectos son organismos que se adaptan rápidamente a los cambios que ocurren en el medio donde se desarrollan. El incremento en la temperatura de la atmosfera de la tierra, es considera por algunos de origen antropogénico, y por otros como una consecuencia natural de la evolución de la tierra y que existen ciclos de calentamiento y enfriamiento que se presentan en periodos de 25 a 30 años, De cualquier forma el incremento en la temperatura puede ser un factor importante para la selección de organismos que se adapten a este cambio. Las observaciones generales que se han realizado indican que las plagas de algunos cultivos se han desplazado a áreas donde no se tenían anteriormente. Este desplazamiento ha sido rápido en algunos insectos de gran importancia como la mosca blanca, paratrioza y diaforina. Todos estos insectos pertenecen al mismo orden y sub orden, lo que puede dar a entender que este grupo taxonómico se ha visto favorecido por el cambio climático, y esta explotando nuevos hábitats. En este artículo se presenta información sobre la dinámica de desplazamiento y densidades de población de tres especies de Hemípteros (sub orden Homoptera) que sirven para alertar sobre el cambio en la composición de las especies en nuestros agroecosistemas, y muestran que los insectos pueden ser buenos indicadores del cambio climático. Este fenómeno que esta afectando la atmosfera de nuestro planeta. Los insectos se van adaptando a través de la selección natural de individuos con características genéticas que les permiten sobrevivir a los

cambios del clima y explotan nuevos hábitats que se forman debido a estos procesos. La presión de selección ejercida por los factores climáticos esta seleccionado estos organismos, lo que se demuestra a través de la presencia de biotipos adaptados a estos cambios y a través de esta selección podría establecerse un proceso de especiación alopátrica o simpátrica (Percy 2003).

LITERATURA CITADA

- Easterbrook, D.J., 2005, Causes and effects of abrupt, global, climate changes and global warming: Geological Society of America Abstracts.
- Gore, Al. 2007. Una Verdad Incomoda: La crisis planetaria del calentamiento global y como afrontarla. Libro de Ed. Gedisa..
- Garzón, T. J. A. 2003. El pulgón Saltador o la Paratrioza, una amenaza para la horticultura de Sinaloa. *In: Memoria del Taller sobre Paratrioza cockerelli* Sulc. como plaga y vector de fitoplasmas en hortalizas. Culiacán, Sinaloa. México. pp: 9-12.
- López-Arroyo, J.I., M.A. Peña, M.A. Rocha Peña, y J. Loera. 2005. Ocurrencia en México del psílido asiático *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae), pp. C 68. En: Memorias del VII Congreso Internacional de Fitopatología. Chihuahua, Chih., Méx.
- Martinez-Carrillo, J. L. 2006. Whitefly Resurgence on Cotton from the Yaqui Valley, Sonora, México. Proc. Beltwide Cotton Conferences. San Antonio TX. pp. 991-994.
- Percy, D. M., 2003. Radiation, Diversity, and Host-Plant Interactions among island and Continental Legume Feeding Psyllids. *Evolution*, 57(11), 2003, pp. 2540–2556.
- Stireman III, J. O., L. A. Dyer, D. H. Janzen, M. S. Singer, J. T. Lill, R. J. Marquis, R. E. Ricklefs, G. L. Gentry, W. Hallwachs, P. D. Coley, J. A. Barone, H. F. Greeney, H. Connahs, P. Barbosa, H. C. Morais, and I. R. Diniz. 2005. Climatic unpredictability and parasitism of caterpillars: Implications of global warming. *PNAS* Vol. 102, No. 48. 17384-17387.

MANEJO DE LOS FERTILIZANTES BASADO EN SENSORES: ¿DÓNDE HA ESTADO Y HACIA DÓNDE VA?

D. Brian Arnall

Especialista en Extesionismo sobre Precisión en el Manejo de los Nutrientes. Departamento de Ciencias de las Plantas y el Suelo. Universidad Estatal de Oklahoma. Stillwater, Oklahoma. EUA. b.arnall@okstate.edu.

Traducción por Jesús Santillano-Cázares. Profesor-Investigador ICA-UABC. Mexicali, B.C. Méx.

RESUMEN

Uno de los logros más impresionantes en la agricultura ha sido la introducción de sensores ópticos en el manejo de los nutrientes. Investigadores en la Universidad Estatal de Oklahoma han sido líderes en el desarrollo de tecnología de estimación de dosis de nitrógeno (N) basado en sensores. En las etapas iniciales de investigación fueron evaluados voluminosos sensores pasivos en pasto bermuda y en trigo de invierno con resultados promisorios. En la actualidad se utilizan sensores ópticos para estimar las recomendaciones de dosis de N en trigo de primavera, trigo de invierno, maíz y sorgo, a la vez que se está evaluando su uso en muchos otros cultivos, incluyendo cultivos hortícolas. Los sensores han cambiado mucho, de ser tan grandes que se requería el uso de tractores, hasta sensores activos que tienen el tamaño de una calculadora científica de bolsillo. El manuscrito que sigue presenta el desarrollo histórico de la tecnología, el estado actual y las perspectivas para el futuro.

HISTORIA

Para la Universidad Estatal de Oklahoma la iniciación en el campo de la tecnología de sensores ocurrió a finales de los 80's. En esos tiempos el objetivo era detectar y aplicar herbicidas a malezas y para 1990 la primera detectora y aspersora de malezas fue evaluada. Fue en 1992 cuando investigadores del Departamento de Ciencias de las Plantas y el Suelo (PaSS) y el Departamento de Ingeniería en Biosistemas Agrícolas (BAE) comenzaron a discutir acerca de cómo esta tecnología podría ser utilizada para determinar biomasa vegetal, este grupo fue conocido después como el equipo-VRT (variable rate technology o tecnología de aplicación variable). A través de trabajos previos se sabía que la biomasa del trigo de invierno podía ser usada como indicador del N requerido. Era el deseo del grupo usar la tecnología para mejorar la eficiencia de los fertilizantes N. Durante los años de 1993 y 1994, lecturas de experimentos sobre dosis de N en pasto bermuda comenzaron a ser obtenidas con los sensores. Este sensor era pasivo y muy voluminoso y pesado, tanto que era necesario montar el sensor a un pequeño tractor para poder operarlo en el campo (Figura 1). Con estos sensores, lecturas de la radiancia del espectro lumínico en las bandas roja (660 nm) y cercano al infrarrojo (o NIR) (780 nm) fueron registradas y el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) fue calculado $((\text{NIR-roja})/(\text{NIR+roja}))$. Los resultados iniciales del uso de sensores fueron promisorios y condujeron a investigación adicional en trigo y maíz.



Figura 1. Lecturas de NDVI siendo obtenidas en pasto bermuda, Stillwater, OK. 1997.

En 1994, estudiantes graduados obtuvieron lecturas de sensores y más tarde aplicaron dosis de fertilizante N en trigo utilizando un algoritmo desarrollado por el equipo-VTR. El primer algoritmo calculaba las dosis usando un inverso dosis-N, escala NDVI. A medida que el NDVI se incrementaba (la biomasa se incrementaba), las dosis de fertilizante fueron reducidas. Este método fue llamado por alguno como “alimentando a los pobres y no alimentando a los ricos”. Con este experimento, las dosis de N se redujeron a la mitad y no hubo diferencias en rendimiento de grano, en comparación con aplicaciones de dosis fijas de N.

Durante los años iniciales de trabajo la cuestión de la escala de resolución era el punto de debate. Para responder a esta pregunta se condujo un experimento para determinar el grado de variación espacial de las propiedades del suelo, y la variabilidad en rendimiento de un área que se apreciaba aparentemente homogénea. Esto fue realizado mediante la colecta de muestras de suelo y forraje de cada 0.093 m^2 en un área de 2.13 por 21.34 m . Estos resultados mostraron que existían diferencias significativas en las propiedades del suelo entre áreas de 0.093 m^2 . Tomando en cuenta que las capacidades del equipo con que se contaba y esta información, se tomó la decisión de intentar una aplicación variable a una escala de 0.37 m^2 en trigo y por planta individual en maíz.

Con el paso de los años, muchas configuraciones diferentes de sensores pasivos fueron desarrolladas y probadas en el campo. Mientras que un progreso importante se lograba, una limitación mayor de los sensores pasivos era que requerían una calibración frecuente, y estaban limitados por la hora del día a la que las mediciones eran tomadas. También requerían una calibración casi constante con un plato blanco para asegurar mediciones adecuadas. Además, los rangos de datos en las bandas roja y NIR eran diferentes entre sensores y variaban dramáticamente con la hora del día, con o sin cubierta de nubes, entre otros problemas. Para solucionar esto, el Dr. Stone desarrolló un sensor que registraba simultáneamente la luz incidente (viendo hacia arriba) y la radiancia del follaje del cultivo (viendo hacia abajo). Este sensor utilizaba luz pasiva, significando que, medía la reflectancia de la luz natural (Figura 2). Este sensor medía tanto la cantidad de energía incidiendo sobre la planta y la luz que era reflejada por la planta. Usando esta tecnología estudiantes graduados condujeron varios experimentos de campo diseñados para observar cambios en las lecturas del sensor a lo largo de múltiples etapas de crecimiento, variedades, espaciado entre hileras, y dosis de N. Estimaciones de biomasa se encontraron que eran adecuadas independientemente del cambio de variedad y espaciamiento entre hileras.



Figura 2. Sensor pasivo midiendo la reflectancia en trigo de primavera, Ciudad Obregón, Sonora, México.

En 1995, como parte de un proyecto del BAE, los estudiantes construyeron el primer aplicador de dosis de N variable, utilizando un sistema de CO₂ presurizado. Con el objetivo de desarrollar y expandir la adopción de esta tecnología, en el mismo año, el equipo-VTR estableció un proyecto colaborativo con el CIMMYT, un centro de investigación internacional con base en México. Este proyecto se enfocó en la selección de variedades y en la predicción del potencial de rendimiento de trigo de primavera, ya iniciada la temporada de crecimiento. La tecnología de sensores en el manejo de nutrientes continuó avanzando en 1996 con el desarrollo de una relación entre la toma total de N por el forraje y el uso de NDVI obtenido con sensores ópticos. En marzo de 1996, el primer aplicador variable de dosis de N fue demostrado al público en un día demostrativo en Hennessey, OK, a donde acudieron mas de 100 personas (Figura 3).



Figura 3. La primera demostración de un aplicador de dosis variables de nitrógeno en Hennessey, OK., 1996.

Para 1996, la recomendación de dosis de N se basaba en la predicción del potencial de rendimiento ya iniciado el ciclo de crecimiento (de aquí en adelante referido con “a media temporada”). Fue evidente para el equipo que las lecturas del sensor obtenidas de diferentes localidades podrían ser combinadas en una sola ecuación y usarla para predecir el rendimiento. Este fue el momento en el que el primer modelo altamente funcional para predicción del rendimiento fue desarrollado, capaz de funcionar en múltiples localidades y años. Una modificación posterior del índice original para predicción del rendimiento potencial incluiría a los grados día de desarrollo (GDD) y se convertiría en INSEY (in-season estimated yield; o estimación del rendimiento a media temporada (Figura 4).

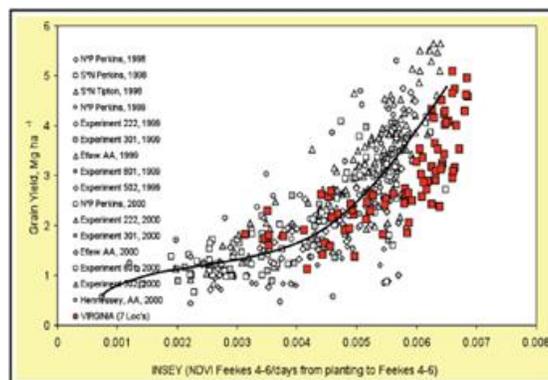


Figura 4. El primer modelo de predicción de rendimiento usando INSEY derivado de NDVI y los grados día de desarrollo.

En 1998 el equipo-VTR estuvo de acuerdo en trabajar con John y Ted Mayfield (futuros fundadores de N-Tech Industries y fabricantes del sensor GreenSeeker™) referente al potencial de comercialización de un aplicador de fertilizante N basado en sensores, para cultivos de cereales. Fue esencial trabajar con los Mayfield, ya que ellos poseían la propiedad intelectual de conceptos relacionados con sensores ópticos activos, mismos que ellos habían comprado a la empresa John Deere Co. El uso de sensores activos sería necesario en el desarrollo de Recomendaciones de N Basadas en Sensores (SBNRC), ya que los sensores activos miden la reflectancia de la luz que ellos mismos emiten, significando que los nuevos sensores no eran afectados por el ambiente, cobertura de nubes y hora del día, como los sensores pasivos, y además podían operar 24 horas al día.

En 2000, El Dr. Gordon Johnson, cuando se encontraba evaluando rendimientos de trigo en experimentos de largo plazo, notó que la dosis de fertilizante necesaria para maximizar los rendimientos variaba ampliamente a través de los años, y que eran impredecibles en muchos de sus experimentos de largo plazo. Si la capacidad de respuesta del N era tan variable a través de los años, el Dr. Bill Raun postuló que esto podría predecirse con mediciones a media temporada, en parcelas no limitadas de N (conocidas como "parcela rica" o "franja rica", si se trata de una franja en medio del campo) y en parcelas limitadas de N. Esto condujo al desarrollo del Índice de Respuesta (RI), El RI permitía la predicción de la respuesta potencial a la aplicación de N, usando mediciones con el sensor, obtenidas a media temporada; de esta manera permitiendo la predicción de la magnitud de respuesta a fertilizantes aplicados en la superficie y así poder ajustar las dosis de N basados en la magnitud de respuesta proyectada. Usando el RI a media temporada (RI_{NDVI}), era posible proyectar la magnitud de respuesta al N aplicado, en diferentes localidades, condiciones climáticas y años.

El año 2000 marcó el establecimiento del Algoritmo para la Fertilización Óptima de N (NFOA) el cual incorporó la predicción del rendimiento y el índice de respuesta para determinar la dosis a media temporada. Durante el mismo año, BAE construyó un aplicador capaz de tratar cada 0.36 m² corriendo a velocidades normales de operación (Figura 5).



Figura 5. El aplicador Cherokee, este aspersor cubre 18 m en un pase y cuenta con sensores montados cada 0.6 m.

En 2002, la primera Calculadora de Dosis de N Basada en Sensores (SBNRC) disponible en internet fue liberada en el sitio www.nue.okstate.edu. Esta calculadora en línea permite a los usuarios alimentar los pocos valores necesarios (grados día de desarrollo, NDVI de la franja rica, y el NDVI del resto del campo ó “práctica normal del productor”) y se obtiene la dosis de N para ese ambiente en particular. Además, 2002 también marcó la liberación comercial del GreenSeeker™ por N-Tech Industries (Ukiah, California).

Del 2003 a la fecha, la tecnología de sensores y nuestra comprensión de sus capacidades se ha expandido. Esta ha conducido a varias revisiones de la tecnología de sensores desde la introducción del primer GreenSeeker™ en 2002. Al momento de estar escribiendo este documento, el sitio web (<http://www.soiltesting.okstate.edu/SBNRC/SBNRC.php>) contiene 24 algoritmos SBNRC para varios cultivos, estados y países. Cada algoritmo fue desarrollado por investigadores o usuarios de sus respectivas regiones. Además de la calculadora en línea, científicos y estudiantes graduados de la Universidad Estatal de Oklahoma han contribuido en el desarrollo de esta tecnología a 12 países en todo el mundo, la mayoría de los cuales están en países en desarrollo, donde tales tecnologías tienen el potencial de tener un gran impacto.

LA TECNOLOGÍA: ESTADO ACTUAL Y FUTURO

Durante este ciclo de cultivos pasado, la Universidad Estatal de Oklahoma evaluó SBNRC y técnicas de de aplicación variable a una escala de campos de cultivo a nivel comercial tanto en trigo como en maíz. Los experimentos estuvieron localizados en campos de productores cooperantes, donde cada parcela ocupó 0.10 ha. Los resultados mostraron que para trigo de invierno el promedio de incremento en la utilidad fue de \$ 22.22 (dólares de EUA) ha⁻¹ en comparación con la práctica normal de los productores, mediante el uso una franja rica de N y SBNRC para determinar la dosis óptima. Esta utilidad fue lograda mediante una reducción en la aplicación de fertilizante N, en algunas localidades, mientras que otras se beneficiaron de un incremento en el rendimiento, derivado de una fertilización superior a la utilizada por la práctica regular de los productores. Para los experimentos con maíz sólo un sitio ha sido cosechado hasta este momento. En esta localidad la dosis estimada por la SBNRC generó un ahorro de \$ 59.5 (dólares de EUA) ha⁻¹, comparado con la práctica normal del productor. El uso de sensores identificó la oportunidad de reducir la tasa de N aplicado, sin una reducción en rendimiento.

Para la tecnología, a una escala internacional, han existido algunos nuevos acontecimientos que tienen el potencial de tener un impacto significativo. El primero es la compra y apoyo de tres sensores primarios activos por grandes compañías. N-Tech Industries GreenSeeker™ fue comprado por Timble technologies, mientras que otro sensor de operación similar, el Holand Scientific Crop Circle™, fue comprado por AgLeader, el tercer sensor Yara™ fue comprado por Topcon. Esta inversión por compañías de renombre mundial deben recorrer un largo camino

para la aceptación de esta tecnología como una práctica agrícola válida y esperar un incremento paulatino en su adopción a una escala internacional.

Mientras que estas compañías están investigando las estrategias para vender las tecnologías actuales, los investigadores en las universidades siguen realizando investigación sobre mejoras en los algoritmos y equipo. En la Universidad Estatal de Oklahoma ha habido tres descubrimientos que parecen muy prometedores. Un nuevo algoritmo esta actualmente siendo probado que se cree que produce una recomendación que será mas consistente en casos extremos donde el algoritmo actual puede generar recomendaciones menores a las óptimas. Además de este nuevo algoritmo, muchas universidades están orientando la investigación del sensor hacia esfuerzos para incrementar la precisión de las lecturas para cultivos en hileras en etapas iniciales de crecimiento, que lo que era posible en el pasado. Finalmente, uno de los avances mas importantes está siendo logrado en el mismo equipo. Un prototipo de sensor que puede caber en un bolsillo se espera para comienzos del siguiente año (Figura 6). Un objetivo de los ingenieros fue crear este sensor a un costo de fabricación de aproximadamente \$ 100.00 (dólares de EUA). Esto va a permitir que la distribución de la tecnología se expanda más allá de sólo los investigadores y de las grandes compañías agrícolas.

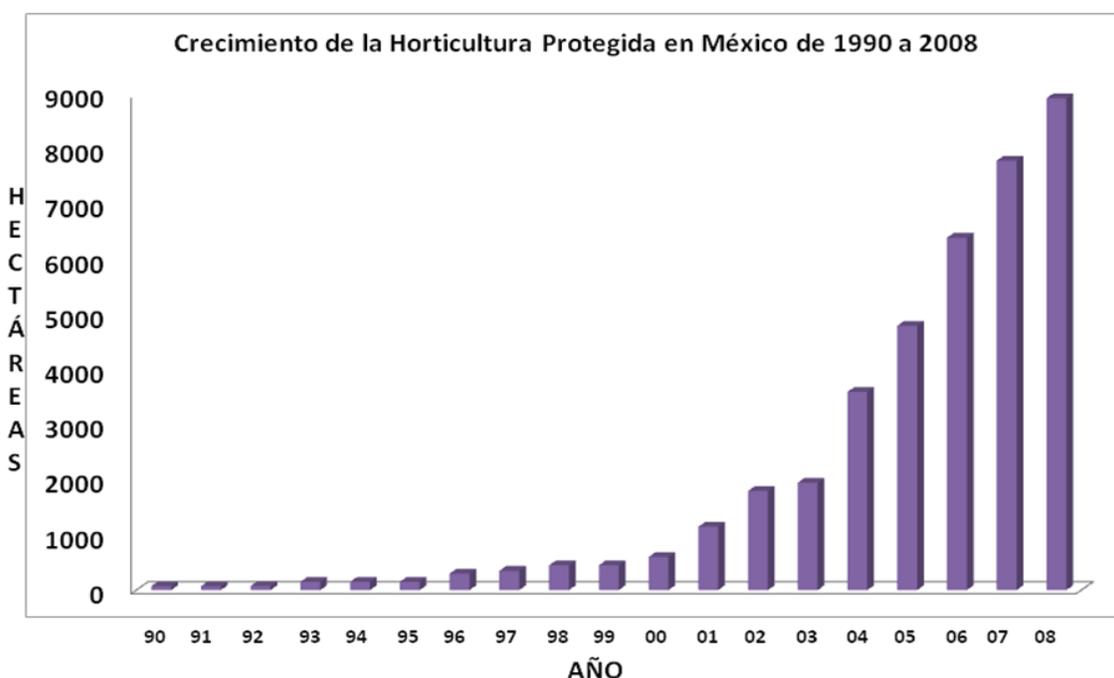


Figura 6. Prototipo de sensor de bolsillo

MANEJO DE ENFERMEDADES DE TOMATE EN AGRICULTURA PROTEGIDA

Raymundo S. García Estrada, Fitopatólogo CIAD, A. C. Unidad Culiacán. rgarcia@ciad.edu.mx

Actualmente la producción de hortalizas requiere de nuevas tecnologías que ayuden a incrementar los rendimientos que demanda la población cada día más grande, evitar la presencia de algunas plagas y enfermedades que en campo abierto hacen cada vez más difícil la producción. Además, la demanda de frutos con menor cantidad de agroquímicos y con mejor manejo de buenas prácticas de campo y de empaque que logren tener frutos sin ningún riesgo de contaminación (inocuos). Lo antes señalado ha provocado que en muy poco tiempo los cultivos de hortalizas de campo abierto se estén cambiando a cultivos en invernaderos o en algún tipo de agricultura protegida. Al respecto, la horticultura protegida se define como el sistema de producción que permite modificar el ambiente natural en el que se desarrollan los cultivos, con el objetivo de obtener un mayor rendimiento en la producción, frutos con mayor calidad e inocuidad y un menor costo de producción. Castellanos y Borbón (2009), indican que la horticultura protegida en México hasta junio de 2008 cubría una superficie de 8,934 ha.



Esta cifra no incluye lo relacionado a invernaderos de flores ni macro túneles. En producción de hortalizas en cultivos protegidos sobresalen los estados de Sinaloa, Baja California, Baja California Sur, Sonora, Jalisco, San Luis Potosí y Puebla entre otros. El principal producto producido es el tomate con un 75%, seguido de pimienta con un 12% y en tercer lugar pepino con un 10% (Castellanos y Borbón, 2009).

En la producción de tomates en cultivo protegido así como en campo abierto, se requiere desarrollar un plan de manejo fitosanitario. Este debe considerar los aspectos agronómicos, biológicos, culturales, químicos, meteorológicos y legales. El monitoreo es fundamental para el buen funcionamiento de un programa de manejo integrado y de ahí la importancia de identificar correctamente al patógeno responsable de los daños y conocer las condiciones que propician el desarrollo de los patógenos y de los síntomas que provocan en las plantas. El manejo de plagas y enfermedades en invernaderos con fertiriego o riego presurizado y con presencia de insectos polinizadores, requiere de una modificación en la forma de utilización de muchos de los plaguicidas. De la misma forma, la densidad de plantas por hectárea y el porte de las plantas, juegan un papel muy importante al momento de establecer la dosis de agroquímico o producto biológico a utilizar.

Los pasos a seguir dentro del manejo integrado de enfermedades para disminuir los efectos de las enfermedades y de las aplicaciones de agroquímicos se basan en el seguimiento de diferentes estrategias que incluyen a las siguientes prácticas: 1- Manejo del cultivo siguiendo principios fitosanitarios (eliminar los brotes chicos con la mano, sacar los restos vegetales en bolsas fuera de los invernaderos, desinfectar el suelo, limpiar las herramientas y eliminar las primeras plantas afectadas). 2- Monitoreo permanente del cultivo. 3- Uso de cultivares resistentes. 4- Control de malezas y otras plantas no deseadas. 4- Control de los factores ambientales que predispongan la presencia de una enfermedad (humedad y temperatura principalmente). 6- Aplicación de agroquímicos, agentes biológicos o productos de tipo orgánico específicos para cada tipo de enfermedad.

Cuando se detecta una enfermedad, se deben considerar los siguientes aspectos: Primero, analizar todos los factores incidentes y la manifestación de los síntomas observados para descartar probables causas no patogénicas, principalmente cuando están generalizados por sectores o en todo el invernadero, ya que una enfermedad causada por microorganismos patógenos nunca se hace evidente en horas o en forma uniforme en todo el invernadero o predio agrícola. Como norma, en los casos de anomalías en las partes aéreas, se debe revisar siempre el cuello y la raíz de varias plantas en distintas ubicaciones para ver si el origen del problema está en ese sector de la planta y se expresa en la parte aérea.

En el caso de enfermedades causadas por patógenos se deben controlar los factores ambientales para modificar las condiciones que predisponen la presencia de enfermedades, eliminar los primeros focos para que no se disemine rápidamente, cuidar las prácticas futuras de fertilización, riego, tutorado, desbrote, etc. que no sirvan para incrementar o difundir la enfermedad y realizar tratamientos químicos con productos específicos, buscando alternar para evitar resistencias y observar los tiempos de carencia.

Si la enfermedad no es patológica, se deben determinar los factores ambientales, de manejo, agroquímicos, etc. que pudieron provocar el problema para no repetirlo. Ante estos hechos, es esencial no aplicar agroquímicos innecesarios que agravan la situación, mantener el cultivo en observación hasta conocer el grado de daño de las plantas y determinar si el cuadro de alteración fisiológica en que están será superado. En cualquiera de los dos tipos de problemas, es importante remitir al laboratorio muestras representativas con todos los diferentes niveles de daños y así determinar con mayor exactitud el problema y la mejor alternativa de control. Esto evita aplicaciones excesivas de agroquímicos que no sirven en muchos de los casos para el fin que se usaron, o no son necesarios, que aumentan los costos y residuos, que generan la psicosis de pulverizar todo el tiempo contra todo. Logrando lo antes señalado, se podrán obtener hortalizas con buenas prácticas de producción y bajos residuos de agroquímicos.

Principales enfermedades en hortalizas.

El Tizón temprano producido por *Alternaria dauci f.sp. solani* se presenta como manchas con anillos concéntricos. Estos síntomas son más evidentes en el follaje viejo. Sin embargo, los síntomas también se pueden presentar en tallos, frutos y flores. En plantas en su primer mes de haber sido trasplantada se pueden observar síntomas a nivel de cuello de las plantas, que se pueden confundir con daños de *Rhizoctonia solani*. La enfermedad se puede reducir en forma mecánica al momento de realizar los deshojes y la aplicación de productos químicos convencionales junto a una buena ventilación. Cuando la presión de la enfermedad es alta en ocasiones es importante considerar mezclas de fungicidas, considerando los productos Boscalid, Dithane, Clorotalonil, Mancozeb, Azoxistribin y Pyremanil entre otros.

La cenicilla por *Leveillula taurica (Oidiopsis taurica)* se presenta en el follaje más viejo en forma de manchas amarillas por la parte superior del follaje y una vellosidad blanca por la parte de abajo. Posteriormente los tejidos centrales de las manchas mueren y estas adquieren en el centro un color café claro de aspecto papeloso. Esta enfermedad se puede presentar en cultivos de tomate, chile y de pepino. Cuando varias manchas se unen la hoja muere prematuramente. Se desarrolla a 10-35 °C con un óptimo de 26 °C y una humedad relativa del 70%.

La diseminación y control de la enfermedad se puede lograr eliminando las hojas más viejas y aplicando productos muy selectivos como el Miclobutanil, Metil tiofanato, Tryfloxistrobin,

Kresoxim, Azufre micronizado y Silicato de potasio entre otros. Dentro de biológicos se pueden usar *Bacillus stearothermophilus* y *B. subtilis*. El incremento de la humedad relativa dentro del invernadero y la temperatura fresca ayudan a limitar el desarrollo de la cenicilla.

Moho gris o Tizón de la Flor (*Botrytis cinerea* Pers. Ex Fr.). Es una enfermedad que se caracteriza por afectar a cultivos de tomate, chile, pepino, berenjena y otros. Los daños se presentan tanto en tallos, follaje, flores y frutos. Por lo general los daños más evidentes se presentan en tallos y en frutos. En tallos aparecen manchas de color café claro con anillos concéntricos y el desarrollo del crecimiento del hongo de color gris. Los frutos afectados presentan una mancha de color café claro y de aspecto blando. Posteriormente se desarrolla en los tejidos del fruto una capa de aspecto suave de color gris. En algunos casos en los frutos únicamente se desarrollan los síntomas conocidos como mancha fantasma. La humedad relativa óptima oscila alrededor del 95% y la temperatura entre 17°C y 23°C. Los pétalos infectados y desprendidos actúan dispersando el hongo.

Al observar las primeras manchas en los tallos es importante raspar la parte afectada y aplicar con una brocha un producto selectivo y autorizado para cada cultivo. En frutos es importante monitorear frecuentemente para eliminar aquellos que presenten la evidencia de la enfermedad. También es necesario eliminar el exceso de humedad del suelo y del ambiente del invernadero. Otra práctica es el contar con excelente luminosidad dentro del invernadero. Si la enfermedad se quiere salir de control se deben aplicar productos selectivos en forma general (Pyrimethanil, Thiram, Diclorán, Cyprodinil, Fenhexamid y Metil tiophanato entre otros. En este caso también se puede utilizar en forma preventiva *Trichoderma harzianum* y *Bacillus stearothermophilus*. En el caso de los fungicidas químicos se debe cuidar que estos se encuentren autorizados para cada tipo de cultivo.

Recientemente en Sinaloa, los cultivos de tomate y chile han sido afectados por una enfermedad muy parecida en síntomas al moho gris, en este caso se trata del moho azul causado por el hongo *Penicillium* sp. La alternativa de control es similar a la de *Botrytis cinerea*.

Varias pudriciones de la raíz y tallo en tomate, chile y pepino son causadas por hongos como *Fusarium oxysporum*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Sclerotium rolfsii*, *Rhizoctonia*, *Phytophthora capsici* y *Pythium*. Todos estos patógenos pueden causar marchitamientos y en ocasiones provocan severos daños.

Fusarium oxysporum causante de la fusariosis del tomate es una de las enfermedades más importantes de este cultivo. Este patógeno también puede atacar a chile. En tomate, las plantas enfermas primeramente manifiestan una coloración amarilla en uno de los lados de la planta, posteriormente toda la planta adquiere un color amarillo y finalmente las plantas enfermas mueren. La enfermedad es más evidente en plena etapa productiva del cultivo. La utilización de agua con muy buena desinfección ayuda en gran medida a retardar la presencia de la enfermedad. La fumigación o la solarización del sustrato y posteriormente la incorporación de agentes biológicos como *Bacillus stearothermophilus*, *Trichoderma harzianum*, *T. viride*, *T. lignorum* y *Gliocladium virens* son de gran ayuda en el manejo de la enfermedad. Cuando los daños de la fusariosis se hacen evidentes, la aplicación de productos químicos así como la de biológicos tienen poco impacto en un control eficiente de esta enfermedad.

Pudrición blanca o salvazo por (*Sclerotinia sclerotiorum* (Lib) de Bary.

Hongo polífago que ataca a la mayoría de las especies hortícolas cultivadas. En plántulas produce Damping-off. En planta produce una podredumbre blanda (no desprende mal olor) acuosa al principio que posteriormente se seca más o menos según la succulencia de los tejidos afectados, cubriéndose de un abundante micelio algodonoso blanco, observándose la presencia de numerosos esclerocios, blancos al principio y negros más tarde. Los ataques al tallo con frecuencia colapsan la planta, que muere con rapidez, observándose los esclerocios en el interior del tallo.

La enfermedad comienza a partir de esclerocios del suelo procedentes de infecciones anteriores, que germinan en condiciones de humedad relativa alta y temperaturas suaves, produciendo un número variable de apotecios. El apotecio cuando está maduro descarga

numerosas esporas, que afectan sobre todo a los pétalos. Cuando caen sobre tallos, ramas u hojas producen la infección secundaria.

Control preventivo y técnicas culturales: Eliminación de malas hierbas, restos de cultivo y plantas infectadas. Utilizar cubiertas plásticas en el invernadero que absorban la luz ultravioleta. Emplear marcos de plantación adecuados que permitan la aireación. Manejo adecuado de la ventilación y el riego.

El monitoreo oportuno y la rápida detección de *Sclerotinia sclerotiorum*, *Sclerotium rolfsii*, *Rhizoctonia solani*, son de gran ayuda para implementar un manejo oportuno con productos químicos.

El exceso de agua o el poco drenaje de agua ayudan a que los daños por *Phytophthora capsici* y de *Pythium* spp., se presenten rápidamente. *Pythium* afecta al cuello de las plantas, en las cuales provoca un estrangulamiento principalmente. En el caso de *Phytophthora*, la pudrición en la raíz, cuello y un poco arriba del tallo es de color negro y de consistencia blanda. Las plantas afectadas tienden a morir en poco tiempo. El manejo adecuado del agua y un buen drenaje, evita en gran medida la presencia de estos patógenos. También es importante considerar si en el cuello de las plantas no existe la presencia de larvas de mosquitas de diferente especie que se alimentan de tejidos que mueren y que hacen que los hongos antes señalados encuentren un camino más fácil para atacar a las plantas de tomate, chile o pepino. Cuando la enfermedad se quiere salir de control se puede recurrir a productos selectivos para estos hongos como Metalaxil, Dimetomorf, Mefrenoxan, Fosetil aluminio y mezclas con Mancozeb o Clorotalonil. También se puede establecer un manejo preventivo con Biológicos como *Trichoderma harzianum* y *Bacillus stearothermophilus*.

Entre las enfermedades de origen patológico del cultivo de tomate en invernadero existen distintas bacteriosis como el Cáncer bacteriano causado por *Clavibacter michiganensis subsp. michiganensis*. Afecta hasta el presente todos los materiales de tomate tanto en cultivos protegidos y de campo. Durante el ciclo agrícola 2006-2007, en 200 hectáreas de invernaderos en los que se tenían plantas injertadas, la estimación de pérdidas fue de 40 millones de dólares.

El Marchitamiento del tomate causado por *Ralstonia solanacearum* (= *Pseudomonas solanacearum*), así como la Necrosis de médula por *Pseudomonas corrugata*, también son otras de las principales enfermedades de tipo bacteriano del tomate por los daños económicos que causa y la falta de control. La marchitez bacteriana por *Ralstonia solanacearum* se caracteriza por provocar una muerte rápida de las plantas. Las plantas afectadas presentan los tejidos vasculares con una coloración café claro y el follaje se marchita y muere rápidamente que no le da tiempo de que cambie de color. El diagnóstico de esta enfermedad a nivel de campo es muy rápido. Se requiere de un recipiente transparente con agua limpia o clara. Se cuelga un tallito enfermo suspendido en el agua y si después de unos 2 a 3 minutos se presenta un exudado bacteriano en forma de hilo, sin lugar a dudas que se trata de *Ralstonia solanacearum*.

La necrosis de médula causada por *Pseudomonas corrugata*, se caracteriza por atacar a la parte central de los tallos, los cuales muestran una coloración oscura o negra y los tejidos de la médula se empiezan a desintegrar. En la parte externa del tallo se observa una mancha de color negro de consistencia blanda o acuosa. En la parte superior del daño, el follaje puede adquirir una coloración amarilla y posteriormente se empieza a marchitar hasta que finalmente muere. La coloración amarilla en algunos casos no es muy evidente. Por arriba y por abajo de las áreas con la pudrición blanda, en la parte externa de los tallos se empiezan a formar raíces adventicias.

Para todas estas enfermedades se requieren materiales con resistencia genética que a la fecha no se han desarrollado en el mundo. La aplicación de bactericidas y cobre no tiene un efecto marcado en el control de la enfermedad en las plantas afectadas. Los agroquímicos ayudan únicamente a que los patógenos que causan estas enfermedades no se diseminen rápidamente. Las labores de eliminación de plantas enfermas son otra alternativa muy importante para evitar que estos tipos de marchitamientos bacterianos aumenten rápidamente. Se debe tener cuidado de eliminar de 3 a 7 plantas aparentemente sanas alrededor de una planta enferma. La

desinfección de las manos y herramientas de trabajo es otra práctica muy importante para evitar la diseminación de este tipo de enfermedades. Es importante tratar la semilla con desinfectantes a base de cloro (2 a 3%) o con calor 52°C por 30 minutos o 55 °C por 20 minutos. La detección oportuna de este tipo de enfermedades es de gran importancia para que los daños no sean de consideración.

En períodos fríos y húmedos es importante *Erwinia carotovora pv. Carotovora*, la bacteria que provoca la pudrición húmeda del tallo o “médula negra o tallo hueco”. Los tejidos afectados también se caracterizan por producir un olor fétido. La enfermedad se puede diseminar rápidamente a todos los órganos (tallos, follaje y frutos). La pudrición por *Erwinia* provoca que los tejidos que se encuentran por arriba de las áreas afectadas se marchiten y mueran. Tiene gran capacidad saprofítica, por lo que puede sobrevivir en el suelo, agua de riego y raíces de malas hierbas. Las condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad son altas humedades relativas y temperaturas entre 25 y 35°C.

Al observar plantas con marchitamiento apical, es importante observar e ir tocando todo el tallo para determinar si presentan áreas con pudrición. Al encontrar los puntos podridos, se realiza una perforación y se filtran de 2 a 3 mililitros de cualquier bactericida. En el caso de necrosis de médula esta práctica también puede ser de gran utilidad. En estos casos la infiltración del bactericida se puede realizar debido a que los tejidos de la médula se desintegran y se pueden llenar los espacios con el producto.

En Chile, la pudrición por *Erwinia* es una de las enfermedades que más frecuentemente se presentan a nivel de campo y en frutos en poscosecha.

La mancha bacteriana por *Xanthomonas campestris pv. vesicatoria*, se caracteriza por afectar a hojas, tallos, ramilletes florales y frutos, tanto de tomate como de Chile. Las manchas son de aspecto circular. Por la parte superior de las hojas la mancha bacteriana tiene un aspecto levanta y costrosa, estos síntomas también se presentan en forma similar en tallos, raquis del pedúnculo y en los frutos tanto de tomate como de Chile. Por la parte inferior del follaje se observa de aspecto húmedo o aceitoso. La estrategia de manejo de esta enfermedad incluye el tener muy buena aireación en el cultivo, el disminuir la alta humedad relativa, la eliminación de follaje viejo y muy afectado y la aplicación en períodos cortos de bactericidas, sin que cada producto se aplique en forma repetida por más de dos aplicaciones para evitar una rápida resistencia. Dentro de los antibióticos que más se utilizan se encuentran los siguientes: Oxytetraciclina, Estreptomycina, Gentamicina y la Kasugamycina. Las mezclas más frecuentes son las de Oxytetraciclina con Estreptomycina o con Gentamicina. En algunos casos se combinan dos antibióticos con alguna fuente de Cobre. La mayoría de las razas y patotipos de *X. vesicatoria* presentan resistencia a los sulfatos básicos y tribásicos de Cobre; por ello si el control es deficiente se debe utilizar Oxycloruro de Cobre o Hidróxido de Cobre.

También se han determinado patologías originadas por virus como el TMV (virus mosaico del tabaco). Este virus tiene como principal vector a cualquier cosa que provoque una rozadura de follaje (viento, personas y animales entre otros). Las personas que fuman juegan un papel muy importante en la transmisión y diseminación de este virus. Los virus PVY (virus Y de la papa) y CMV (virus mosaico del pepino), son transmitidos principalmente por pulgones y posteriormente en forma mecánica. El TSWV (virus de la marchitez manchada del tomate), es transmitido principalmente por trips. El TYLCV (virus de la cuchara amarilla de la hoja del tomate), es un virus relativamente nuevo en México. En Sinaloa, en el ciclo agrícola 2005-2006 provocó grandes pérdidas, las cuales en muchos casos fueron del 100%. La mosquita blanca es el principal vector de este geminivirus, el cual se hace evidente en las plantas entre una y dos semanas de haber sido colonizadas por la mosquita blanca. En este caso no es necesario contar con altas poblaciones de este insecto para tener fuertes daños de TYLCV. Además de estas virosis, que parecen ser las más importantes en nuestra región así como en otros países, se han detectado infecciones debidas a otros virus, aunque no se han descrito los daños que producen: PLRV (Potato leaf roll virus), PVX (Potato virus X), PVY (Potato virus Y), AMV (Alfalfa mosaic virus) y CMV (Cucumber mosaic virus), los cuales se transmiten por áfidos y el PepMV (Pepino mosaic virus), que origina un mosaico amarillo en las hojas jóvenes y se transmite mecánicamente.

La estrategia de control se enfoca principalmente a evitar la introducción de estas plagas al interior del invernadero, lo cual ocurre principalmente por las puertas o por las áreas en donde las mallas se rompen. De la misma forma es importante la utilización de insecticidas que no provoquen daños en los insectos polinizadores y la utilización de jabones, tierra de diatomeas, extractos de plantas y aceites, entre otros productos naturales. En forma mecánica se puede eliminar aquellas hojas de las plantas que tengan la presencia de huevecillos y ninfas de este insecto.

Tizón Tardío (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary.)

El tizón tardío del tomate y de la papa es una enfermedad que actualmente se encuentra extendida por todo el mundo, presentándose siempre bajo condiciones de temperatura y humedad que le sean favorables en multitud de especies vegetales, afectando a gran variedad de solanáceas, entre las que se encuentra el tomate.

Las principales fuentes de inóculo de esta enfermedad son los restos vegetales, siendo diseminados por el campo por medio de agentes como el viento, lluvia, pudiendo llegar a recorrer grandes distancias. El rango de hospederos de este hongo incluye tomate, papa, berenjena, chile verde, chile picante y otras plantas de la familia solanácea.

Los síntomas iniciales en la planta son la aparición de manchas de color verde claro o verde oscuro, transformándose en necróticas cuando la enfermedad se presenta más avanzada. Este avance es muy rápido llegando a invadir toda la hoja en 24 horas. Alrededor de la zona afectada se observa un pequeño margen que en presencia de humedad y en el envés aparece una capa de tipo algodonoso o terciopelo blanco.

Además de las hojas, la enfermedad se puede desarrollar en el tallo, donde produce manchas de tipo acuosas de color café oscuro a pardo, que en ocasiones puede llegar a rodear completamente el tallo. La parte que se encuentra por encima de la zona que se encuentra afectada presente una marchitez, pudiendo incluso a morir esta parte afectada. Cuando se encuentra afectado el fruto, aparecen manchas de color marrón sobre la superficie, el daño en los frutos inicia generalmente por el cáliz, por lo que es la parte superior la que presenta las manchas.

El hongo inverna en restos del cultivo y probablemente en solanáceas silvestre, para aparecer en las condiciones climáticas propicias y extenderse rápidamente por todo el campo. Las condiciones climáticas para que inicie la germinación del hongo son temperaturas que se encuentra entre los 10°C y los 25°C, y la presencia de humedad en la planta en forma de gotas de agua, por lo que en noches de humedad relativas de 90%, en sistemas de riego por aspersión o ante la aparición de rocío, se reúnen condiciones favorables para la aparición de la enfermedad. El hongo detiene su desarrollo a temperaturas superiores a los 35°C, pero no quiere decir que desaparezca del campo. En la mayoría de las áreas productoras de tomate, bajo estas condiciones climáticas el hongo puede aparecer en cualquier época del año, pero son en los meses de invierno y principios de primavera cuando es más probable que aparezca una infección. En Sinaloa, se ha determinado la presencia de este hongo en el mes de abril y mayo cuando existen condiciones de alta humedad (rocío o neblina), con días nublados y por el día temperatura superior a los 28°C.

La prevención y control incluyen el uso de material vegetal que garantice estar libre de enfermedad y destrucción de posibles fuentes de inóculo como los residuos de cosechas anteriores. Es importante evitar densidades de plantación elevadas, y disponer de adecuados sistemas de ventilación en las estructuras de los invernaderos con el fin de evitar humedades relativas altas. Además de evitar sistemas de riego que mojen directamente la planta como es el riego por aspersión. Realizar monitoreos frecuentes para detectar el inicio de la enfermedad. Como métodos químicos se recomienda realizar tratamientos preventivos con productos de contacto, llevando un control de las condiciones climáticas que se dan en el entorno del cultivo. Una vez se ha establecido la enfermedad en el cultivo deberán realizarse tratamientos curativos, con productos sistémicos, alternando los productos utilizados para evitar resistencias. Entre los

ingredientes que se sugieren sobresalen: Dimetomorf en mezcla con Mancozeb o Clorotalonil, Fosetil Aluminio, Cymoxanil en mezcla con Mancozeb, Zineb, Metalaxil, y Mefrenoxan mezclado con Mancozeb entre otros.

Nemátodos (*Meloidogyne incognita*, *M. arenaria* y *M. javanica*).

Afectan prácticamente a todos los cultivos hortícolas, produciendo los típicos nódulos en las raíces que le dan el nombre común de "jicamilla". Penetran en las raíces desde el suelo. Las hembras al ser fecundadas se llenan de huevos tomando un aspecto globoso dentro de las raíces. Esto unido a la hipertrofia que producen en los tejidos de las mismas, da lugar a la formación de los típicos "rosarios". Estos daños producen la obstrucción de vasos e impiden la absorción por las raíces, traduciéndose en un menor desarrollo de la planta y la aparición de síntomas de marchitez en verde en las horas de más calor, clorosis y enanismo. Se distribuyen por rodales o líneas y se transmiten con facilidad por el agua de riego, con el calzado, con los aperos y con cualquier medio de transporte de tierra. Además, los nematodos interaccionan con otros organismos patógenos, bien de manera activa (como vectores de virus), bien de manera pasiva facilitando la entrada de bacterias y hongos por las heridas que han provocado.

Control preventivo y técnicas culturales: La utilización de variedades resistentes. La desinfección del suelo en parcelas con ataques anteriores. La utilización de plántulas sanas. El manejo adecuado del agua.

Control biológico mediante enemigos naturales: Productos biológicos: preparado a base de los hongos *Paecilomyces lilacinus* y *Arthrobotrys irregulari*. También se puede utilizar los extractos comerciales de hongos que actualmente se distribuyen en el mercado. Otra alternativa son algunas formulaciones a base de aceite de neem, así como algunos extractos de plantas como el pino.

Control por métodos físicos. La esterilización con vapor. La solarización, que consiste en elevar la temperatura del suelo mediante la colocación de una lámina de plástico transparente sobre el suelo durante un mínimo de 30 días.

LITERATURA CITADA

- Agrios, G. N. 1998. Fitopatología. 3ª edición. Editorial LIMUSA, México. 838 p.
- Aparicio, V.; Belda J.E.; Casado, E; GarcíaA, M.; Gómez, V.; Lastres, J.; Mirasol, E.; Roldan, E.; Sáez, E.; Sánchez, A. y Torres, M., 1998. Plagas y enfermedades en cultivos hortícolas de la provincia de Almería: control racional. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Sevilla: 356 pp.
- Bender, C.G. y P.B. Shoemaker. 1984. Prevalence of *Verticillium* wilt of tomato and virulence of *V. dahlia* race 1 and 2 isolates in western North Carolina. Plant Dis. 68:305-309.
- Blancard, D. 2005. Enfermedades del Tomate. Observar, Identificar, Luchar. Ed. Mundi-prensa. España.
- CABI y EPPO. 2009. *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*. EPPO quarantine pest. 5 p.
- Castaño-Zacata J. y L. del Río Mendoza. 1994. Guía para el Diagnóstico y Control de Enfermedades en Cultivos de Importancia Económica. 3ra. Edición. Zamorano, Honduras: Zamorano Academic Press. 302p.
- Castellanos J. Z., y Borbón C. M. 2009. Manual de Producción de Tomate en Invernadero. Editor Castellanos J. Z. Intagri. S. C. México. 457 p.

- De Cal A, Pascual S, Larena I and Melgarejo P. 1995. Biological control of *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*. *Plant Pathology* 44, 909-917.
- Domínguez, F. 1993. Plagas y enfermedades de las plantas cultivadas. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 821 pp.
- Fernandez-Larrea V. O. 2001. Microorganismos antagonistas para el control fitosanitario. Manejo integrado de plagas (Costa Rica) No. 62. p. 96-100.
- Fravel D, Olivain C and Alabouvette. 2003. *Fusarium oxysporum* and its biocontrol. *New Phytologist* 157: 493-512.
- García E. R., Valenzuela G. 2009. Marchitez del tomate y Pudrición de la Corona. Manual de Producción de Tomate en Invernadero. Editor Castellanos J. Z. Intagri. S. C. México. pp 349- 356.
- García E. R. 2009. Cáncer Bacteriano del Tomate. Manual de Producción de Tomate en Invernadero. Editor Castellanos J. Z. Intagri. S. C. México. pp 383- 394.
- Garijo, C. 1991. Técnicas y criterios de intervención para el control de las plagas y enfermedades polífagas más importantes de los cultivos hortícolas en invernaderos. *Phytoma España* nº 34. 39-44.
- Gitaitis, R. D. 2001. El Chancro Bacteriano. In: Jones, J. B., J- P. Jones, R. Stall y T. Zitter. Plagas y Enfermedades del Tomate. Ediciones Mundiprensa. España. pp. 25-26.
- González, L. C. 1985. Introducción a la Fitopatología. IICA. San José Costa Rica. 148 p.
- Hausbeck, M. K. ; Bell, J.; Medina-Mora, C.; Podolsky, R. and Fulbright, D. W. 2000. Effect of bactericides on Population sizes and spread of *Clavibacter michiganensis michiganensis* subsp on tomatoes in the greenhouse and on disease development end crop yield in the Field. *Phytopathology* 90:38-44.
- Jarvis, W.R. 1998. Control de enfermedades en cultivos de invernadero. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 334 pp.
- Mendoza, Z. C. 1996. Enfermedades Fungosas de Hortalizas. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo México. 88 p.
- Ramírez, V. J. y R.R.A. Sáins. 2006. Manejo Integrado de Enfermedades del Tomate.
- Reche, J. 1991. Enfermedades de hortalizas en invernadero. Ed. M.A.P.A. Madrid. 189 pp.
- Serrano, Z. 1996. Veinte Cultivos de Hortalizas en Invernadero. Ed. el autor. Sevilla. 638 pp.
- Stall, R. E. and Zitter, T. A. 1991. Compendium of Tomato Diseases. Edited by Jones, J. B. and Jones J. P. American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota. USA. 73 pp.

LOS BIOFERTILIZANTES COMO UNA OPCIÓN SUSTENTABLE EN UNA AGRICULTURA DE ZONAS ÁRIDO-SALINOS: *Salicornia bigelovii* UN CASO DE ESTUDIO.

Edgar Omar Rueda-Puente¹, Bernardo Murillo Amador², Juan Francisco Ponce Medina³, Manuel Cruz Villegas³, José Luís García Hernández², Jesús Santillano Cazares³, Leonel Avendaño Reyes³, y Enrique Troyo Dièguez².¹ Universidad de Sonora, Campus Santa Ana.² Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Universidad Autónoma del Estado de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas. Email: erueda04@santana.uson.mx; erueda2@hotmail.com

Palabras clave: fertilizantes biológicos, agentes benéficos.

RESUMEN

La agricultura orgánica constituye un sector de modesta pero muy creciente importancia en el sector agrícola; sus ventajas ambientales y económicas han atraído la atención de muchos países. La utilización excesiva de fertilizantes resulta en mayores costos de producción y en la contaminación de suelos y aguas, lo que ha conducido a un proceso de deterioro de sus escasos recursos y a una creciente dificultad para renovarlos, promoviendo realizar un uso integral y diversificado de los recursos naturales, en un ambiente fluctuante y restrictivo. La diversificación biológica resultante de los sistemas orgánicos aumenta la estabilidad del ecosistema agrícola y brinda protección contra la tensión ambiental, lo que a su vez aumenta la capacidad de adaptación de las economías agrícolas. En las dos últimas décadas, una de las áreas de estudio que actualmente están impactando en la agricultura, es la aplicación de biofertilizantes a través del empleo de microorganismos como bacterias y hongos que viven en intercambio con las plantas, lo cual ha resultado muy positivo para fertilizar diversos cultivos. Los microorganismos con efecto benéfico en las plantas pueden tener un potencial considerable como agentes biocontroladores y biofertilizantes. Un grupo es el de bacterias actualmente conocido como PGPB-Plant Growth-Promoting Bacteria (siglas en ingles) = BPCP (Bacterias Promotoras de Crecimiento de Plantas) fue definido por Kloepper *et al.*, (1992) como bacterias habitantes de la raíz que estimulan significativamente el crecimiento de plantas.

ABSTRACT

Organic agriculture constitutes a modest sector, with an increasing importance in the agricultural sector; their environmental and economic advantages have attracted the attention of many countries. The excessive fertilizer use is in greater production costs and in the contamination of grounds and waters), a process of deterioration increasing difficulty to renew the soil and the water, promoting an integral and diversified use of the natural resources. In the two last decades, one of the study areas that at the moment are hitting in agriculture is the application of bio-fertilizers, through the use of microorganisms like bacteria and fungi which they live in interchange with the plants, which have an effect positive to fertilize diverse cultures. The microorganisms with beneficial effect in the plants can have a considerable potential as a bio-controls and bio-fertilizers agents. One of them is the bacteria called PGPB-Plant considering like as a Growth-Promoting Bacterium, which them were defined by Kloepper *et al* (1992) like bacteria who stimulate the growth of plants significantly.

Key words: biological fertilizers, beneficial agents.

INTRODUCCIÓN

La agricultura orgánica constituye un sector de modesta pero muy creciente importancia en el sector agrícola; sus ventajas ambientales y económicas han atraído la atención de muchos países. La reducción del apoyo gubernamental a los insumos agrícolas brinda una oportunidad de conversión de sistemas agrícolas de bajos insumos en sistemas de agricultura orgánica más productivos. La diversificación biológica resultante de los sistemas orgánicos aumenta la estabilidad del ecosistema agrícola y brinda protección contra la tensión ambiental, lo que a su vez aumenta la capacidad de adaptación de las economías agrícolas. La demanda de alimentos

y fibras de producción orgánica por parte de los consumidores y la exigencia de un desarrollo más sostenible que plantea la sociedad, ofrecen nuevas oportunidades a agricultores y empresas de todo el mundo (Izquierdo *et al.*, 2002). La agricultura orgánica representa sin duda una oportunidad importante para los pequeños productores agrícolas. En América Latina este enfoque de producción se asocia cada vez más a las estrategias de desarrollo de la producción familiar. Sin embargo, plantea importantes desafíos por su orientación, cada vez mayor a la exportación, con las debidas exigencias de normas y gestión de calidad que esto implica. Lo anterior significa, tanto para las organizaciones de apoyo como para las organizaciones de productores, fortalecer su conocimiento en las técnicas de producción y normas de comercialización de los productos orgánicos. La agricultura orgánica también plantea desafíos nuevos para las instituciones de investigación. En particular, en aquellos relacionados con el sector agrícola sobre las posibilidades reales que estos tienen al contribuir al desarrollo de una agricultura sostenible, a la calidad del medio ambiente, la generación de ingresos y la seguridad alimentaria. Una elección informada sobre la agricultura orgánica, dentro de una gama de opciones agrícolas sostenibles pondría a los gobiernos en condiciones de orientar su investigación y sus actividades de extensión y de aprovechar, en forma integrada con otras alternativas sostenibles de agricultura, las oportunidades comerciales disponibles en el ámbito nacional e internacional.

En relación a lo recomendado por los países miembros de la FAO, el programa sobre una agricultura orgánica incluye tres áreas de acción (agrupación orgánica de Chile, 2002): 1.- Sistemas y redes para proveer información sobre aspectos de producción, conservación, procesamiento, etiquetado y mercadeo de productos orgánicos; información técnica sobre requerimientos de producción, e información comercial sobre oportunidades de mercado; 2.- Herramientas de apoyo a políticas; 3.-Nuevas alternativas en la implementación de agro-insumos respaldados científicamente para su aplicación técnica en los sistemas orgánicos productivos y eficientes y, 4.- Asistencia técnica a los países para estudios y apoyo a los gobiernos sobre la producción, certificación y comercialización de productos orgánicos certificados; obtener acceso a mercados internacionales; capacitación en el proceso de producción orgánica; asistencia técnica para desarrollar una legislación nacional apropiada, desarrollar capacidad de certificación, de investigación, y extensión y promover el intercambio de experiencias entre países.

Lo anterior debido que a nivel mundial, la agricultura orgánica es uno de los varios enfoques de la agricultura sostenible y una de las alternativas de producción de alimentos que enfoca a la inocuidad o la neutralidad de sus efectos al medio ambiente. Asimismo, compartiendo otros enfoques de la agricultura sostenible como son promover agro ecosistemas que son social y ecológicamente sostenibles, lo que significa diversificar y estabilizar los ingresos rurales; aumentar la biodiversidad y la sostenibilidad del medio ambiente.

Fertilizantes biológicos

Considerando lo anterior, y con la problemática actual que constituye para la agricultura el mal uso de agro insumos (anualmente se utilizan en el mundo más de 100 millones de toneladas de fertilizantes nitrogenados y más de 90 millones de potasio y fósforo para obtener cultivos con altos rendimientos. La utilización excesiva de fertilizantes resulta en mayores costos de producción y en la contaminación de suelos y aguas), han conducido a un proceso de deterioro de sus escasos recursos y a una creciente dificultad para renovarlos, promoviendo realizar un uso integral y diversificado de los recursos naturales, en un ambiente fluctuante y restrictivo. El suelo como base de los recursos y de la producción se encuentra enmarcado en un ambiente complejo, heterogéneo y frágil, que evidencia una alta susceptibilidad a la erosión y una baja fertilidad natural, con efectos en la producción de los cultivos, en la productividad del trabajo y en la factibilidad del establecimiento de sistemas productivos sustentables.

La recuperación y el mantenimiento de la fertilidad de los suelos sobre una base sostenible, constituyen un factor de gran importancia en el desarrollo de la producción agropecuaria a nivel mundial. De ahí la importancia de intensificar los estudios que permitan mejorar su estabilidad y productividad a largo plazo. En las dos últimas décadas, una de las áreas de estudio que actualmente están impactando en la agricultura, es la aplicación de biofertilizantes a través del empleo de microorganismos como bacterias y hongos que viven en intercambio con las plantas,

lo cual ha resultado muy positivo para fertilizar diversos cultivos. Los microorganismos con efecto benéfico en las plantas pueden tener un potencial considerable como agentes biocontroladores y biofertilizantes. Se distinguen tres grandes grupos: a) microorganismos fijadores de nitrógeno, b) hongos micorrízicos, c) bacterias promotoras de crecimiento. Este último grupo de bacterias es actualmente conocido como PGPB-Plant Growth-Promoting Bacteria (siglas en inglés) = BPCP (Bacterias Promotoras de Crecimiento de Plantas) fue definido por Kloepper *et al* (1992) como bacterias habitantes de la raíz que estimulan significativamente el crecimiento de plantas. Las bacterias promotoras del crecimiento de plantas, en las dos últimas décadas, han sido objeto de estudio con un alto grado de interés. En años recientes se ha despertado cierta controversia con este grupo, ya que no se sabe hasta qué punto se puede considerar a una rizobacteria como una bacteria promotora de crecimiento, por lo que se han establecido cuatro características generales que definen este grupo: • Que no requieran de la invasión interna de tejidos en plantas, como ocurre en hongos micorrízicos con la formación de nódulos o arbusculos en el caso de *Rhizobium*.

- Que tengan una elevada densidad poblacional en la rizósfera después de su inoculación, ya que una población que declina rápidamente tiene una baja capacidad competitiva con la microflora nativa del suelo.
- Que presenten capacidad de colonización efectiva en la superficie de la raíz y como consecuencia puedan influir positivamente en el crecimiento de la planta.
- Que no produzcan daño en el hombre ni a otros microorganismos.

En cuanto al efecto positivo sobre el crecimiento por las plantas, las BPCP pueden actuar de manera directa o indirecta: *Mecanismos indirectos*: los metabolitos producidos de las BPCP pueden funcionar como determinantes antagónicos, involucran aspectos de control biológico, suprimen o inhiben el crecimiento de microorganismos perjudiciales para el desarrollo de la planta, vía de producción de sideróforos, antibióticos, acción de enzimas líticas (gluconasa, quitinazas) o inducción de mecanismos de resistencia. *Mecanismos directos*: ocurren cuando los metabolitos producidos por algunas cepas de las bacterias son utilizados como reguladores de crecimiento o precursores de estos por parte de la planta.

La conjunción de ambos mecanismos de acción ha dado como resultado la promoción evidente del crecimiento de plantas; se ha observado un incremento en la emergencia, el vigor y el peso de plántulas, un mayor desarrollo en sistemas radiculares y un incremento hasta de 30% en la producción de algunos cultivos de interés comercial.

Bacterias promotoras del crecimiento de plantas (BPCP)

Las principales actividades benéficas llevadas a cabo por bacterias de la rizósfera asociadas a raíces o asociativas incluyen la solubilización de minerales y nutrimentos, fijación de nitrógenos, producción de fitohormonas reguladoras del crecimiento, interacción sinérgica con otros microorganismos benéficos de la rizósfera y la inhibición de fitopatógenos; todas estas actividades incrementan la productividad vegetal (Gaskins *et al.*, 1985). La mayor parte de las investigaciones dirigidas a mejorar la respuesta vegetal ha enfatizado el uso de bacterias fijadoras de nitrógeno nativas en cereales y pastos de forraje y, recientemente ha incluido a otras plantas de cultivo. Bajo ciertas circunstancias, la cantidad de nitrógeno fijado por estos microorganismos puede ser significativa, pero no explica por sí misma el incremento del crecimiento de las plantas.

Hace más de 20 años se especuló por primera vez sobre hacer extensivo el uso de bacterias del género *Rhizobium* en las plantas agrícolas más importantes. Desde entonces la complejidad de la biología molecular del sistema nitrogenasa ha obligado a reconsiderar esa especulación (Quispel, 1991) y a explorar la posibilidad de utilizar bacterias fijadoras de nitrógeno asociadas de manera natural a plantas de cultivos particulares. En una revisión realizada hace doce años, Brown (1982) declaró que la única manera de obtener una respuesta positiva de inoculación bacteriana en el desarrollo y rendimiento vegetal es que la población bacteriana alcance una biomasa significativa en la raíz. Por tanto, la característica más importante que debe tener una bacteria fijadora de nitrógeno que pretenda utilizarse con fines prácticos, es que sea un colonizador agresivo de raíces. Al evaluar la capacidad de colonización radicular de bacterias de la rizósfera, es necesario distinguir entre adaptación a la rizósfera y la habilidad para continuar desarrollándose a la par con las raíces en proceso de desarrollo. Solamente aquellos organismos capaces de trasladarse de las semillas a la raíces e incrementar su biomasa en la

rizósfera pueden ser considerados colonizadores de raíces competitivos (Lifshitz *et al.*, 1986). Con el objeto de encontrar esta bacteria ideal se consideró importante el estudio de diferentes asociaciones entre bacterias benéficas y diferentes tipos de plantas. La investigación en esta dirección ha sido promovida, se ha enfocado en la interacción a *Azospirillum*-planta, la cual puede servir como modelo para todas las bacterias asociativas. Existen algunos estudios sobre otros géneros bacterianos como *Bacillus*, *Azotobacter*, *Klebsiella* y otras bacterias no muy estudiadas del género *Azotobacter* y *Azoarcus*, la especie *alcaligenes* y otros grupos bacterianos tales como cianobacterias, bacterias solubilizadoras de fosfato, bacterias sulfa-oxidantes y bacterias diazotróficas patógenos en plantas.

Desarrollo de Investigación

Las bacterias del género *Azospirillum* poseen la capacidad de fijar N₂ atmosférico -lo cual proporciona a las plantas nitrógeno asimilable- y de promover la liberación de hormonas, como ácido indolacético (AIA) y auxinas, lo que da como resultado una estimulación para la ramificación de las raíces y desarrollo de pelos radicales (33-40%), adicionales. Además, se ha sugerido que están involucradas en una mejor absorción de minerales y agua por parte de la planta lo que contribuye al crecimiento y aumento del rendimiento de las plantas (Kapulnik *et al.*, 1981; Bashan y Holguin, 1997 *b*). Los resultados experimentales y prácticos en el uso de las especies de *Azospirillum* han concluido que estas especies son capaces de promover la producción agrícola en diferentes suelos y condiciones de clima. El efecto de *Azospirillum* sobre las plantas parece ocurrir al inicio del desarrollo y la intensidad de dicho efecto depende de las condiciones del medio ambiente, del suelo, de la especie de vegetal, de las formas de cultivo y de la concentración óptima del inóculo (1x10⁵ a 1x10⁸ unidades formadoras de colonias (UFC/semilla o planta) (Bashan *et al.*, 1989). Los resultados han sido significativos en varios parámetros de crecimiento, los cuales en numerosos casos aumentan el rendimiento del cultivo desde un 5% hasta un 30%, cuando reemplazan fertilizantes con alto porcentaje de nitrógeno (Okon y Labandera, 1994). En la Universidad Autónoma de Puebla se inocularon grandes extensiones de suelos agrícolas cultivados con maíz y trigo con diferentes cepas de *Azospirillum* obteniéndose incrementos significativos en el rendimiento de la cosecha de ambos granos. Los estudios demostraron que la inoculación en *Triticum aestivum* L. con una cepa de *Azospirillum brasilense*, aislada de la rizósfera de *Brachiaria mutica*, mostró mejores resultados que la inoculación con cepas de colecciones aisladas de otras partes del mundo (Okon y Labandera, 1994). Otro estudio demostró que la respuesta de inoculaciones de *Azospirillum* spp es influenciada por fertilizantes a base de N, P y K, ya que estos incrementan la población de esta bacteria, lo cual repercute en una mayor producción de biomasa en las plantas (Kapulnik *et al.*, 1981). Actualmente en zonas agrícolas donde el efecto de sales es un problema, de los diferentes géneros se destaca *Azospirillum halopraeferens* cuya característica importante es su adaptación a suelos o ambientes con altos contenidos de sales, debido a que posee un mecanismo osmótico para regular la acumulación de solutos orgánicos; esta propiedad es importante en este tipo de microorganismos, ya que los suelos agrícolas de zonas áridas son afectados por problemas de salinidad. Rueda *et al.*, (1993 y 1994) reportan que la inoculación de bacterias halotolerantes tales como *A. halopraeferens* a plantas que se desarrollan en ambientes áridos salinos, son una opción a la fertilización química-nitrogenada, repercutiendo en efectos del tipo de producción como del tipo ambiental.

CONCLUSIONES

La agricultura a nivel mundial, constituye una actividad fundamental para la subsistencia de la población humana. Diversos factores han conducido a un proceso de deterioro de sus escasos recursos y a una creciente dificultad para renovarlos. El suelo como base de los recursos y de la producción se encuentra enmarcado en un ambiente complejo, heterogéneo y frágil, que evidencia una alta susceptibilidad a la erosión y una baja fertilidad natural, con efectos en la producción de los cultivos, en la productividad del trabajo y en la factibilidad del establecimiento de sistemas productivos sustentables. La recuperación y el mantenimiento de la fertilidad de los suelos sobre una base sostenible constituyen un factor de gran importancia en el desarrollo de la producción agropecuaria mundial. De ahí la importancia de intensificar los estudios que permitan

mejorar su estabilidad y productividad a largo plazo. La agricultura orgánica se ha caracterizado por hacer un uso integral y diversificado de los recursos naturales, en un ambiente fluctuante y restrictivo. La agricultura orgánica permite nuevas estrategias en el manejo de los recursos que están siendo actualmente utilizadas por los nuevos sistemas de producción agrícola. Entre las estrategias se encuentran *el uso de bacterias promotoras del crecimiento vegetal* que apoyan el uso sostenido de los recursos en los sistemas productivos.

En los últimos años, la utilización de estos microorganismos-biofertilizantes en la producción de cultivos es una práctica en amplia expansión. Existe un grupo específico de bacterias que se han denominado de diversas formas, pero la más aceptada y difundida es la de bacterias promotoras del crecimiento de las planta Estos biofertilizantes han presentado diversos efectos sobre los cultivos y sobre la rizósfera, incrementando significativamente la producción agrícola y aplicando dosis bajas de fertilizantes a las recomendadas de manera tradicional. Resultados que enfatizan y orientan al productor e investigador a seguir estudiándolos en su interacción, ampliando la gama de estos microorganismos y evaluando su inoculación.

AGRADECIMIENTOS

Asimismo, quiero agradecer al Fondo Sectorial CONAFOR-CONACYT 2005 (Grupo de Análisis de Pertinencia del Fondo Sectorial de Investigación en materia Forestal) por el proyecto registrado con claveNo.: 14651", y estancia aprobada del Dr. Bernardo Murillo Amador en Apoyos Complementarios para la Consolidación Institucional de Grupos de Investigación (Repatriación, Retención y Estancias de Consolidación)- 2007.

LITERATURA CITADA

- Agrupación orgánica de Chile. 2002. Agricultura orgánica. Edit. Comité de la oficina Regional para América Latina y el Caribe. Chile. 219 p.
- Bashan, Y., Sing, M., Levanony, H. 1989. Contribution of *Azospirillum brasilense* Cd to growth of tomato seedlings is not through nitrogen fixation. Canadian Journal of Botany. 67: 2429-2434.
- Bashan, Y., Holguin, G. (1997 a). Azospirillum-plant relationships: environmental and physiological advances (1990-1996). Can J Microbiol. 3: 103-121.
- Bashan, Y., Holguin, G. (1997 b). Short-and medium term avenues for *Azospirillum* inoculation. In: Plant Growth-Promoting Rhizobacteria-present status and future prospects. (Eds) A. Ogoshi, K. Kobayashi, Y. Homma, F. Kodama, N. Kondo and S. Akino. Published by; Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo, Japan. Pp. 130-149.
- Brown, M. E. 1982. Nitrogen fixation by free-living bacteria associated with plants-fact or fiction? In: Bacteria and plants. M.E. Rhodes-Robert y J.A. Skinner (Eds). Academic Press New York. Pp. 25-41.
- Gaskins, M., Albrecht S., Hubbel D. 1985. Rhizosphere bacteria and their use to increase plant productivity: A review. Agriculture Ecosystems and Environment 12: 99-116.
- Izquierdo J., Crampi L., De García E. 2002. Biotecnología apropiable: racionalidad de su desarrollo y aplicación en América Latina y el Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Santiago de Chile. 250 p.
- Kapulnik, Y., Sarig, S., Nur, I., Okon, Y., Kiegel, J., Henis Y. 1981. Yield increases in summer cereal crops of Israeli Fields inoculated with *Azospirillum*. Experimental Agriculture 17 179-187.
- Kloepper, J., Schippers, B., Bakker, P. 1992. Proposed elimination of the term endorhizosphere. Phytopathology, 82: 726-727.
- Levanony, H., Bashan, Y., Romano, B., Klein, E. 1989. Ultrastructural localization and identification of *Azospirillum brasilense* Cd on and within wheat root by inmuno-gold labeling. Plant and Soil. 117:207-218.
- Lifshitz, R., Loepper, J., Scher, F., Laliberte, M. 1986. Nitrogen fixing pseudomonas isolated from roots of plants grown in the Canadian high arctic. Appl. Environ. Microbiol. 51: 251-255.
- Okon, Y., Labandera, G.C.A. 1994. Agronomic applications of *Azospirillum* and evaluation of 20 years World wide Field Inoculation. Soil Biol. Biochem. Vol. 26, No. 12, pp. 1591-1601.
- Rueda-Puente, E., Castellanos, T., Troyo-Diéguez, E., Díaz de León-Alvarez, J. L., Murillo-Amador, B. 2003. Effects of a nitrogen-fixing indigenous bacterium (*Klebsiella*

pneumoniae) on the growth and development of the halophyte *Salicornia bigelovii* as a new crop for saline environments. J Agronomy and Crop Science 189 (5):323-332.

AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN: PREPARANDO EL TERRENO PARA UN DESARROLLO SUSTENTABLE DEL CAMPO EN MÉXICO

Bram Govaerts¹, Nele Verhulst^{1,2}, Ken D Sayre¹, Jesús Mendoza^{1,3} y Jesús Santillano-Cázares⁴.

¹Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Apdo Postal 6-641, Col Juárez, Delegación Cuauhtemoc CP 06600 México DF, 01 (55) 5804 2004, b.govaerts@cgiar.org.

²Department of Earth and Environmental Sciences, Katholieke Universiteit Leuven, Celestijnenlaan 200 E, 3001 Leuven, Belgium. ³Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON), Antonio Caso S/N, Colonia Villa ITSON, C.P. 85120, Cd. Obregón, Sonora, México. ⁴Instituto de Ciencias Agrícolas-UABC. Mexicali, B.C., México.

INTRODUCCIÓN

Los esfuerzos del género humano para producir una mayor cantidad de alimentos han dejado su huella en nuestro medio ambiente. El uso continuo de las prácticas de sistemas de cultivo convencionales que se basan en una labranza extensiva, especialmente cuando ésta se combina con la quema de los residuos de los cultivos *in situ*, ha magnificado las pérdidas debido a la erosión del suelo, la base de los recursos del suelo se ha degradado también progresivamente (Montgomery, 2007).

Actualmente, la agricultura empresarial que se practica en el Noroeste de México, sobre todo para granos básicos, atraviesa por una gran crisis. Lo anterior es producto de la interacción negativa de varios factores como son: deterioro de los suelos, altos costos de producción, lo que se traduce en una baja o nula rentabilidad, bajando la competitividad, lo que favorece que se incremente el número de productores con cartera vencida. El esquema intensivo de producción que se realiza en el Noroeste de México bajo el sistema tradicional incurre en acciones negativas, tales como: la quema de paja, nula incorporación de residuos de cosecha y abonos verdes así como el uso exagerado de pasos de maquinaria, además de la baja eficiencia en el uso del agua de riego, lo que ha provocado el deterioro del ambiente y del recurso suelo. Las prácticas inadecuadas en el manejo del suelo, a través del tiempo, han dado como resultado bajos porcentajes de materia orgánica, mayor salinidad, compactación y erosión, lo cual afecta la productividad de los suelos. Estudios edafológicos realizados en la región, indican que los factores antes mencionados favorecen la pérdida de calidad de los suelos de primera clase en 0.56% por año, y de continuar con dicha explotación se espera que la degradación de los suelos aumentará de manera gradual.

En el Altiplano de México la sequía de este año (2009) nos ha dado una gran lección, la tierra sin agua es incapaz de producir cultivos, sin agua no hay soporte de vida para nadie. Nuestros sistemas de producción agrícolas deben aprovechar eficientemente el agua. Todos estamos involucrados en este problema de escasez, las ciudades están sufriendo grandes recortes en el suministro del vital líquido, las parcelas de riego no tienen acceso a las cantidades de agua necesarias para producir, y la tragedia de la pérdida de las cosechas en los cultivos de temporal por falta de lluvias es evidente en muchas regiones del país. El agua es de todos y para hacer eficiente su uso debemos participar tanto los actores y autoridades de las grandes urbes como el medio rural.

Hoy día, el género humano ha entendido que la agricultura no sólo debe perseguir un alto rendimiento, sino también tiene que ser sostenible (Reynolds y Tuberosa, 2008). Los agricultores preocupados por la sostenibilidad del medio ambiente de sus sistemas de producción y aunado a que los costos de producción son cada vez más altos, han empezado a adoptar y adaptar mejores prácticas de manejo que conduzcan a una agricultura sostenible. La agricultura de conservación se convierte en la alternativa más viable porque es un sistema rentable y conservacionista que reduce costos de producción e incrementa la productividad, con el consecuente beneficio ecológico y edáfico. La agricultura de conservación se enfoca a un concepto de sistema de agricultura completo, y combina tres principios básicos: (1) reducción de la labranza (Figuras 1 y 2), (2) retención de niveles adecuados de residuos del cultivo para cubrir la superficie del suelo (Figuras 1 y 2) y (3) uso de rotaciones de cultivos económicamente viables. Estos principios de la agricultura de conservación se aplican en una amplia gama de sistemas de producción. Obviamente los componentes específicos del manejo deben ser compatibles, y

necesitarán ser identificados a través de una investigación de adaptación con los agricultores activos involucrados para contrastar entre agro-clima/sistemas de producción.



Figura 1. Siembra directa sin mover el suelo. Un disco cortador abre el suelo, se deposita la semilla y la llanta compactadora vuelve a cerrar el suelo.



Figura 2. La semilla se deposita en una zanjita que se abrió con el disco.

Este trabajo incluye los resultados de dos ensayos a largo-plazo operados por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, Int. (CIMMYT) en diferentes sistemas agroecológicos en México. El primer experimento se localiza cerca de El Batán, aproximadamente 30 km al noreste de la ciudad de México, en el altiplano subtropical de México. Donde predomina la agricultura de temporal en el área, con una precipitación de (350–800 mm) que ocurre de cuatro a seis meses en el período de verano, seguido por inviernos secos, y heladas. El clima de El Batán es representativo de muchas áreas de altiplano en el Oeste de Asia y el Norte de África, El Cono Sur y el Altiplano Andino de Sudamérica, El Altiplano Central de Etiopía, las llanuras costeras Mediterráneas de Turquía y el Altiplano Central de México. Cada región tiene sus condiciones específicas y sus problemas, pero algunas tendencias generales pueden ser reconocidas. Los altiplanos tropicales y subtropicales (centro de México, Etiopía, y otros) han sido densamente habitados e intensivamente cultivados durante siglos; hecho que resulta en problemas de sostenibilidad agrícola relacionados con la erosión del suelo y la disminución de la fertilidad (Scherr and Yadav, 1996). El sistema agrícola está bajo estrés debido a una disminución de la superficie cultivada por cada familia, la reducción de la disponibilidad de forraje y la degradación del suelo. La lluvia es insuficiente e impredecible, por lo tanto, la producción agrícola se ve amenazada por el estrés crónico de la humedad del suelo. La precipitación es generalmente intensa y corta, lo que lleva a un alto escurrimiento y un anegamiento temporal. El rendimiento de los cereales es bajo ($< 2 \text{ t ha}^{-1}$). Además, los campos están frecuentemente cubiertos de malezas y los cultivos presentan deficiencia de N, la estructura del suelo es pobre, y la superficie del terreno y las oquedades erosionadas se han generalizado (Govaerts et al., 2008). El segundo experimento está localizado en el Valle del Yaqui en las zonas áridas del noroeste de México. En el Valle del Yaqui durante los últimos 25 años, más del 95% de los agricultores de la región han cambiado del uso de riego por inundación en plano a la siembra en camas (Aquino, 1998). Uno de cuatro surcos se ha sembrado arriba de la cama, en función de la anchura de la cama y del cultivo, con riego aplicado al surco. Los productores que cultivan trigo en camas obtienen un 8% de rendimientos más alto y ahorran cerca de 25% en costos de producción, comparado con los sistemas de riego por inundación (Aquino, 1998). El rendimiento de grano en el área superó 6 t ha^{-1} y los niveles de insumos son altos, e.g. el promedio medio de N para trigo

es 275 kg de N ha⁻¹. La quema generalizada del residuo frecuentemente acompaña a la labranza, aunque algo del residuo es embalado para forraje e incorporado durante la labranza (Sayre, 2004). La siembra en camas proporciona una oportunidad natural para reducir la compactación al limitar el tráfico hacia el fondo de los surcos. El siguiente paso lógico para incrementar la sostenibilidad de las camas para que sean permanentes, evitando la labranza (solo remodelar las camas, cuando sea necesario) y reteniendo y distribuyendo los residuos sobre la superficie.

Una simple definición operativa de la calidad del suelo es dada por Gregorich et al. (1994) como 'El grado de aptitud de un suelo para un uso específico'. Dentro del marco de la producción agrícola, una alta calidad de suelo equivale a la habilidad del suelo para mantener una alta productividad sin una degradación significativa del suelo o del medio ambiente. La evaluación de la calidad del suelo se basa en características físicas, químicas y biológicas del suelo. Los factores de manejo que pueden modificar la calidad del suelo incluyen e.g. labranza y sistemas de manejo de los residuos, y siembra de cultivos con rotación (Karlen et al., 1997). Este trabajo se enfoca a la influencia del manejo de los residuos y la labranza en los parámetros de calidad. Se ha hecho una comparación entre sistemas de agricultura de conservación y agricultura convencional en dos áreas agro-ecológicas contrastantes: (1) sistemas de temporal con bajos insumos, semi-áridos, con cero labranza en plano y (2) sistemas de riego, con altos-insumos, áridos, con cero labranza y camas permanentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo de temporal a largo plazo en el centro de México

El experimento de temporal está ubicado en El Batán en el altiplano subtropical semiárido, del Centro de México (2240 msnm.; 19.3°N, 98.5°O). El suelo tiene buenas condiciones químicas y físicas para la agricultura. Las principales limitaciones son las sequías periódicas, exceso de agua que sucede periódicamente y la erosión eólica e hídrica. La temperatura media anual es de 14°C (1990-2001) y el promedio anual de lluvia es de 600 mm año⁻¹, con aproximadamente 520 mm de lluvia entre mayo y octubre. Lluvia breve, intensa seguida de períodos secos tipifican la temporada de lluvias de verano y la evapotranspiración potencial total anual de precipitación es superior a 1900 mm durante todo el año. La estación experimental de El Batán tiene un promedio de período de cultivo de 152 días. El suelo es un Cumulic Haplustoll térmico, fino, mezclado, (Soil Survey Staff, 2003) (Cumulic Phaeozem (IUSS Working Group WRB, 2006)).

El experimento empezó en 1991 como se describe en Fischer et al. (2002). Las parcelas individuales son de 7.5 m por 22 m. Las prácticas usuales incluyen el uso de cultivares recomendados, maíz sembrado a una densidad de 60,000 plantas ha⁻¹ en hileras de 75 cm, trigo sembrado en hileras de 20 cm, utilizando 100 kg de semilla ha⁻¹. Ambos cultivos son fertilizados usando urea a 120 kg de N ha⁻¹, el N se aplicó al trigo en la etapa de crecimiento del 1er nudo (al voleo) y al maíz en la 5-6 etapa de desarrollo foliar (superficie-en banda). El control de malezas se realizó usando herbicidas apropiados, disponibles cuando fue necesario y no se utilizó control de plagas o enfermedades, excepto los tratamientos de semilla aplicados ya por las fuentes comerciales. La siembra de ambos, maíz y trigo, depende de la aparición de las lluvias de verano, pero normalmente se efectúa entre el 5 y el 15 de Junio.

El diseño experimental consistió en bloques completos al azar con dos repeticiones. Hay 32 tratamientos en total. El conjunto básico lo componen 16 prácticas de manejo que se basan en la variación de (1) rotación de cultivos (monocultivo vs. rotación de maíz/trigo); (2) labranza (convencional vs. cero labranza); (3) manejo de residuos (retención vs. remoción). Una segunda serie de tratamientos se estableció en 1996 e incluye los tratamientos con retención parcial de los residuos y siembra en camas permanentes.

El ensayo a largo plazo con riego en el noroeste de México

El experimento se inició en 1992 cerca de Ciudad Obregón, Estado de Sonora, México (Lat. 27.33° N, Lon. 109.09° O, 38 msnm). La temperatura media anual es de 24.7 °C y la precipitación media anual es de 384 mm, con una temporada de lluvias que va de junio hasta agosto (1971-2000) (<http://www.inegi.gob.mx>). El suelo es un Hyposalic Hyposodic Vertisol (Calcaric, Chromic) (IUSS Working Group WRB, 2006), fine Chromic Haplotorrert) (Soil Survey Staff, 2003) bajo en materia orgánica (< 1%) y ligeramente alcalino (pH 7.7). Una descripción detallada del manejo de la parcela la ha reportado Limón-Ortega et al. (2000). El maíz y el trigo

son de riego y manejados en rotación anual: el trigo como cultivo de invierno sembrado de finales de noviembre a principios de diciembre y cosechado en mayo, seguido de maíz como cultivo de verano sembrado en junio sobre el mismo conjunto de parcelas y cosechado en octubre. Ambos cultivos se sembraron a 0.75 m en camas con trigo en dos hileras sembrado con una separación 20 cm y el maíz en una hilera. El riego se aplica en surcos.

El experimento incluye tres repeticiones de cada tratamiento en un diseño de bloques al azar con un arreglo de tratamiento de parcelas divididas. Las parcelas principales consisten de factores de labranza-paja como sigue: (1) *CTB-paja incorporada*: Camas con labranza convencional (labranza convencional con camas formadas después de cada cultivo); los residuos de maíz y trigo son volteados con el arado; (2) *PB-paja quemada*: Las camas permanentes (cero labranza con reutilización continua de las camas existentes, que son reformadas cuando es necesario); los residuos de ambos cultivos trigo y maíz son quemados; (3) *PB-paja removida*: En las camas permanentes; los residuos de trigo y maíz son removidos para embalarse; (4) *PB-paja parcialmente removida*: camas permanentes; los residuos de maíz son removidos para embalarse y la paja de trigo es retenida sobre la superficie del terreno; (5) *PB-paja retenida*: Las camas permanentes; y los residuos de maíz y trigo son mantenidos sobre la superficie del terreno.

Las parcelas divididas durante el invierno comprenden siete niveles de fertilización con N, pero para este trabajo se eligió un conjunto de tres tratamientos de N (0, 150, y 300 kg N ha⁻¹). El maíz recibe una aplicación uniforme de 150 kg N ha⁻¹. El N se aplicó como urea al fondo del surco y se incorpora a través del riego. Cada año el trigo y el maíz reciben 45 kg de P₂O₂ ha⁻¹ en banda en el surco y se reincorpora al cultivo cuando se re-forman las camas.

Parámetros de calidad del Suelo

La distribución del tamaño de los agregados y su estabilidad se determinaron durante el ciclo de cultivo 2006 en El Batán como se describe en Govaerts et al. (2006) y en Ciudad Obregón como se describe en Limón-Ortega et al. (2006). El tiempo de saturación, que es el tiempo que tarda el agua antes de correr fuera de un área específica en el campo, fue medido durante el ciclo de cultivo 2006 en El Batán durante el ciclo 2007-2008 en Ciudad Obregón como se describe en detalle en Govaerts et al. (2006). La infiltración por cilindros pequeños se determinó en El Batán como se reporta en Govaerts et al. (2007a). La biomasa microbiana C y N del suelo se midió como se reporta en Govaerts et al. (2007b) y Limón-Ortega et al. (2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el sistema de temporal, semi-árido con cero labranza, la combinación de labranza reducida con retención de los residuos de los cultivos resulta en un rendimiento alto y estable (Figura 3-4). Comparado con las prácticas normales de los agricultores de agricultura de temporal, la agricultura de conservación resulta en rendimientos altos y estables (Figura 4). La retención de los residuos de los cultivos hace la diferencia, el rendimiento fue significativo y por lo menos un 50% mas alto con la retención de residuos que con la remoción de los residuos en la cero labranza (Figura 4). El tratamiento de cero labranza con eliminación parcial de los residuos dio un rendimiento equivalente a los tratamientos de residuos con retención completa (Govaerts et al., 2005). Es esencial para la sostenibilidad de las prácticas de manejo desarrolladas en los sistemas de temporal semi-áridos encontrar aquellos donde la captura y almacenamiento de agua para el suelo es óptima.

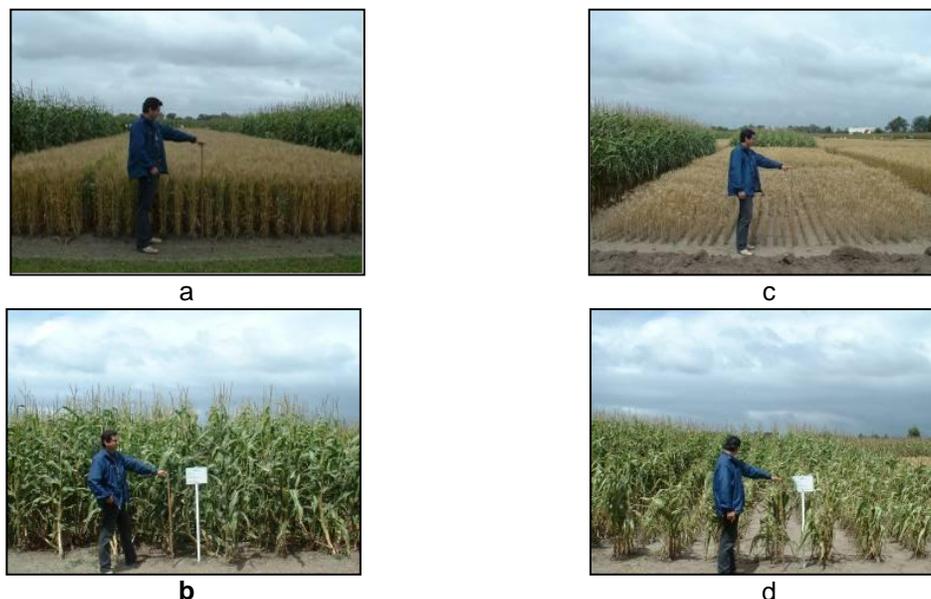


Figura 3. Manejo diferente resulta en un diferente potencial de rendimiento. Las fotografías a y b representan mas de 10 años de agricultura de conservación; mientras que las c y d representan mas de 10 años de una práctica agronómica equivocada.

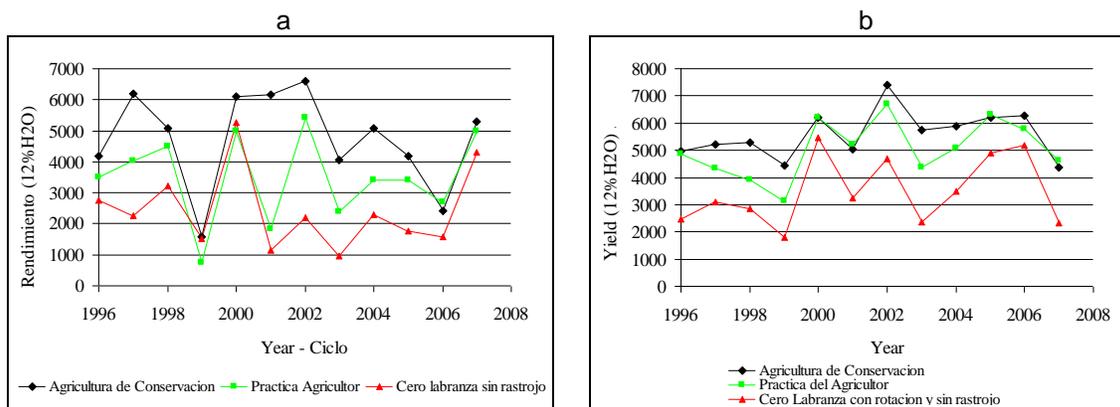


Figura 4. Efecto de la labranza y el manejo de los residuos después de varios años sobre el rendimiento de grano de a) maíz y b) trigo (kg ha^{-1} a 12% H_2O) en el experimento a largo plazo de temporal en El Batán, CIMMYT.

La reducción en costos de producción, junto con el incremento del rendimiento hace de la agricultura de conservación una práctica rentable. La práctica del agricultor no resulta rentable. También, la agricultura de conservación es una opción para los grandes sistemas de producción de riego. Los ensayos a largo plazo en el Norte de México muestran que no hubo diferencias significativas en el rendimiento del trigo en algunas de las prácticas de manejo durante los primeros cinco años (10 ciclos de cultivo). Sin embargo, después de 10 ciclos, las diferencias de rendimiento entre los manejos de tratamientos claramente variaron con una dramática reducción en el rendimiento en el sistema de camas permanentes donde todos los residuos habían sido sistemáticamente quemados desde el inicio de los ensayos. Para los sistemas agrícolas con riego (al menos para los tropicales, semi-tropicales, áreas cálidas y templadas), la aplicación del riego parece “eliminarse ó posponerse” la expresión de la degradación de muchas propiedades del suelo asociadas con la quema continua de los residuos puede llegar hasta niveles en el que ya no es posible mantener el rendimiento aun con riego (Figura 5).

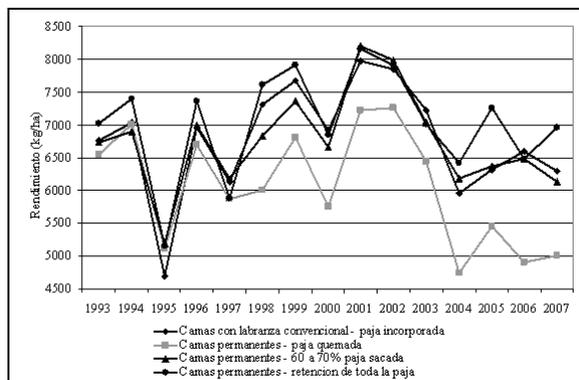


Figura 5. Efecto de la labranza y el manejo de los residuos después de varios años sobre el rendimiento de grano del trigo (kg/ha a 12% H₂O) en el experimento a largo plazo bajo riego en Ciudad Obregón, CIMMYT.

Aunque el rendimiento con un manejo adecuado de camas permanentes no es marcadamente mayor que el de las camas con labranza convencional con incorporación de residuos, los costos de producción de las camas permanentes, calculados en el 2006 promediando 6 ciclos de trigo, son sin embargo, marcadamente mas bajos (Figura 6).

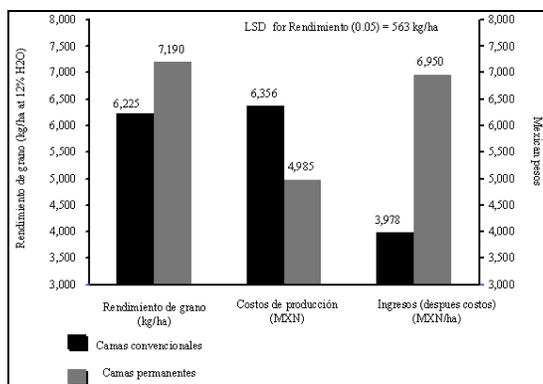


Figura 6. Efecto de la labranza y del manejo de los residuos durante varios años en los ingresos (MXN/ha) del CIANO/en Cd. Obregón.

La importancia de mantener el rastrojo o mantillo en el campo

El rastrojo es una base importante en de la agricultura de conservación, ya que si no hay residuos no puede existir el sistema (Figura 7). La importancia de dejar los residuos es lograr una buena cobertura y proteger al suelo del viento, así como retener la humedad. La quema de rastrojo se tiene que evitar completamente. Sin embargo, las demandas competitivas de los residuos de los cultivos a nivel finca (por ejemplo para su uso como forraje, combustible o material de construcción) son elevados en zonas semi-áridas de temporal y los sistemas pueden constituir graves obstáculos para la aplicación de la labranza cero con retención de residuos (Erenstein, 2002). Dado que la producción de biomasa es mayor en condiciones de riego que en temporal, en condiciones semi-áridas, hay mas margen para la remoción de una parte de los residuos del cultivo para otros usos. Es necesaria mas investigación para establecer los niveles mínimos de retención de los residuos.



Figura 7. La quema del rastrojo no es una práctica aconsejable en el uso de cero labranza; después o durante la cosecha se distribuye bien el rastrojo de manera que forme un colchón que proteja el suelo.

Efecto de rastrojo sobre los parámetros de calidad de suelo

Agregación del suelo

Tanto en el ensayo de temporal como en el ensayo de riego, el peso medio del diámetro (MWD) en el tamizado en seco y húmedo fue el más alto cuando todos los residuos fueron retenidos sobre la superficie de las parcelas con cero labranza. La remoción del residuo en condiciones de temporal y la quema del residuo en condiciones de riego degradaron la estructura del suelo en comparación con la de retención (parcial) de los residuos (Figura 8).

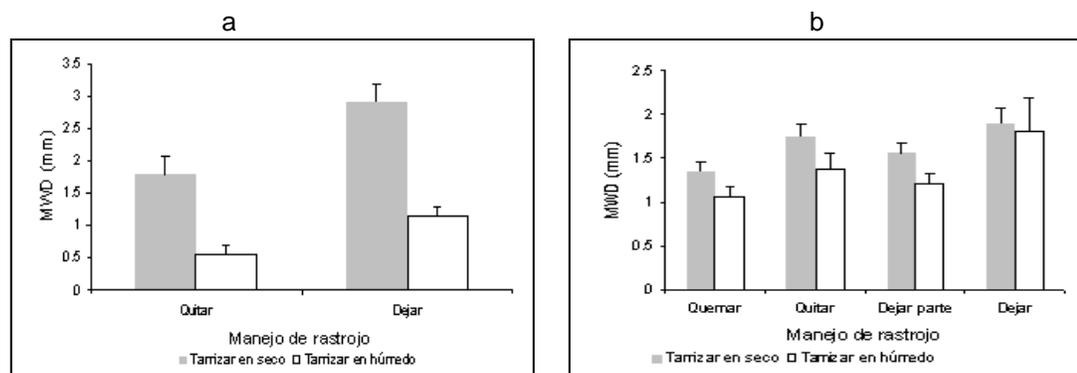


Figura 8. El efecto del manejo de los residuos en el peso medio del diámetro obtenido por el tamizado en seco y húmedo (mm) en los tratamientos de cero labranza (a) el ensayo de temporal en El Batán y (b) el ensayo con riego en Ciudad Obregón (Adaptado de Limón-Ortega et al. 2006). Los valores con diferentes letras difieren significativamente en 5% basados en bloques menores de la diferencia de grupos. Las Barras indican un error estándar.

Chan et al. (2002), también encontraron que el rastrojo quemado reduce significativamente la estabilidad del agua de los agregados en las fracciones >2 mm y < 50 μ m. Govaerts et al. (2007c) han obtenido resultados similares en un sistema de siembra en camas permanentes de temporal en el altiplano subtropical de México, donde el MWD del tamizado en seco y húmedo disminuyó al disminuir la cantidad de residuos retenidos, aunque la remoción de los residuos fue parcial pues fue embalado, se mantuvieron los agregados dentro de los límites aceptables. Esto indica que la remoción total de los residuos debe evitarse, pero no es siempre necesario retener todos los residuos en el campo para aprovechar los beneficios de las camas permanentes o de cero labranza en sistemas en plano. El manejo de los residuos del ciclo anterior es clave para el desarrollo estructural del suelo y su estabilidad ya que la materia orgánica es un factor importante en la agregación del suelo. El residuo fresco constituye un factor clave para la formación de nuevos agregados mediante la creación de lugares propicios

para la actividad microbiana donde los nuevos agregados del suelo se desarrollan (De Gryze et al., 2005). Además, la retención de los residuos en la superficie del suelo, se reduce el daño de los agregados al protegerlos contra el impacto de las gotas de lluvia (Le Bissonnais, 1996).

Infiltración del agua

El tiempo de saturación es una medida de la infiltración directa en el suelo. En el ensayo de temporal, el tiempo de saturación fue menor para cero labranza con remoción de residuos que con retención de residuos (parcial), pero la diferencia fue solo significativa en la fase de la rotación de maíz (Figura 9). En parcelas con trigo, el tiempo de saturación fue mayor que en las parcelas de maíz y las diferencias entre los tratamientos fue menor. Los cultivos en pie inducen un efecto de cubierta 'vertical' que es menor en las parcelas de maíz ya que la densidad de la planta es menor. En condiciones de riego, el tiempo de saturación se incrementa con el incremento de la retención del residuo en la superficie del suelo. La quema de los residuos resultó en una menor infiltración directa (Figura 9). La retención de los residuos en la superficie previene la formación de costras al incrementar la estabilidad de los agregados comparado con cero labranza con remoción o quema de los residuos (Fig 8; Li et al. 2007; Chan et al. 2002) y protegen a los agregados del impacto directo de las gotas de lluvia (Le Bissonnais 1996). Además, los residuos dejados en la parte superior del suelo con cero labranza y retención de residuos actúan como una sucesión de barreras, reduciendo la velocidad del escurrimiento y dando oportunidad al agua de más tiempo para infiltrarse. Los residuos interceptan la lluvia y la liberan mas lentamente después (Scopel and Fideling 2001).

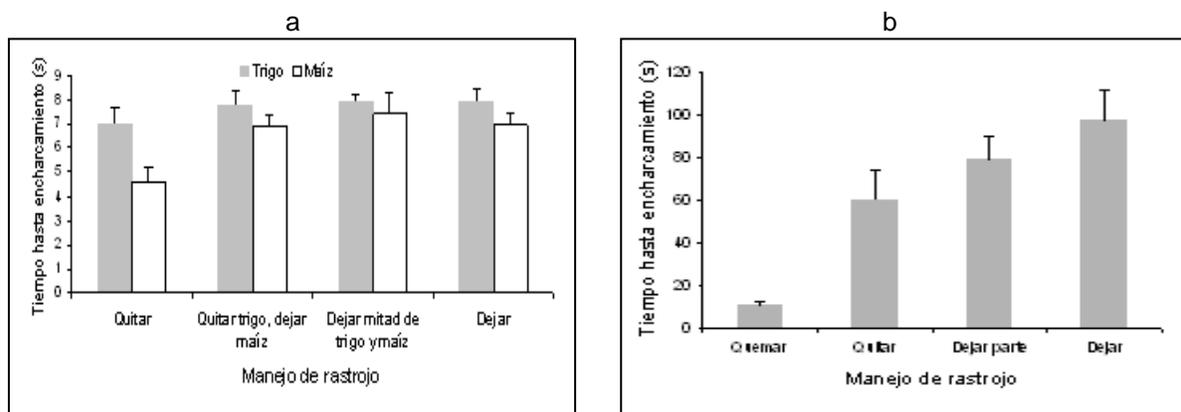


Figura 9- El efecto del manejo de los residuos en el tiempo de saturación (s) en tratamientos con cero labranza de (a) el ensayo de temporal en El Batán durante la fase de rotación de maíz y trigo y (b) el ensayo de riego en Ciudad Obregón durante la fase de rotación de trigo. Los valores con diferentes letras difieren significativamente en 5% basados en bloques menores de la diferencia de grupos. Las barras indican un error estándar.

Contenido de humedad en el Suelo

El aumento de la infiltración con la retención de los residuos en sistemas de cero labranza se reflejó en el contenido de la humedad del suelo a través de todo el ciclo de cultivo (Figura 10). En el ensayo de temporal, el contenido de humedad a 60 cm en la parte superior el suelo de las parcelas de cero labranza fue menor cuando el residuo fue removido comparado a cuando el residuo fue retenido. De manera similar, en el ensayo de riego, el contenido de humedad del suelo fue menor cuando el residuo fue quemado que cuando la superficie fue cubierta. La diferencia entre las prácticas fue menor en condiciones de riego, probablemente debido al efecto mitigante del riego. También Gicheru et al. (1994) mostró que la cubierta formada por el residuo del cultivo resultó en mas humedad bajo el perfil (0-120 cm) durante dos ciclos de cultivo (un período corto de lluvias y un período largo de lluvias) en 2 años en labranza convencional y

diques en un área semi-árida de Kenya. Mas agua en el suelo posibilita a los cultivos a desarrollarse a corto plazo durante los períodos secos y reduce la sensibilidad de un estrés hídrico del sistema, lo que es especialmente importante en sistemas de temporal.

Biomasa microbiana

La biomasa microbiana del suelo C y N se redujo al disminuir la cantidad de residuos retenidos en la superficie del suelo en los tratamientos de cero labranza a largo plazo tanto de temporal como de riego (Tabla 1). La biomasa microbiana del suelo refleja la capacidad del suelo para almacenar y mover los nutrientes (C, N, P y S) y la materia orgánica (Dick, 1992; Carter et al., 1999) y desempeña un papel importante en la estabilización física de los agregados (Franzluebbers et al., 1999). La supresión general esta también relacionada con el total de la biomasa microbiana del suelo, que compite con los patógenos por los recursos, o ocasiona la inhibición a través de formas mas directas de antagonismo (Weller et al., 2002). En consecuencia, la biomasa microbiana del suelo es considerada como un importante indicador de la calidad del suelo. La tasa de C orgánico en el aporte de la biomasa vegetal es generalmente considerada como el factor dominante en el control de la cantidad de biomasa microbiana en el suelo (Campbell et al., 1997). Franzluebbers et al. (1999) mostró que, como el complejo de C orgánico se amplía ó se contrae debido a los cambios en los insumos de C al suelo, el complejo microbiano también se expande o se contrae. El aporte continuo, uniforme de C de la retención de residuos sirve como fuente de energía para los microorganismos.

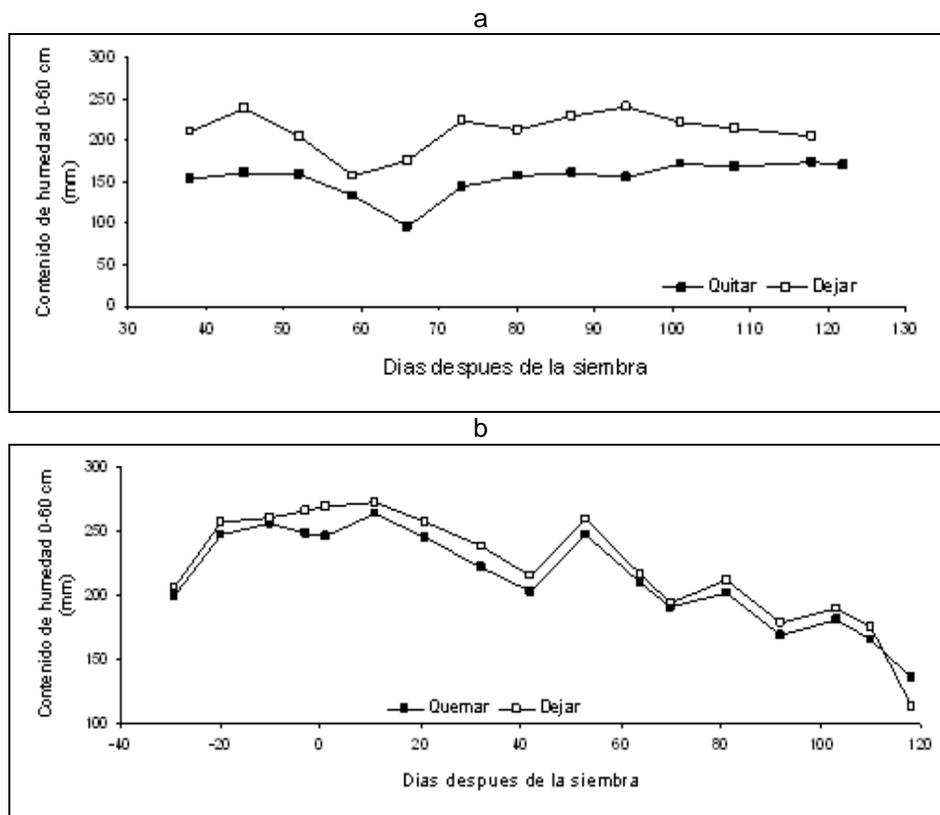


Figura 10- El efecto del manejo de los residuos sobre el contenido de humedad en el perfil (0-60 cm) a través de todo el ciclo de cultivo en la fase de rotación de trigo en tratamientos de cero labranza de (a) el ensayo de temporal en El Batán y (b) el ensayo de riego en Ciudad Obregón (riegos 28 días antes y 43, 71 y 95 días después de la siembra).

Tabla 1. El efecto del manejo de los residuos en la biomasa microbiana C y N del suelo en (SMB C y SMB N), en la fase de la rotación de trigo en los tratamientos con cero labranza del ensayo de temporal en el Batán (0-15 cm; Adaptada de Govaerts et al. 2007b) y el ensayo con riego en Ciudad Obregón (0-7.5 cm; Adaptada de Limón-Ortega et al. 2006).

Ensayo	Manejo de residuos	SMB C (mg C kg ⁻¹ suelo)	SMB N (mg N kg ⁻¹ suelo)
Temporal	Remoción	288 B	22 A
El Batán	Retención completa	453 A	20 A
Riego	Quema	540 b	22 c
Cd. Obregón	Remoción	617 ab	25 b
	Retención parcial	681 a	25 b
	Retención completa	687 a	31 a

Los valores con diferentes letras difieren significativamente en 5% basado en bloques menores de la diferencia de grupos.

Calidad química del suelo

La eliminación de los residuos de la cosecha se asocia con una disminución de la materia orgánica del suelo comparada con la labranza cero con retención de residuos. (Blanco-Canqui and Lal, 2007), como se observó en el ensayo de temporal. A pesar de la continua aplicación de C en los tratamientos con retención de residuos, la materia orgánica del suelo no difiere de los tratamientos con remoción de residuos en el ensayo de riego. Si la biomasa microbiana del suelo se utiliza como indicador temprano de la materia orgánica del suelo, sin embargo, la misma tendencia se puede esperar en condiciones de riego. En el ensayo de temporal, la eliminación de residuos como resultado de una disminución en el estatus de los nutrientes sobre la base de la concentración de C, N, K y Zn, en comparación con la retención de residuos. Solo el tratamiento continuo de trigo con remoción de residuos se acercó a los tratamientos de cero labranza con retención de residuos. En el sistema de camas permanentes con riego, el contenido total de N fue 1.14 veces menor cuando la paja fue quemada que cuando la paja fue retenida. La tasa de mineralización de N fue similar para los tratamientos de paja quemada y paja retenida, pero mayor para PB-con tratamientos de paja parcialmente removida donde solo la paja de trigo fue retenida. Este resultado está presumiblemente relacionado con la proporción de C-N de maíz que se deja en el campo en PB-paja retenida. Se ha frecuentemente reportado que durante la descomposición de la materia orgánica, el N inorgánico puede ser inmovilizado (Zagal y Persson, 1994), especialmente cuando la materia orgánica con un coeficiente grande del porcentaje de C-N se añade al suelo. La sodicidad del suelo y la concentración de P en general es mayor cuando los residuos fueron quemados en comparación con los otros tratamientos. Del mismo modo Govaerts et al. (2007c) observó mayor K, N, C y menor concentración de Na con retención de residuos en comparación con la remoción de residuos en un sistema de siembra en camas permanentes de temporal en el altiplano México.

La maquinaria adecuada es esencial para la implementación de agricultura de conservación

El desempeño de los cultivos en agricultura de conservación se relaciona con la humedad del suelo y los atributos relacionados con la infiltración, la estructura del suelo y la materia orgánica, lo que demuestra que la humedad del suelo es el principal factor limitante del sistema (Verhulst et al., 2008). La diferencia en el contenido de humedad del suelo entre las prácticas de manejo de los residuos era menor con riego que en condiciones de temporal debido a la corrección del efecto del riego, permitiendo otros factores como la disponibilidad de los nutrientes a ser más importantes que en condiciones de secano. Por todo lo anterior, es evidente que la agricultura de conservación es una tecnología potencial disponible para los productores que puede mejorar el potencial de producción y reducir los costos de producción. Se necesita que esta tecnología sea validada y transferida extensamente en terrenos de los productores. Pero antes de que agricultores puedan aplicar la tecnología, se necesita contar con maquinaria adecuada para aplicar la agricultura de conservación. Sin duda, el principal factor que ha limitado la extensión y la adopción de la agricultura de conservación en particular para cultivos de grano pequeño como

el trigo, entre los agricultores a pequeña a mediana escala en países en vías de desarrollo, ha sido la falta de implementos apropiados, sobre todo equipos de siembra.

Nuestra filosofía ha sido desarrollar implementos multi-cultivo multi-usos que puedan ser reconfigurados de forma sencilla para mantener la forma de las camas, hacer la aplicación basal en banda o fertilización post-emergencia del cultivo, o sembrar semilla grande o pequeña. Para agricultores a pequeña y mediana escala, diseñamos un implemento que se configure fácil y rápidamente, que les permita realizar la mayoría de las actividades de la siembra, que les permita aplicar fertilizante y re-hacer las camas.

El uso de este tipo de sembradora beneficia a los agricultores reduciendo considerablemente sus costos de producción. El prototipo se inventó en México y está listo para producirse en talleres mexicanos, ¡listo para que México se coloque a la vanguardia en la fabricación de sembradoras multipropósito en el mundo!

CONCLUSIONES

Los ensayos de uso sostenible a largo plazo han mostrado que la agricultura de conservación tiene gran potencial en México. La agricultura de conservación reduce los costos de producción y la mano de obra; aumenta la competitividad de los agricultores y los ingresos en el sistema de producción de granos básicos; y representa una excelente opción para conservar los recursos naturales, mediante la concurrencia de los siguientes efectos:

- Mejora la textura y la estructura del terreno.
- Favorece la infiltración del agua y la retención de la humedad.
- Retiene por más tiempo la humedad del suelo en zonas de temporal o de riego, promueve el uso eficiente del agua y genera ahorros en su consumo durante el riego.
- Mejora las propiedades químicas y biológicas del suelo.
- Aumenta el nivel de materia orgánica.
- Reduce la erosión.
- Disminuye la quema del rastrojo.
- Al reducirse el uso de maquinaria agrícola, se ahorra combustible; hay menos emisiones de contaminantes y menor compactación del suelo,
- Es una opción para mitigar los efectos del cambio climático y la adopción de un sistema más robusto que soporte los efectos que existen ya.
- Los beneficios finales para los agricultores serán una agricultura sostenible y más rentable y la reducción de costos, que a la vez se traducirán en mayores ingresos.

Para aplicar la cero labranza, componente de agricultura de conservación, una práctica sustentable, se tiene que combinar con la retención de rastrojo ya que la retención de (parte de) los residuos es necesario para mantener la calidad del suelo. En el sistema de temporal semi-árido con cero labranza el peso medio del diámetro obtenido, por el tamizado en seco y húmedo, la infiltración, el contenido de humedad en el suelo, la biomasa microbiana del suelo y el status de los nutrientes fueron mas bajos con remoción de residuos que con retención de residuos. En el sistema de camas permanentes con riego, la quema de todos los residuos resultó en una degradación de la estructura del suelo, menor infiltración directa, contenido de humedad en el suelo y biomasa microbiana en el suelo en comparación con la retención de los residuos sobre la superficie. Las prácticas con retención parcial de los residuos mostraron que la calidad del suelo es similar a las prácticas con retención de todos los residuos. Es necesaria mas investigación para establecer los niveles mínimos de retención de residuos (umbral) con impactos positivos en la calidad del suelo y la producción de cultivos.

Reconocimientos

N.V. recibió una beca para su investigación doctoral de Research Foundation - Flanders. Agradecemos a M. Ruíz Cano, J. Gutiérrez Angulo, J. Sánchez López, A. Zermeño, C. Rascón, B. Martínez Ortiz, A. Martínez, M. Martínez, H. González Juárez, J. García Ramírez and M. Pérez por su asistencia técnica. La investigación fue auspiciada por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, Int. (CIMMYT, Int.) y sus colaboradores estratégicos y donantes.

LITERATURA CITADA

- Aquino P 1998 The adoption of bed planting of wheat in the Yaqui Valley, Sonora, Mexico. *Wheat Special Report. 17a*, CIMMYT, Mexico DF.
- Aune, J.B., Bussa, M.T., Asfaw, F.G. and Ayele, A.A. 2001. The ox ploughing system in Ethiopia—can it be sustained? *Outlook Agr.* 30, 275–280.
- Blanco-Canqui, H. and R. Lal. 2007. Soil Structure and organic carbon relationships following 10 years of wheat straw management in no-till. *Soil & Till. Res.* 95: 240-254.
- Campbell, C.A., Janzen, H.H., Juma, N.G., 1997. Case studies of soil quality in the Canadian prairies: long-term field experiments. In: *Soil Quality for Crop Production and Ecosystems Health* (Gregorich, E.G. and Carter, M.R., Eds.), Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 351-397.
- Carter, M.R. 1992. Influence of Reduced Tillage Systems on Organic-Matter, Microbial Biomass, Macro-Aggregate Distribution and Structural Stability of the Surface Soil in a Humid Climate. *Soil Till. Res.* 23, 361-372.
- Chan, K.Y., Heenan, D.P., Oates, A., 2002. Soil carbon fractions and relationship to soil quality under different tillage and stubble management. *Soil Till. Res.* 63, 133-139.
- De Gryze, S., Six, J., Brits, C. and Merckx, R. 2005. A quantification of short-term macroaggregate dynamics: influences of wheat residue input and texture. *Soil Biol. Biochem.* 37, 55-66.
- Dick, R.P. 1992. A Review - Long-Term Effects of Agricultural Systems on Soil Biochemical and Microbial Parameters. *Agr. Ecosyst. Environ.* 40, 25-36.
- Erenstein, O. 2002. Crop residue mulching in tropical and semi-tropical countries: an evaluation of residue availability and other technological implications. *Soil Till. Res.* 67: 115-133.
- Fischer, R.A., Santiveri, F. and Vidal, I.R. 2002. Crop rotation, tillage and crop residue management for wheat and maize in the sub-humid tropical highlands. I. Maize and system performance. *Field Crops Res.* 79, 123–137.
- Franzluebbers, A.J., Haney, R.L., Hons, F.M. and Zuberer, D.A. 1999. Assessing biological soil quality with chloroform fumigation-incubation: Why subtract a control? *Can. J. Soil Sci.* 79, 521-528.
- Gicheru, P.T. 1994. Effects of Residue Mulch and Tillage on Soil-Moisture Conservation. *Soil Technology* 7, 209-220.
- Govaerts, B., Barrera-Franco, M.G., Limón-Ortega, A., Muñoz-Jiménez, P., Sayre, K.D. y Deckers, J. 2008. Clasificación y evaluación edafológicas de tres sitios experimentales en el altiplano central de México. *Tropicultura*, 26, 1, 2-9
- Govaerts, B., Fuentes, M., Mezzalama, M., Nicol, J.M., Deckers, J., Etchevers, J.D., Figueroa-Sandoval, B. and Sayre, K.D. 2007a. Infiltration, soil moisture, root rot and nematode populations after 12 years of different tillage, residue and crop rotation managements. *Soil Till. Res.* 94, 209-219.
- Govaerts, B., Mezzalama, M., Unno, Y., Sayre, K.D., Luna-Guido, M., Vanherck, K., Dendooven, L. and Deckers, J. 2007b. Influence of tillage, residue management, and crop rotation on soil microbial biomass and catabolic diversity. *Appl. Soil Ecol.* 37, 18-30.
- Govaerts, B., Sayre, K.D. and Deckers, J. 2005. Stable high yields with zero tillage and permanent bed planting? *Field Crop. Res.* 94, 33-42.
- Govaerts, B., Sayre, K.D. and Deckers, J. 2006. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. *Soil Till. Res.* 87, 163-174.
- Govaerts, B., Sayre, K.D., Lichter, K., Dendooven, L. and Deckers, J. 2007c. Influence of permanent raised bed planting and residue management on physical and chemical soil quality in rain fed maize/wheat systems. *Plant Soil* 291, 39-54.
- Gregorich, E.G., Carter, M.R., Angers, D.A., Monreal, C.M. and Ellert, B.H. 1994. Towards A Minimum Data Set to Assess Soil Organic-Matter Quality in Agricultural Soils. *Can. J. Soil Sci.* 74, 367-385.
- IUSS Working Group WRB 2006. *World Reference Base for Soil Resources 2006*. FAO, Rome, Italy, pp. 128.

- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F. and Schuman, G.E. 1997. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 4-10.
- LeBisssonais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility .1. Theory and methodology. *Eur. J. Soil Sci.* 47, 425-437.
- Li, H.W., Gao, H.W., Wu, H.D., Li, W.Y., Wang, X.Y. and He, J. 2007. Effects of 15 years of conservation tillage on soil structure and productivity of wheat cultivation in northern China. *Austr. J. Soil Res.* 45, 344-350.
- Limón-Ortega, A., Govaerts, B., Deckers, J. and Sayre, K.D. 2006. Soil aggregate and microbial biomass in a permanent bed wheat-maize planting system after 12 years. *Field Crops Res.* 97, 302-309.
- Limón-Ortega, A., Sayre, K.D. and Francis, C.A. 2000. Wheat and maize yields in response to straw management and nitrogen in a bed-planting system. *Agron. J.* 92, 295–302.
- McGarry, D., Bridge, B.J. and Radford, B.J. 2000. Contrasting soil physical properties after zero and traditional tillage of an alluvial soil in the semi-arid subtropics. *Soil Till. Res.* 53, 105-115.
- Montgomery, D. R. 2007. Soil erosion and agricultural sustainability. *PNAS* 104: 13268-13272.
- Nyssen, J., Poesen, J., Mitiku Haile, Moeyersons, J., Deckers, J., 2000. Tillage erosion on slopes with soil conservation structures in the Ethiopian highlands. *Soil Till. Res.* 57, 115–127.
- Nyssen, J., Vandenreyken, H., Poesen, J., Moeyersons, J., Deckers, J., Mitiku Haile, Salles, C. and Govers, G. 2005. Rainfall erosivity and variability in the Northern Ethiopian Highlands. *J. Hydrol.* 311, 172–187.
- Reynolds, M. and Tuberosa, R. 2008. Translational research impacting on crop productivity in drought-prone environments. *Curr. Opin. Plant Biol.* 11: 171–179.
- Sayre, K.D. 2004. Raised-bed cultivation. In: *Encyclopedia of Soil Science*. (R Lal Ed.) Marcel Dekker, Inc, New York.
- Sayre, K.D., Limón-Ortega, A. and Govaerts, B. 2005. Experiences with permanent bed planting systems CIMMYT/Mexico. In: *Evaluation and performance of permanent raised bed cropping systems in Asia, Australia and Mexico* (Roth, C.H., Fischer, R.A., Meisner, C.A. Eds.), Proceedings of a workshop held in Griffith, Australia. ACIAR Proceedings 121. ACIAR, Griffith, Australia, pp. 12-25.
- Scherr, S.J. and Yadav, Y. 1996. Land degradation in the developing world: implications for food, agriculture, and the environment to 2020. *Food, Agriculture, and the Environment Discussion Paper 14*, International Food Policy Research Institute, Washington, DC.
- Scopel, E. and Findeling, A. 2001. Conservation tillage impact on rainfed maize production in semi-arid zones of western Mexico. Importance of runoff reduction. In: *Conservation Agriculture a worldwide challenge. I World Congress on Conservation Agriculture Madrid*. XUL, Cordoba, Spain, pp. 179-184.
- Soil Survey Staff 2003. *Keys to Soil Taxonomy*, United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Washington, D.C., USA, pp. 332.
- Verhulst, N., Govaerts, B., Sayre, K.D., Deckers, J. and Dendooven, L. 2008. Using NDVI and soil quality analysis to assess influence of agronomic management on within-plot spatial variability and factors limiting production. *Plant Soil*, In Press, DOI 10.1007/s11104-008-9787-x.
- Weller, D.M., Raaijmakers, J.M., Gardener, B.B.M. and Thomashow, L.S. 2002. Microbial populations responsible for specific soil suppressiveness to plant pathogens. *Annual Review of Phytopathology* 40, 309-348.
- Zagal, E. and Persson J. 1994. Immobilization and remineralization of nitrate during glucose decomposition at four rates of nitrogen addition. *Soil Biol. Biochem.* 26, 1313-1321.

ASSESSING A SITE-SPECIFIC YIELD DETERMINATION AND FIELD-LEVEL TRACKING SYSTEM FOR ICEBERG LETTUCE PRODUCTION IN THE DESERT SOUTHWEST**Kurt D. Nolte**

Yuma County Cooperative Extension, University of Arizona, Yuma, AZ

Field packing into cardboard cartons is the current method for the handling and later transport of all leafy vegetables, including Iceberg lettuce. Field packing generally provides greater marketable yields because of reduced mechanical damage. And, for Iceberg and other lettuces, field efficiency, postharvest quality, and enhanced productivity necessitate the boxing and identification of quality attributes early in the supply chain, either in the field or packinghouse. Consumer demand for ever-increasing amounts of minimally processed fresh produce can run the risk of being contaminated by pathogens which can heighten the decay process and, in some cases, make consumers seriously ill. And, should an unfortunate issue involving field-level food safety arise, the ability to trace a contaminant back to a specific field location is critical to the rapid and effective understanding, management and control of the event. Viewed broadly, U.S. food producers have developed an enormous capacity to track the flow of food along the supply chain, though individual systems vary. Some traceability systems are deep, tracking food from the retailer back to the farm, while others extend back only to a key point in the production process.

In the fresh produce industry, the development of trace-back systems has been greatly influenced by the characteristics of the product, the harvesting infrastructure, and the current technology. Yet, the ability to georeference cut and packed lettuce back to a precise field location is still in its infancy. In this light, there is no current system which has the capability to trace carton-level packed Iceberg to an exact field location. Using RFID and integrated GPS technologies, we demonstrate the first field-level, georeferenced carton tracking system to the leafy green industry. The system is highlighted with the seamless traceability of produce from the retail shelf back to precise grower protocols, field locations, crop vigor status, field worker identification and weather conditions during growth and subsequent harvest. As the system will incorporate carton level GPS links, precise lettuce yield determinations can be made within a field and later integrated into other precision management strategies.