

FICHA TÉCNICA DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.)

Publicación Enero 2015



INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar, *Saccharum officinarum* L., es una gramínea originaria de Nueva Guinea; se cultivó por primera vez el Sureste Asiático y la India occidental. Alrededor de 327 A.C. era un cultivo importante en el subcontinente indio. Fue introducido en Egipto alrededor del 647 D.C. y alrededor de un siglo más tarde, a España (755 D.C.).

Desde entonces, el cultivo de la caña de azúcar se extendió a casi todas las regiones tropicales y sub-tropicales. En los viajes de Cristóbal Colón a América la trasladaron a las islas del Caribe y de ahí pasó a la parte continental americana, particularmente a la zona tropical. A México llegó en la época de la conquista (1522 aprox.), fue así como la primera plantación se llevó a cabo en el estado de Veracruz, instalándose posteriormente los primeros ingenios azucareros en las partes cálidas del país como parte de la colonización.

Distribución global de la Caña de Azúcar

Los países productores de caña de azúcar del mundo están ubicados entre los 36.7° de latitud norte y 31.0° al sur del ecuador extendiéndose desde zonas tropicales a subtropicales. (Figura 1).

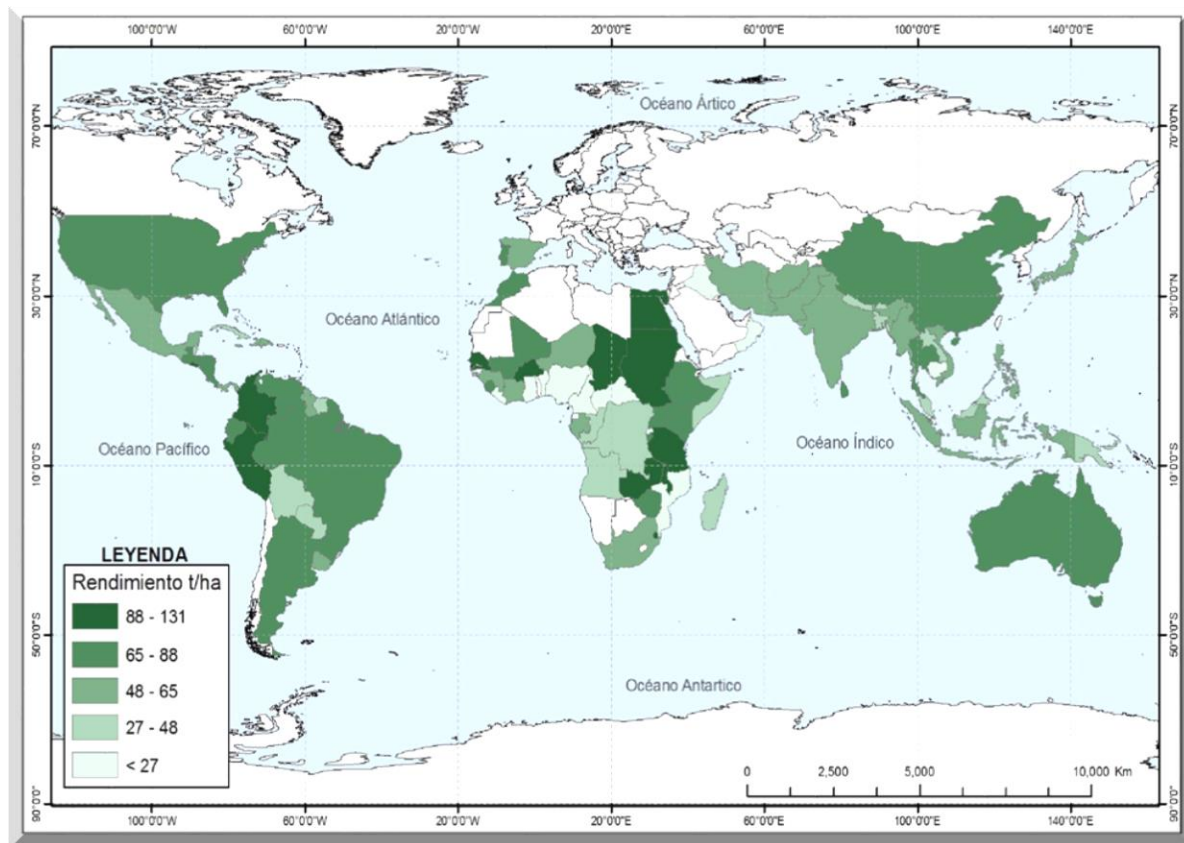


Figura 1. Países productores de caña de azúcar (FAOSTAT, 2011, Citado por Aguilar 2011).



Distribución Nacional de la Caña de Azúcar

En la Figura 2 se ubican los 15 estados productores de caña de azúcar en México con los porcentajes de participación correspondientes respecto a la producción nacional, destacando Veracruz como el estado con mayor volumen de producción y con el mayor número de ingenios azucareros con 22 de los 54 en el país.



Figura 2. Participación Estatal con respecto al Nacional de Caña de Azúcar Molida (Zafra 2013-14) (CONADESUCA, 2014).

USOS

Mediante el proceso de la fotosíntesis, la caña de azúcar produce carbohidratos, celulosa y otros materiales, siendo el más importante el jugo de sacarosa, el cual es extraído y cristalizado en los ingenios para formar azúcar y otras materias primas que producen una amplia gama de derivados, entre los que se encuentra el etanol, mismo que se ha constituido como una fuente de energía alternativa sustentable.

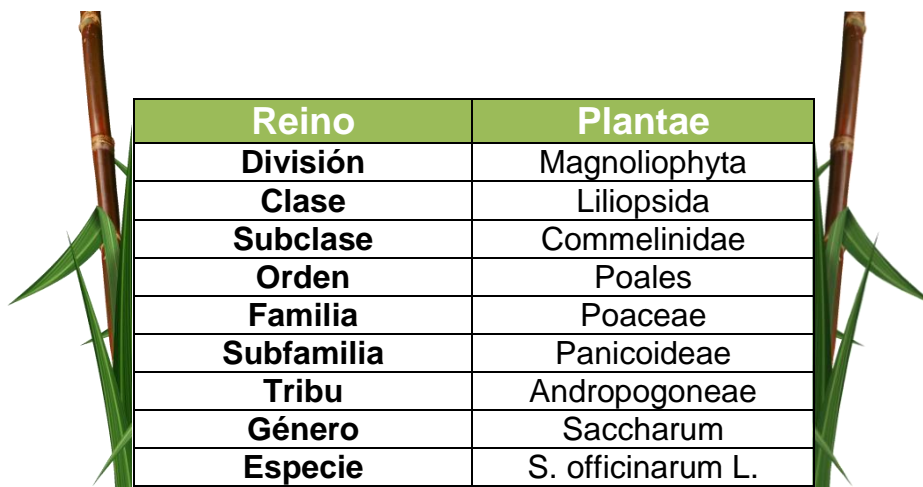
Los principales subproductos de la industria azucarera son la melaza (miel incristalizable y el bagazo (fibra).

La melaza es la materia prima para la producción de alcohol y por lo tanto un insumo fundamental para la industria alcoholera. El bagazo excedente está siendo utilizado como materia prima en la industria del papel, además, la co-generación de energía eléctrica usándolo como combustible en calderas para la mayoría de los ingenios azucareros. (Romero et al, 2012).



CLASIFICACIÓN BOTÁNICA

Botánicamente, la caña de azúcar tiene la siguiente clasificación:



Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Subclase	Commelinidae
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Subfamilia	Panicoideae
Tribu	Andropogoneae
Género	Saccharum
Especie	S. officinarum L.

ETAPAS FENOLÓGICAS DEL CULTIVO

El cultivo de caña de azúcar en su ciclo de plantilla tiene un desarrollo vegetativo de duración variable, dado a que depende de la variedad y de la influencia del clima. De la siembra a la cosecha el cultivo puede durar desde 14 y hasta 17 meses. En este periodo la caña de azúcar pasa por cuatro etapas: germinación y/o emergencia, amacollamiento o ahijamiento, rápido crecimiento y maduración (Figura 3). En tanto, el desarrollo de las socas (segundo corte de la caña) tiene una duración de 11 a 13 meses y se distinguen tres etapas: brotación y amacollamiento, rápido crecimiento y maduración. A continuación se describe cada una de estas etapas. (FIRA, 2010: 14)

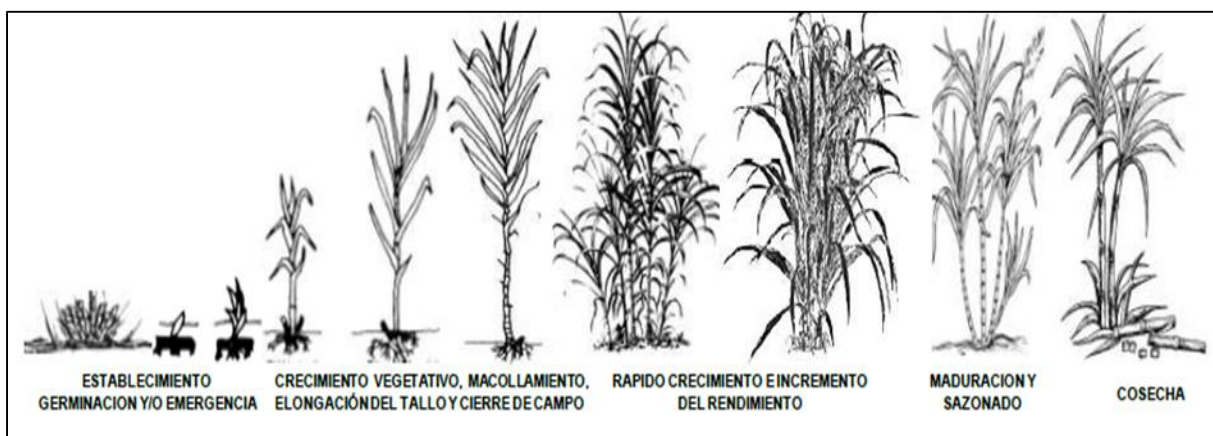


Figura 3. Etapas fenológicas del cultivo de caña de azúcar (Aguilar, 2011)



Germinación y emergencia

La germinación es el proceso que da paso de los órganos primordios¹ latentes en la yema al estado activo de crecimiento y desarrollo. Aunque la duración de esta etapa puede variar, inicia entre los 7 a 10 días después de la siembra. El crecimiento inicial se prolonga hasta los 35 días. Las temperaturas óptimas para la brotación oscilan entre los 24 a 37°C con disponibilidad de buena humedad en el suelo. (Ibid, 15)

El éxito de esta fase radica en la magnitud, ritmo y uniformidad de la emergencia (desarrollo inicial de la plántula), como también en el logro de una adecuada distribución espacial de los tallos primarios en el surco. Emergencias pobres y prolongadas afectarán el cumplimiento efectivo de las siguientes fases y finalmente la producción del cañaveral. (Romero et al, 2012)

Amacollamiento o ahijamiento

Esta etapa comienza alrededor de los 35 a 40 días después de la plantación y se caracteriza por el brote de varios tallos a partir de las articulaciones nodales que se encuentran en la base de los tallos primarios. Los factores que favorecen el ahijamiento son: la variedad, los días de larga duración y alta intensidad luminosa, una temperatura cercana a los 30°C es la óptima, buenas condiciones de humedad en el suelo y buen nivel de nitrógeno. (FIRA, 2010: 15)

Es una fase de gran importancia en la definición del rendimiento, ya que en su transcurso se establece el número potencial de órganos cosechables. Además, durante esta fase ocurre la generación del sistema radicular adventicio² y definitivo del cañaveral. (Romero et al, 2012)

Rápido crecimiento

En esta etapa se da la formación y elongación de la caña con rapidez. Así mismo, en esta fase también se presenta una gran acumulación de materia seca y la planta alcanza su máxima área foliar (hojas). Esta etapa puede prolongarse de acuerdo a la variedad, la temperatura y la humedad. Sin embargo, como referencia puede citarse que comienza alrededor de los 120 días después de la plantación y es a los 180 días aproximadamente queda definido la población de tallos (sólo sobreviven entre el 40 y el 50% de los hijuelos o retoños). En esta fase el cultivo requiere temperaturas sobre los 30°C, disponibilidad de nutrientes y buena condición de humedad. (FIRA, 2010)

¹ **Primordios**, se refiere a la primera fase reconocible en el desarrollo embrionario y en la diferenciación de un determinado órgano, tejido o estructura.

² **Raíces Adventicias**, aquellas que no provienen de la radícula del embrión, sino que se originan en cualquier otro lugar de la planta, como por ejemplo en tallos subterráneos y en raíces viejas, formando sistemas radicales fibrosos. Su duración varía, en algunos pastos perennes pueden durar varios años.



Como se mencionó, durante esta etapa se define la producción de caña al determinarse la población final de tallos a moler y, en gran medida, el peso fresco por tallo. Además, se inicia el almacenamiento de azúcar en los entrenudos que van completando su desarrollo. En esta fase el cultivo expresa la máxima respuesta a los factores ambientales y de manejo. (Romero et al, 2012).

Maduración

En esta etapa de desarrollo de la planta de caña se da el proceso de síntesis y acumulación de sacarosa en los tallos de la caña. La maduración de la caña es de la base al ápice (extremo superior) de la planta. Esta parte del desarrollo tiene una duración de unos 2 a 3 meses. Los factores que favorecen el almacenamiento de sacarosa son aquellos que inhiben el crecimiento de la planta, entre ellos la presencia de noches frescas (temperaturas de 18°C), días calurosos y secos. Aplicaciones elevadas o extemporáneas de nitrógeno tiene un efecto negativo porque retarda la maduración. (FIRA, 2010).

Los cultivares (variedades) constituyen un factor intrínseco de gran importancia en la maduración, registrándose entre ellos diferencias en la modalidad y en la producción de azúcar por hectárea. (Romero et al, 2012)

Cosecha

La faena (actividad) de la recolección se lleva a cabo entre los once y los dieciséis meses de la plantación, es decir, cuando los tallos dejan de desarrollarse, las hojas se marchitan y caen y la corteza de la caña se vuelve quebradiza. Se quema la plantación para eliminar las malezas que impiden el corte de la Caña, así como posibles plagas (ratas de campo, víboras, tuzas, etc.) que pudiesen causar daño a los cortadores. Actualmente existe maquinaria para realizar el corte de la caña, sin embargo, la mayor parte de la zafra o recolección sigue haciéndose manualmente. El instrumento usado para cortarla suele ser un machete grande de acero con hoja de unos 50 cm de longitud y 13 cm de anchura, un pequeño gancho en la parte posterior y empuñadura de madera. La caña se corta cerca del suelo al igual que por el extremo superior, cerca del último nudo maduro, ya cortadas se apilan a lo largo del campo, de donde se recogen a mano o a máquina para su transporte al Ingenio.

EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR Y SU RELACIÓN CON EL SISTEMA PLANTA-SUELO-AGUA-ATMÓSFERA

Los objetivos de alcanzar y mantener una óptima productividad a largo plazo se encuentran entre las principales motivaciones de la actividad agrícola y el cultivo de la caña de azúcar no debe ser la excepción. Una forma de mejorar los ingresos es mediante el incremento del rendimiento y calidad de la cosecha, lo cual es factible lograr si se emplean técnicas de manejo apropiadas y que a su vez incluya la menor inversión posible respecto a los costos inherentes a su operación.



El rendimiento de un cultivo es consecuencia de la interacción de múltiples variables cuyo tipo, magnitud e intensidad, son función de las características del marco físico y socioeconómico de cada terreno o sitio de interés. Por su origen, es factible agruparlas en tres diferentes factores.

a) Factores Humanos: Inciden ya sea de manera positiva o negativa sobre la productividad del sistema de producción y de forma directa o indirecta motivando o inhibiendo la inversión de recursos o aplicación de técnicas agrícolas. Como ejemplo tenemos la tenencia de la tierra, influencia de la política agrícola, tendencia del mercado, otorgamiento y liberación de créditos, disponibilidad de mano de obra, fluctuación de los precios de compra y venta de los productos, entre otros.

b) Factores Ambientales: Se refiere a la influencia de las condiciones de suelo y clima que repercuten sobre la calidad y cantidad de los productos a cosechar. Desde el punto de vista edáfico resaltan las propiedades relacionadas con la capacidad de almacenamiento de agua por el suelo (densidad aparente, velocidad de infiltración, porosidad, textura, etc.), susceptibilidad a la erosión (hídrica o eólica), ambiente químico (sales solubles, acidez, alcalinidad), entre otros. En el clima, destacan la distribución, intensidad y frecuencia de la lluvia, temperaturas extremas (mínimas y máximas), vientos, entre otros.

c) Factores Agronómicos: Las variables que influyen sobre la calidad y rendimiento del cultivo pueden modificarse hasta cierto punto mediante prácticas de manejo que se hayan generado, adaptado o adoptado a las condiciones específicas para el sitio de interés, entre ellas destacan el uso de variedades mejoradas, métodos de manejo del agua ya sea de riego o para conservar la humedad en secano (temporal), control fitosanitario (plagas, enfermedades y malezas), labranza, uso de insumos (químicos u orgánicos), fertilización, entre otros.

Las variables agrupadas en dichos factores son de naturaleza distinta, cuyo predominio estará sujeto a las condiciones edafoclimáticas que prevalezcan y la eficacia del manejo que se lleve a cabo para modificar el efecto negativo que pudiesen ocasionar sobre la rentabilidad de la caña de azúcar (Figura 4).

El conocimiento de las principales variables que afectan la productividad y rentabilidad de la caña de azúcar, permitirán proponer las mejores alternativas para solucionar los desórdenes nutrimentales y no nutrimentales que se presentan en el área de abasto de los Ingenios. (Colegio de Postgraduados, 2009: 8)



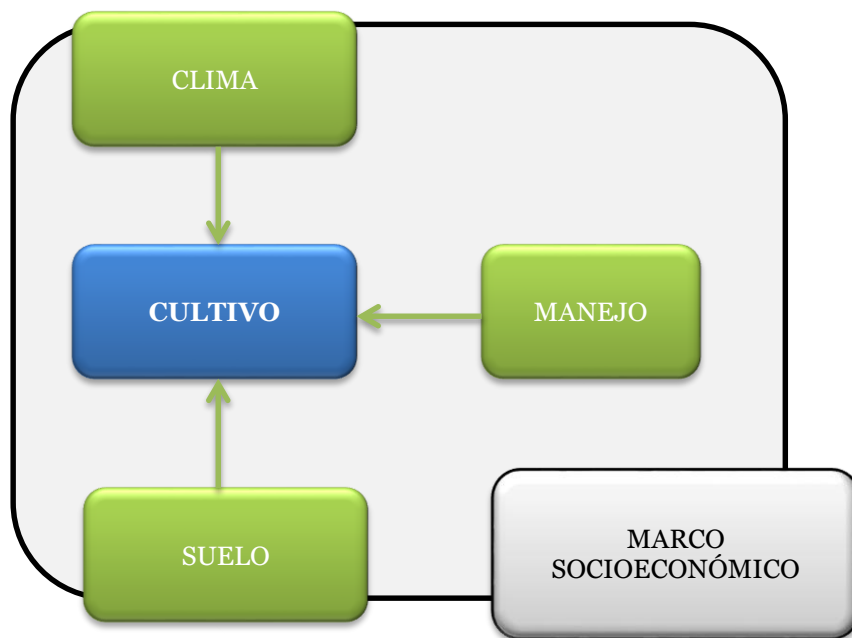


Figura 4. Esquema simplificado de los componentes del sistema de producción.

FACTORES HUMANOS

La agricultura es una actividad muy demandante en cuanto al tiempo que se invierte. Por ello, la dedicación que le brinde el productor al manejo de su terreno forma parte de los requisitos esenciales que deben reunirse para lograr un sistema de producción exitoso. (Ibíd, 9)

Aunque la producción de otros cultivos diferentes a la caña de azúcar suele no ser una alternativa viable para los agricultores que participan en el área de abasto del Ingenio, parte de ellos se ven obligados a tener otras actividades remuneradas, lo cual es un reflejo de la situación económica por la que se está atravesando y que las necesidades de alguna manera no se ven plenamente cubiertas con los recursos generados con su producción. (Ibid, 10)

La productividad del cultivo expresada como rendimiento obtenido por unidad de superficie, es la consecuencia de una serie de variables a las que el agricultor debió enfrentarse. Algunas dependen de los conocimientos, grado de atención, supervisión e inversión de tiempo y recursos económicos de parte del cañero, mientras que otras son totalmente ajenas e independientes a su voluntad y capacidad de intervención. Desde luego, para superar las vicisitudes que ocurren durante el ciclo agrícola, un aspecto importante es la capacidad de inversión para solucionar los problemas que se presenten. (Ibid, 11)

La fluctuación de los costos de producción depende de varios aspectos, entre ellos si son de origen nacional o de importación, materia prima o componentes



requeridos para su elaboración, marca del producto, disponibilidad en el mercado, entre muchos otros factores. Por ello, resulta indispensable hacer uso de los insumos de manera racional, aplicando lo que realmente se ocupa, en el tiempo oportuno y propiciando su empleo de la forma más eficiente que sea posible, lo cual, independientemente de su costo, ayuda a disminuir la inversión que se hace. (Ídem)

La problemática técnica inherente a la producción de la plantación, puede ser resuelta de manera eficaz a través de la aplicación de las mejores prácticas de manejo, lo cual es factible lograr mediante el apoyo de la asesoría técnica. De hecho, una fórmula que se practica con mucho éxito en países y regiones con gran capacidad de producción agrícola (Estados Unidos, Israel, Europa, entre otros) es la del trinomio productor-asesor-investigador, por lo que las plantaciones cañeras en México no deben ser la excepción, para promover un mayor beneficio en la rentabilidad del sistema de producción y sin provocar daños al ambiente. (Ibid, 12)

FACTORES AMBIENTALES

La caña es un cultivo tropical de larga duración, por lo que es factible que se desarrolle en cualquier época del año. Los componentes del clima que afectan de manera más significativa el crecimiento y desarrollo del cultivo son la humedad del suelo, la luminosidad y temperatura. Un ambiente soleado y caluroso prolongado, con alta incidencia de radiación solar y adecuada precipitación son condiciones propicias para un excelente crecimiento de la caña de azúcar. (Ibid, 13)

En lo que respecta a la fertilidad del suelo, se acepta internacionalmente que la planta de caña puede tolerar variaciones severas en la fertilidad y en el equilibrio nutricional, pese a lo cual los rendimientos agroindustriales decrecen en la medida en que los niveles de fertilidad son bajos o mal equilibrados. (Aguilar, 2011).

Lluvia

El medio es más apropiado para el cultivo cuando el régimen de lluvia es alrededor de 1500 mm, ya que hay que tomar en cuenta que la planta utiliza de 50 a 100 m³ de agua para producir una tonelada de caña (en peso fresco).

Además, si la humedad relativa está alrededor de 80% y abundante luminosidad durante el crecimiento vegetativo (>25 MJ/m²), estimulará un crecimiento acelerado de los tallos, por la formación y elongación de sus entrenudos, así como el ahijamiento. En contraste, durante la maduración se requiere un ambiente más bien seco (humedad relativa inferior a 65%), ya que las lluvias intensas disminuyen significativamente la calidad del jugo, propicia mayor crecimiento vegetativo, aumenta la humedad en el tejido vegetal y dificulta las maniobras durante la cosecha. (Colegio de Postgraduados, 2009: 13)

La disponibilidad de agua es muy importante para la caña de azúcar puesto que los períodos de déficit o exceso, alteran significativamente el rendimiento del



cultivo. En la Figura 5 se presenta la fluctuación promedio de la precipitación pluvial total mensual y temperatura (mínima y máxima) en las áreas de abasto de los diferentes ingenios azucareros del país. (Colegio de Postgraduados, 2008: 10)

Respecto al período de precipitación pluvial, la distribución de la lluvia es muy similar en todas las áreas de abasto de los ingenios azucareros del país, el cual suele iniciar a partir de mayo y terminar en octubre, ya que durante dicho lapso se capta la mayor parte del volumen de lluvia en el año, mientras que entre noviembre y abril sólo se recibe alrededor del 10% del total anual. La diferencia más bien está en la cantidad de lluvia y su intensidad puesto que hay regiones donde la precipitación pluvial es menor a 700 mm y en contraste, en otras llueve más de 2500 mm, llegando incluso a valores superiores a 3000 mm, en las partes altas (zonas montañosas) del área de influencia de algunos ingenios.

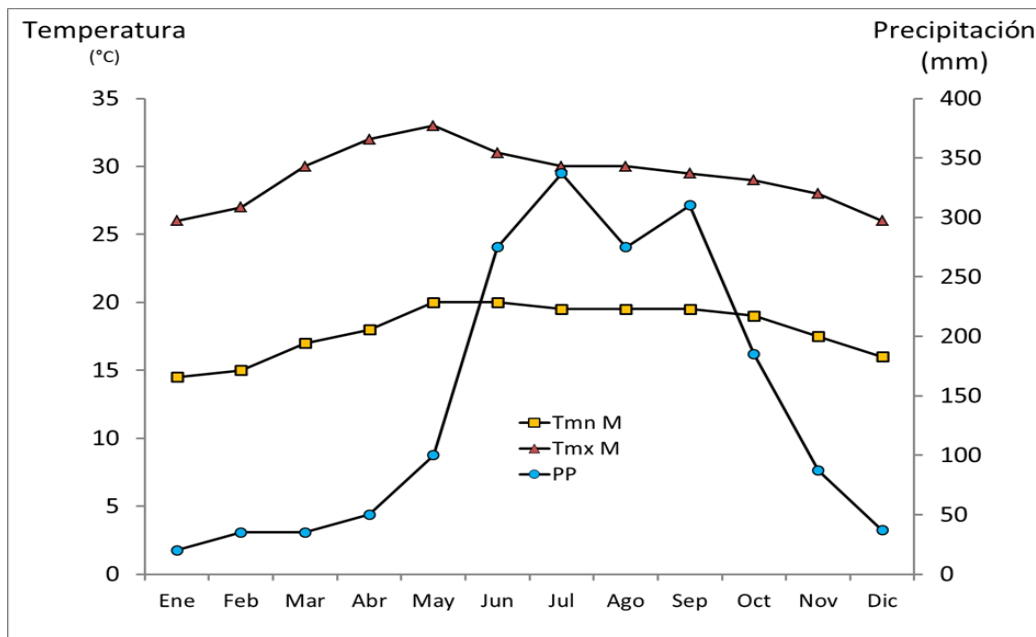


Figura 5. Promedio mensual de la lluvia total y temperatura (mínima y máxima) en las áreas de abasto de los diferentes ingenios azucareros del país.

En el Cuadro 1 se presenta la distribución de frecuencia de diferentes rangos de precipitación pluvial en los ingenios azucareros del país. Los meses de julio y septiembre suelen ser los meses más lluviosos, con un descenso notorio de la precipitación durante agosto en ciertas regiones. Lo anterior da idea de lo importante que es la planeación de las plantaciones de caña, esto es, sincronizar el crecimiento y desarrollo del cultivo de acuerdo con las condiciones climáticas para que la maduración y cosecha coincidan con el período de estiaje y que las etapas críticas de requerimiento hídrico del cultivo (desde el inicio de la formación de tallos hasta la floración) concuerden con la etapa lluviosa.

Si hay un abastecimiento de agua apropiado, ya sea por lluvia o riego, la inducción de la floración se puede relacionar con el fotoperíodo. A partir de la floración se detiene el crecimiento de los tallos y aumenta durante un período breve su



concentración de sacarosa; sin embargo, si se prolonga el ciclo de la caña de azúcar después de este momento, disminuirá la calidad de la cosecha por el incremento en su contenido de fibra. En la caña los azúcares se distribuyen por la planta principalmente en forma de sacarosa, así como la glucosa y la fructuosa las cuales se transformarán posteriormente en sacarosa. (Ibid, 12)

Rango de Lluvia mm	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Porcentaje del promedio de la precipitación pluvial total mensual												
> 300	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	35.0	48.0	35.0	55.0	13.0	1.0	1.0
200-300	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	37.0	34.0	39.0	36.0	21.0	4.0	0.0
100-200	3.0	3.0	1.0	5.0	32.0	28.0	17.0	25.0	9.0	41.0	23.0	9.0
50-100	17.0	17.0	20.0	29.0	46.0	0.0	1.0	1.0	0.0	24.0	34.0	35.0
25-50	43.0	33.0	32.0	31.0	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	31.0	27.0
< 25	36.0	47.0	47.0	34.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	28.0
Σ mensual	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Cuadro 1. Distribución de frecuencia de diferentes rangos de precipitación pluvial total mensual en los ingenios azucareros del país.

El flujo de estos compuestos desciende desde las hojas hasta las raíces, para subir nuevamente hacia las hojas y tallos jóvenes. El movimiento descendente es más rápido que el de sentido contrario, lo que propicia una mayor acumulación de sacarosa en los entrenudos y la parte basal del tallo. Por las razones anteriores, se suelen aplicar madurantes para reducir el crecimiento de los tallos pero sin afectar la tasa fotosintética para propiciar una mayor acumulación de sacarosa. La disponibilidad de agua es muy importante para la caña de azúcar, de tal manera que los períodos de déficit o exceso, alteran significativamente el rendimiento del cultivo. Cuando hay estrés hídrico en los últimos dos meses del ciclo, se frena el crecimiento de los tallos y aumenta el contenido de sacarosa, pero bajo condiciones de exceso de humedad (anegamiento) prolongado, el crecimiento se detiene afectando severamente el rendimiento. (Ídem)

Temperatura

Después de las condiciones de humedad del suelo, la temperatura es uno de los factores que mejor se asocia con el crecimiento de la plantación. Cuando la temperatura ambiental es menor a 25°C o mayor a 38°C, afecta negativamente el rebrote o germinación de las cañas. Las temperaturas máximas superiores a esta última reducen la producción de materia seca por disminuir la tasa fotosintética e incrementar la respiración. Si acontecen temperaturas altas durante la maduración, se altera la concentración de sacarosa, cuya molécula se disocia en fructuosa y glucosa, disminuyendo la acumulación de azúcares.



La caña de azúcar depende de la tasa fotosintética para la formación de sacarosa, cuya temperatura óptima en la hoja es alrededor de 34°C, pero como intercepta de manera directa la radiación solar, este valor es mayor a la que se registra como temperatura del aire. Por ello, se fija entre 26°C y 30°C como rango óptimo para el crecimiento de la caña. Si durante cierta época del año la temperatura media es menor a 21°C, se retarda el crecimiento de los tallos y aumenta la concentración de sacarosa, lo cual también ocurre si la oscilación entre las temperaturas medias diurnas y nocturnas es mayor a 8°C, siempre y cuando no se presenten factores que limiten el rendimiento. (Ibid, 10)

Rango de Temperatura (°C)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Porcentaje de la temperatura promedio mínima mensual												
20 a 25	1.4	1.9	5.2	46	68.4	71.4	63.4	65.9	64.5	44.9	7.5	2.3
15 a 20	53.5	60.6	73.7	43.2	24.5	21.1	28.6	26.2	27.6	42.5	71.8	64.5
10 a 15	37.6	31.9	18.3	8.9	5.2	6.1	6.1	6.1	6.1	10.7	17.4	29
5 a 10	5.6	3.8	1.9	1.9	1.9	1.4	1.9	1.8	1.8	1	2.4	2.3
<5	1.9	1.8	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.9	1.9
Σ mensual	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Porcentaje de la temperatura promedio máxima mensual												
30 a 40	9.9	12.2	55.9	80.8	84	79.8	74.2	77.1	68.7	41.6	13.6	9.8
25 a 30	57.3	67.1	36.6	15	13.7	16	20.2	17.8	26.2	49.1	71.4	64.5
20 a 25	27.7	16.9	5.6	3.3	1.4	3.3	3.8	3.3	3.3	7.5	12.7	22.4
15 a 20	3.8	2.9	1.9	0.9	0.9	0.9	1.8	1.8	1.8	1.8	2.3	1.9
<15	1.3	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4
Σ mensual	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Cuadro 2. Distribución de frecuencias de diferentes rangos de temperatura mínima y máxima mensual en los ingenios azucareros del país.

Las áreas de abasto de los distintos ingenios azucareros del país tienen climas muy variados. En 1.9% de los casos la temperatura mínima mensual llega incluso a valores menores a 5°C, lo que puede causar daños al cultivo y en situaciones extremas provoca la pérdida total de la producción. Desde luego esto no es generalizable, ya que como se puede apreciar en el Cuadro 2, más de 90% de la temperatura mínima mensual en los ingenios fluctúa entre 10°C y 20°C durante los meses más fríos del año, siendo el rango de temperatura más frecuente entre 15°C y 20°C.

En contraste, la temperatura máxima promedio mensual se ubica en el rango de los 20°C y 30°C durante el invierno (diciembre a febrero), lo que aumenta a más de 30°C sobre todo entre abril y septiembre que es el período más caluroso en todas las regiones. (Ibid, 12)



Radiación solar/Luz solar

Indistintamente de la temperatura, las hojas superiores interceptan más del 70% de la radiación solar, por lo que el sombreo que se produce en las hojas inferiores hace que disminuya su producción de fotosintatos.

Por esta razón, es muy importante tomar en cuenta la densidad de población para fomentar una mayor intercepción de radiación solar, lo que mantendrá por más tiempo las hojas verdes en la planta y al prolongar su actividad fotosintética, se propiciará una mejor y mayor acumulación de azúcares. (Colegio de Postgraduados, 2009: 13)

La tasa fotosintética de la caña se incrementa en zonas con mayor concentración de CO₂ atmosférico, aunque este efecto pudiese alterarse por la velocidad del viento y la conductancia estomática, la cual a su vez depende de la intensidad de la luz y las condiciones hídricas en el sistema suelo-planta-atmósfera. (Colegio de Postgraduados, 2008: 12)

De lo anterior se deduce que el proceso fotosintético será más intenso mientras mayor luminosidad haya en toda la planta y que suele ocurrir durante los primeros cinco meses del crecimiento de la caña de azúcar, siempre y cuando no haya restricciones hídricas por déficit o exceso y se cuente con una nutrición apropiada, de lo contrario la producción de biomasa disminuirá y con ello el rendimiento. Cuando todo va bien, durante la etapa de máximo crecimiento puede haber un aumento en los tallos hasta de 2 y 3 cm diarios, según la variedad. (Ídem)

Factores Edáficos

El tiempo que transcurre entre una plantación y otra puede ser de cinco años o más, por lo que cierto tipo de labores en el suelo se dificultan considerablemente y que en el largo plazo afectan la estabilidad del cañaveral. Un factor decisivo para la conservación del suelo es el mantenimiento de sus reservas orgánicas, puesto que éstas al asociarse con los coloides inorgánicos (arcillas) forman agregados que le confieren al terreno una serie de condiciones que propician una mayor productividad, como es el mejoramiento de su capacidad de almacenamiento de agua, resistencia contra el proceso erosivo, facilitar la infiltración de los excesos de agua, entre otros factores. (Colegio de Postgraduados, 2009: 17)

Una forma de manifestar los efectos ocasionados por la pérdida de las reservas orgánicas edáficas es a través de la percepción del empobrecimiento del suelo, ya que los síntomas se aprecian como si el suelo se hubiese “agotado”. (Ibid, 18)

Otro efecto de la pérdida de las reservas orgánicas edáficas se manifiesta en la cantidad de agua que se pierde o permanece en el terreno, según sea el caso. Si no hay suficientes reservas orgánicas, el drenaje se hace mucho más lento por la disminución del espacio poroso efectivo, lo cual se acentúa en terrenos arcillosos. (Ídem)



Las características de crecimiento de la caña de azúcar hacen que tenga requerimientos hídricos mayores a la mayoría de los cultivos, aunque a la vez es resistente a la sequía. Entre 50% y 70% de las raíces se distribuye en los primeros 30 cm de profundidad, por lo que es la zona donde mayor intensidad de absorción ocurre (de agua y nutrientes). Si las condiciones del terreno son de humedad restringida, la raíz tiende a crecer más en profundidad buscando el acceso al agua. Esto se refleja en el menor crecimiento de la biomasa radical y en menor proporción a otras partes de la planta, afectando el rendimiento de la caña. (Ibid, 19)

Los suelos del área de abasto de los ingenios azucareros son de muy diverso origen y presentan diferencias marcadas en cuanto a sus condiciones físicas y químicas. (Colegio de Postgraduados, 2008: 14)

En la Figura 6 se presenta como un primer diagnóstico las principales variables detectadas que están asociadas a desórdenes no nutrimentales. (Ídem)

Las plantaciones se ubican en distintas posiciones topográficas puesto que los terrenos de cultivo se ubican desde zonas planas hasta con pendientes pronunciadas. La intensidad, frecuencia, distribución y cantidad de la lluvia captada origina diversos problemas cuyo grado de afectación depende de las características de cada suelo (erosión, acidez, acumulación de sales, lixiviación de nutrientes y anegamiento prolongado, entre otros). La variación de algunos indicadores físicos y químicos del ambiente edáfico se muestra en el Cuadro 3, los cuales tienen relación directa o indirecta con la captación de agua en las regiones (lluvia y capacidad de almacenamiento hídrico del suelo). (Ibid, 15)

El pH indica problemas potenciales para la producción de la caña de azúcar, ya sea por presencia de algunos elementos en concentraciones tóxicas como el aluminio, hierro y manganeso en ambientes muy ácidos ($\text{pH} < 5.5$) o disminución de la disponibilidad algunos nutrientes en condiciones alcalinas ($\text{pH} > 7.5$), como es el caso del hierro, manganeso, zinc y cobre. (Ídem)





Figura 6. Algunas de las principales variables que ocasionan desórdenes no nutrimentales a las plantaciones de caña de azúcar en las áreas de abasto de los ingenios azucareros del país.

*CE	Frec.	pH	Frec.	*MO	Frec.	*A Int.	Frec.	Arcilla	Frec.	*IRA	Frec.
dS m-1	%		%	%	%	cMol kg-1	%	%	%	%	%
<1.0	91.3	<4.5	6.5	<1.0	5.5	0.0	65.1	<10	2.2	≤1	77.8
1.0-	5.9	4.6-	16.6	1.0-	17.7	0.01-	11.6	10-20	12.2	2	4.0
2.0		5.5		2.0		0.10					
2.1-	2.0	5.6-	21.9	2.1-	27.0	0.11-	6.2	21-30	18.7	3	7.2
3.0		6.5		3.0		0.20					
3.1-	0.7	6.6-	18.6	3.1-	37.2	0.21-	4.4	31-40	20.8	4	6.2
5.0		7.5		5.0		0.40					
>5.1	0.1	>7.6	36.4	>5.1	12.6	>0.41	12.6	>41	46.0	5	4.9

*CE= conductividad eléctrica; MO= materia orgánica; A Int.=acidez intercambiable; IRA= índice del riesgo de tener condiciones de anegamiento prolongado.

Cuadro 3. Indicadores físicos y químicos de la condición edáfica en las áreas de abasto de los ingenios azucareros del país.

Las áreas con problemas de suelos salinos se localizan en pequeñas regiones en varios de los ingenios azucareros, lo cual es más frecuente en sitios donde predominan terrenos alcalinos y calcáreos. Al respecto, es importante aclarar que la concentración de sales solubles en la solución del suelo, aún no es un factor determinante del rendimiento de la caña de azúcar en la gran mayoría de los predios; sin embargo, hay algunos sitios en que si avanza este problema, se afectará de manera importante la producción de las plantaciones. (Ídem)



Con relación a los suelos, en el campo cañero en México hay tres categorías que son relevantes y que inciden en la producción de caña: i) la topografía, ii) el drenaje y iii) la pedregosidad, tal y como podemos observar en el Cuadro 4. (CONADESUCA, 2010: 9)

CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS		CATEGORÍA	
Topografía	71% plana	25% ondulada	4% ladera
Drenaje superficial	47% buen drenaje	32% regular	21% malo
Pedregosidad	7% alta	19% baja	75% nula

Cuadro 4. Características de los suelos en las regiones cañeras (resultados de 45 ingenios).

FACTORES AGRONÓMICOS

Las condiciones del ambiente pueden no ser las apropiadas para el óptimo desarrollo del cultivo, como son las temperaturas extremas, el exceso de agua, estrés hídrico, vientos, entre otros, o bien, es viable que sean variables de manejo las que afecten su rendimiento. El manejo agronómico incluye el riego, la nutrición, la sanidad vegetal y el seguimiento del desarrollo vegetativo. Todas las variables consideradas en el manejo forman parte de lo que aquí denominamos “factores agronómicos”. (Colegio de Postgraduados, 2008: 9)

Plagas y enfermedades

Uno de los problemas bióticos que pueden afectar de manera recurrente a las plantaciones es la presencia de malezas, plagas y enfermedades. En ocasiones, la presencia de plagas y enfermedades pueden ser el síntoma y no la causa de los problemas fitosanitarios, ya que estos organismos patógenos pueden estar alojados en las malezas. La caña reúne una serie de características que hacen propicio el ambiente para el desarrollo de vegetación nociva, como son el lento crecimiento inicial del cultivo (pueden pasar 2.5 meses hasta que se logre que el dosel tenga una cobertura total del terreno y hasta 4 meses para que el cultivo ya se encuentre libre de malas hierbas), poco laboreo durante las socas, suficiente agua y nutrientes. La maleza compite con el cultivo por agua y nutrientes, además de ser hospederas de una serie de patógenos (plagas y enfermedades) que infestan a la caña. Para resolver esto se puede implementar un programa de control químico, tomando en cuenta la época de aplicación más adecuada y la selección de variedades adaptadas a la zona. De hecho, la variedad es el eje principal de la producción, ya que por sus características, permite sortear de mejor manera las condiciones ambientales que pudiesen tener efectos nocivos o negativos sobre la producción del cultivo. (Colegio de Postgraduados, 2009: 15)

Las plagas más importantes en el campo cañero en México son la rata cañera, el gusano barrenador y la mosca pinta (salivazo). Las enfermedades de mayor relevancia económica son el secamiento del tallo, el carbón y la roya.



La información anterior corresponde a una muestra de 27 ingenios. En los últimos años se ha extendido, con diversa intensidad el gusano barrenador. Éste, ha adquirido un carácter endémico y los mejores resultados para su control se están dando en donde se están aplicando sistemas de control biológico. El caso de la mosca pinta o salivazo es similar, el manejo integrado de plagas es la estrategia que mejores resultados está dando para reducir el daño económico de las plagas. (CONADESUCA, 2010: 12)

Aunque no se ha cuantificado en forma precisa, a nivel nacional, la superficie afectada por el carbón y la roya, estas enfermedades ofrecen un peligro potencial por lo que es indispensable que aumente la incorporación de variedades que sean resistentes a ambas enfermedades. (Ídem)

Variedades

La madurez de la caña depende de su concentración de sacarosa y pureza del jugo de caña. El tiempo que tarda la planta en alcanzar los valores estipulados ocurre a los 12, 14 ó 16 meses de edad, según la variedad y de ahí que se les denomine como tempranas, intermedias o tardías, respectivamente. Lo anterior es fundamental considerarlo para optimizar el frente de corte y disminuir los tiempos que transcurren desde la cosecha hasta la molienda, lo que también repercutirá sobre la calidad y cantidad de azúcar producida. Además, entre las condiciones más relevantes que deben tomarse en cuenta para la elección de una variedad está su resistencia a las condiciones adversas del marco físico de la región (suelo y clima), así como de las plagas y enfermedades, además de su capacidad de rendimiento y calidad de jugo. Dado el hábito de crecimiento de la caña, es común que se permita el rebrote de la caña durante varios ciclos. Con esta práctica de manejo se ahorran una serie de actividades y se abaten costos de producción, aunque también hay que tomar en cuenta la disminución de los rendimientos a través de los ciclos. (Colegio de Postgraduados, 2009: 16)

Riego

Una escasa cantidad de reservas orgánicas edáficas propicia también una pobre acumulación de agua disponible para el cultivo, por lo que en zonas irrigadas es necesario incrementar el número de riegos para abastecer al cultivo. Cuando se cuenta con riego, es fundamental saber aplicar las láminas de agua en cantidad, frecuencia y oportunidad. Cuando no se tiene manera de tener un abasto controlado de agua, se afecta de manera negativa el rendimiento y producción de azúcar, aunque es importante mencionar que el estrés hídrico moderado durante la maduración del cultivo (mes a mes y medio antes de la cosecha) retarda la floración y aumenta la producción. Los riegos o lluvia excesiva durante la etapa vegetativa causan problemas en la plantación, porque disminuye la tasa de difusión del oxígeno y afectan la absorción de nutrientes. (Ibid, 20)



Nutrición

La correcta y oportuna aplicación de fertilizantes es una práctica agrícola que brinda una mejor expectativa sobre la calidad y cantidad de los productos a cosechar; sin embargo, si no se realiza eficientemente afectará de manera negativa a la producción y a los ingresos del productor. La práctica de la fertilización tiene como objetivo primordial aportar aquellos nutrientes esenciales para el cultivo, que el suelo no los provee en la cantidad adecuada y en el tiempo oportuno en que son demandadas durante el ciclo de producción. En condiciones normales, habrá respuesta a la aplicación de fertilizantes cuando la demanda del cultivo sea mayor a la que el suelo pueda aportarle (oferta del suelo). En contraste, si su demanda es satisfecha con la oferta de nutrientes del suelo, la adición de fertilizantes no incrementará la calidad de la producción ni la cantidad de azúcar que se pueda extraer, indistintamente del nutriente que se trate. (Colegio de Postgraduados, 2008: 8)

Otras causas probables por las que el cultivo no responde a la aplicación de fertilizantes se atribuyen a que no se adiciona la dosis de nutrientes requerida en el momento oportuno, que no sea el insumo apropiado o que existan variables ajenas a la nutrición que restrinjan el desarrollo del cultivo y si este es el caso, la adición de nutrientes no tendrá un impacto favorable sobre la productividad agrícola. Al respecto, cabe reiterar que la aplicación de fertilizantes promoverá un mayor rendimiento y calidad de la cosecha, sólo cuando la disponibilidad de los nutrientes en el suelo sea el factor más restrictivo de la producción; de otra manera su efecto positivo será mínimo o nulo.

Cualquier método que se emplee para generar recomendaciones de aplicación de fertilizantes parte de dos premisas: a) existe un déficit nutrimental (la demanda es mayor que la oferta de nutrientes) que se corrige a través de la adición de fertilizantes; b) los nutrientes que se liberen de los insumos aplicados serán aprovechados por el cultivo con una determinada eficiencia, la cual depende de la interacción nutriente-suelo-cultivo-ambiente. (Ibid, 9)

La diferencia entre los múltiples procedimientos radica en cómo se consideran los parámetros involucrados (demanda del cultivo, oferta del suelo, eficiencia de recuperación de los fertilizantes), lo cual puede hacerse de manera directa o indirecta, explícita o implícita, así como la precisión de su cuantificación. Las condiciones de suelo, clima y manejo que predominan en las áreas de abasto de los ingenios azucareros del país, alteran la respuesta de la caña de azúcar a la aplicación de fertilizantes y son ajenos a los desórdenes de tipo nutrimental. Por ello, una vez cuantificado su impacto, deben superarse para que la fertilización tenga el efecto esperado para optimizar la productividad y la rentabilidad de las plantaciones de caña de azúcar. (Ídem)



CONSIDERACIONES FINALES

El cultivo de la Caña de Azúcar en México data de siglos de antigüedad, habiendo trascendido hasta nuestros días dada su importancia, la cual radica en ser la materia prima de una de las agroindustrias de mayor relevancia en nuestro país, al producir más de 60 millones de toneladas de caña y casi 7 millones de toneladas de azúcar para la zafra 2012-13.

La Agroindustria Azucarera es de suma importancia para la economía del país, al constituir una fuente significativa de empleos directos e indirectos, con más de dos millones de empleos generados. Esta mano de obra es empleada para la ejecución de labores de siembra, cosecha y transporte e influye a su vez en las actividades propias del sector terciario de la economía.

En el mismo tenor, la caña de azúcar es el único cultivo en México que tiene una Legislación propia, la Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (LDSCA) y un organismo especializado (paraestatal) que atiende y coordina diversas actividades para el desarrollo del sector agroindustrial, el Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar, CONADESUCA.

BIBLIOGRAFÍA

Cifras de cierre de la zafra 2013-2014. Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar, CONADESUCA, 2014.

Caña de azúcar. Panorama de la Agroindustria Nacional. Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar, CONADESUCA, 2010.

Aguilar, R. N. 2011. Competitividad de la Agroindustria Azucarera de la Huasteca México. Tesis de doctorado en ciencias ambientales. Facultad de Ciencias Químicas, Ingeniería y Medicina. Programas Multidisciplinarios de Posgrado en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Colegio de Postgraduados. 2008. Manejo Sustentable de la Fertilidad del Suelo y de la Nutrición de la Caña de Azúcar.

Colegio de Postgraduados. 2009. Informe Final Diagnóstico, modelaje y recomendaciones de la fertilidad de suelos del campo cañero. Etapa II. Ingenio Atencingo S.A. de C.V.

FIRA. Producción Sostenible de Caña de Azúcar en México en Boletín Informativo, Nueva Época, Núm. 11, Año 2010.

Romero, E. R., J. Scandalariis, P. A. Digonzelli, M. F. Leggio Neme, J. A. Giardina, J. Fernández de Ullivarri, S. D. Casen, M. J. Tonatto y L. G. P. Alonso. Página Web de NETAFIM, <http://www.sugarcane crops.com/introduction/>

