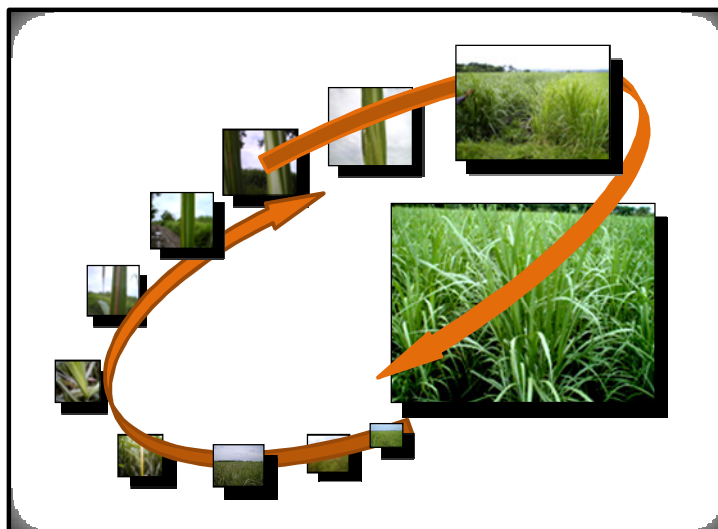


PRONAC Sistema Nacional de Información de la Agroindustria Azucarera SIAZUCAR



**GOBIERNO
FEDERAL**

SAGARPA



Informe Final

Diagnóstico, modelaje y recomendaciones
de la fertilidad de suelos del campo cañero
Etapa II

**Ingenio
Mahuixtlán, S.A. de C.V.
Agosto 2009**



www.sagarpa.gob.mx



Directorio

SAGARPA

Ing. Alberto Cárdenas Jiménez
Secretario de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

Ing. Francisco López Tostado
Subsecretario de Agricultura

Ing. José Luis López Díaz Barriga
Oficial Mayor

Ing. Luciano Vidal García
Director General Adjunto de Desarrollo Agrícola

Ing. Simón Treviño Alcántara
Director General de Fomento a la Agricultura

Ing. Eduardo Benítez Paulín
Director General de Vinculación y Desarrollo Tecnológico

SIAP

Ing. Juan Manuel Emilio Cedrún Vázquez
Director General del SIAP

Lic. María Guadalupe Marquina Sánchez
Directora de Administración y Atención a Usuarios

Act. Angélica I. López López
Directora de Sistemas de Información

Lic. María Soledad Cruz Delgado
Directora de Integración de Información y Estadística

Act. Raúl Bolaños Lozano
Director de Encuestas y Geografía

Lic. Francisco Barrera Mendoza
Director de Coordinación Interinstitucional

Ing. Miguel García Valerio
Director de Estadística Tecnológica y de Telecomunicaciones

Lic. César Ulises Miramontes Piña
Director de Indicadores y Modelos

Geógrafo Leopoldo Zamudio Gutiérrez
Responsable de Información Geográfica

Colegio de Postgraduados

Dr. Félix Valerio González Cossío
Director General

Dr. Francisco Gavi Reyes
Secretario Académico

Dr. J. Jesús Vargas Hernández
Director Campus Montecillo

Dr. Enrique Mejía Sáenz
Programa de Hidrociencias

Equipo Técnico

Coordinación General
Dr. Enrique Mejía Sáenz
Dr. Francisco Gavi Reyes

Coordinación Técnica
Dr. Arturo Galvis Spinola
Dra. Teresa Marcela Hernández Mendoza

Coordinación de Laboratorio
Dr. Héctor Flores Magdaleno
M.C. María del Carmen Olmedo Bolaños

Coordinación Logística de Campo
Prof. Luis Torres Cedillo
Dra. María Eugenia Miranda Martínez
M.C. Elibeth Torres Benites

Asesores
Dr. Jesús Martínez Hernández
Dr. Héctor Debernardi Delavequia
Dr. Enrique Palacios Vélez
Dr. Oscar Luis Palacios Vélez
Dr. Lauro Bucio Alanís
Dr. Apolonio Valdés Balero

Índice

I. Introducción.....	7
II. El sistema de producción de la caña de azúcar y su relación con el sistema planta-suelo-agua-atmósfera	8
2.1 Aspectos socioeconómicos y su relación con la productividad de la caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio	9
2.2 Efecto del marco físico y manejo agronómico sobre la productividad de la caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio	13
III. Situación actual de la nutrición de la caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio	22
3.1 Manejo de la fertilización actual en el área cañera	22
3.2 Diagnóstico nutrimental de la caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio	27
3.2.1. Procedimiento del muestreo foliar	27
3.2.2. Resultados del análisis foliar de la caña de azúcar	30
IV. Fertilización: situación actual y propuesta de manejo para la caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio	35
4.1 Extracción nutrimental de la caña de azúcar.....	35
4.2 Dinámica nutrimental	40
4.2.1. Nitrógeno	40
4.2.2. Aniones.....	42
4.2.3. Cationes	45
4.3 Eficiencia de recuperación de los fertilizantes.....	47
4.4 Recomendaciones sobre fertilización y comentarios finales	53
V. Referencias bibliográficas	56
VI. Anexos	58

Lista de Cuadros y Figuras

Núm.	Cuadros	Página
1	Dedicación del agricultor a la producción de caña de azúcar (porcentaje de las observaciones).....	9
2	¿Le gustaría dejar las siembras y dedicarse a otra actividad que le brinde mayor satisfacción?	10
3	¿Cómo califica la productividad que tiene en su plantación de caña de azúcar?	10
4	¿Qué rubro o aspecto considera sea más costoso para su producción de caña de azúcar?	11
5	¿Cuenta con suficiente disponibilidad de mano de obra para las labores y cosecha de la caña de azúcar?	12
6	Aspectos relacionados con la asesoría técnica para la producción de la caña de azúcar (Valores expresados en porcentaje de las observaciones)..	12
7	Problemática detectada por los agricultores en relación con la producción en sus plantaciones de caña de azúcar (Porcentaje de las observaciones)..	14
8	Percepción de la problemática relacionada con la fitosanidad (plagas, enfermedades y malezas) del cultivo de la caña de azúcar.....	15
9	¿Cómo seleccionó la variedad de caña de azúcar que actualmente cultiva en su terreno?	16
10	¿Cuántos ciclos transcurren sin que considere la necesidad de resembrar?	16
11	Aplicación de enmiendas de tipo orgánico al terreno agrícola (porcentaje de las observaciones)	17
12	¿Su terreno es de difícil manejo?	18
13	¿El suelo de su terreno se ha empobrecido?.....	18
14	Percepción de la problemática relacionada con el exceso de agua en la plantación de caña de azúcar (porcentaje de las observaciones).....	19
15	¿Es común que le falte agua a su cultivo?.....	19
16	Aspectos relacionados con el uso del agua de riego en las plantaciones de caña de azúcar (porcentaje de las observaciones).....	20
17	Aspectos relacionados con el uso de fertilizantes en las plantaciones de caña de azúcar (porcentaje de las observaciones).....	22
18	¿Aplica fertilizantes al follaje de la caña?.....	23
19	Distribución de frecuencia de la cantidad de nutrientes aplicados (en kg ha ⁻¹) como fertilizante.....	23
20	Distribución de la aplicación de los fertilizantes a través del ciclo de producción de la caña de azúcar.....	24
21	Tipo de fertilizante empleado en la distribución de la dosis para la caña de azúcar.....	25
22	Distribución de frecuencia (DF) de la eficiencia de las aplicaciones de nutrientes en el área de abasto del Ingenio.....	27

Continúa Lista de Cuadros y Figuras

Núm.	Cuadros	Página
23	Distribución de frecuencia (DF) de la condición nutrimental de N, P y K en las plantaciones de caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio.....	30
24	Distribución de frecuencia (DF) de la condición nutrimental de Ca, Mg y S en las plantaciones de caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio.....	32
25	Distribución de frecuencia (DF) de la condición nutrimental de micronutrientes en las plantaciones de caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio.....	33
26	Parámetros estadísticos y distribución de frecuencia (DF) relacionados con la condición nutrimental en la biomasa aérea total (B_T) e índice de extracción (I_E) de las plantaciones de caña de azúcar.....	37
27	Distribución de frecuencia (DF) de los parámetros relacionados con la eficiencia de recuperación del fertilizante nitrogenado (E_{RN}) en las plantaciones de caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio.....	48
28	Distribución de frecuencia (DF) de los parámetros relacionados con la eficiencia de recuperación del fertilizante fosfatado (E_{RP}) en las plantaciones de caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio.....	50
29	Distribución de frecuencia (DF) de los parámetros relacionados con la eficiencia de recuperación del fertilizante potásico (E_{RK}) en las plantaciones de caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio.....	52
Figuras		
1	Esquema simplificado de los componentes del sistema de producción.....	8
2	Relación entre el preso fresco y la concentración de nitrógeno en la biomasa aérea total de la caña de azúcar.....	35
3	Tendencia de la relación entre el preso fresco y la concentración de nitrógeno en la biomasa aérea total de la caña de azúcar, al agrupar los datos por condición nutrimental.....	36

I. Introducción

La producción de la caña de azúcar es una de las principales actividades económicas en el ámbito agrícola nacional. En la actualidad, las áreas cañeras del país enfrentan diversos factores técnicos, económicos y sociales que impactan de negativamente en su rentabilidad. Por ello, SAGARPA implementó “El Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar” (PRONAC) 2007-2012, para consolidar una agroindustria integrada, capaz de ser competitiva en el mercado de edulcorantes y bioenergéticos, con productos de calidad provenientes de procesos rentables y sustentables. Entre los ejes principales del PRONAC está elevar la producción de caña de azúcar a través de mejorar las técnicas de manejo de las plantaciones como es la fertilización eficaz y oportuna, aumento en la superficie de riego, desarrollo de nuevas variedades, compactación de las áreas cañeras, entre otros aspectos, así como implementar herramientas para la toma de decisiones eficientes que permitan lograr una agricultura de precisión. En este sentido, SAGARPA a través del Colegio de Postgraduados realizó en una primera etapa el estudio de la fertilidad de los suelos cañeros en el 100% de los Ingenios azucareros de la República Mexicana, en el que se identificaron los desórdenes nutrimentales y no nutrimentales más significativos que se presentan en las áreas cañeras del país. Tomando en cuenta las condiciones de suelo y clima de cada región cañera, se propusieron una serie de recomendaciones de aplicación de fertilizantes como una primera aproximación, mismas que se integraron en un SIG válido para cada Ingenio.

Para dar continuidad a los trabajos aquí comentados, en este documento se presentan los resultados del desarrollo de la segunda etapa del estudio de la nutrición y fertilización de la caña de azúcar, la cual consistió en hacer un diagnóstico con mayor detalle y generar un modelo interactivo que permita al productor cañero establecer la dosis de fertilizante más conveniente de acuerdo a las condiciones específicas de la plantación de su interés, mediante una serie de variables de fácil respuesta y tomando en cuenta la variación inherente al marco físico y manejo del sistema de producción, lo cual evita la necesidad de depender de manera recurrente de los análisis químicos de suelo y planta.

II. El sistema de producción de la caña de azúcar y su relación con el sistema planta-suelo-agua-atmósfera

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:

- Factores humanos: son inherentes a la actividad de los grupos humanos e interfieren o condicionan la producción, ya sea de manera directa o indirecta, como es la disponibilidad de crédito (en tiempo y forma), mano de obra, costos y precio de venta de la cosecha, tenencia de la tierra, entre otros.
- Factores ambientales: condiciones de clima y suelo que predominan en el sitio de interés, como son la profundidad del suelo, textura, ambiente químico, frecuencia e intensidad de la lluvia, velocidad de infiltración, temperatura, presión de vapor, entre otros.
- Factores agronómicos: variables que se modifican o controlan a través de las acciones que se llevan a cabo mediante el manejo agronómico. Como ejemplo de ellos son la humedad del suelo, presencia de plagas, malezas y enfermedades, disponibilidad nutricional, 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 1).

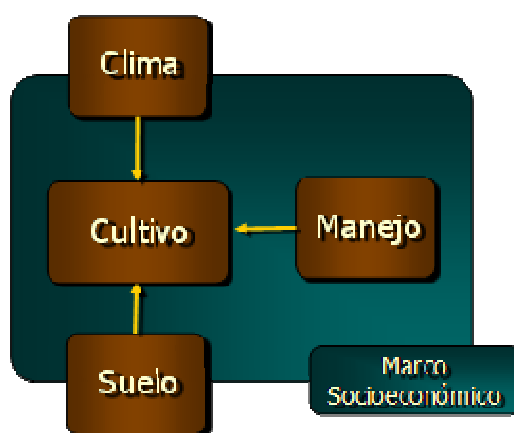


Figura 1. Esquema simplificado de los componentes del sistema de producción

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 del Ingenio. Por ello, se procedió a realizar una serie de encuestas de opinión entre diversos productores del área cañera que abastece al Ingenio, con la idea de detectar su percepción al respecto, cuyos resultados se presentan a continuación.

2.1 Aspectos socioeconómicos y su relación con la productividad de la caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio

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. En el Cuadro 1 se presentan las respuestas de los cañeros entrevistados en el área de abasto del Ingenio, asociadas a su vocación respecto a la producción de caña de azúcar, haciendo énfasis en su experiencia como cañero, tiempo que invierte en la siembra de otros cultivos u otras actividades que sean remuneradas.

Cuadro 1. Dedicación del agricultor a la producción de caña de azúcar (porcentaje de las observaciones)

Años como productor cañero			
<5	6 a 10	11 a 15	>15
2.8	41.7	47.2	8.3
¿Además de la caña de azúcar, siembra otros cultivos?			
No	A veces	Casi siempre	Siempre
94.4	5.6	0.0	0.0
¿Además de productor tiene otras actividades remuneradas?			
No	A veces	Casi siempre	Siempre
55.6	0.0	33.3	11.1

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. Por lo anterior y con la finalidad de evaluar si esta situación invita al agricultor a cambiar de actividad, se preguntó si prefieren incorporarse en áreas laborales que les pudiese brindar mayores satisfacciones, cuyas respuestas se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. ¿Le gustaría dejar las siembras y dedicarse a otra actividad que le brinde mayor satisfacción?

No	A veces	Siempre
Porcentaje de las observaciones		
19.4	22.2	58.3

Son muy complejos y variados los factores que influyen sobre la percepción y grado de satisfacción de la gente para realizar una actividad, entre ellos puede mencionarse la retribución económica, lo que depende de la rentabilidad del sistema de producción, aunque desde luego no es lo único que debe tomarse en cuenta para valorar si realmente se cumplen las expectativas de los agricultores. Visto de manera muy general, la rentabilidad es la relación que existe entre los ingresos y egresos del agricultor inherentes a su actividad productiva.

Las entradas de recursos son función del rendimiento y calidad del cultivo, así como del precio de venta. Por ello, a los agricultores del área cañera del Ingenio encuestados se les preguntó su percepción sobre la productividad que tiene cada uno en su plantación, cuyas respuestas se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. ¿Cómo califica la productividad que tiene en su plantación de caña de azúcar?

Mala	Regular	Buena	Excelente
Porcentaje de las observaciones			
11.1	30.6	38.9	19.4

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. Por tal razón, a los cañeros encuestados se les preguntó qué rubro o aspecto consideran sea más costoso, cuyas respuestas se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. ¿Qué rubro o aspecto considera sea más costoso para su producción de caña de azúcar?

Mano de obra	Agroquímicos	Fertilizantes	Otros
Porcentaje de las observaciones			
8.3	8.3	75.0	8.3

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. En esto, un factor clave es el personal que apoye en las labores como mano de

obra por influir sobre la productividad de la plantación. En el Cuadro 5 se presenta las respuestas relacionadas con la disponibilidad de mano de obra.

Cuadro 5. ¿Cuenta con suficiente disponibilidad de mano de obra para las labores y cosecha de la caña de azúcar?

No	A veces	Casi siempre	Siempre
Porcentaje de las observaciones			
0.0	8.3	19.4	72.2

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. Con el propósito de explorar el grado de compenetración del binomio productor-asesor, a los cañeros del área de abasto del Ingenio que participaron en la encuesta se les preguntó si contaban con asesoría técnica y su opinión respecto a las ventajas que obtienen de dicho servicio, cuyas respuestas se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Aspectos relacionados con la asesoría técnica para la producción de la caña de azúcar (Valores expresados en porcentaje de las observaciones)

¿Cuenta con asesoría técnica para su producción de caña de azúcar?			
No	A veces	Casi siempre	Siempre
44.4	55.6	0.0	0.0
¿Qué opina respecto a la asesoría técnica que se le brinda para producir caña de azúcar?			
No tengo	No la necesito	Debería mejorar	Es muy importante
0.0	2.8	5.6	91.7

Resalta el reconocimiento del productor hacia la necesidad de contar con el apoyo de asesoría para resolver los problemas técnicos que se le presentan. 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.

2.2 Efecto del marco físico y manejo agronómico sobre la productividad de la caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio

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. 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.

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. Indistintamente de la temperatura, las hojas superiores interceptan más del 70% de la radiación solar, por lo que el sombreado 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.

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 otras las variables que afecten su rendimiento, como son aquellas que están relacionadas con aspectos fitosanitarios (malezas, plagas y enfermedades). Por ello, para evaluar cuáles son los factores más limitantes de la producción desde el punto de vista de la percepción de los cañeros del área de abasto del Ingenio, a los agricultores que participaron en la encuesta se les preguntó cuál es la problemática que detectan y sus respuestas se muestran en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Problemática detectada por los agricultores en relación con la producción en sus plantaciones de caña de azúcar (Porcentaje de las observaciones)

¿Qué tipo de problema se presenta con mayor recurrencia en su terreno?			
Exceso o falta de agua	Aspectos fitosanitarios	Uso de fertilizantes	Otro
88.0	0.0	12.0	0.0

¿Qué problema debe resolverse en su terreno para mejorar el rendimiento de la caña?			
Falta de agua	Exceso de agua	Falta de Fertilizantes	Otros
94.4	0.0	5.6	0.0

Uno de los problemas bióticos que pueden afectar de manera recurrente a las plantaciones es la presencia de malezas, plagas y enfermedades. La percepción de este tipo de problemas en el área cañera se resume en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Percepción de la problemática relacionada con la fitosanidad (plagas, enfermedades y malezas) del cultivo de la caña de azúcar

¿Tiene problemas para controlar plagas y enfermedades en su plantación?			
No	A veces	Casi siempre	Siempre
Porcentaje de las observaciones			
97.2	2.8	0.0	0.0
¿Tiene problemas para controlar malezas en su plantación?			
No	A veces	Casi siempre	Siempre
55.6	16.7	2.8	25.0

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. En este sentido, se les preguntó a los cañeros del área de abasto del Ingenio cómo seleccionaron la variedad empleada por ellos en sus plantaciones, cuyas respuestas se concentran en el Cuadro 9.

Cuadro 9. ¿Cómo seleccionó la variedad de caña de azúcar que actualmente cultiva en su terreno?

No tengo otra opción	Es la que se recomienda	Estoy probándola	Porque es la mejor
Porcentaje de las observaciones			
8.3	47.2	0.0	44.4

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. En el Cuadro 10 se presenta los ciclos que transcurren sin plantar la caña de acuerdo a la opinión de los agricultores cuyas parcelas se encuentran en el área de abasto del Ingenio.

Cuadro 10. ¿Cuántos ciclos transcurren sin que considere la necesidad de plantar nuevamente?

<5	6	7	>8
Porcentaje de las observaciones			
2.8	27.8	16.7	52.8

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. En el Cuadro 11 se presenta la tendencia en la aplicación de materiales orgánicos por parte de los productores entrevistados en el área de abasto del Ingenio.

Cuadro 11. Aplicación de enmiendas de tipo orgánico al terreno agrícola (porcentaje de las observaciones)

¿Aplica materiales orgánicos al suelo?			
No	A veces	Casi siempre	Siempre
100.0	0.0	0.0	0.0
Quando aplica materiales orgánicos ¿es suficiente para abarcar todo su terreno?			
No	A veces	Casi siempre	Siempre
0.0	0.0	0.0	0.0

Las condiciones físicas adversas del suelo se reflejan en la disminución de su porosidad efectiva (mesoporos) y el incremento de la resistencia del suelo a la penetración de las raíces y su proliferación, además de afectar negativamente la tasa de infiltración y conservación del agua disponible en la zona de exploración de las raíces, menor capacidad del cultivo para tolerar la época de estiaje y es más susceptible al acame. En el Cuadro 12 se presenta la percepción de los agricultores del área de abasto del Ingenio que se encuestaron, respecto a la dificultad en el manejo de su terreno.

Cuadro 12. ¿Su terreno es de difícil manejo?

No sé	No	Sí
Porcentaje de las observaciones		
100.0	0.0	0.0

Una forma de mejorar las condiciones físicas del terreno como las comentadas en los párrafos anteriores, es a través de la aplicación de un subsoleo profundo (mayor a 50 cm) y adición de abonos orgánicos. La fuente, dosis y época de aplicación varía según las condiciones de suelo y clima, así como disponibilidad de materiales orgánicos en la región. Esto se verá con mayor detalle durante la Etapa III del presente proyecto, donde se solucionará de manera integral la problemática de los desórdenes no nutrimentales en el área cañera inherentes al manejo de los suelos.

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”. Al respecto, se les preguntó a los productores del área de abasto del Ingenio si percibían dicha situación, cuyas respuestas se presentan en el Cuadro 13.

Cuadro 13. ¿El suelo de su terreno se ha empobrecido?

No	No sé	Puede ser	Sí
Porcentaje de las observaciones			
0.0	36.1	27.8	36.1

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. La percepción de la problemática relacionada con el exceso de agua en la plantación de caña de azúcar por los agricultores del área de abasto del Ingenio se presenta en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Percepción de la problemática relacionada con el exceso de agua en la plantación de caña de azúcar (porcentaje de las observaciones).

¿Es frecuente que se inunde su terreno?			
No	A veces	Casi siempre	Siempre
92.0	8.0	0.0	0.0

¿Mejoraría el rendimiento de la caña de azúcar si se drenara el terreno?		
No	A veces	Sí
80.0	5.0	15.0

En contraste con lo comentado anteriormente, 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 y en condiciones de secano la época de estiaje afecta con mayor intensidad a la plantación. La percepción de los productores respecto a la escasez de agua en las parcelas ubicadas en el área de abasto del Ingenio se presenta en el Cuadro 15.

Cuadro 15. ¿Es común que le falte agua a su cultivo?

No	A veces	Casi siempre	Siempre
Porcentaje de las observaciones			
8.0	11.0	66.0	15.0

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 hace que los fotosintatos se deriven hacia el crecimiento de la biomasa radical y en menor proporción a otras partes de la planta, afectando el rendimiento de la caña, por lo que un sistema radical profundo no siempre es sinónimo de mayor fortaleza y capacidad productiva del cultivo. En el Cuadro 16 se presentan los resultados de las preguntas realizadas a los productores que participaron en la encuesta sobre los aspectos relacionados con el uso del agua de riego en las plantaciones de caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio.

Cuadro 16. Aspectos relacionados con el uso del agua de riego en las plantaciones de caña de azúcar (porcentaje de las observaciones).

¿Dispone de riego para la producción de la caña de azúcar?			
No	A veces	Casi siempre	Siempre
91.7	2.8	0.0	5.6
¿Con qué sistema de riego cuenta?			
Rodado (gravedad)	Aspersión	Goteo	Otro
100.0	0.0	0.0	0.0
¿Aplica la cantidad de agua que necesita y en el momento en que se requiere?			
No	A veces	Casi siempre	Siempre
0.0	15.0	85.0	0.0

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.

En resumen, de los aspectos más sobresalientes que se detectaron de acuerdo a lo que se captó de la percepción de los productores en el área de abasto del Ingenio resaltan los aspectos económicos (costo de los insumos) y la escasez en el uso de materiales orgánicos. Es muy importante resaltar que si no se reponen las reservas orgánicas edáficas mediante la aplicación de enmiendas apropiadas en la cantidad y oportunidad requeridas, se inducirá una pérdida de la fertilidad física edáfica (capacidad productiva del suelo), se perciba o no en este momento. El tiempo que tarde en deteriorarse un terreno depende de sus características físicas y químicas, tipo de manejo practicado y de las condiciones ambientales de la zona, por lo que de seguir el abatimiento de las reservas orgánicas edáficas, para mantener la misma productividad habrá que incrementar el uso de insumos y por los mismo, los costos de producción, hasta llegar a un punto donde ya no sea rentable la producción.

III. Situación actual de la nutrición de la caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio

3.1 Manejo de la fertilización actual en el área cañera

El uso y manejo de los fertilizantes es otro aspecto clave del manejo que influye de manera decisiva sobre la productividad y rentabilidad de las plantaciones. Para conocer cuáles son las tendencias sobre la práctica de la fertilización en el área de abasto del Ingenio, se preguntó a los productores que participaron en la encuesta aspectos inherentes al uso de los fertilizantes (Cuadro 17).

Cuadro 17. Aspectos relacionados con el uso de fertilizantes en las plantaciones de caña de azúcar (porcentaje de las observaciones).

¿Aplica fertilizantes al suelo?			
No	A veces	Sí	
0.0	0.0	100.0	
¿Con qué frecuencia aplica los fertilizantes?			
Una vez en el ciclo	Dos veces en el ciclo	Tres o más en el ciclo	
97.2	2.8	0.0	
¿Cómo seleccionó la frecuencia de aplicación del fertilizante?			
No sé	No tengo alternativa	Así se recomienda	Así es mejor
0.0	25.0	75.0	0.0

El uso de fertilizantes es fundamental para aportar aquellos nutrientes que el suelo no sea capaz de hacerlo; sin embargo, si esto no se hace apropiadamente y se incurren en excesos, se provocarán otro tipo de problemas que van desde sólo incrementar los costos de producción de manera innecesaria, provocar daños al ambiente con el detrimento del ecosistema y afectación a largo plazo a las mismas

plantaciones o incluso inducir efectos tóxicos provocando un menor rendimiento y calidad del cultivo. En contraste, si la práctica de la fertilización se lleva a cabo de manera correcta, propiciará menores costos de producción y coadyuvará a lograr mejores rendimientos. Ante esta situación y con tal de mantener bien nutrido al cultivo, dada la facilidad de acceder a diversos tipos de insumos, el uso de foliares ha resultado atractivo para diversos productores, por ello se les preguntó a los productores que participaron en la encuesta si aplican fertilizantes al follaje de las plantaciones, cuyas respuestas se resumen en el Cuadro 18.

Cuadro 18. ¿Aplica fertilizantes al follaje de la caña?

No	A veces	Casi siempre	Siempre
Porcentaje de las observaciones			
100.0	0.0	0.0	0.0

La fertilización foliar es una práctica esencial cuando se deben resolver algunos problemas de índole nutrimental y que no es viable hacerlo a través la aplicación al suelo; sin embargo, si esto no se hace de manera correcta, en lugar de esperar un efecto positivo, sólo se encarecerá inútilmente la producción. En el Cuadro 19 se presenta la distribución de frecuencia que indica la cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio aplicados con los fertilizantes en el área de abasto del Ingenio.

Cuadro 19. Distribución de frecuencia de la cantidad de nutrientes aplicados (en kg ha⁻¹) como fertilizante.

Nutriente	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
(kg ha ⁻¹)		----- % -----	
0	0	0	0
≤50	0	31	22
50 a 100	31	64	42
100 a 150	44	6	17
150 a 200	19	0	17
200 a 250	3	0	3
>250	3	0	0

La cantidad de nutrientes aplicados suele relacionarse de manera directa con el rendimiento del cultivo, esto es, mientras más producción se tenga, mayor será la dosis que se aplique. Por lo anterior, se suele asociar el uso de nutrientes con el rendimiento del cultivo; sin embargo, esto no es preciso. Es lógico que a mayor producción se genere más biomasa (materia seca) y se incremente la demanda de nutrientes. Si la cantidad de nutrientes que hay en el suelo no es suficiente para satisfacer tal necesidad, entonces habrá que adicionarlos a través de fertilizantes, pero si la oferta del suelo es suficiente, entonces no se deberá aplicarlos.

La aplicación de una determinada dosis de fertilizantes no es suficiente como para resolver los problemas de índole nutrimental, también debe considerarse el tipo de material se adicionará y con qué frecuencia se hará, puesto que esto influye de manera decisiva en la eficiencia de uso del fertilizante. En el Cuadro 20 se presenta la manera en que se distribuye la aplicación de los fertilizantes aplicados a través del ciclo de producción de la caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio.

Cuadro 20. Distribución de la aplicación de los fertilizantes a través del ciclo de producción de la caña de azúcar.

Aplicación	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	----- % -----		
Primera	100	100	100
Segunda	0	0	0
Tercera	0	0	0

La aplicación de los fertilizantes a través del ciclo se lleva a cabo para evitar o disminuir pérdidas de los nutrientes por lixiviación o para no inducir efectos salinos negativos que afecten el crecimiento de la raíz. Entonces, si no hay riesgos de daños por salinidad al cultivo y no hay condiciones que propicien la lixiviación de los nutrientes, no será necesario aplicar los fertilizantes en distintas oportunidades durante el ciclo del cultivo. El nitrógeno es el nutriente que suele aplicarse en dos o más oportunidades durante el ciclo del cultivo, por su alta movilidad en el suelo. En contraste, como es prácticamente nulo el desplazamiento del fósforo en el

suelo, el cultivo no lo aprovechará si no se aplica abajo y a un lado de las raíces, por lo que debe adicionarse antes de la siembra o el rebrote de las cañas. Lo mismo aplica para el caso del potasio, ya que este catión queda adsorbido en las cargas negativas de los coloides del suelo, impidiendo su movilidad en el perfil, a menos que el suelo sea extremadamente arenoso (menos de 10% de arcilla) y que por lo mismo, no tenga suficiente capacidad para retenerlo. Si este es el caso, el potasio deberá distribuirse en la misma proporción que el nitrógeno. Cuando se aplica fósforo y potasio en más de dos ocasiones, es más consecuencia del tipo de fertilizante que una decisión de manejo nutrimental (Cuadro 21).

Cuadro 21. Tipo de fertilizante empleado en la distribución de la dosis para la caña de azúcar.

Concentración del Nutriente	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	----- % -----		
	----- % -----		
	Primera Aplicación		
0	0	0	0
<11	0	100	58
11 a 15	0	0	0
15 a 17	0	0	0
18 a 21	100	0	42
23	0	0	0
46	0	0	0
80	0	0	0
	Segunda Aplicación		
0	100	100	100
<11	0	0	0
11 a 15	0	0	0
15 a 17	0	0	0
18 a 21	0	0	0
23	0	0	0
46	0	0	0
80	0	0	0

... continúa el Cuadro 21.

Concentración del Nutriente	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	----- % -----		
	Tercera Aplicación		
0	100	100	100
<11	0	0	0
11 a 15	0	0	0
15 a 17	0	0	0
18 a 21	0	0	0
23	0	0	0
46	0	0	0
80	0	0	0

Las mezclas físicas y fórmulas nutrimentales son una buena opción para aplicar dos o más nutrientes al mismo tiempo y pueden ser una alternativa apropiada para la adición de fertilizantes al inicio del ciclo; sin embargo, no conviene emplearlos si se desea distribuir el nitrógeno en una segunda o tercera aplicación en el ciclo, puesto que los nutrientes adicionales no los aprovechará el cultivo por las razones comentadas en párrafos anteriores.

El fertilizante nitrogenado tiende a ser mejor aprovechado por el cultivo si se aplica en dos o más oportunidades durante el ciclo, pero esto encarece el manejo de la fertilización y no es tan necesario. Con dos fraccionamientos suele ser suficiente en la gran mayoría de los casos y con ello se mejora la eficiencia de uso del fertilizante. En el Cuadro 22 se presenta la distribución de frecuencia de la eficiencia de las aplicaciones de nutrientes en el área de abasto del Ingenio.

Cuadro 22. Distribución de frecuencia (DF) de la eficiencia de las aplicaciones de nutrientes en el área de abasto del Ingenio.

Eficiencia de recuperación del N		*I _{AF}	P	K
%	DF	kg t ⁻¹	DF	DF
≥50	31	0	0	0
45 a 50	19	≤0.3	6	0
40 a 45	19	0.3 a 0.6	17	19
35 a 40	14	0.6 a 0.9	31	22
≤35	17	>0.9	47	58

*IAF= Índice de aplicación del fertilizante

Si la eficiencia de recuperación del nitrógeno es superior al 50% se considera como óptima. Mientras menor sea este valor, es consecuencia de problemas de manejo que incrementan pérdidas de este nutriente por lixiviación, desnitrificación o volatilización. Para el caso del fósforo y potasio, mientras menor sea el índice de aplicación del fertilizante implica que no se está incurriendo en sobre-fertilización, lo cual suele ocurrir ya sea por decisiones de manejo no convenientes (uso de fórmulas durante el ciclo de cultivo) o adiciones de los fertilizantes fosfatados y potásicos cuando la oferta del suelo satisface por sí misma la demanda del cultivo.

3.2 Diagnóstico nutrimental de la caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio

3.2.1. Procedimiento del muestreo foliar

El análisis del tejido vegetal es una herramienta que coadyuva a la toma de decisiones para mejorar la nutrición del cultivo y su rendimiento. Esto se debe a que permite evaluar los nutrientes de acuerdo a su concentración (déficit, superávit o exceso) y en caso de ser necesario, poder intervenir para superar desórdenes nutrimentales de manera oportuna. También se identifica con qué eficiencia el cultivo está utilizando los nutrientes del suelo y los que se aplicaron a través de los materiales fertilizantes. Para que esto funcione, es fundamental coleccionar de manera correcta la parte de la planta y etapa fenológica, porque la

concentración nutrimental cambia entre las distintas partes de la planta y se modifica a medida que avanza el período de crecimiento y desarrollo del cultivo.

Para realizar una correcta interpretación de los resultados del análisis foliar, se colectaron muestras compuestas de hojas en la parte media de la planta de la caña de azúcar, tomando 20 submuestras para formar una muestra compuesta. La concentración de los nutrientes varía con el tipo de órgano, parte de la planta y su etapa fenológica, así que si colecta hojas más jóvenes o más viejas de la que aquí indicada, se hubiese corrido el riesgo de que la interpretación no fuese apropiada y la información generada no hubiese sido representativa de las condiciones reales de las plantaciones evaluadas. El criterio que se siguió para colectar las muestras foliares es similar al que se llevó a cabo para las muestras de suelo, esto es, se recorrieron las parcelas para colectar las submuestras requeridas para formar la muestra compuesta que se analizaron en el laboratorio, considerando una serie de cuadrantes establecidos *a priori*, con base en la información que se generó durante la Etapa I del presente proyecto. El procedimiento se describe a continuación:

Se dividió la parcela elegida de manera imaginaria en cuatro zonas de manera proporcional (cada una con una superficie similar). Se recorrió cada zona en que se dividió la parcela y se seleccionaron veinte plantas de caña de azúcar al azar, tomando en cuenta que debía haber suficiente distanciamiento entre ellas, de tal manera que las plantas seleccionadas abarcasen toda la división o zona de la parcela elegida dentro del cuadrante de muestreo. A cada planta seleccionada en se le cortó una hoja completa, la cual constituyó una submuestra. Por lo tanto, de cada parcela se colectó una muestra compuesta constituida de 20 submuestras (20 hojas). Cabe señalar que se empleó el criterio agronómico para no seleccionar aquellas plantas que no fuesen representativas de la condición observada en todo el terreno (plantas más chicas o más grandes respecto al resto, que presenten tonos o coloración diferente a la que corresponde a la mayoría, entre otros aspectos).

Para colectar el conjunto de submuestras se empleó un recipiente de plástico limpio y grande mientras. Se removió el polvo encontrado sobre la superficie de la hoja con un material apropiado (trapo, cepillo o brocha con cerdas suaves). No se lavaron las muestras en los lugares de colecta para no modificar la concentración

nutrimental de algunos elementos (por ejemplo, en algunos casos podría perderse hasta 30% del contenido de potasio). Se retiró el exceso de humedad de las hojas con toallas de papel hasta sentir las secas al tacto. No se emplearon materiales que impidieran u obstaculizaran la transpiración o deshidratación de las hojas (por ejemplo bolsas de plástico). Tampoco se empleó material galvanizado (cubetas, navajas, tijeras, etc.), para no contaminar las muestras. No se colectaron hojas dañadas por efectos mecánicos, ataque de insectos, ambientales (sequía, anegamiento, entre otros) ni tejido necrótico. Se evitó el contacto de las muestras con tierra, polvo, residuos de agroquímicos u orgánicos, etc. Luego, se colocaron en una bolsa nueva de papel de estraza lo suficientemente grande como para que cupiera todo el material foliar de cada muestra compuesta pero de manera holgada. Para evitar que se echaran a perder, se evitó forzar el empacado de las hojas por apretarlas o compactarlas dentro de la bolsa. Se trató de no almacenar ni transportar las muestras mojadas para que no se formaran hongos, ya que de lo contrario se perdería su utilidad para el análisis. Se etiquetó cada muestra de manera con base en códigos previamente establecidos para darle seguimiento a cada muestra y tener correctamente su identificación. Cabe señalar que cada sitio de muestreo se identificó por sus coordenadas mediante un GPS.

Para cada muestra compuesta se llenó una ficha técnica para conocer lo mejor posible su historial, lo cual es básico para interpretar lo que está ocurriendo en el terreno, Los datos colectados fueron los siguientes: Nombre del Ingenio, ubicación del sitio de muestreo (Municipio y coordenadas), zona UTM, ciclo y número de soca (en su caso), variedad, condición del terreno, aspecto de la planta, altura y diámetro basal, régimen hídrico, manejo de la fertilización, rendimiento estimado, observaciones y comentarios adicionales.

Cuando el tejido foliar presentaba residuos de suelo, polvo, fertilizantes o cualquier otro tipo de producto (agroquímicos por ejemplo) y no quedó más remedio que colectar así la muestra, se hizo un lavado ligero con base en el siguiente procedimiento: se colocaron las hojas a lavar adentro de una coladera de plástico, se rociaron las hojas con agua destilada, se secaron con una toalla de papel nueva y limpia, se orearon en un lugar ventilado, libre de polvo y otro tipo de contaminantes. Posteriormente se siguió el procedimiento antes indicado para su empaque y se remitieron al laboratorio.

3.2.2. Resultados del análisis foliar de la caña de azúcar

La interpretación del análisis foliar se basa en la relación que se establece entre la concentración del nutriente de interés en la hoja y un parámetro asociado con el crecimiento o producción del cultivo. Por lo tanto, cuando la planta está en una situación de estrés muy acentuada, la tasa de producción de materia seca es mayor a la absorción y ocasiona un efecto de dilución. Si está en una situación de déficit, se manifiesta una clara tendencia positiva entre el nutriente en el tejido y el índice correspondiente del rendimiento del cultivo. Al superávit o suficiencia también se le conoce como consumo de lujo, donde la concentración nutrimental no altera positiva ni negativamente el rendimiento del cultivo. Finalmente se tiene la zona de toxicidad, en la que una acumulación excesiva del nutriente afecta la producción, ya sea por un efecto tóxico o por ocasionar desbalances con otros nutrientes.

El nitrógeno se requiere durante la formación del nuevo material vegetal (retoños), cuya etapa inicia entre mes y mes y medio después de haber plantado o de la fecha del rebrote. Luego se incrementan los requerimientos nitrogenados para estimular la fase de crecimiento intensivo. El fósforo se necesita en mayor proporción durante la fase formativa. Si se excede la dosis de fósforo se reduce el rendimiento, la concentración de azúcar, el porcentaje de sacarosa del jugo y su pureza. El potasio cuando se necesita (que la demanda exceda a la capacidad de suministro del suelo) incrementa el rendimiento de los tallos y la concentración de azúcar en la caña. La deficiencia de potasio altera negativamente los mecanismos de transporte de los fotosintatos y disminuye significativamente la acumulación de azúcares en los tallos. En el Cuadro 23 se presenta la distribución de frecuencia de la condición nutrimental de nitrógeno, fósforo y potasio en las plantaciones de caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio.

Cuadro 23. Distribución de frecuencia (DF) de la condición nutrimental de N, P y K en las plantaciones de caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio.

Índice de la concentración	Categoría	DF
mg g⁻¹	Nitrógeno	%
<7	Bajo	33
7 a 12	Suficiente	67
>12	Alto	0
mg g⁻¹	Fósforo	DF
<0.8	Bajo	36
0.8 a 1.5	Suficiente	63
>1.5	Alto	1
mg g⁻¹	Potasio	DF
<3	Bajo	0
3 a 7	Suficiente	1
>7	Alto	99

Las deficiencias de nitrógeno están relacionadas con la muerte prematura de las hojas maduras, la lámina foliar se torna de un tono verde claro si es incipiente o amarillo si está acentuada la deficiencia. Las puntas y bordes de la lámina foliar está necrosada. En el caso de desórdenes nutrimentales debido a la escasez de fósforo ocasiona una decoloración roja y violeta del ápice y bordes de las hojas, las cuales se vuelven más angostas, con tallos cortos y delgados, con problemas en la formación de macollos. La falta de potasio ocasiona una clorosis de tono amarillo en las hojas y las maduras son de color pardo., se forman tallos delgados. En el Cuadro 24 se presenta la distribución de frecuencia de la condición

nutrimental de calcio, magnesio y azufre en las plantaciones de caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio.

Cuadro 24. Distribución de frecuencia (DF) de la condición nutrimental de Ca, Mg y S en las plantaciones de caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio.

Índice de la concentración	Categoría	DF
mg g⁻¹	Calcio	%
<3.0	Bajo	12
3.0 a 8.0	Suficiente	87
>8.0	Alto	1
mg g⁻¹	Magnesio	DF
<1.0	Bajo	8
1.0 a 3.0	Suficiente	90
>3.0	Alto	1
mg g⁻¹	Azufre	DF
<1.0	Bajo	27
1.0 a 2.5	Suficiente	71
>2.5	Alto	2

Cuando hay problemas de abastecimiento de calcio, se observan las hojas maduras cloróticas y con moteados, con muerte prematura de las hojas maduras. Es difícil que esto ocurra, ya que cuando se presenta una deficiencia de calcio, es más probable que se manifieste una toxicidad severa de aluminio, ya que ello implicaría que dicho elemento desplazó de manera significativa al calcio de los sitios de intercambio. Los síntomas de deficiencia de magnesio se aprecian como

clorosis en el ápice y bordes del follaje con lesiones necróticas de tono rojizo. En el caso de la falta de azufre se manifiesta una clorosis en hojas jóvenes, se forman angostas y de menor tamaño, con tallos delgados. En el Cuadro 25 se muestra la distribución de frecuencia de la condición nutrimental de microelementos (hierro, manganeso, cobre, zinc y boro) en las plantaciones de caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio.

Cuadro 25. Distribución de frecuencia (DF) de la condición nutrimental de micronutrientes en las plantaciones de caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio.

Índice de la concentración	Categoría	DF
mg g⁻¹	Hierro	%
<7	Bajo	7
7 a 18	Suficiente	41
>18	Alto	52
mg g⁻¹	Manganeso	DF
<5	Bajo	25
5 a 15	Suficiente	49
>15	Alto	26
mg g⁻¹	Cobre	DF
<0.1	Bajo	10
0.1 a 0.4	Suficiente	68
>0.4	Alto	22
mg g⁻¹	Zinc	DF
<0.5	Bajo	0

0.5 a 2.0	Suficiente	92
>2.0	Alto	8
mg g⁻¹	Boro	DF
<0.5	Bajo	3
0.5 a 2.0	Suficiente	93
>2.0	Alto	3

Las deficiencias nutrimentales ocasionadas por falta de hierro se aprecian como una clorosis entre las venas que corre desde el ápice hasta la base de la lámina foliar. En el manganeso se observa algo similar pero la clorosis sólo llega hasta la parte medía de las hojas y, cuando es severa, se tornan las hojas en un tono blanquecino. En el caso de un desorden nutrimental causado por falta de zinc también se observa un rallado, pero los espacios entre las venas y los bordes de la hoja permanecen verdes, mientras que la lámina foliar se vuelve amarilla, se altera negativamente la formación de retoños, tallos delgados y sin turgencia. El efecto de la falta de cobre se manifiesta como una pérdida de turgencia en los tallos y puntos de crecimiento, disminuye la distancia entre nudos y hay una menor formación de nuevos tallos. La escasez de boro produce distorsiones en las hojas, con lesiones translúcidas, cesa el crecimiento y la planta se vuelve frágil.

IV. Fertilización: situación actual y propuesta de manejo para la caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio

4.1 Extracción nutrimental de la caña de azúcar

La caña de azúcar extrae sus nutrientes esenciales del medio edáfico, los cuales emplea en diversas funciones para formar su biomasa vegetativa y el producto de interés comercial. En la Figura 2 se presenta la relación entre el peso fresco y la concentración de nitrógeno en la biomasa aérea total de la caña de azúcar.

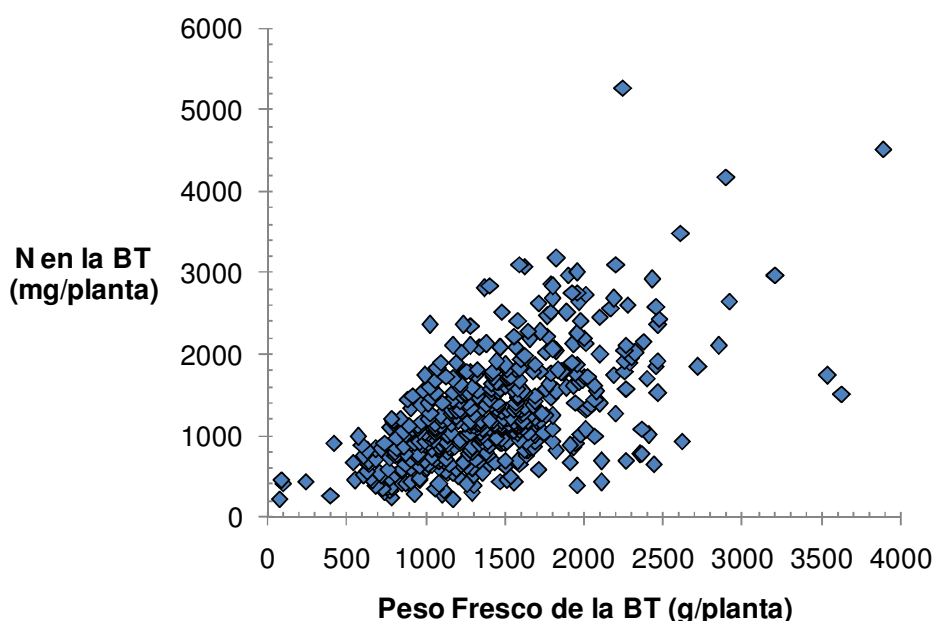


Figura 2. Relación entre el peso fresco y la concentración de nitrógeno en la biomasa aérea total de la caña de azúcar.

La extracción de nutrientes del cultivo varía de manera directa con la biomasa que produce, es decir, mientras mayor acumulación de materia seca se tenga por unidad de superficie, el cultivo necesitará mayor cantidad de nutrientes para satisfacer la demanda que genera la biomasa que produce el cultivo de interés. Además de lo anterior, dicha tendencia se altera cuando la planta extrae más nutrientes de los que necesita y de ahí que en la figura en discusión no se aprecie una relación más estrecha entre la acumulación de biomasa y su concentración

nutrimental, lo cual no ocurriría si en lugar de tomar en cuenta la extracción se hubiese considerado una condición nutrimental óptima en el suelo, lo cual es fundamental para calcular la demanda nutrimental.

La demanda nutrimental se refiere a la cantidad de nutrientes esenciales que necesita el cultivo para mantener sus funciones metabólicas en óptimas condiciones, indistintamente del medio donde crece la planta (suelo y clima) o el manejo que se practique en el sistema de producción. Así, la demanda está supeditada a la cantidad y calidad de la producción, y ésta a su vez depende del efecto que ejercen sobre ella el suelo, clima y manejo que imperen en el sistema de producción. Si se asigna el valor de la demanda con base en una meta de rendimiento y calidad superior a los que realmente es factible aspirar, la dosis de fertilizante no será la correcta. Al respecto, un exceso nutrimental puede ser tóxico para el cultivo o limitar la disponibilidad de otros nutrientes y en ambos casos se afectará de manera negativa la rentabilidad de la producción (Figura 3).

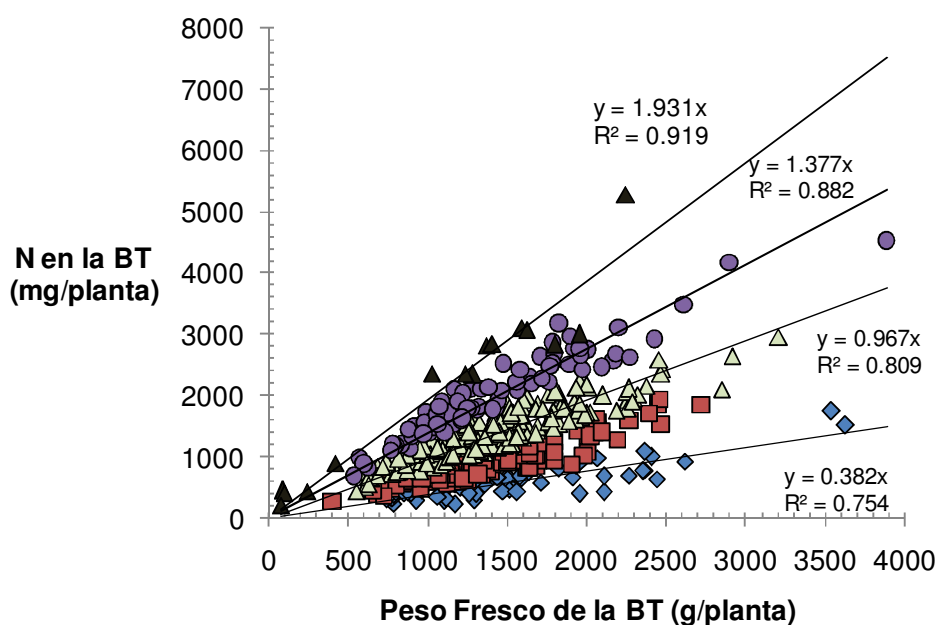


Figura 3. Tendencia de la relación entre el peso fresco y la concentración de nitrógeno en la biomasa aérea total de la caña de azúcar, al agrupar los datos por condición nutrimental.

A la cantidad de nutrientes contenida en el tejido vegetal a un tiempo dado (p. ej. a la cosecha), se le llama extracción nutrimental y suele expresarse en kilogramos de nutriente por tonelada de producto cosechado. La extracción nutrimental del cultivo será igual a su demanda, si y sólo si, los nutrientes que aprovechó la planta durante su ciclo de producción estuvieron disponibles en la cantidad adecuada y en el momento en que fueron requeridos por el cultivo. Esto es, la demanda nutrimental es la cantidad que se espera extraiga el cultivo y se establece con base en la meta de rendimiento y calidad de la producción, mientras que la extracción se refiere sólo a la cantidad de nutrientes que acumuló durante su ciclo hasta llegar a la cosecha. En el Cuadro 26 se presentan los parámetros estadísticos y distribución de frecuencia que se relacionan con la condición nutrimental en la biomasa aérea total e índice de extracción de las plantaciones de caña de azúcar.

Cuadro 26. Parámetros estadísticos y distribución de frecuencia (DF) relacionados con la condición nutrimental en la biomasa aérea total (B_T) e índice de extracción (I_E) de las plantaciones de caña de azúcar.

Parámetro	B_T	I_E	Categoría	I_E	DF
	mgN/planta	kgN t ⁻¹		kgN t ⁻¹	%
Mínimo	221	0.19	Muy Bajo	<0.4	5.3
Promedio	1295	0.94	Bajo	0.40 a 0.65	17.9
Máximo	5277	5.29	Medio	0.65 a 0.90	30.2
Mediana	1156	0.87	Suficiente	0.90 a 1.20	24.9
Núm Obs	474	474	Alto	1.20 a 1.80	19.0
			Muy Alto	>1.80	2.7
	mgP/planta	kgP t ⁻¹		kgP t ⁻¹	DF
Mínimo	20	0.01	Muy Bajo	<0.05	5.5
Promedio	308	0.22	Bajo	0.05 a 0.1	8.4
Máximo	1192	0.64	Medio	0.1 a 0.2	31.6
Mediana	286	0.21	Suficiente	0.2 a 0.25	20.3
Núm Obs	453	453	Alto	0.25 a 0.35	20.5
			Muy Alto	>0.35	13.7

... continúa el Cuadro 26.

Parámetro	B _T	I _E	Categoría	I _E	DF
	mgK/planta	kgK t ⁻¹		kgK t ⁻¹	DF
Mínimo	92	0.09	Muy Bajo	<0.5	7.7
Promedio	2505	1.80	Bajo	0.5 a 1.0	15.6
Máximo	8616	6.91	Medio	1.0 a 1.7	27.8
Mediana	2298	1.68	Suficiente	1.7 a 2.2	17.8
Núm Obs	454	454	Alto	2.2 a 4.0	28.6
			Muy Alto	>4.0	2.4
	mgCa/planta	kgCa t ⁻¹		kgCa t ⁻¹	DF
Mínimo	41	0.05	Muy Bajo	<0.15	2.9
Promedio	732	0.54	Bajo	0.15 a 0.25	7.0
Máximo	2615	2.39	Medio	0.25 a 0.50	41.3
Mediana	668	0.49	Suficiente	0.50 a 0.65	21.5
Núm Obs	414	414	Alto	0.65 a 0.85	16.2
			Muy Alto	>0.85	11.1
	mgMg/planta	kgMg t ⁻¹		kgMg t ⁻¹	DF
Mínimo	42	0.05	Muy Bajo	<0.05	0.5
Promedio	391	0.29	Bajo	0.05 a 0.10	3.8
Máximo	1349	1.41	Medio	0.10 a 0.25	40.3
Mediana	357	0.26	Suficiente	0.25 a 0.35	30.1
Núm Obs	442	442	Alto	0.35 a 0.50	19.0
			Muy Alto	>0.50	6.3
Azufre	mgS/planta	kgS t ⁻¹		kgS t ⁻¹	DF
Mínimo	49	0.05	Muy Bajo	<0.10	5.4
Promedio	549	0.40	Bajo	0.1 a 0.2	13.4
Máximo	1891	2.05	Medio	0.20 a 0.35	23.6
Mediana	498	0.39	Suficiente	0.35 a 0.45	20.3
Núm Obs	462	462	Alto	0.45 a 0.60	21.9
			Muy Alto	>0.60	15.4

... continúa el Cuadro 26.

Parámetro	B_T	I_E	Categoría	I_E	DF
Hierro	µgFe/planta	kgFe t⁻¹		kgFe t⁻¹	DF
Mínimo	123	0.1	Muy Bajo	<5.0	6.9
Promedio	2654	2.1	Bajo	5 a 10	14.4
Máximo	9945	29.5	Medio	10 a 15	14.7
Mediana	2406	1.7	Suficiente	15 a 25	39.2
Núm Obs	423	423	Alto	25 a 50	21.0
			Muy Alto	>50	3.8
Manganeso	µgMn/planta	kgMn t⁻¹		kgMn t⁻¹	DF
Mínimo	117	0.1	Muy Bajo	<2.5	6.6
Promedio	1799	1.4	Bajo	2.5 a 5.0	15.8
Máximo	13919	17.0	Medio	5a 10	29.3
Mediana	1277	1.0	Suficiente	10 a 20	31.5
Núm Obs	467	467	Alto	20 a 50	14.3
			Muy Alto	>50	2.4
Cobre	µgCu/planta	kgCu t⁻¹		kgCu t⁻¹	DF
Mínimo	3	0.002	Muy Bajo	<0.25	10.9
Promedio	115	0.082	Bajo	0.25 a 0.50	17.6
Máximo	568	0.291	Medio	0.50 a 0.75	23.8
Mediana	95	0.073	Suficiente	0.75 a 1.30	32.3
Núm Obs	433	433	Alto	1.30 a 1.50	5.8
			Muy Alto	>1.50	9.7
Zinc	µgZn/planta	kgZn t⁻¹		kgZn t⁻¹	DF
Mínimo	22	0.01	Muy Bajo	<1.0	4.3
Promedio	503	0.37	Bajo	1.0 a 2.0	18.9
Máximo	1932	1.26	Medio	2.0 a 3.0	23.7
Mediana	430	0.31	Suficiente	3.0 a 4.5	25.3
Núm Obs	439	439	Alto	4.5 a 8.0	22.1
			Muy Alto	>8.0	5.7
Boro	µgB/planta	kgB t⁻¹		kgB t⁻¹	DF
Mínimo	10	0.01	Muy Bajo	<0.5	21.5
Promedio	163	0.13	Bajo	0.50 a 0.75	10.5
Máximo	519	1.30	Medio	0.75 a 1.00	14.5
Mediana	142	0.11	Suficiente	1.00 a 2.00	37.9
Núm Obs	427	427	Alto	2.0 a 3.5	11.9
			Muy Alto	>3.5	3.5

La planta extraerá más nutrientes de los que requiere, cuando la disponibilidad de éstos en el suelo exceda la demanda del cultivo. Si esto ocurre, los acumulará en sus tejidos de manera inocua, siempre y cuando se mantengan dentro de los límites permisibles (superávit). Si sobrepasa dicho nivel estará en condición de toxicidad, por lo que disminuirá el rendimiento y calidad de cosecha.

4.2 Dinámica nutrimental

En los programas de fertilización, debe hacerse la distinción si el énfasis debe estar puesto en fertilizar al suelo o promover la nutrición de la planta. Al respecto, si a través del manejo se conserva la fertilidad edáfica de manera correcta, el cultivo tendrá mejores condiciones para su crecimiento y desarrollo. A excepción de los nitratos y cloruros, los nutrientes están sujetos a reacciones de adsorción en su interacción con los coloides del suelo, pasando a formas no disponibles para la planta. A pesar de que el aprovechamiento de estos nutrientes disminuye, esto tiene la ventaja de que mientras se encuentren en tales condiciones no serán vulnerables a los procesos de pérdidas. Dada la cinética de reacción y factores que intervienen en ella, se agruparon los nutrientes en tres partes; el nitrógeno por ser gobernado principalmente por procesos biológicos; nutrientes con cargas eléctricas negativas y aquellos que tienen cargas eléctricas positivas

4.2.1. Nitrógeno

Las formas del nitrógeno en el suelo son de diferente tipo, esto es, como gas en la atmósfera edáfica (N_2) y amoníaco (NH_3), en la solución del suelo como nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) y amonio (NH_4^+), en los compuestos orgánicos se encuentra frecuentemente como grupo amino ($-NH_2$). Los procesos que rigen la dinámica del nitrógeno en el suelo son principalmente de tipo biológico y condicionan tanto su disponibilidad como la eficiencia con la que la planta recupera el nitrógeno que se aplica a través de los fertilizantes.

El nitrógeno molecular es un gas que se encuentra en la atmósfera del suelo a una concentración superior a 70%, aunque es muy estable en esta forma no es aprovechable de manera directa por el cultivo. Bacterias del género *Rhizobium* y actinomicetos son capaces de transformar el N_2 en NO_3^- y es a lo que se le conoce

como fijación biológica del nitrógeno. Cuando los microorganismos forman una asociación simbiótica con las plantas, este puede constituir un mecanismo para la nutrición del cultivo. Otras especies de vida libre como las cianobacterias también son capaces de fijar el N_2 atmosférico. Aunque esto suele funcionar de manera apropiada en el ecosistema, en los sistemas de producción no suele dar los mismos resultados para los cultivos agrícolas, puesto que la interacción planta-microorganismo es específica o el aporte nitrogenado de los organismos de vida libre no es el suficiente como para satisfacer la demanda del cultivo. Los compuestos orgánicos que contienen nitrógeno liberan NH_4^+ a través del proceso de mineralización, el cual comprende dos rutas intermedias, la aminización y la amonificación, lo cual se lleva a cabo a través de la actividad de la biomasa microbiana que habita en el suelo. El NH_4^+ producido es retenido en la solución del suelo, adsorbido sobre los sitios de intercambio catiónico o absorbido por las plantas. A su vez, el NH_4^+ es transformado a NO_3^- a través de otro proceso biológico conocido como nitrificación, el cual ocurre en dos etapas. En el primero intervienen bacterias del género *Nitrosomona* quienes oxidan el NH_4^+ a NO_2^- y liberando hidrógenos (H^+). En la segunda fase del proceso de nitrificación, las bacterias del género *Nitrobacter* oxidan los NO_2^- a NO_3^- . Debido a que en este proceso intervienen bacterias heterótrofas y aerobias, la velocidad con que esto ocurre depende de la temperatura, humedad, aireación y disponibilidad de fuentes carbonadas lábiles.

Los procesos que condicionan la disponibilidad del nitrógeno para los cultivos pueden ser de dos tipos, aquellos que restringen su aprovechamiento sin que se salga del suelo (inmovilización) y aquellos que constituyen procesos de pérdida (desnitrificación, volatilización y lixiviación). En el primer caso, el nitrógeno no estará disponible para el cultivo cuando se encuentre en formas orgánicas. Es común que en los suelos agrícolas la tasa de mineralización supera a la de la inmovilización; sin embargo, si se agregan materiales orgánicos al suelo con escaso contenido de nitrógeno (<1.5% de N) o con una relación C/N superior a 30 el proceso de inmovilización excederá la tasa de mineralización, porque los microorganismos competirán con las raíces de la planta por el nitrógeno que se encuentra en la solución del suelo, disminuyendo su disponibilidad para las plantas.

Cuando el suelo permanece húmedo se crean sitios anaerobios, esto es, sin oxígeno libre. En estas condiciones se desarrollan bacterias especializadas que obtienen el oxígeno del NO_3^- , liberando entonces el nitrógeno en forma gaseosa hacia la atmósfera. A este proceso se le conoce como desnitrificación. Como en este mecanismo intervienen bacterias heterótrofas, su velocidad dependerá de la temperatura y disponibilidad de compuestos carbonados lábiles. Otra forma en que puede perderse el nitrógeno del suelo es a través de la volatilización del NH_4^+ , el cual es transformado a NH_3 cuando prevalecen condiciones alcalinas y dicha reacción se acelera en ambientes cálidos. Por ello, es recomendable que el fertilizante nitrogenado sea enterrado para evitar estas pérdidas, sobre todo en condiciones alcalinas extremas ($\text{pH} > 7.5$) y en estos casos evitar la adición de amoníaco o urea. El nitrógeno en forma de NO_3^- es fácilmente lixiviado, porque no tiene la capacidad de ser adsorbido en los minerales del suelo. Mientras menos arcilla contenga el suelo la velocidad de infiltración será mayor y, por consiguiente, la probabilidad de que se lixivie el NO_3^- también.

4.2.2. Aniones

La sorción y liberación de los aniones nativos y añadidos están gobernados por el potencial de oxidación-reducción, el suministro de oxígeno, actividad microbiana así como las condiciones de humedad y temperatura del suelo que prevalecen. Entre las variables del suelo que afectan los procesos de sorción están el pH, la cantidad y tipo de minerales secundarios (arcillas), reservas orgánicas edáficas y la proporción de óxidos de hierro y aluminio extractables. La absorción de los aniones por las plantas ocurre después de que la especie iónica de interés es desorbida de las reservas inorgánicas activas (lábiles) y entra el nutriente en la solución del suelo y su remoción del suelo dependerá de la cantidad disponible. Los aniones orgánicos e inorgánicos pueden competir entre sí por los sitios de sorción en el suelo y su presencia en la solución del suelo será consecuencia de la tasa con que son adsorbidos, ya que mientras esta sea menor, la disponibilidad del nutriente en la solución del suelo será mayor y viceversa.

La adsorción se define como la reacción de una sustancia en dos dimensiones y ocurre en la interfase que delimita la fase sólida de la acuosa, mientras que la precipitación es el desarrollo de una estructura molecular de una sustancia en tres

dimensiones. El término sorción se emplea cuando no se conoce el mecanismo de retención de una sustancia. En la reacción de adsorción de los aniones se presentan dos mecanismos con diferente cinética, uno que es casi instantáneo que ocurre en cuestión de minutos u horas y otro que es mucho más lento y que puede durar semanas o meses. La sorción rápida inicial se atribuye a la adsorción del anión sobre la superficie de los minerales del suelo, mientras que la disminución de la disponibilidad del anión a largo plazo es consecuencia de una difusión lenta del anión adsorbido hacia el interior de las partículas del suelo.

Durante la etapa inicial en las que se está disolviendo el fertilizante aplicado, puede ocurrir un proceso de precipitación cerca de los gránulos porque hay una concentración sobresaturada en la solución del suelo, respecto a los compuestos insolubles del mismo elemento en el suelo. El elemento sorbido en la fase sólida es mucho menos disponible para la planta que el contenido en el fertilizante, así que el suelo contiene altos niveles del elemento en forma total y por ello puede requerir una adición anual de fertilizante para conseguir un apropiado crecimiento del cultivo. Por ello, una baja eficiencia está asociada con mayor uso de fertilizante y esto es debido a que una proporción significativa del nutriente aplicado queda fijado en reacciones de adsorción o incluso de precipitación en el suelo.

Las adiciones de altas dosis de nutrientes durante varios años promueven la acumulación de los aniones en el suelo, aunque esto si no se lleva de manera controlada, induce problemas de contaminación y resulta una práctica costosa. Esto se refleja particularmente en el caso del fósforo, puesto que es acarreado de los terrenos agrícolas hacia los cuerpos de agua donde se encuentra en partículas sólidas y no en formas solubles. Una forma de disminuir o evitar este proceso es a través de un apropiado manejo de los residuos de cosecha para proteger el suelo y la calidad de los ecosistemas acuáticos al reducir la erosión. Los ácidos orgánicos pueden perturbar la cristalización de los óxidos de hierro y aluminio, promoviendo la capacidad de adsorción de los aniones en el suelo. La influencia de las reservas orgánicas activas (R_{OAC}) sobre la movilidad y traslado de especies orgánicas e inorgánicas en el suelo, depende de su capacidad de adsorción o de la formación de complejo metal-material orgánico en el suelo. Las R_{OAC} están constituidas de materiales lábiles que son fuente de nutrientes para la biomasa microbiana del suelo, por lo que pueden ser fácilmente descompuestos y por ello,

los microorganismos juegan un papel decisivo sobre el tiempo de residencia de la reacción donde participan las R_{OAC} sobre los aniones en la solución del suelo. Por ello, un adecuado manejo de materiales orgánicos podrían reducir la excesiva acumulación de nutrientes en el suelo y mantener un buen crecimiento del cultivo por disminuir las reacciones de sorción, conservando los nutrientes disponibles por más tiempo. De hecho, las R_{OAC} inhiben el proceso de precipitación. En suelos ácidos, a bajas concentraciones de compuestos orgánicos solubles la tendencia que se presenta es de un incremento del aluminio intercambiable sobre las arcillas y que afecta la hidrólisis de compuestos no solubles. En contraste, a mayores concentraciones de los compuestos orgánicos soluble disminuye el aluminio intercambiable formando complejos orgánicos solubles, lo que propicia una menor sorción aniónica y, por consiguiente, mayor disponibilidad en la solución del suelo.

El fósforo es absorbido por el cultivo en distintas formas aniónicas, cuyo predominio depende del pH del suelo, esto es $H_2PO_4^-$ abunda en suelos ácidos, el HPO_4^{2-} en suelos neutros y alcalinos, y el PO_4^{3-} sólo en suelos muy alcalinos. La reacción del fósforo en suelos neutros y alcalinos se lleva a cabo en minerales de calcio, formando compuestos de fosfato de calcio insolubles, mientras que en condiciones ácidas reaccionan con minerales de hierro y aluminio. La capacidad de adsorción depende de la cantidad y tipo de minerales secundarios presentes en el suelo. Las arcillas formadas por óxidos de hierro, aluminio y manganeso o alofano tienen una alta capacidad de adsorber los fosfatos, los cuales abundan en suelos ácidos, pero un apropiado manejo de la fertilización fosfatada permitirá que no le falte fósforo al cultivo. Al respecto, es importante hacer énfasis en que los procesos aquí mencionados hacen que este nutriente prácticamente no se mueva, quedando disponible sólo en el sitio donde fue aplicado el fertilizante. Por ello, si no se adiciona cerca de la raíz no quedará disponible. La planta absorbe el azufre en forma de ión sulfato (SO_4^{2-}). En zonas donde abunda el ácido sulfhídrico (H_2S), propicia que este nutriente sea absorbido por las hojas. Esto suele ocurrir en áreas industriales, con actividad volcánica o petrolera y en zonas pantanosas. Las deficiencias de azufre pueden ocurrir cuando se suele emplear materiales fertilizantes de alta concentración o aquellos que estén libres de este nutriente. El boro es uno de los micronutrientes más complicados de manejar, porque la diferencia en la concentración de este nutriente en el suelo que delimita la zona de

déficit de la toxicidad es muy estrecha. El boro está más disponible en suelos ácidos y es fuertemente sorbido a la superficie de los minerales y de los materiales orgánicos del suelo por un proceso conocido como quimisorción. La disponibilidad del molibdeno disminuye en ambos extremos de la escala del pH y es fuertemente retenido por quimisorción sobre la superficie de óxidos de hierro y aluminio, aunque el fósforo puede incrementar la disponibilidad del molibdeno al competir por los sitios de adsorción.

4.2.3. Cationes

La disponibilidad de los nutrientes con carga eléctrica positiva (cationes) es controlada por las interacciones que ocurren entre los diferentes componentes del suelo. Si no se comprende la dinámica entre ellos, se corre el riesgo de no llevar a cabo un buen manejo de la fertilidad edáfica. La planta es capaz de absorber los cationes que se encuentran en la solución, cuya concentración dependerá de la interacción que se establece entre la fase líquida y los cationes adsorbidos sobre la superficie de los minerales arcillosos (cationes intercambiables). Por lo tanto, la fuerza con la que están reaccionando los cationes dependerá de la cantidad y tipo de arcilla que predomina en el suelo. Cabe hacer notar que los cationes intercambiables se refieren a los elementos que son removidos al aplicar NH_4^+ por el procedimiento de extracción con acetato de amonio en condiciones neutras y una concentración uno normal. Mientras más cercano se encuentre el catión a la superficie del coloide, la intensidad de atracción y reacción será mayor, por lo que su disponibilidad será mucho menor. Cuando los cationes se encuentran en dicha zona, ya no pueden ser extraídos a través de la adición del NH_4^+ , encontrándose fuertemente ligados a la superficie de los minerales del suelo y se les denomina como cationes no intercambiables. Por lo mencionado anteriormente, se establece un flujo reversible desde la solución del suelo hacia la zona de intercambio y también de esta última hacia los sitios no intercambiables. La velocidad de desplazamiento del catión depende además del tipo y cantidad de arcilla, de la concentración del elemento, así como de las condiciones de humedad y temperatura que prevalezcan en el suelo, aunque cabe aclarar que la velocidad de reacción es más rápida e intensa entre la solución del suelo y los sitios de intercambio, en comparación a la que se produce entre estos y el área no

intercambiable. Si el catión de interés no está en suficiente cantidad en la zona de intercambio, al aplicar el fertilizante el flujo tenderá a ocurrir de la solución del suelo hasta la zona de no intercambio, por lo que si no se hace una correcta aplicación del nutriente, el cultivo no podrá aprovecharlo y se concluirá de manera errónea que no hubo respuesta a la adición del fertilizante.

Las plantas toman el potasio como K^+ . Puede ser que tomen el potasio que está adsorbido (potasio intercambiable) o el que se encuentra disuelto en la solución del suelo. El calcio se aprovecha como Ca^{2+} , el cual suele ser muy abundante en la mayoría de los suelos a menos que sea extremadamente ácido o muy arenoso. El magnesio (Mg^{2+}) suele ser deficiente en suelos muy arenosos o de un valor bajo en capacidad de intercambio catiónico. La disponibilidad de micronutrientes es dependiente del pH del suelo y del contenido de materia orgánica. A cierto valor de pH, los micronutrientes pueden formar compuestos inorgánicos no solubles y, por lo mismo, no estar disponibles para el cultivo. La materia orgánica contribuye a reducir estos problemas porque si la concentración del micronutriente es muy baja, el material orgánico lo aporta y resuelve la condición de déficit. Los metálicos (Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} y Zn^{2+}) son ligados a compuestos orgánicos solubles formando quelatos fácilmente disponibles. Si los micronutrientes están en cantidades muy altas, la materia orgánica los atrae y dejan de ser tóxicos. A bajos valores de pH aumenta considerablemente la concentración de los micronutrientes metálicos y por lo mismo suelen volverse tóxicos. El cobre y zinc están como impurezas en las estructuras cristalinas de las arcillas y otros minerales. A medida que se intemperizan estos materiales, estos nutrientes son liberados, incrementando su disponibilidad en el suelo, pero también pueden ser adsorbidos sobre los sitios de intercambio. El cobre puede llegar a ser tóxico aún en bajas concentraciones, por lo que se sugiere no adicionarlo a menos que se compruebe su necesidad de manera fehaciente. Entre los micronutrientes, el hierro es el que las plantas requieren en mayores cantidades. Aunque se encuentra en grandes cantidades en el suelo, en ciertas ocasiones forma compuestos insolubles ocasionando deficiencias a pesar de su abundancia, lo cual ocurre en ambientes alcalinos, con alto contenido de cal donde hay una pobre aireación. El manganeso se aprovecha como Mn^{2+} aunque puede ser oxidado a la forma MnO_4^- . Altas concentraciones de manganeso es posible que induzcan deficiencias de hierro.

4.3 Eficiencia de recuperación de los fertilizantes

Los fertilizantes son materiales de origen químico u orgánico que contienen uno o más nutrientes esenciales para los cultivos. Por definición, se debe entender como nutriente esencial a todo elemento mineral que es indispensable para el desarrollo de las plantas, cuyas funciones no pueden ser reemplazadas por otros elementos. El contenido de nutrientes en los fertilizantes se expresa de la siguiente manera y orden: nitrogenados como porcentaje de nitrógeno elemental (N); fosfatados en porcentaje de anhídrido fosfórico (P_2O_5); potásicos como porcentaje de óxido de potasio (K_2O). Por lo tanto, cuando se presentan en mezclas o compuestos, su concentración se suele reportar en tres números consecutivos, por ejemplo, la fórmula 17-17-17 (triple 17) indica que el fertilizante contiene 17% de nitrógeno, 17% de fósforo (como P_2O_5) y 17% de potasio (como K_2O). El manejo de la fertilización está integrado por distintos factores, entre los que destacan los siguientes: a) selección de los insumos más convenientes por tipo de suelo, clima, cultivo y características del manejo como es el sistema de labranza, condición hídrica (riego o temporal), ciclo de producción, entre otros; b) método de aplicación del fertilizante (en banda, al voleo, incorporación, puesto sobre la superficie del terreno, entre otros; c) forma de aplicación de los nutrientes (orgánica o química) ya sea en forma líquida, gaseosa o sólida (gránulos o polvos), aplicados directamente al suelo o a través del agua de riego, por medio de mezclas físicas, complejos o fertilizantes simples, entre otros; d) oportunidad de la aplicación, esto es, si se adiciona todo antes o durante la siembra o se debe aplicar en distintas proporciones durante el ciclo del cultivo.

La eficiencia de recuperación del fertilizante se refiere al porcentaje de los nutrientes que aprovechó el cultivo y que estaban contenidos en el fertilizante aplicado al suelo, o en otras palabras, sólo una porción de los nutrientes contenidos en el fertilizante aplicado es absorbida por el cultivo, mientras que el resto seguirá dos rutas: a) los nutrientes reaccionarán con los componentes del suelo quedando en formas no aprovechables, aunque al cabo del tiempo se puedan liberar y queden nuevamente disponibles, denominándose a esto “efecto residual”; b) si por algún mecanismo o reacción los nutrientes no quedan retenidos en los componentes del suelo y no los llega a absorber el cultivo, estarán sujetos a diversos procesos de pérdida. La eficiencia de la fertilización no es constante y su

variación depende del tipo de nutriente, puesto que los distintos elementos (y sus formas químicas) presentan reacciones específicas con los diversos componentes del suelo, cuya intensidad se modifica por diversas causas (fuente empleada para aportar los nutrientes, método de aplicación, oferta nutrimental, humedad y temperatura del suelo, entre otras). De hecho, en algunos casos puede ser tan baja como 10%, lo cual suele ocurrir en la fertilización fosfatada en suelos muy reactivos, mientras que la fertilización potásica llega a ser del orden de 90% en suelos poco reactivos. Ambos ejemplos son reales y no es posible incrementar dichos valores de manera significativa, pero si no se hace un manejo apropiado de la fertilización, sin lugar a dudas la eficiencia será mucho menor a la esperada.

En el Cuadro 27 se presenta la distribución de frecuencia de los parámetros que están relacionados con la eficiencia de recuperación del fertilizante nitrogenado en las plantaciones de caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio.

Cuadro 27. Distribución de frecuencia (DF) de los parámetros relacionados con la eficiencia de recuperación del fertilizante nitrogenado (E_{RN}) en las plantaciones de caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio.

cL		cD		cV		E_{RN}	
%	DF	%	DF	%	DF	%	DF
<5	67	<5	3	<5	84	<30	0
5 a 10	25	5 a 10	38	5 a 10	14	30 a 40	0
10 a 15	7	10 a 15	58	10 a 15	2	40 a 50	14
15 a 20	1	15 a 20	0	15 a 20	0	50 a 60	86
>20	0	>20	0	>20	0	>60	0

cL= Coeficiente de lixiviación; cD= coeficiente de desnitrificación; cV= coeficiente de volatilización

Para el caso del nitrógeno, una eficiencia de 50% se considera como razonable desde el punto de vista ecológico y económico. Como ejemplo, si se aplican 100 kgN ha⁻¹, la caña aprovechará 50 kgN ha⁻¹ y los 50 kgN ha⁻¹ restantes aunque no son asimilados por el cultivo no se pierden, ya que se distribuyen en diversos procesos, por ejemplo, 10 kgN ha⁻¹ se perderán por alguna de las vías de salida

del sistema (por ejemplo lixiviación o desnitrificación), los 40 kgN ha⁻¹ restantes quedarán en formas orgánicas no asimilables por el cultivo de manera temporal, mismas que podrían incrementar la oferta de nitrógeno para el siguiente ciclo, aunque también es viable que estén sujetas a los procesos de pérdidas ya comentados. Lo que sin duda ocurre, si no se aplica el fertilizante en tiempo y forma de manera correcta y oportuna, es intensificar los procesos de pérdida hacia la atmósfera (transformaciones a formas gaseosas como óxido nitroso, N₂, amoniaco) o a los cuerpos de agua superficiales (por arrastre) o subterráneos (principalmente nitratos), con la consecuente disminución de la eficiencia de la fertilización.

La fabricación de los fertilizantes nitrogenados consiste en fijar el nitrógeno atmosférico y su combinación con otros elementos hasta lograr productos que puedan ser manejables y que se encuentre en forma asimilable como amonio (NH₄⁺) o nitrato (NO₃⁻), o bien, que en el suelo se transforme fácilmente a través de diferente tipo de reacciones (caso del amoniaco o de la urea). En la actualidad casi todo el nitrógeno fijado es en forma de amoniaco (NH₃) usando como fuente de energía combustibles fósiles (como es el caso del gas natural), aunque también se emplean otros productos como carbono mineral y por ello se han encarecido considerablemente en los años recientes, por la tendencia al elevado precio del petróleo. El sulfato de amonio (NH₄)₂SO₄ (21.5% de N) proviene de neutralizar el amoniaco con el ácido sulfúrico con el amoniaco, aunque también suele aprovecharse como un subproducto de diversos procesos industriales. Con la oxidación del amoniaco se forma el ácido nítrico y al neutralizar ambos compuestos se obtiene el nitrato de amonio NH₄NO₃ (33.5% de N). A este producto se le añaden materiales inertes como cal o dolomita para evitar riesgos de explosión, mientras que los amonitratos suelen tener una concentración menor (20 a 28% de nitrógeno). La urea CO(NH₂)₂ es una molécula orgánica y se obtiene por reacción del amoniaco con el CO₂ como subproducto de la fabricación del amoniaco. Es el fertilizante sólido con mayor contenido de nitrógeno (46% de N). El nitrato de calcio Ca(NO₃)₂ se fabrica al neutralizar el ácido nítrico con caliza o como subproducto durante la obtención de los nitrofosfatos. El nitrato de sodio o salitre NaNO₃ es extraído de yacimientos y su fabricación consiste sólo en su depuración. Los fertilizantes líquidos nitrogenados varían de acuerdo a la presión

requerida para su almacenamiento. Entre los de alta presión se encuentra el amoniaco (>82% de N), el cual por lo mismo debe ser almacenado en recipientes especiales que resistan las altas presiones del amoniaco en estado líquido. Su ventaja es el bajo precio por unidad de nitrógeno. Los de presión media se refieren básicamente al acuamonia, que no es más que una solución de amoniaco en agua, pero no representa grandes ventajas y sí muchos inconvenientes. Los que carecen de presión son soluciones acuosas y que la concentración varía entre 18 y 34% de N. Son productos de la disolución del nitrato de amonio, urea y sulfato de amonio en agua. Suelen ser productos de bajo precio, de fácil almacenamiento y aplicación, por lo que está creciendo su mercado en diversas partes del país. Los fertilizantes líquidos deben enterrarse durante su aplicación para evitar pérdidas por evaporación, lo cual tiene que hacerse cuando el suelo tenga suficiente humedad para que el amoniaco se disuelva y se transforme en amonio. Las soluciones nitrogenadas sin presión pueden aplicarse sobre la superficie del suelo, pero siempre es preferible enterrarlas. En el Cuadro 28 se presenta la distribución de frecuencia de los parámetros relacionados con la eficiencia de recuperación del fertilizante fosfatado en las plantaciones de caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio.

Cuadro 28. Distribución de frecuencia (DF) de los parámetros relacionados con la eficiencia de recuperación del fertilizante fosfatado (E_{RP}) en las plantaciones de caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio.

$*I_{AA}$		E_{RP}	
ppm kg^{-1}	DF	%	DF
<6	27	<13	15
6 a 7	41	13 a 15	24
7 a 8	19	15 a 17	34
8 a 9	12	17 a 19	27
>9	1	>20	0

$*I_{AA}$ = Índice de adsorción de aniones

Suponiendo que el manejo de la fertilización se hace de manera adecuada y que sólo se trata del cultivo de la caña de azúcar, el aprovechamiento del fósforo contenido en el fertilizante aplicado dependerá básicamente de la intensidad de la adsorción de los fosfatos en el suelo. Es posible que se dé el caso de que la absorción sea muy escasa o casi si el fertilizante no se sitúa de manera apropiada para que las raíces de la planta lo pueda alcanzar, lo cual resalta sobre todo cuando el nivel de fósforo en el suelo es muy pobre y su índice de adsorción de aniones sea mayor.

El fósforo existe de manera natural en depósitos de roca fosfórica, en formas que no son aprovechables por los cultivos en la mayoría de los casos. Por ello, se deben transformar los fosfatos extraídos de los yacimientos en formas solubles o asimilables. Para ello, la roca se trata con ácidos, cuya calidad y cantidad da origen al producto que se obtiene. El superfosfato simple se fabrica al combinar el fosfato natural con ácido sulfúrico, produciendo fosfato monocálcico $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, (21% de P como P_2O_5) el cual puede ser aprovechado sin ningún problema por el cultivo. La obtención del superfosfato triple es similar al caso anterior pero el ácido que se emplea es el fosfórico. Como no se genera sulfato de calcio en el proceso, tiene mayor concentración de fósforo (46% de P como P_2O_5).

Los fertilizantes compuestos contienen combinaciones de nitrógeno, fósforo y potasio, ya sea dos de ellos, los tres e incluso pueden contener otros nutrientes. Si esto no es consecuencia de una mezcla física simple y su combinación se hace con base en reacciones químicas se les denomina fertilizantes complejos, lo cual se hace a través de la adición de ácido nítrico (nitrofosfatos) o fosfórico (fosfatos amónicos). Los nitrofosfatos se fabrican añadiendo ácido nítrico a la roca fosfórica y en algunos casos también se emplea el ácido sulfúrico, neutralizando la reacción con amoníaco. Al atacar la roca fosfórica con ácido sulfúrico se produce sulfato de calcio, el cual se desecha. El ácido fosfórico que resulta de tal reacción se neutraliza con amoníaco y según la proporción empleado de ácido fosfórico y amoníaco se obtiene el fosfato monoamónico (11% de N y 55% de P_2O_5), o el fosfato diamónico (18% de N y 46% de P_2O_5). Una vez que se obtiene el producto binario (combinación de N-P) se mezclan con fertilizantes potásicos para fabricar los ternarios (N-P-K) o incluso cuaternarios al agregar magnesio (N-P-K-Mg). En el Cuadro 29 se presenta la distribución de frecuencia de los parámetros

relacionados con la eficiencia de recuperación del fertilizante potásico en las plantaciones de caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio.

Cuadro 29. Distribución de frecuencia (DF) de los parámetros relacionados con la eficiencia de recuperación del fertilizante potásico (E_{RK}) en las plantaciones de caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio.

$*E_{cK}$		$*I_{Ac}$		E_{RK}	
kg ppm ⁻¹	DF	ppm ppm ⁻¹	%	%	DF
<0.25	0	<0.25	0	<20	0
0.25 a 0.45	0	0.25 a 0.45	27	20 a 40	62
0.45 a 0.65	74	0.45 a 0.65	70	40 a 60	30
0.65 a 0.85	26	0.65 a 0.85	3	60 a 80	9
>0.85	0	>0.85	0	>80	0

* E_{cK} = eficiencia de absorción del cultivo; I_{AA} = Índice de adsorción de cationes

El caso de la eficiencia de recuperación del potasio es similar a la del fósforo, puesto que también es un nutriente inmóvil. En este caso, al ser un catión, la reacción de adsorción se lleva a cabo sobre la superficie de las arcillas, cuya intensidad está cuantificada mediante el índice de adsorción de cationes, esto es, mientras mayor sea su valor la inmovilidad del potasio también lo será y viceversa, lo cual a su vez afectará la eficiencia con la que las raíces podrán absorber el nutriente, de ahí que también se considere dicho parámetro para calcular la eficiencia de recuperación del potasio. Los minerales potásicos pueden ser utilizados de manera directa como fuentes de potasio, pero como suelen tener impurezas que pudiesen ser tóxicas, es necesario que se depuren y elimine el riesgo de inducir daños al cultivo. El cloruro de potasio contiene entre 50 y 60% de K (como K_2O). El sulfato de potasio se fabrica a partir de combinar el cloruro de potasio con ácido sulfúrico y como subproducto se genera HCl. La concentración de potasio en este fertilizante suele ser alrededor de 50% (como K_2O), con un escaso contenido en cloro (<2.5%). El nitrato de potasio también se deriva a partir

del cloruro de potasio, pero ahora se combina con ácido nítrico, el cual aporta 13% de N y 44% de potasio como K_2O .

Una forma de atenuar el problema de una baja eficiencia de recuperación del fertilizante es incrementar la dosis para satisfacer la demanda del cultivo, pero esta forma de proceder no es conveniente porque resulta costosa para el productor y daña el ambiente, lo más apropiado es detectar cuál es el origen del problema y resolverlo, para incrementar la eficiencia de la fertilización y aplicar sólo lo que se necesita, disminuyendo tanto los costos como los riesgos de contaminación. Cabe señalar que los métodos convencionales de los servicios de análisis químicos del suelo no cuantifican de manera directa la eficiencia de la fertilización, pero sí es factible que durante la calibración de los métodos se consideren de manera implícita los factores que modifican a la eficiencia de la fertilización. Por ello es una metodología específica por tipo de suelo y cultivo, aplicable para una región determinada cuya información no debe extrapolarse, ya que de lo contrario los resultados no serán confiables y se crearán más problemas que las posibles soluciones. Como alternativa, el método MINUTO cuantifica de manera directa los procesos involucrados en la relación de los nutrientes con los diversos componentes del suelo, así como la integración de los factores que modifican la eficiencia de recuperación de los fertilizantes.

4.4 Dosis de nutrientes propuestas y comentarios finales

El rendimiento de la caña de azúcar es consecuencia de la manifestación de una serie de variables de distinta naturaleza (aspectos socioeconómicos, técnicos, ambientales, entre otros). Al respecto y en el caso concreto del área de abasto del ingenio, a pesar de que la mayor parte de la gente que entrevistamos manifestó tener una producción que calificó entre buena y excelente, expresaron estar inconformes con su actividad y preferirían dejar las siembras para dedicarse a otra actividad. En lo que concierne a los aspectos técnicos de la producción, la mayoría de los cañeros del área de abasto del ingenio que participaron en la encuesta manifestaron que la problemática relacionada con la disponibilidad de agua es el factor que repercute en mayor medida sobre la productividad de su sistema de producción. A pesar de que la aplicación de materiales orgánicos al suelo está catalogada como una práctica agrícola deseable por tener efectos muy positivos

sobre la calidad del suelo, esta actividad aún no forma parte del manejo agronómico considerado en los sistemas de producción cañero del área de abasto del ingenio, o al menos no como un elemento a tomar en cuenta de manera sistemática. En el siguiente cuadro se presenta el modelo en que se propone la aplicación de nitrógeno, fósforo y potasio de acuerdo a las condiciones específicas del terreno de cada productor, para lo cual se deben responder las preguntas que ahí se indican. El programa de cálculo de las dosis está diseñado con base en las condiciones específicas del área cañera de acuerdo con los resultados obtenidos en las Etapas I y II del presente proyecto. Para activar el programa, es necesario teclear dos veces sobre él con el cursor del ratón.

Responda las siguientes preguntas			
Meta de Rendimiento (t/ha)	¿Cuánto Fósforo aplica por ciclo? (en kg P ₂ O ₅ /ha)	¿Cuánta arcilla tiene su terreno? (en %)	¿Qué pH tiene su terreno?
120	70	20	6

Recomendaciones de fertilización		
Nitrógeno	Fósforo	Potasio
kg N/ha	kg P ₂ O ₅ /ha	kg K ₂ O/ha
160	120	80

La eficiencia de recuperación del fertilizante nitrogenado depende de una serie de factores que condicionan la disponibilidad del nutriente aplicado y que pueden acelerar los procesos de pérdida. En el caso particular de la zona de abasto del ingenio, la desnitrificación representa uno de los mayores riesgos de disminución del aprovechamiento del nitrógeno en el área cañera. Este proceso ocurre cuando el agua desplaza el oxígeno libre del suelo, creando zonas anaerobias. Ante estas condiciones, se desarrollan microorganismos adaptadas a tal situación, quienes emplean el oxígeno contenido en la molécula del nitrato (NO₃⁻) y lo transforman a formas gaseosas de distinto tipo, entre las que destacan el óxido nitroso y el nitrógeno molecular, por lo que se perderá del suelo. Esto se puede disminuir significativamente evitando que el terreno se anegue por períodos prolongados, ya

sea a través de un drenaje apropiado o haciendo un correcto uso del agua de riego (cuando se dispone de este recurso).

V. Referencias bibliográficas

- Anderson, D. L., K. M. Portier, T. A. Obreza, M. E. Collins, and D. J. Pitts. 1997. Tree Regression Analysis to Determine Effects of Soil Variability on Sugarcane Yields Soil Sci. Soc. Am. J. 63: 592-600.
- Bar-Tal, A., S. Feigenbaum, S. Fishman, M. Eick and D. Sparks. 1995. Determination of Rate Coefficients for Potassium-Calcium Exchange on Vermiculite using a Stirred-Flow Chamber. Soil Sci Soc Am J 59:423-429
- Eick MJ, DL. Sparks, A. Bar-Tal and S. Feigenbaum. 1995. Analyses of Adsorption Kinetics Using a Stirred-Flow Chamber: II. Potassium-Calcium Exchange on Clay Minerals. Soil Sci Soc Am J 59:760-765
- Guppy, C. NW. Menzies, F.P.C. Blamey, and PW. Moody. 2005. Do Decomposing Organic Matter Residues Reduce Phosphorus Sorption in Highly Weathered Soils? Soil Sci. Soc. Am. J. 69:1405–1411
- Jardine, P.M. and D.L. Sparks. 1990. Potassium-Calcium Exchange in a Multireactive Soil System: I. Kinetics. Soil Sci Soc Am J 54:739-744
- Khalid, R., W. Patrick and R.D. 1977. Delaun. Phosphorus Sorption Characteristics of Flooded Soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 41:305-310.
- López-Hernández, D., G. Siegert, and J. Rodríguez. 1986. Competitive adsorption of phosphate with malate and oxalate by tropical soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 50:1460-1462.
- Ohno, T., and M. Susan Erich. 1997. Inhibitory Effects of Crop Residue-Derived Organic Ligands on Phosphate Adsorption Kinetics. J. Environ. Qual. 26:889-895.
- Olk, DC K. G. Cassman, R. M. Carlson. 1992. Kinetics of Potassium Fixation in Vermiculitic Soils under Different Moisture Regimes. Soil Sci Soc Am J 56:1421-1428
- Pohlman, A. A., Mid J. G. McColl. 1986. Kinetics of metal dissolution from forest soils by soluble organic acids. J. Environ. Qual. 15:86-92
- Sparks, D.L., L.W. Zelazny and D. Martens 1981. Kinetics of Potassium Desorption in Soil using Miscible Displacement. Soil Sci Soc Am J 45:1094-1099
- Sparks D.L. and P.M. Jardine. 1982. Thermodynamics of Potassium Exchange in Soil Using a Kinetics Approach. Soil Sci Soc Am J 46:875-877
- Sparks DL and J. Rechcigl. 1984. Comparison of Batch and Miscible Displacement Techniques to Describe Potassium Adsorption Kinetics in Delaware Soils. Soil Sci Soc Am J 48:39-45

- Vadas PA. and J. Thomas Sims. 2002. Predicting Phosphorus Desorption from Mid-Atlantic Coastal Plain Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:623–631
- Yang JE and Earl O. Skogley. 1990. Copper and Cadmium Effects on Potassium Adsorption and Buffering Capacity. *Soil Sci Soc Am J* 54:1278-1282
- Wang, Jim J. Dustin L. Harrell, and Paul F. Bell. 2004. Potassium Buffering Characteristics of Three Soils Low in Exchangeable Potassium *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 654-661.
- Wang JJ and Dustin L. Harrell, 2005. Effect of Ammonium, Potassium, and Sodium Cations and Phosphate, Nitrate, and Chloride Anions on Zinc Sorption and Lability in Selected Acid and Calcareous Soils *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69: 1036-1046.
- Zhou L. X., and J. W. C. Wong. 2000. Microbial Decomposition of Dissolved Organic Matter and Its Control during a Sorption Experiment. *J. Environ. Qual.* 29:1852-1856.

VI. Anexos

Parte	Posición	N Lab	N	Ca	Mg	K	P	S	B	Zn	Cu	Mn	Fe
			%	%	%	%	%	%	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹
Caña	Bajo	11476	0.14	0.03	0.02	0.69	0.03	0.08	0.58	4.57	0.51	35.57	8.70
Caña	Bajo	11494	0.07	0.04	0.02	0.18	0.04	0.05	0.83	1.86	0.14	7.77	12.46
Caña	Bajo	11485	0.33	0.03	0.05	0.51	0.11	0.06	0.68	6.65	0.14	33.46	13.55
Caña	Bajo	11467	0.22	0.03	0.04	0.49	0.06	0.07	1.41	6.73	0.14	6.75	14.81
Caña	Bajo	11470	0.16	0.03	0.07	0.24	0.08	0.05	0.78	3.06	0.24	54.68	18.43
Caña	Bajo	11491	0.35	0.05	0.04	0.57	0.05	0.09	0.75	7.54	1.96	12.53	18.66
Caña	Bajo	11479	0.38	0.06	0.04	0.31	0.09	0.07	3.12	5.83	0.14	5.43	20.41
Caña	Bajo	11482	0.22	0.07	0.09	0.22	0.06	0.11	0.55	2.34	0.14	15.23	29.36
Caña	Bajo	11473	0.54	0.07	0.12	0.22	0.11	0.07	3.75	3.03	0.14	13.84	31.03
Caña	Bajo	11488	0.12	0.52	0.09	0.96	0.10	0.12	2.54	14.84	0.31	94.42	122.91
Caña	Medio	11486	0.22	0.03	0.04	0.61	0.06	0.05	0.60	7.66	0.14	34.83	12.41
Caña	Medio	11471	0.12	0.03	0.07	0.34	0.03	0.06	0.73	5.14	0.14	76.81	14.39
Caña	Medio	11492	0.24	0.06	0.05	0.66	0.03	0.09	2.86	5.95	0.14	15.69	14.91
Caña	Medio	11489	0.14	0.05	0.02	0.30	0.04	0.08	0.39	6.12	0.14	6.74	16.48
Caña	Medio	11468	0.24	0.05	0.06	0.84	0.06	0.10	1.04	8.98	0.14	8.92	17.46
Caña	Medio	11483	0.12	0.04	0.06	0.23	0.05	0.07	0.58	2.80	0.96	16.06	17.93
Caña	Medio	11477	0.15	0.03	0.03	1.02	0.03	0.08	1.06	7.06	0.14	48.83	18.83
Caña	Medio	11495	0.10	0.04	0.03	0.17	0.04	0.05	0.82	4.19	0.14	6.69	24.76
Caña	Medio	11480	0.44	0.09	0.08	0.66	0.12	0.10	3.01	8.41	3.52	4.86	26.71
Caña	Medio	11474	0.40	0.11	0.15	0.25	0.07	0.10	1.46	4.08	5.11	18.71	41.91
Caña	Superior	11490	0.34	0.10	0.07	0.94	0.07	0.16	1.48	25.19	4.89	12.89	25.20
Caña	Superior	11478	0.43	0.06	0.06	1.83	0.06	0.12	3.26	31.76	2.84	127.77	26.81
Caña	Superior	11484	0.25	0.07	0.10	0.36	0.04	0.13	0.82	23.67	7.55	24.21	27.14
Caña	Superior	11496	0.61	0.05	0.06	0.09	0.07	0.06	0.55	3.00	0.14	18.68	30.95
Caña	Superior	11472	0.33	0.11	0.13	1.00	0.04	0.10	3.55	34.26	0.45	137.96	31.27
Caña	Superior	11493	0.30	0.07	0.09	1.10	0.03	0.10	2.67	17.05	0.14	28.46	35.90
Caña	Superior	11469	0.85	0.19	0.16	2.69	0.19	0.21	5.82	49.87	1.99	29.10	54.78
Caña	Superior	11481	0.69	0.21	0.19	1.41	0.16	0.25	4.98	25.91	2.50	15.17	90.59
Caña	Superior	11487	0.45	0.04	0.06	0.88	0.05	0.07	0.84	42.58	3.96	65.04	92.60
Caña	Superior	11475	1.09	0.23	0.02	0.09	0.03	0.05		2.04		3.19	
Diagnóstico		11364	225	133	47	295	33	30	43	77	13	353	349
Diagnóstico		11365	354	136	46	482	44	38	38	67	10	776	396
Diagnóstico		11366	294	103	72	387	40	51	51	60	15	608	882
Diagnóstico		11367	300	145	89	519	32	39	71	35	8	867	440
Diagnóstico		11368	222	161	76	483	30	56	58	44	8	279	475
Diagnóstico		11369	332	222	119	641	38	53	73	44	13	220	579
Diagnóstico		11370	258	216	73	507	31	42	42	35	9	504	549
Diagnóstico		11371	167	276	89	539	26	59	35	29	8	474	675
Diagnóstico		11372	170	170	62	538	27	35	39	43	7	576	530
Diagnóstico		11373	242	299	124	672	35	78	24	49	14	456	2192
Diagnóstico		11374	297	274	99	518	36	61	49	43	13	564	3139
Diagnóstico		11375	356	304	100	445	46	56	73	69	19	225	1796
Diagnóstico		11376	313	333	88	786	39	72	92	67	21	893	1034
Diagnóstico		11377	238	241	72	677	42	60	76	63	17	237	1137
Diagnóstico		11378	254	193	75	544	33	47	52	123	16	260	942
Diagnóstico		11379	584	358	121	950	58	85	74	92	33	1034	2006
Diagnóstico		11380	474	362	100	684	58	105	97	133	26	902	1197
Diagnóstico		11381	452	326	110	541	51	93	71	83	106	577	1256
Diagnóstico		11382	416	301	76	900	42	92	49	74	15	409	1744
Diagnóstico		11383	496	273	66	860	48	77	88	80	17	283	2588
Diagnóstico		11384	318	293	59	895	43	65	52	61	25	218	1020
Diagnóstico		11385	512	338	68	1050	50	76	72	77	20	254	1150
Diagnóstico		11386	367	211	51	495	44	60	52	60	29	210	783
Diagnóstico		11387	550	466	88	875	68	105	63	81	18	263	829
Diagnóstico		11388	335	224	48	612	49	61	49	49	15	196	339
Diagnóstico		11389	461	225	57	627	88	67	83	64	21	227	497
Diagnóstico		11390	376	255	65	372	42	71	39	84	16	88	410
Diagnóstico		11391	349	103	31	294	20	33	32	46	6	75	745
Diagnóstico		11392	320	243	73	397	36	90	46	35	16	163	409
Diagnóstico		11393	189	87	28	305	26	38	38	47	15	198	268
Diagnóstico		11394	293	102	49	493	38	58	67	57	16	497	874
Diagnóstico		11395	400	304	99	769	37	67	94	91	16	1392	2347

Parte	Posición	N Lab	N	Ca	Mg	K	P	S	B	Zn	Cu	Mn	Fe
			%	%	%	%	%	%	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹
Diagnóstico		11396	337	273	113	560	34	43	32	59	12	514	1211
Diagnóstico		11397	256	135	76	309	30	41	85	57	13	1005	711
Diagnóstico		11398	275	291	109	371	29	55	38	61	12	707	549
Diagnóstico		11399	245	115	87	452	29	39	44	50	9	494	426
Diagnóstico		11400	336	160	98	335	35	56	38	76	21	1161	865
Diagnóstico		11401	281	153	77	694	33	2	65	64	14	492	905
Diagnóstico		11402	210	110	51	336	28	6	67	54	11	685	680
Diagnóstico		11403	262	92	49	305	17		27	35	2	878	372
Diagnóstico		11404	319	192	60	414	36		78	48	16	918	619
Diagnóstico		11405	243	183	85	481	38		56	44	8	317	358
Diagnóstico		11406	325	205	78	586	37		68	58	10	347	421
Diagnóstico		11407	262	213	53	819	38		42	114	13	194	770
Diagnóstico		11408	468	351	90	867	47	5	49	87	15	728	1242
Diagnóstico		11409	449	228	100	839	41		71	91	30	933	1248
Diagnóstico		11410	291	162	81	416	31		74	67	11	514	1077
Diagnóstico		11411	218	67	55	366	29		63	73	10	1044	632
Diagnóstico		11412	252	107	38	401	23		32	73	13	533	880
Diagnóstico		11413	437	309	94	934	51	21	46	74	13	1109	1764
Diagnóstico		11414	434	208	87	789	60		54	69	14	239	1018
Diagnóstico		11415	311	163	53	444	48		57	51	12	165	709
Diagnóstico		11416	280	167	64	340	35		58	43	11	257	722
Diagnóstico		11417	364	166	73	425	50		54	47	11	128	632
Diagnóstico		11418	334	195	76	380	42		52	50	13	96	474
Diagnóstico		11419	313	111	58	548	48		34	59	19	178	899
Diagnóstico		11420	408	262	89	877	46		46	84	18	302	1916
Diagnóstico		11421	498	408	139	1287	51		78	93	22	572	3245
Diagnóstico		11422	322	166	62	509	33	46	31	56	5	533	1127
Diagnóstico		11423	518	215	67	724	52	1		90	10	209	516
Diagnóstico		11424	589	443	90	828	53	35		136	26	533	3214
Diagnóstico		11425	695	493	92	791	86			105	20	286	1506
Diagnóstico		11426	371	302	56	970	38			57	4	692	301
Diagnóstico		11427	311	171	31	813	39			59	7	926	58
Diagnóstico		11428	353	244	43	571	34		19	83	11	171	1743
Diagnóstico		11429	416	302	68	766	60			90	10	518	2398
Diagnóstico		11430	434	282	51	878	54			70	9	329	504
Diagnóstico		11431	455	330	86	701	54	11		92	5	670	911
Diagnóstico		11432	397	211	88	643	41			60	2	297	77
Diagnóstico		11433	439	323	93	1116	42			52	5	426	616
Diagnóstico		11434	437	327	97	723	40		19	50	4	326	1973
Diagnóstico		11435	469	265	64	890	60			56	9	342	339
Diagnóstico		11436	507	280	65	1073	75			68	9	186	229
Hoja	Bajo	11449	0.42	0.39	0.12	0.10	0.05	0.07	12.02	3.92	2.06	42.47	59.49
Hoja	Bajo	11452	0.25	0.72	0.24	0.21	0.03	0.19	14.38	4.83	2.89	212.27	87.59
Hoja	Bajo	11443	0.36	0.56	0.20	0.10	0.03	0.19	10.06	5.63	8.33	158.16	88.24
Hoja	Bajo	11455	0.28	0.34	0.06	0.09	0.03	0.10	7.91	8.71	1.97	268.11	100.78
Hoja	Bajo	11458	0.27	0.58	0.08	0.54	0.03	0.37	6.25	6.26	0.67	47.13	101.10
Hoja	Bajo	11446	0.20	0.37	0.10	0.61	0.03	0.22	10.33	6.39	1.15	392.29	192.84
Hoja	Bajo	11464	0.55	0.68	0.15	0.27	0.06	0.13	13.57	10.94	1.96	76.44	295.92
Hoja	Bajo	11437	0.40	0.63	0.21	0.79	0.03	0.17	9.42	16.84	4.21	87.43	
Hoja	Bajo	11461	0.37	0.54	0.17	0.41	0.03	0.19	8.50	5.22	1.18	121.51	
Hoja	Bajo	11440	0.41	0.54	0.17	0.15	0.03	0.19	15.08	6.22	2.82		
Hoja	Medio	11453	0.32	0.29	0.19	0.19	0.03	0.22	9.94	3.43	1.59	133.52	66.68
Hoja	Medio	11450	0.30	0.55	0.20	0.44	0.06	0.17	11.18	9.08	2.63	44.08	78.40
Hoja	Medio	11456	0.39	0.33	0.07	0.19	0.03	0.13	6.06	11.14	2.92	245.65	82.11
Hoja	Medio	11444	0.46	0.66	0.21	0.16	0.03	0.20	14.60	8.17	2.39	176.45	182.16
Hoja	Medio	11465	0.52	0.54	0.15	0.25	0.05	0.12	11.92	13.54	4.93	64.27	187.89
Hoja	Medio	11447	0.26	0.42	0.09	0.51	0.03	0.16	8.47	10.54	3.02	369.73	188.26
Hoja	Medio	11462	0.32	0.45	0.14	0.44	0.03	0.14	7.57	5.54	0.14	97.78	198.05
Hoja	Medio	11459	0.42	0.53	0.07	0.64	0.03	0.40	8.04	4.90	1.07	41.78	229.85
Hoja	Medio	11438	0.65	0.57	0.18	1.15	0.06	0.19	6.34	17.70	6.47	84.24	
Hoja	Medio	11441	0.43	0.64	0.21	0.34	0.03	0.20	11.19	8.21	2.57		
Hoja	Superior	11451	0.67	0.50	0.23	1.09	0.11	0.22	6.18	11.35	2.10	38.61	134.10
Hoja	Superior	11445	0.51	0.71	0.25	0.77	0.06	0.19	6.98	10.91	1.96	99.13	135.01
Hoja	Superior	11448	0.46	0.41	0.09	0.98	0.04	0.13	5.51	10.68	2.74	240.97	189.49
Hoja	Superior	11439	1.00	0.32	0.11	1.57	0.15	0.16	6.77	19.50	6.07	41.61	190.55

Parte	Posición	N Lab	N	Ca	Mg	K	P	S	B	Zn	Cu	Mn	Fe
			%	%	%	%	%	%	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹
Hoja	Superior	11463	0.58	0.39	0.15	1.14	0.05	0.14	7.28	12.83	3.38	74.60	191.62
Hoja	Superior	11457	0.56	0.40	0.09	1.17	0.05	0.15	6.52	15.82	2.21	246.08	194.95
Hoja	Superior	11466	0.69	0.65	0.16	1.22	0.09	0.17	5.07	9.70	1.64	69.80	247.13
Hoja	Superior	11454	0.55	0.42	0.23	1.55	0.05	0.34	6.41	13.36	2.77	154.99	297.19
Hoja	Superior	11460	0.62	0.63	0.07	1.33	0.06	0.24	5.35	9.27	2.24	43.19	
Hoja	Superior	11442	0.78	0.59	0.22	1.35	0.07	0.17	4.56	16.61	2.99		

N Lab	X	Y	cL	cD	cV	ERN	bP	ERP	cK	Ec	ERK
			%	%	%	%	ppm/kg	%	ppm/ppm	ppm/kg	%
1966	-96.89	19.34	5	10	1	54	6.5	16	0.52	0.63	43
1967	-96.86	19.35	6	9	1	54	7.1	14	0.55	0.67	48
1968	-96.88	19.35	7	8	2	53	6.1	17	0.56	0.68	50
1969	-96.88	19.34	8	8	0	54	7.6	13	0.58	0.70	53
1970	-96.90	19.32	2	12	1	56	7.5	14	0.43	0.54	30
1971	-96.91	19.30	2	12	1	56	7.9	13	0.41	0.51	27
1972	-96.90	19.30	2	11	1	56	7.5	14	0.42	0.53	29
1973	-96.91	19.30	2	11	2	55	6.6	15	0.43	0.54	30
1974	-96.89	19.30	4	10	0	56	8.3	12	0.49	0.61	39
1975	-96.89	19.31	3	11	7	49	5.7	18	0.45	0.56	33
1976	-96.82	19.37	2	12	9	48	5.8	18	0.43	0.54	30
1977	-97.03	19.36	14	5	1	50	6.5	16	0.64	0.75	62
1978	-97.02	19.36	15	4	1	50	6.5	16	0.68	0.78	69
1979	-97.02	19.36	12	5	3	49	5.8	18	0.63	0.74	61
1980	-96.87	19.37	3	11	1	55	6.8	15	0.47	0.58	35
1981	-96.88	19.38	4	10	1	55	7.1	14	0.50	0.61	40
1982	-96.89	19.37	4	10	2	54	6.3	16	0.46	0.58	35
1983	-96.95	19.44	2	11	6	50	5.8	17	0.43	0.54	30
1984	-96.94	19.44	3	11	2	54	6.6	15	0.45	0.56	33
1985	-96.94	19.44	3	11	2	54	6.2	16	0.44	0.55	32
1986	-96.94	19.45	2	11	1	56	7.7	13	0.43	0.54	30
1987	-96.93	19.44	3	11	0	56	8.3	12	0.46	0.57	34
1988	-96.93	19.45	2	11	5	51	5.9	17	0.43	0.54	30
1989	-96.93	19.48	2	11	1	56	7.7	13	0.45	0.56	32
1990	-96.92	19.48	9	7	0	53	7.8	13	0.64	0.75	63
1991	-96.92	19.47	2	11	1	55	7.2	14	0.45	0.57	33
1992	-96.91	19.47	2	12	0	56	8.0	13	0.40	0.50	26
1993	-96.90	19.49	2	12	0	56	8.3	12	0.40	0.50	26
1994	-96.89	19.48	2	12	1	56	7.4	14	0.41	0.51	27
1995	-96.89	19.47	2	12	0	56	8.1	13	0.40	0.50	26
1996	-96.91	19.46	1	12	0	56	8.0	13	0.37	0.46	22
1997	-96.91	19.45	2	12	0	56	8.3	12	0.42	0.53	29

N Lab	X	Y	cL	cD	cV	ERN	bP	ERP	cK	Ec	ERK
			%	%	%	%	ppm/kg	%	ppm/ppm	ppm/kg	%
1998	-96.92	19.45	2	12	1	55	6.9	15	0.43	0.53	29
1999	-96.90	19.38	3	11	1	55	6.9	15	0.47	0.58	36
2000	-96.92	19.41	3	11	8	48	5.8	18	0.46	0.57	34
2001	-96.90	19.41	3	11	1	55	6.7	15	0.46	0.57	34
2002	-96.92	19.42	3	11	2	54	6.4	16	0.44	0.55	32
2003	-96.88	19.42	4	10	2	54	6.2	16	0.47	0.58	35
2004	-96.87	19.41	6	9	11	44	5.8	18	0.52	0.64	44
2005	-96.89	19.40	4	10	5	51	5.7	18	0.49	0.61	39
2006	-96.87	19.40	6	9	3	53	6.0	17	0.52	0.64	43
2007	-96.88	19.39	6	9	0	55	8.0	13	0.54	0.65	46
2008	-96.86	19.39	4	10	3	53	6.0	17	0.47	0.59	36
2009	-96.85	19.38	2	12	7	49	5.9	17	0.39	0.49	25
2010	-96.82	19.37	2	11	5	51	5.8	18	0.44	0.55	31
2011	-96.80	19.36	4	10	5	51	5.8	18	0.47	0.58	35
2012	-96.84	19.41	7	8	2	53	6.3	16	0.57	0.69	51
2013	-96.83	19.40	4	10	3	53	6.2	17	0.49	0.61	39
2014	-96.82	19.39	13	5	1	51	6.9	15	0.69	0.80	72
2015	-96.81	19.38	11	6	1	52	7.2	14	0.64	0.75	62
2016	-96.83	19.39	7	8	2	53	6.1	17	0.58	0.70	53
2017	-96.87	19.42	6	9	3	52	5.9	17	0.52	0.64	43
2018	-96.89	19.42	4	10	2	54	6.3	16	0.47	0.58	35
2019	-96.82	19.58	4	10	7	49	5.7	18	0.51	0.62	41
2020	-96.83	19.59	5	9	8	48	5.6	18	0.54	0.66	46
2021	-96.84	19.59	3	11	5	51	5.9	17	0.46	0.57	34
2022	-96.83	19.57	5	9	4	51	5.8	18	0.52	0.64	43
2023	-96.85	19.56	7	8	1	54	6.6	16	0.55	0.67	48
2024	-96.87	19.57	6	9	2	53	6.1	17	0.53	0.65	44
2025	-96.90	19.33	5	9	2	54	6.4	16	0.52	0.64	43
2026	-96.87	19.34	6	9	1	54	7.1	14	0.54	0.66	46
2027	-96.87	19.35	8	8	3	52	5.9	17	0.58	0.70	53
2028	-96.89	19.34	8	8	0	54	7.7	13	0.58	0.70	53
2029	-96.91	19.32	2	11	1	56	7.3	14	0.44	0.55	32
2030	-96.92	19.30	2	12	1	56	7.8	13	0.42	0.53	29
2031	-96.91	19.31	3	11	1	55	7.2	14	0.46	0.57	34
2032	-96.91	19.30	3	11	1	55	6.6	15	0.45	0.56	33
2033	-96.90	19.30	4	10	0	55	8.2	12	0.49	0.61	39
2034	-96.89	19.31	3	11	9	47	5.7	18	0.46	0.58	35
2035	-97.03	19.35	11	6	1	52	6.6	15	0.60	0.72	56
2036	-97.02	19.36	15	4	1	49	6.6	15	0.68	0.78	69

N Lab	X	Y	cL	cD	cV	ERN	bP	ERP	cK	Ec	ERK
			%	%	%	%	ppm/kg	%	ppm/ppm	ppm/kg	%
2037	-97.01	19.36	12	6	0	52	11.0	9	0.63	0.74	61
2038	-96.86	19.37	10	7	2	52	6.3	16	0.56	0.68	50
2039	-96.88	19.37	4	10	1	55	6.9	15	0.51	0.63	42
2040	-96.89	19.37	4	10	2	53	6.2	16	0.48	0.59	37
2041	-96.94	19.45	3	11	6	50	5.8	18	0.45	0.56	33
2042	-96.94	19.44	4	10	2	54	6.4	16	0.49	0.61	39
2043	-96.93	19.44	3	11	2	54	6.2	16	0.46	0.57	34
2044	-96.93	19.45	3	11	1	55	7.3	14	0.45	0.56	33
2045	-96.93	19.44	3	11	0	56	8.3	12	0.44	0.55	31
2046	-96.93	19.45	4	10	4	52	5.9	17	0.47	0.58	35
2047	-96.94	19.48	3	11	0	56	7.9	13	0.45	0.56	33
2048	-96.93	19.48	10	7	0	53	7.7	13	0.65	0.76	64
2049	-96.91	19.48	3	11	1	55	7.0	15	0.47	0.58	35
2050	-96.90	19.47	3	11	0	56	8.0	13	0.45	0.56	33
2051	-96.91	19.48	2	12	0	56	8.6	12	0.42	0.53	29
2052	-96.89	19.48	2	12	1	55	7.0	14	0.41	0.51	27
2053	-96.90	19.47	2	11	0	56	8.5	12	0.42	0.53	29
2054	-96.91	19.45	1	12	1	56	7.6	13	0.38	0.48	24
2055	-96.92	19.45	2	11	0	56	8.4	12	0.44	0.54	31
2056	-96.92	19.45	3	11	1	55	6.9	15	0.45	0.56	32
2057	-96.91	19.39	3	11	1	55	6.8	15	0.45	0.56	33
2058	-96.90	19.41	3	11	1	55	6.7	15	0.47	0.58	36
2059	-96.92	19.42	4	10	2	54	6.4	16	0.47	0.58	36
2060	-96.87	19.42	5	10	2	53	6.1	17	0.48	0.60	38
2061	-96.88	19.41	7	8	11	44	5.7	18	0.54	0.66	46
2062	-96.89	19.41	4	10	6	49	5.6	18	0.50	0.62	40
2063	-96.87	19.40	6	9	3	52	5.9	17	0.52	0.64	43
2064	-96.87	19.40	6	9	2	53	6.2	16	0.53	0.64	44
2065	-96.85	19.39	4	10	4	51	5.7	18	0.49	0.61	39
2066	-96.84	19.38	2	12	3	53	6.1	17	0.41	0.51	27
2067	-96.81	19.37	4	10	4	51	5.8	17	0.48	0.59	37
2068	-96.84	19.42	9	7	1	53	6.6	16	0.59	0.71	54
2069	-96.83	19.40	3	11	2	54	6.3	16	0.48	0.59	37
2070	-96.82	19.38	13	5	1	50	6.3	16	0.67	0.78	67
2071	-96.80	19.38	9	7	2	52	6.2	17	0.60	0.71	55
2072	-96.83	19.39	7	8	2	53	6.3	16	0.56	0.68	49
2073	-96.86	19.41	5	9	3	52	5.9	17	0.51	0.63	42
2074	-96.88	19.42	3	11	2	54	6.3	16	0.46	0.57	34
2075	-96.82	19.58	4	10	7	48	5.7	18	0.51	0.63	42

N Lab	X	Y	cL	cD	cV	ERN	bP	ERP	cK	Ec	ERK
			%	%	%	%	ppm/kg	%	ppm/ppm	ppm/kg	%
2076	-96.83	19.59	5	9	7	49	5.6	18	0.53	0.65	45
2077	-96.84	19.58	3	11	5	52	5.9	17	0.46	0.57	34
2078	-96.84	19.57	5	9	4	51	5.8	18	0.53	0.65	45
2079	-96.85	19.56	7	8	1	54	6.7	15	0.56	0.68	49
2080	-96.88	19.57	5	9	2	53	6.1	17	0.52	0.64	43