



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ

POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**EVALUACIÓN DEL MANEJO DEL NITRÓGENO EN EL
AGROECOSISTEMA CAÑA DE AZÚCAR**

JUAN CARLOS MORENO SECEÑA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS

TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ.

2010

La presente tesis, titulada: **Evaluación del manejo del nitrógeno en el agroecosistema caña de azúcar**, realizada por el alumno: **Juan Carlos Moreno Seceña**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS
EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. CESÁREO LANDEROS SÁNCHEZ

ASESOR:



DR. ARTURO PÉREZ VÁZQUEZ

ASESOR:



DR. CATALINO JORGE LÓPEZ COLLADO

ASESOR:



DR. OSCAR LUIS PALACIOS VÉLEZ

ASESOR:



DRA. Ma. DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ

EVALUACIÓN DEL MANEJO DEL NITRÓGENO EN EL AGROECOSISTEMA CAÑA DE AZÚCAR

Juan Carlos Moreno Seceña, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2010

El uso excesivo del fertilizante nitrogenado en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L) es fuente de contaminación de acuíferos. El objetivo del presente estudio fue evaluar la productividad, rentabilidad y cantidad de nitrógeno lixiviado en caña de azúcar, bajo la aplicación fraccionada de dosis de nitrógeno; así como la actitud de los productores cañeros hacia este manejo. El estudio se realizó en el Módulo de Riego I-1 La Antigua, Veracruz, incluyendo las fases siguientes: 1) Diagnóstico. Se identificó la actitud de productores a través de una encuesta que se aplicó a una muestra de 250 cañeros; y 2) Experimental. Se evaluaron nueve tratamientos que resultaron de los factores siguientes: dosis (250, 200 y 150 kg ha⁻¹ de N) y fraccionamientos (2, 3 y 4). Las variables de respuesta fueron: rendimiento, grados brix, relación Beneficio/Costo y lixiviación de N. Se encontró una actitud ligeramente positiva (3.3) en escala Likert hacia la reducción de la dosis y aumento en el fraccionamiento del N total que se aplica al cultivo. Para el rendimiento, sólo el fraccionamiento causó diferencias significativas; esto es, al fraccionar el nitrógeno en tres y cuatro aplicaciones se obtuvieron rendimientos superiores a 125 t ha⁻¹. Los valores más altos de grados brix (>15.7) se registraron con dosis de N de 250 y 200 kg ha⁻¹, fraccionada en cuatro aplicaciones. La mayor relación B/C (1.8) se observó con dosis de N de 150 kg ha⁻¹, fraccionada en tres aplicaciones. Las menores pérdidas por lixiviación se registraron con una dosis de 150 kg ha⁻¹ de N fraccionada en tres y cuatro aplicaciones, esto es, 16.80 y 15.40 kg ha⁻¹ de N respectivamente. Se concluyó que el empleo de dosis menores (150 kg ha⁻¹) y aplicaciones más fraccionadas (tres fraccionamientos) de N, representa una alternativa más sustentable para la producción de caña de azúcar. Por lo tanto, este manejo conducirá a una mayor eficiencia en la absorción de N por el cultivo y, en consecuencia, menos N se lixiviará hacia el acuífero. Los productores tendrán ahorros económicos al reducir cantidad de nitrógeno aplicado.

Palabras clave: *Saccharum officinarum* L., fertilizante nitrogenado, actitud, lixiviación.

EVALUATION OF NITROGEN MANAGEMENT IN SUGAR CANE AGROECOSYSTEMS

Ph. D. Juan Carlos Moreno Seceña
Colegio de Postgraduados, 2010

Excess use of nitrogen fertilizers in sugar cane (*Saccharum officinarum* L) crops is a source of pollution of subsurface water. The objective of this study was to evaluate productivity, profitability and amount of nitrogen leaching in sugar cane when total nitrogen applied to this crop is fractionized in several applications, as well as the attitude of sugar cane producers towards this fertilizer management practice. The study was carried out at the Módulo I-1 La Antigua, Veracruz, México, according to the following stages: 1) Diagnose Stage. The attitude of sugar cane producers was identified through a survey applied to 250 sugar cane producers; and 2) Experimental Stage. 9 different treatments were evaluated according to the followings factors: amount of nitrogen used (250, 200 and 150 kg ha⁻¹) and breaking up of nitrogen application (2, 3 and 4). The response variables were: yield, Brix degrees, cost-benefit and nitrogen leaching. A slightly positive attitude towards the decreasing of dosage and the increasing of breaking up of nitrogen application was found (3.3 on a Likert scale). Only breaking up of nitrogen application showed significant differences in yield; when 3 and 4 breaking up of nitrogen application were used, which resulted in a yield greater than 125 t ha⁻¹ of sugar cane. The highest Brix degree values (> 15.7) were recorded when 250 and 200 kg ha⁻¹ of nitrogen were fractionized in 4 applications. The best cost-benefit relationship was found with a dose of 150 kg ha⁻¹ fractionized in 3 applications. The lowest losses of nitrogen due to leaching were recorded for 150 kg ha⁻¹ of nitrogen fractionized in 3 and 4 applications, which corresponded to 16.80 kg ha⁻¹ and 15.40 kg ha⁻¹ respectively. It is concluded that the use of a small dose (150 kg ha⁻¹) and more breaking up (3) of nitrogen application is a more sustainable alternative to be used in sugar cane production. This kind of treatment will lead to an increase in nitrogen absorption by the crops and to a decrease in nitrogen leaching into the aquifer. In consequence, sugar cane producers will save money if they reduce the quantity of nitrogen used.

Key words: *Saccharum officinarum* L., nitrogen fertilizer, attitude, leaching.

DEDICATORIA

Dedico éste trabajo:

A Dios:

Porque a **Jehová** clamé estando en angustia, y el me respondió (Salmos 120:1).

A mi madre:

Magdalena Seceña Méndez, mujer ejemplar cuyo esfuerzo y lucha por mi educación es digno de agradecer y dedicar este trabajo.

A mi admirable esposa:

Claudia G. Farrera Zárate, por su comprensión y apoyo, y por ser el amor de mi vida y la madre de mi adorable hija.

A mi hija:

Karla Montserrath Moreno Farrera, para quien deseo, con todo mi corazón, que Dios guíe su vida en todo momento y la colme de grandes y ricas bendiciones.

A mi hermano:

Ulises Ramírez Seceña, a quien a pesar de no haber tenido la oportunidad de demostrarle cuánto le aprecio, creo que esta es una buena muestra de mi esfuerzo para hacerlo.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados, por ser una institución pujante y consolidada, y por haber contribuido, de manera especial, en mi formación académica de postgrado. Así como por el apoyo económico otorgado a través del Fideicomiso No. 167304 para el desarrollo de mi investigación doctoral.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), también por su contribución al financiamiento de este proyecto, como parte de la Convocatoria de Apoyo Complementario a Investigadores en Proceso de Consolidación (SNI 1), con clave PM-908-45. Asimismo, por otorgarme una BECA para llevar a cabo mis estudios doctorales.

Al Dr. Cesáreo Landeros Sánchez, por ser un profesor formador y con alto grado de exigencia, lo cual despertó en mí una gran motivación que me condujo hacia el desarrollo de nuevas y mayores capacidades académicas y de valores humanos.

A los profesores. C. Jorge López Collado, Arturo Pérez Vázquez, María Del Refugio Castañeda Chávez y Oscar L. Palacios Vélez por el asesoramiento recibido durante el desarrollo de mi tesis doctoral.

Al Personal Académico, de Laboratorio, Administrativo y de campo del Campus Veracruz, por las facilidades y apoyo brindado durante mis estudios.

A mis amigos Dr. Enrique Martínez Rubín de Celis, Daniel R. Martínez Torres, Juan Manuel Hernández Pérez, Jorge Romero Camacho, Gisela Muro Pérez, Viky Martínez Torres y Sergio Contreras Gallardo por su gran amistad, ayuda y apoyo.

A los estudiantes del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, Bulmaro, Samuel, Emanuel, Ricardo, Mauricio y Marco Antonio; quienes realizaron servicio social en este proyecto.

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	4
2.1. Plano político-social.....	6
2.2. Plano técnico-cultural.....	7
2.3. Plano económico.....	8
2.4. Plano ambiental.....	9
2.4.1. Impacto de la quema de la caña de azúcar	10
2.4.2. Impacto de la fertilización nitrogenada.....	11
3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	17
4. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	18
4.1. El concepto de agroecosistema.....	18
4.2. El Agroecosistema caña de azúcar.....	20
4.2.1. Historia del cultivo de la caña de azúcar.....	20
4.2.2. Importancia socio-económica del cultivo.....	21
4.2.3. Aspecto agronómico.....	22
4.3. El ciclo del nitrógeno en caña de azúcar.....	25
4.3.1. Mineralización.....	26
4.3.2. Fijación biológica de nitrógeno.....	26
4.3.3. Desnitrificación.....	26
4.3.4. Volatilización.....	27
4.3.5. Lixiviación.....	27
4.4. El concepto de actitud.....	28
5. HIPOTESIS	29
5.1. General.....	29

5.2. Particulares.....	29
6. OBJETIVOS.....	30
6.1. General.....	30
6.2. Particulares.....	30
7. MARCO DE REFERENCIA.....	31
8. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
8.1. Fase 1: Diagnóstico.....	35
8.1.1. Aplicación de encuesta.....	35
8.1.2. Sondeo.....	37
8.2. Fase 2: Experimento en campo.....	38
8.2.1. Ubicación del experimento.....	38
8.2.2. Tratamientos y factores en estudio.....	38
8.2.3. Diseño experimental.....	39
8.2.4. Modelo matemático del diseño experimental.....	41
8.2.5. Variables de respuesta.....	42
8.3. Análisis estadísticos.....	45
8.4. Operacionalización de hipótesis.....	45
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
9.1. Resultados de la Fase 1: Diagnóstico.....	48
9.1.1. Historial de la fertilización nitrogenada en el Módulo I-1 La Antigua.....	48
9.1.2. Estadísticos generales.....	50
9.1.3. Aspecto técnico-productivo.....	51
9.1.3.1. Descripción de la fertilización.....	55
9.1.4. Aspecto socioeconómico.....	59
9.1.5. Actitud registrada.....	62
9.1.6. Análisis de correlación entre variables.....	67

9.2. Resultados de la Fase 2: Experimento.....	69
9.2.1. Productividad.....	69
9.2.2. Rentabilidad del sistema.....	72
9.2.3. Lixiviación de nitrógeno.....	76
10. CONCLUSIONES.....	83
11. RECOMENDACIONES.....	85
11.1. Científicas.....	85
11.2. Tecnológicas.....	85
11.3. A los tomadores de decisión.....	86
12. LITERATURA CITADA.....	87
13. ANEXOS.....	97
14. RESEÑA FOTOGRÁFICA.....	115

LISTA DE CUADROS

		Página
Cuadro 1.	Nitrógeno aplicado al cultivo de caña de azúcar en algunos países.....	14
Cuadro 2.	Demanda de nutrimentos del cultivo de caña de azúcar.....	24
Cuadro 3.	Interpretación con base en escalonamiento tipo Likert.....	28
Cuadro 4.	Número de cañeros entrevistados por estrato.....	36
Cuadro 5.	Tratamientos evaluados para estudiar el efecto de dosis y fraccionamiento del nitrógeno.....	39
Cuadro 6.	Operacionalización de la hipótesis que muestran la actitud de los cañeros del Módulo de Riego I-1, hacia el uso reducido y manejo fraccionado del nitrógeno.....	46
Cuadro 7.	Operacionalización para medir productividad (P).....	47
Cuadro 8.	Operacionalización para medir rentabilidad del sistema (Re).....	47
Cuadro 9.	Operacionalización de hipótesis para medir lixiviación del N (LN).....	47
Cuadro 10.	Edad y escolaridad de productores cañeros del Módulo I-1 La Antigua.....	50
Cuadro 11.	Variedades de caña de azúcar cultivadas en el Módulo I-1 La Antigua	51
Cuadro 12.	Dosis de NPK aplicada a caña de azúcar en el Módulo I-1 La Antigua.....	55
Cuadro 13.	Forma de aplicación habitual del fertilizante (en porcentaje).....	59
Cuadro 14.	Enunciados que evalúan la actitud de los productores cañeros respecto a la conservación del agroecosistema y el uso reducido y fraccionado del N.....	62
Cuadro 15.	Actitud de productores del Módulo La Antigua hacia la disminución de dosis y fraccionamiento del N aplicado a la caña de azúcar.....	64

Cuadro 16.	Correlación entre variables de estudio del diagnóstico con niveles de significancia del 5 %.....	67
Cuadro 17.	Comparación de rendimientos medios en caña de azúcar, en relación al factor dosis y fraccionamiento de N.....	70
Cuadro 18.	Análisis de rentabilidad del empleo de dosis reducidas y fraccionadas del N en caña de azúcar.....	72
Cuadro 19.	Comparación de medias de la R B/C, obtenidas en caña de azúcar, en relación al factor dosis y fraccionamiento de N.....	74
Cuadro 20.	Integración de las variables en estudio de la fase 2.....	82

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Dinámica del agroecosistema caña de azúcar.....	05
Figura 2. Porcentaje de superficie, en producción, de caña de azúcar en México.....	20
Figura 3. Ciclo de nitrógeno en caña de azúcar	25
Figura 4. Módulo de Riego I-1 La Antigua.....	32
Figura 5. Fases metodológicas de la investigación.....	34
Figura 6. Distribución de los tratamientos y localización de lisímetros en el área experimental.....	40
Figura 7. Historial de fertilización nitrogenada aplicada al cultivo de la caña de azúcar en el Módulo La Antigua.....	48
Figura 8. Historial del precio por tonelada de urea (46-0-0) en la zona de influencia de los Ingenios La Gloria y El Modelo.....	49
Figura 9. Percepción de los productores cañeros en relación a problemas de tipo técnico-productivo del cultivo caña de azúcar, en el Módulo de Riego I-1 La Antigua	52
Figura 10. Problemática relacionada con la fertilización en caña de azúcar, en el Módulo I-1 La Antigua.....	53
Figura 11. Rendimientos y dosis de fertilización nitrogenada en caña de azúcar registrados en la zafra 2007-2008 en el Módulo de La Antigua.....	56
Figura 12. Percepción del productor cañero sobre las ventajas de aplicar el fertilizante nitrogenado en un sólo momento.....	57
Figura 13. Percepción del productor cañero sobre las ventajas de fraccionar la cantidad total del fertilizante nitrogenado en dos o más aplicaciones.....	57
Figura 14. Percepción de los productores cañeros del Módulo I-1 La Antigua sobre el precio pagado por tonelada de producción de caña de azúcar.....	60

Figura 15.	Percepción de los productores cañeros sobre si la actividad cañera en el Módulo La Antigua es negocio.....	61
Figura 16.	Actitud media, respecto a la conservación del agroecosistema caña de azúcar en función de cada estrato.....	63
Figura 17.	Percepción del productor cañero, respecto a que si el exceso de fertilizante nitrogenado aplicado al cultivo, provoca contaminación al agua superficial y subsuperficial.....	65
Figura 18.	Percepción de los cañeros del Módulo La Antigua respecto a que la contaminación del agua superficial y subsuperficial afecte a la salud de las personas.....	66
Figura 19.	Rendimientos obtenidos en el cultivo de la caña de azúcar.....	69
Figura 20.	° Brix obtenidos en el cultivo de la caña de azúcar.....	71
Figura 21.	Comparación de ingreso bruto y costo de producción por hectárea, para los nueve tratamientos de fertilización con N en caña de azúcar.....	73
Figura 22.	Nitrógeno lixiviado al aplicar una dosis de 250 kg ha ⁻¹ de N al cultivo de caña de azúcar.....	76
Figura 23.	Nitrógeno lixiviado al aplicar una dosis de 200 kg ha ⁻¹ de N al cultivo de caña de azúcar.....	77
Figura 24.	Nitrógeno lixiviado al aplicar una dosis de 150 kg ha ⁻¹ de N al cultivo de caña de azúcar.....	78
Figura 25.	Comparación del N acumulado por los tratamientos evaluados.....	79
Figura 26.	Comportamiento temporal de nitrógeno lixiviado.....	80
Figura 27.	Lixiviación de nitrógeno total correspondiente a los tratamientos evaluados.....	81

1. INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), es un cultivo de gran importancia económica en el mundo. De este cultivo se obtienen diferentes productos y subproductos, siendo el producto principal el azúcar (FAO, 2005). La SAGARPA (2008), señaló que durante la zafra 2007-2008 que la producción de azúcar en México fue de 5. 521 millones de toneladas. Este nivel de producción ubicó a México en el séptimo lugar de producción de azúcar en el mundo. Actualmente México cuenta con 54 ingenios, los cuales en la zafra 2007-2008, industrializaron la producción de 42.5 millones de t de caña de una superficie aproximada de 690,440 ha; de ésta, el 61.6 % es de temporal y el 38.4 % de riego (SIAP, 2008). La producción de caña, representa el principal motor económico de muchas regiones, del país, ya que genera en su conjunto, el 11.6 % del valor del sector primario y el 2.5 % del Producto Interno Bruto Manufacturero. En la agroindustria de la caña de azúcar trabajan directamente 450 mil mexicanos y de manera indirecta dependen de este sector 2.2 millones de personas.

A nivel nacional, el Estado de Veracruz es el principal productor. Durante la zafra 2007-2008, participó con 264,684 ha sembrada de esta gramínea, cuya producción fue de 18, 865,516 t; con un rendimiento promedio de 71.2 t ha⁻¹. Lo anterior resultó en una derrama económica de 7,035 millones de pesos (SIAP, 2008). En la zona costera central de Veracruz, específicamente en el Distrito de Riego 035 La Antigua, la producción de caña representa el 82 % del total de los cultivos que ahí se producen (CNA, 2009). Tan sólo en la zafra 2007-2008, la producción de caña de azúcar de una superficie de 27,039 ha fue de 2,398,247 t en campo, con un valor aproximado de 997 millones de pesos (SIAP, 2008).

La producción cañera requiere de varios insumos; uno de ellos es el fertilizante nitrogenado, el cual es esencial para el buen desarrollo del cultivo. Sin embargo, el uso excesivo de los fertilizantes químicos nitrogenados incrementa el costo de producción y puede llegar ser una fuente de contaminación importante de nitrógeno (N) en forma de nitratos (Hallberg, 1989 y Yepis *et al.*, 1999).

Lo anterior es agravado por el mal manejo del agua que se practica a nivel parcelario, lo que a su vez causa la lixiviación de nitratos que eventualmente llegan a contaminar mantos freáticos, corrientes naturales, lagunas y otros cuerpos receptores. Al respecto Figueroa *et al.* (2006) justificaron la necesidad de regular las dosis de fertilizantes utilizados en México en el sector agrícola, toda vez que se presentan riesgos de contaminación al acuífero y amenaza al consumo de agua potable.

En el año de 1992 el RIVM (Instituto de Salud Pública y el Ambiente de Holanda) señaló que la agricultura europea es causante del 60 % del total del flujo fluvial de nitrógeno, que llega al Mar del Norte. El mismo informe señaló que en la República Checa, la agricultura aporta el 48 por ciento de la contaminación del agua superficial. La FAO/CEPE (1991) indicó que Holanda y España registran una contaminación sustancial de las aguas subterráneas por nitratos, en tanto Appelgren (1994) manifestó que el 50 por ciento de los pozos poco profundos que abastecen de agua a más de un millón de residentes de Lituania no son aptos para el consumo humano por la presencia de compuestos nitrogenados.

En México debido a una serie de actividades antropocéntricas se ha detectado la presencia de diversos contaminantes en mantos acuíferos, donde destaca básicamente el problema de nitratos.

Estudios relacionados con presencia de nitratos en el agua subterránea del sector rural para el Estado de Yucatán son señalados por Pacheco (1992), donde las concentraciones varían desde cero hasta 223 mg L⁻¹. Estas concentraciones son superiores al Límite Máximo Permisible (LMP) establecido para consumo potable que es 10 mg L⁻¹ de N-NO₃ de acuerdo a la NOM-127-SSA1 (1994). Castellanos (1981, 1989), reporta que en la Comarca Lagunera se presentaron concentraciones de nitratos en un rango de 0.06 a 207 mg L⁻¹, con un promedio de 23 mg L⁻¹. Muñoz *et al.* (2004) identificaron que la intensidad de la agricultura practicada en el Valle de Huamantla, Tlaxcala; es determinante en la concentración de los nitratos en mantos freáticos, registrando niveles medios de

44.29 mgL⁻¹ de N-NO₃. Así también, se han identificado áreas de mayor vulnerabilidad espacial por la alta concentración de nitratos localizadas en El Colorado, El Polvo y Salamanca del municipio de Villa Juárez y que exceden las 200 mg L⁻¹ (Martínez *et al.*, 2005).

En la zona cañera central de Veracruz, Landeros *et al.* (2000, 2007) señalaron la presencia de altos niveles de nitratos en el agua del manto acuífero, luego de estimar que el cultivo de la caña de azúcar aprovecha solamente el 57 % del nitrógeno que le es aplicado. Lo anterior, pone en evidencia que el 43 % restante de este nitrógeno, se lixivia y otra cantidad menor es aprovechada por microorganismos del suelo, desnitrificada y/o volatilizada.

Actualmente, existe mayor preocupación sobre la contaminación ambiental causada por los fertilizantes químicos, cuando éstos se usan y manejan incorrectamente. Por lo que es necesario desarrollar prácticas alternativas de fertilización sustentables que sean económicas y más eficientes (Castro-Luna *et al.*, 2006).

La propuesta en esta investigación para mitigar la contaminación de nitratos de mantos freáticos consiste en la reducción de la dosis del fertilizante nitrogenado; así mismo el fraccionamiento de la aplicación de la dosis de fertilización en un número mayor al que comúnmente es practicado en el cultivo de la caña de azúcar. El término sustentable debe ser incorporado en el manejo del cultivo de la caña de azúcar y este se refiere a la incorporación de residuos orgánicos mediante la aplicación de materia orgánica y residuos de la cosecha. Dichas prácticas alternativas de fertilización deben adaptarse y cubrir las necesidades del agroecosistema cañero, esto es, satisfacer necesidades nutrimentales del cultivo y las expectativas de los productores, de tal manera que sean adoptadas, y, que se reflejen en mayores rendimientos, ganancia y mitigación ambiental del impacto del uso del nitrógeno en el agroecosistema caña de azúcar (Farahbakhshazad, *et al.*, 2008).

2. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La caña de azúcar es un cultivo convencional que presenta problemas de tipo, sociales, políticos, culturales, económicos, técnicos, y ambientales. Sin duda el estudio de agroecosistemas bajo un enfoque holístico busca respuestas a los problemas que se dan en la realidad compleja, abstrayendo sus elementos, estudiando su dinámica y sus relaciones (Sevilla, 2007, Checkland, 1989). Lo anterior considerando al agroecosistema caña de azúcar como una unidad compuesta de elementos que interaccionan. Para entender tal problemática, es necesario conocer como funciona el sistema (Figura 1).

La Figura 1 muestra cómo se desarrolla el agroecosistema caña de azúcar, partiendo de la unidad de estudio al centro, con el controlador o tomador de decisiones y la estructura ecológica para producir el bien. A partir de ahí, se empiezan a desarrollar los problemas, pero no de una manera aislada sino interactuando con los elementos externos que influyen en el tomador de decisiones.

Para visualizar la problemática de la producción de azúcar es necesario, además, conocer los procesos de producción, transformación y comercialización de la caña de azúcar. Lo anterior partiendo de que el plan rector de la caña de azúcar, es un sistema abierto, con subsistemas, con entradas y salidas de bienes, servicios, productos, cultura y transformaciones a través del tiempo. Debido a la complejidad de estos procesos, se realiza un análisis particular de la producción de caña de azúcar, usando al agroecosistema como un modelo conceptual.

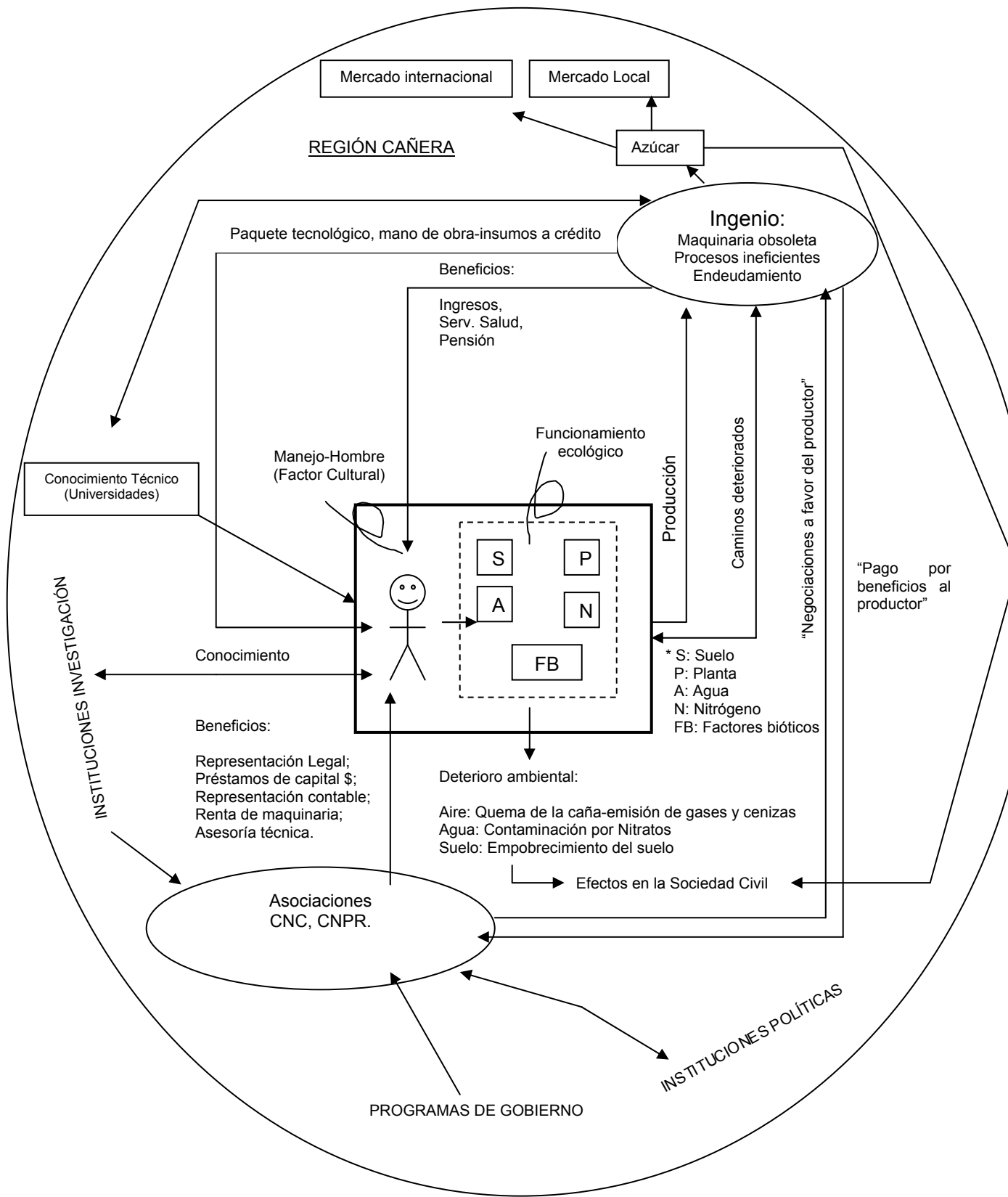


Figura 1. Dinámica del agroecosistema caña de azúcar.

2.1. Plano político-social

En las regiones cañeras de México y en particular la del Distrito de Riego 035 La Antigua, el cultivo de la caña, reviste gran importancia social y económica. La mayoría de sus productores se encuentran afiliados a la Confederación Nacional Campesina (CNC) y a la Confederación Nacional de Propietarios Rurales (CNPR). Estas asociaciones cañeras en acuerdo con los ingenios La Gloria y El Modelo, y a través de sus políticas, regulan el precio por tonelada de caña cosechada, tiempos y pagos de cosechas, entrega de créditos a través de producto como fertilizantes y otros insumos que se aplican para la producción del cultivo (Sánchez, 2003). Los principales problemas que se enmarca en el agroecosistema cañero son de tipo político-social, debido a que los líderes de estas asociaciones, son desviados de sus funciones, por organizaciones políticas, que hacen de sus agremiados un motín político electorero del cual se benefician unos pocos. Así mismo, los líderes cañeros, acaparan y distribuyen los programas de gobierno, a quien y para quien mejor les convenga, por lo que generan descontento ante sus agremiados no favorecidos.

Otro de los problemas es la falta de organización entre productores, ya que el productor cañero en general, muestra poco interés en participar en acciones conjuntas para la solución de los problemas comunes, tales como integración de una financiera local, adquisición de maquinaria y equipo, participación en generación y ejecución de proyectos productivos, entre otros.

La producción de caña de azúcar está “protegida” por una serie de políticas del gobierno Mexicano, que van desde programas, como el Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de azúcar (PRONAC), hasta leyes que fomentan la producción sustentable, como ejemplo la Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de azúcar (Hernández y Hernández, 2008) y la Ley de Desarrollo Rural Sustentable. Éstas, no han logrado, en su totalidad, sus objetivos planteados, debido a que fueron formuladas ignorando al agroecosistema como una herramienta metodológica de estudio.

2.2. Plano técnico-cultural

Los productores agrícolas de la región del Distrito de Riego 035 La Antigua, poseen un grado de escolaridad medio (sexto grado de primaria); en su mayoría saben leer y escribir (Del Ángel, 2008). En la región no existe asistencia técnica personalizada y, además, no pueden pagar la asistencia técnica privada, por tanto dependen de los apoyos de los ingenios a través de los inspectores de campo y de los técnicos de las asociaciones a las cuales pertenecen. A pesar de lo anterior, los cañeros de la región presentan baja disponibilidad a ser capacitados debido a que la mayoría tienen otras actividades económicas extrafinca. Los conocimientos que ellos han adquirido para llevar a cabo la producción del cultivo, los han obtenido, en general, de generación en generación. Por lo que tienen muy arraigadas sus formas de producción, lo cual resulta en una autopoiesis o reproducción de su sistema, fenómeno sociocultural discutido por Bustillo (2008).

Los principales problemas de tipo técnico que aquejan al agroecosistema, están relacionados a la falta de nuevas variedades, ya que las existentes en plantación, presentan deterioro genético y en consecuencia mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades (Sánchez, 1997). El manejo ineficiente del agua, se suma a tal problemática, tan sólo en México el 61.57 % de áreas cañeras son de temporal y el 38.43 % de riego poco tecnificado, con problemas de conducción que resultan en bajas eficiencias parcelarias (PRONAC, 2007).

La fertilización es otro problema. La dosis de fertilización de N en la zona de influencia de los Ingenios La Gloria y El Modelo, se ha venido incrementando paulatinamente hasta situarse en 250 kg ha^{-1} , sin considerar la variedad, tipo de suelo y disponibilidad de agua. Se utilizan fuentes como Urea (46-0-0), Fosfato diamónico (18-46-0) y algunas mezclas como 20-10-10. Es común que las aplicaciones de este fertilizante se hagan en un sólo momento o fraccionada en dos aplicaciones y de manera extemporánea, debido al retraso en la adquisición del fertilizante cuando éste se obtiene vía crédito.

El Uso de maquinaria pesada es una práctica que representa también un problema técnico importante en el agroecosistema; provocando compactación de suelos (Gutiérrez *et al.*, 2007).

En relación a la asesoría técnica, ésta se presenta de manera desarticulada, debido a que los resultados de investigaciones técnicas realizadas por las instituciones académicas resultan aisladas con los demás componentes de la producción del cultivo; esto es, muchas de las investigaciones resultan muy especializadas y en condiciones controladas y diversas a la situación donde impera la problemática. Además, los procesos de transferencia de tecnología de dichas investigaciones, por lo general, resultan lentos (Manzo *et al.*, 2001).

2.3. Plano económico

La rentabilidad obtenida por la producción de la caña de azúcar se traduce en beneficios económicos que apenas satisfacen requerimientos de subsistencia de los productores, particularmente para aquellos que siembran menos de cinco hectáreas y obtienen un rendimiento promedio igual o menor a las 100 t ha⁻¹. Para los productores con mayor número de hectáreas cultivadas, los sistemas tienden a ser más rentables. Por lo que algunos productores con pequeña superficie cultivada, han tenido que diversificar su fuente de ingresos, empleándose en actividades distintas a la actividad agrícola Sánchez (2003). Otro de los problemas que mencionó este autor, después de haber analizado el impacto de la crisis azucarera mexicana en las unidades de producción cañeras (casos ingenio La Gloria y El Modelo, en el Estado de Veracruz), es el costo de producción y el financiamiento para la producción de caña, que es demasiado elevado, lo cual implica una reducción de los ingresos de los productores.

Los productores al seguir teniendo bajos ingresos por concepto de venta de su producción de caña de azúcar, recurren a la adquisición de préstamos para poder continuar con los gastos de producción del subsecuente ciclo de producción. Dichos préstamos son en efectivo por parte de las asociaciones a la cuál

pertenecen, o en especie como fertilizantes principalmente, aportados por los ingenios. Los intereses que tiene que cubrir a las asociaciones son del orden del 3 al 4 % mensual. Mientras que los intereses que pagan a los ingenios, por concepto de préstamo en especie, oscila alrededor del 5 % mensual. Tales intereses son descontados automáticamente en la boleta de pago que los cañeros reciben en las siguientes preliquidación y liquidación. Durante la zafra 2006-2007, el precio promedio de venta por tonelada de caña ascendió a \$ 405.00 (PRONAC, 2007).

Debido a la inestabilidad en el precio del petróleo, el precio del fertilizante se ha incrementado aproximadamente en un 105 %, comparando los precios del año 2007 respecto al 2008. De tal manera que actualmente el costo de fertilización representa un 25 % del costo total de producción.

Landeros *et al.* (2000) estimaron que la pérdida de nitrógeno por hectárea, en la región de influencia del Ingenio La Gloria y El Modelo, fue de 86 kg. Considerando que la superficie sembrada anualmente tan sólo en el Ingenio La Gloria es de 12 000 hectáreas, esto da como resultado una pérdida total de 1'032,000 kg de N. Que equivale, a 2'243,478.26 kg de urea, lo que a su vez representó una pérdida económica para el productor, en el año 2000, de \$ 4'172,869.5.

2.4. Plano ambiental

La producción tradicional de la caña de azúcar, impacta considerablemente al medio ambiente; las principales prácticas que contribuyen a este impacto son: la quema de la caña de azúcar, alterando la constitución fisicoquímica de la atmósfera y el manejo ineficiente de agua de riego, fertilizantes nitrogenados y otros agroquímicos principalmente, que contribuyen a la contaminación de mantos freáticos y otros cuerpos de agua.

2.4.1. Impacto de la quema de la caña de azúcar

Durante la quema, se libera bióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O) y óxido de nitrógeno (NO_x), a través de la combustión; y el Monóxido de carbono (CO) y metano (CH_4) que se forman durante la quema con predominio de humo (UNEP *et al.*, 1995) que contribuyen a la formación de los gases efecto invernadero.

Al respecto, Jiménez *et al.* (2000) realizaron un balance de las emisiones de CO_2 para el cultivo durante la zafra 1998-1999, considerando las plantaciones cañeras del municipio de H. Cárdenas, Tabasco y todas las del País, respectivamente. En este estudio, mencionaron que la quema de una hectárea de caña libera 6.6 t año^{-1} de C y emite 24.3 t año^{-1} de CO_2 . Al mismo tiempo, en la misma zafra, establecieron que la actividad cañera en México, con 621 800 ha, liberaron 4 710 806 t de Carbono y emiten 7 272 957 t de CO_2 .

Asimismo, Ramos *et al.* (2000) evaluaron el efecto de la quema y la extracción de nutrimentos por la caña en la región Central de Veracruz; encontrando que con la quema, el nitrógeno de los tallos se pierde al 100 % (183 kg ha^{-1}). De la paja y los cogollos que quedan tirados en el campo, únicamente una fracción del N se pierde (17 y 24 kg ha^{-1} respectivamente). Al respecto, García *et al.* (1997), encontraron resultados similares, y describieron que dicha quema causa deterioro de las propiedades hidrodinámicas del suelo, afectándose el transporte de agua y nutrimentos dentro del medio poroso del mismo. Por otro lado, la actividad microbiana del suelo se reduce considerablemente debido a esta práctica.

Sin duda, la quema de la caña, tiene consecuencia sobre la salud de los pobladores de las comunidades aledañas, ya que la población normalmente está expuesta a respirar el aire contaminado; causando enfermedades asociadas al sistema respiratorio, entre otras (Bolsi *et al.*, 2005).

2.4.2. Impacto de la fertilización nitrogenada

La fertilización excesiva con nitrógeno, tiene impactos negativos en el agua, el suelo, la atmósfera, organismos vivos (flora y fauna) y en la salud humana.

Impacto al agua. La caña de azúcar se cultiva en suelos tropicales, donde alrededor del 55 % de los mantos acuíferos son someros. Por lo que el uso de dosis excesivas de nitrógeno principalmente, hacen que parte considerable de ese nitrógeno aplicado, se pierda por lixiviación (en promedio un 22 %) y que en consecuencia se agrave la problemática de la creciente concentración de nitratos en el agua subterránea (Estrada *et al.*, 2007). Al respecto Smith *et al.* (1998 y 2000), mencionaron que las pérdidas de nitrógeno por lixiviación en zonas donde el manto acuífero es somero, dependen del tipo de drenaje y las prácticas de fertilización y que dichas pérdidas ascienden de los 4 hasta los 77 kg ha⁻¹ año⁻¹.

En México, se han encontrado altas concentraciones de nitratos en el agua del manto freático que rebasan el límite establecido para consumo humano, el cual debe ser de 10 mg L⁻¹ de N-NO₃ y/o 50 mg L⁻¹ de NO₃ (González *et al.*, 2006). Por ejemplo, Pacheco (1992), reportó para el Estado de Yucatán concentraciones que van de cero hasta 223 mg L⁻¹. De acuerdo con Castellanos (1989) para la Comarca Lagunera se presentan altas concentraciones de nitratos, encontrándose en un rango de 0.06 a 207 mg L⁻¹; así también se identificaron las áreas de mayor vulnerabilidad espacial por la alta concentración de nitratos localizadas en El Colorado, El Polvo y Salamanca del municipio de Villa Juárez y que exceden las 200 mg L⁻¹ (Martínez *et al.*, 2005).

En la zona cañera central de Veracruz, donde se cultiva ampliamente la caña de azúcar; Landeros *et al.* (2007) encontraron la presencia de altos niveles de nitratos en el agua del manto acuífero, que van desde las 110 hasta las 510 ppm.

Impacto negativo al suelo. El contenido de nitrógeno en los suelos varía de 0.2 a 0.8 %. Estos valores tienden, por lo general, a incrementarse al disminuir la temperatura de los suelos (Grageda *et al.*, 2004). Sin embargo, el exceso y uso de fuentes de fertilizante nitrogenado no apropiadas para el tipo de suelo, puede provocar una reducción o aumento del pH del mismo (acidificación-alcalinización). Por ejemplo, el uso constante de sulfato de amonio y urea, disminuyen el pH del suelo, provocando antagonismo con el Ca, Mg, P y Bo, principalmente. El empleo de nitrógeno, en la forma nítrica (NO_3^-), aumenta generalmente la absorción de los anteriores nutrimentos, mientras que produce una deficiencia de Cu (Abellán, 1992). Otro de los impactos que resultan de los excesos en nitrógeno inorgánico, es el aumento de sales en el suelo. Por lo que el potencial osmótico del agua se ve afectado.

Impacto contaminante al aire. Durante la fertilización nitrogenada, sobre todo cuando el fertilizante no es enterrado, se pierde parte de este nitrógeno a la atmósfera a través de volatilización y desnitrificación (Muchovej and Newman, 2004).

En la volatilización, el amonio (NH_4^+) se pierde como amoníaco (NH_3) a la atmósfera desde la solución del suelo. Los factores que más influyen en la ocurrencia de este proceso son: altas temperaturas, baja capacidad de intercambio catiónico del suelo, el manejo del sistema de labranza y, tipo y dosis de fertilizante nitrogenado. En el cultivo de caña de azúcar del total de nitrógeno aplicado se pierde de un 12 a 20 % de nitrógeno por volatilización (Thomas *et al.*, 1985).

La desnitrificación es favorecida en suelos con altos contenidos de arcilla, altos niveles de compactación y baja permeabilidad. Por lo general se presenta cuando se aplica una fuente nítrica de fertilizante y se da un riego pesado o bien se presenta un periodo prolongado de lluvia que favorece la falta de oxigenación del suelo (Castellanos *et al.*, 2000).

Del total de nitrógeno consumido en un año, a partir de fertilizantes, alrededor del 2 % se pierde a la atmósfera en forma de óxidos de nitrógeno; estos gases están involucrados en el calentamiento de la atmósfera y la destrucción de la capa de ozono estratosférica (Grageda *et al.*, 2000).

Impacto negativo sobre organismos vivos. El principal impacto de la aplicación de los fertilizantes es sobre la flora y fauna acuática, luego de que el nitrógeno lixiviado es arrastrado hacia los cauces y reservorios superficiales. En estos medios acuáticos los nitratos también actúan como nutrimentos de la vegetación acuática, de tal manera que si se concentran, puede originarse eutrofización del medio. En un medio eutrofizado, el exceso de nitrógeno, permite que crezcan en abundancia las plantas y otros organismos (Smith, 2003). Esto trae como consecuencia un elevado consumo de oxígeno y su reducción en el medio acuático, así mismo dificulta la incidencia de la radiación solar por debajo de la superficie. Estos dos fenómenos producen una disminución de la capacidad fotosintética de los organismos acuáticos; provocando su muerte y más tarde su putrefacción, llenando el agua de malos olores y disminuyendo drásticamente su calidad. El proceso de putrefacción también consume una gran cantidad del oxígeno disuelto y las aguas dejan de ser aptas para la mayor parte de los seres vivos que viven ahí (Stanley 2007). Lo anterior da como resultado un ecosistema destruido.

Afectación en la salud humana. En algunas cuencas hidrológicas la aportación de nitrógeno, de origen difuso, representa más del 50 % del total de la cuenca (Muñoz, 2005). Para hacer frente a esta contaminación por nitratos, algunos países han adoptado cambios en su ordenamiento legislativo, instrumentando normativas que regulan la reducción en el uso de agroquímicos. Tal es el caso de países europeos como España y Suecia, que han reducido sus dosis de fertilización nitrogenada, así como Brasil y Cuba que redujeron sus dosis y hacen uso de enmiendas orgánicas para garantizar la demanda de nutrimentos de la caña de azúcar (Cuadro 1).

Cuadro 1. Nitrógeno aplicado al cultivo de caña de azúcar en algunos países.

País	Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Autor (es)
Brasil	50-100	Dematté <i>et al.</i> (2005)
Cuba	50-75	Dematté <i>et al.</i> (2005)
Guatemala	60-160	Pérez <i>et al.</i> (2008)
Gran Bretaña	60-120	Altieri. (1999)
Hawai	180-320	Muñoz. (2005)
México	160-300	Palma <i>et al.</i> (2002)

Países como Brasil y Cuba que han adoptado desde hace ya dos décadas la fertilización con bajas cantidades de nitrógeno, han logrado rendimientos similares a los obtenidos en otros países donde los cultivos son fertilizados con altas cantidades de nitrógeno, como en el caso de Hawai y México. Además, en Brasil, no se ha detectado disminución de las reservas de nitrógeno del suelo donde se cultiva caña de azúcar durante hace varios años (Muñoz, 2005). Lo anterior debido a la incorporación adicional de residuos orgánicos (Hernández, *et al.*, 2008) y la no quema de los residuos de cosechas.

La máxima preocupación relacionada con la contaminación del agua por nitratos, es el efecto que puede tener sobre la salud humana, por la ingesta de nitratos, ya sea disuelto en el agua o directamente en los alimentos. Aunque los nitratos son un producto normal del metabolismo humano, el agua con altas concentraciones en nitratos representa un riesgo para la salud. Investigaciones en Cuba, han demostrado que las concentraciones de nitratos y la acción de determinados microorganismos en el estómago pueden transformar los nitratos en nitritos, que al ser absorbido en la sangre convierte a la hemoglobina en metahemoglobina. La metahemoglobina se caracteriza por inhibir el transporte de oxígeno en la sangre (Ageitos *et al.*, 1980).

La formación de metahemoglobina es un proceso reversible, sin embargo, puede llegar a provocar la muerte, especialmente en niños ("síndrome del bebé azul"). Pero también los nitratos pueden formar nitrosaminas y nitrosamidas compuestos que pueden ser cancerígenos.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), ha mostrado interés por estudiar la relación de los casos de cáncer y las altas concentraciones de los nitratos en agua de algunos países. La Agencia para la Protección del Medio Ambiente Norteamérica (EPA) ha identificado algunos acuíferos contaminados por nitrógeno en zonas cañeras de aquel país que superan sus límites establecidos a 10 mg L^{-1} . Para el caso de México, la SEMARNAT publica la Norma Oficial Mexicana: NOM-127-SSA1-1994, que determina un límite permisible de nitratos en el agua para el consumo humano de 10 mg L^{-1} en forma de N. Las fuentes principales de nitrato en el ser humano, son vegetales, conservantes y agua. Estudios realizados en Estados Unidos por Knobloch *et al.* (2000), han estimado que la cantidad media diaria ingerida de nitrato, incluida todas las fuentes, es de 100 mg. La fuente principal son vegetales (86 %), seguida de carnes con conservantes (9 %) y el agua (1 %). Independientemente de la variabilidad de estas cifras, en función de una serie de circunstancias, parece evidente que la dieta es el factor clave en la ingestión de nitratos y nitritos, si además de los vegetales, se consume agua con un alto nivel de nitratos, la ingestión de estos puede aumentar considerablemente.

El metabolismo de los nitratos ingeridos por el hombre no está totalmente claro. Sin embargo, se ha comprobado que tanto nitratos como nitritos se absorben rápidamente por el organismo. La reducción de nitrato a nitrito ocurre en la saliva y en otras partes del organismo incluyendo el estómago.

En los lactantes, en los que la acidez del estómago es normalmente muy baja, se favorece la proliferación de bacterias que reducen el nitrato a nitrito. En determinadas circunstancias, se puede producir una alteración conocida como metahemoglobinemia.

El contenido normal de metahemoglobina en el ser humano es de 1 al 2 %. Un nivel superior al 3 % da lugar a la cianosis, que se presenta con más frecuencia cuando la metahemoglobina alcanza un 10 %. Concentraciones entre el 30 % y 40 % dan lugar a signos de anoxia (cefalea, astenia, disnea, taquicardia y vómitos), y probablemente logrando provocar un coma con niveles superiores al 40 % (Álvarez, 2001).

Existen estudios que han indicado que los nitratos tienen una relación directa con la anemia, reducción considerable en el contenido en vitamina A en el hígado. Además los nitratos y nitritos participan en la formación de compuestos carcinógenos con relación al cáncer del estómago (Álvarez, 2001).

La causa más común de altas concentraciones de metahemoglobina en la sangre, es el alto contenido de nitratos en el agua utilizada en los biberones de bebés lactantes. El hervir esta agua puede exacerbar el problema al aumentar la concentración de nitratos debido a la evaporación (Pretty y Conway, 1998).

La OMS (1980), documentó casos en España de enfermedades relacionadas con ingesta de nitratos, en julio de 1980, se reportó a nueve lactantes catalanes, con la aparición de cianosis en tres de ellos. El análisis del agua del pozo que ocasionó la contaminación de los lactantes, arrojó como resultado un contenido de 76 mg L^{-1} de nitratos. Al sustituir dicha agua por otra embotellada, cuyo contenido era de 3 mg L^{-1} , desapareció la cianosis en todos los casos al cabo de 24–72 h. En Polonia un estudio orientado a evaluar la concentración de nitratos en algunos productos alimenticios, y muestras de agua potable de la región de Krakow, tuvieron relación con casos de metahemoglobinemia.

En el año 1985, en Cuba se notificó el primer caso de metahemoglobinemia infantil por el Hospital Pediátrico Provincial de Camagüey por ingestión de agua con alto contenido de nitratos. A partir de este año, comienza el incremento de reportes de casos, notificándose, desde 1985 a 1991, 177 pacientes (Larios, 2004).

3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El uso inadecuado y excesivo de fertilizantes nitrogenados en la producción agrícola, y particularmente en la producción de caña de azúcar, es un factor que se añade a la contaminación ambiental. Por lo que es importante dirigir propuestas de investigación sobre fertilización nitrogenada de cultivos, que no sólo evalúen y consideren el aspecto de eficiencia económica y productiva, sino también la actitud de los tomadores de decisiones hacia su uso, así mismo evaluar el impacto negativo al ambiente. Entendiéndose esto último, como las pérdidas por lixiviación que resultan del actual manejo del fertilizante nitrogenado en el Módulo de Riego I-1 La Antigua, y el impacto de dichas pérdidas en la calidad del agua del manto freático o acuífero somero. Con base en lo antes expuesto, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Cuál es el impacto del fraccionamiento del fertilizante nitrogenado sobre la actitud de los productores cañeros hacia su práctica, y además sobre el rendimiento, contenido de sacarosa, rentabilidad del cultivo de la caña de azúcar y sobre la pérdida de nitrógeno hacia el manto freático del Módulo de Riego I-1 La Antigua?

2. ¿Cuál es la actitud de los productores cañeros respecto al uso de dosis fraccionadas del fertilizante nitrogenado?

3. ¿Qué efectos tendrá el uso de dosis fraccionadas del fertilizante nitrogenado en el cultivo de la caña de azúcar sobre el rendimiento, contenido de sacarosa, rentabilidad del cultivo y pérdida de nitrógeno hacia el manto freático en el Módulo de Riego I-1 La Antigua?

4. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

4.1. El concepto de agroecosistema

Hablar de agroecosistema es abordar un tema complejo, por lo que en principio, para entender su concepto es pertinente manifestar que se deriva de las palabras agro-eco y sistemas. El agro es entendido como la actividad agropecuaria que tiene como fin producir un bien o servicio. El vocablo eco se refiere al ecosistema, el cual es modificado y manipulado por el hombre para dar lugar al agro, y el sistema hace alusión a que tal actividad agrícola está influenciada por elementos y factores que en su conjunto hacen el funcionar de la actividad.

Por lo tanto de manera práctica se define al agroecosistema como una unidad ecológica modificada y sometida por el hombre, el cual desarrolla la actividad agrícola, pecuaria, forestal, acuícola o su combinación e inciden factores culturales, económicos, sociales, políticos y ambientales para la obtención de alimentos y otros satisfactores que la sociedad demanda a través del tiempo.

El agroecosistema, es un término conceptualizado de acuerdo al enfoque con el cual es abordado. Por ejemplo Odum (1972), definió el agroecosistema como un ecosistema modificado por el hombre, en el que la diversidad de especies se transforma, y se distribuye con el fin de hacer eficiente la captación de las diversas formas de energía que entran al sistema, todo con el fin de obtener satisfactores. Al hacer un análisis del concepto emanado por ecólogos, el agroecosistema sólo se ve desde la perspectiva del flujo de la energía y de interacciones bióticas. Olvidándose de aspectos importantes como sus propiedades. Al respecto, Marten (1988) mencionó que para definir al agroecosistema es preciso conocer sus propiedades, ya que de ellas nace el objetivo de su existencia; tales como: 1). Productividad (cantidad de alimento), 2). Estabilidad (consistencia en la producción), 3). Sustentabilidad (mantenimiento de un nivel específico de producción al largo plazo), 4). Equidad (distribución uniforme de la producción) y, 5). Autonomía (autosuficiencia del agroecosistema).

Un agroecosistema puede abordarse bajo varios enfoques (Zinck, *et al.*, 2005). Alguno de los enfoques son: Farming System Research a nivel de sistemas de cultivos (Hart, 2000), con tecnología tradicional (Hernández X, 1977), agroecosistemas basado en sus propiedades emergentes (Conway, 1985), diagnóstico de sistemas agrarios (Trebuil, 1990), sistemas de producción, salud de los agroecosistemas (Yiridoe and Weersink, 1997), enfoque de sistema producto, agroecosistemas con perspectivas agroecológica (Gliessman, 2002), sistemas complejos propuesto por García (2006), autopoiesico propuesto por Bustillo (2008), enfoque de cadenas productivas(Silva *et al.*, 2003) y con enfoque de ecoaldeas.

Pero, ¿por qué abordar de distintos enfoques una realidad? Se aborda precisamente por lo complejo y los elementos particulares que la caracterizan. ¿Cuál es el mejor método?, Depende en gran medida de lo que se quiera evaluar de la realidad y a que profundidad y extensión. Incluso el agroecosistema como unidad de análisis compleja, permite generar y evaluar modelos emergentes que permitan analizar la problemática a fondo.

Al respecto Altieri (1999 y 2002), sugirió que los Agroecosistemas, bajo cualquier enfoque, deben estudiarse y manejarse sin deteriorar ni contaminar los recursos naturales. Un agroecosistema es una entidad real, pero también un modelo teórico conceptual, que se puede utilizar como herramienta teórica metodológica, para su diseño y manejo sustentable.

Normalmente un agroecosistema de monocultivo, degrada al suelo a niveles de infertilidad, contamina el ambiente por el uso constante de fertilizantes y abate el rendimiento de las cosechas. Por tal razón, es prioritaria la práctica de una agricultura sustentable con base en el uso adecuado y racional de los fertilizantes, de fácil implementación de acuerdo a las condiciones de vida y de los recursos disponibles de los agricultores (Laird *et al.*, 1993).

4.2. El agroecosistema caña de azúcar

4.2.1. Historia del cultivo de la caña de azúcar

Dentro de las aseveraciones acerca del origen del cultivo caña de azúcar, se señala a la India como el país de origen, luego paso a otros países como Siria e Isla de Chipre. Posteriormente fue llevada a la isla de Madeira e Islas Canarias en 1420, desde donde Cristóbal Colón la llevó a Santo Domingo y Cuba en el año de 1493.

En 1519 Hernán Cortés trajo la caña de azúcar a México, procedente de Cuba, iniciando su propagación en San Andrés Tuxtla, Veracruz y de ahí a distintos lugares de México (García, 1984).

Actualmente en México la caña de azúcar se produce en 15 estados de la República (Figura 2), principalmente a lo largo de las costas del Océano Pacífico y del Golfo de México (Salgado *et al.*, 2001a).

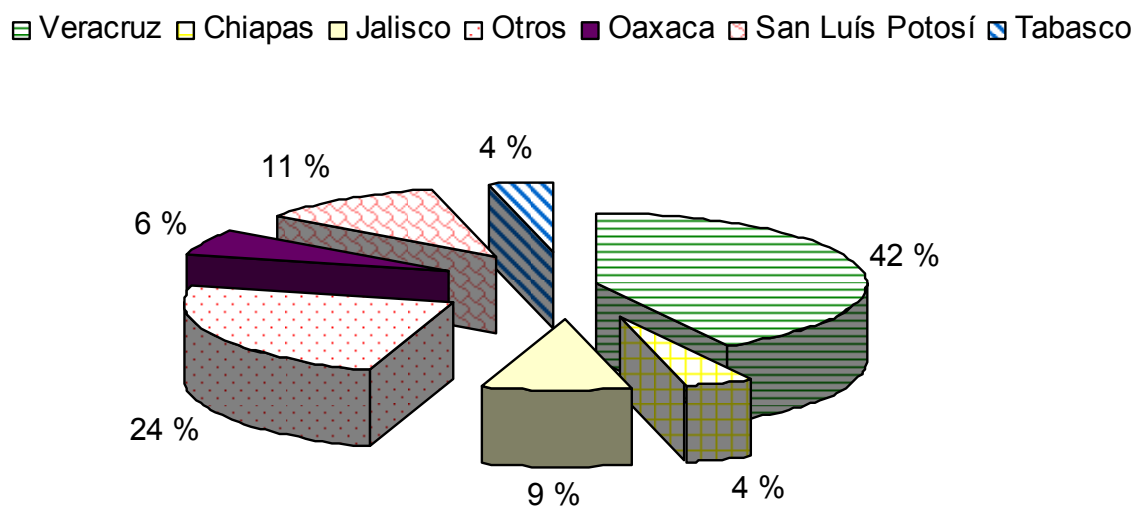


Figura 2. Porcentaje de superficie, en producción, de caña de azúcar en México (COAAZUCAR 2005).

4.2. 2. Importancia socio-económica del cultivo

Actualmente el uso de la caña de azúcar es muy amplio, desde la elaboración de azúcar, alcohol, bioetanol y otros subproductos de menor uso. En muchos países de América Latina y Asia, el cultivo de caña de azúcar desempeña un papel importante en la generación de empleos y es fuente de ingresos para un grupo amplio de la población. La producción mundial de este cultivo para la zafra 2007-2008 fue de 1,412 millones de toneladas. Desde la introducción de la caña a México, por los españoles, este cultivo ha representado uno de los pilares fuertes en la economía y desarrollo del país. De este cultivo dependen 440 mil familias de 227 municipios en 15 estados de México. Grandes asociaciones han surgido del gremio cañero, que de una u otra manera han determinado en el desarrollo y políticas del país.

El rendimiento promedio del cultivo durante la zafra 2007-2008 en México fue 74.54 t ha^{-1} , mientras que en Veracruz fue de 71.20 t ha^{-1} , con una superficie cosechada de 259,911.16 hectáreas y una producción total de 18, 865,516.56 toneladas, dejando una derrama económica de acuerdo al valor de su producción de 7,035 millones de pesos.

En el Estado de Veracruz, existen regiones donde el rendimiento promedio de caña es cercano a las 100 toneladas por hectárea, como es el caso del Distrito de Riego 035 La Antigua y que conforma la zona de abastecimiento de los ingenios La Gloria y El Modelo (SIAP, 2008). En esta región el potencial de este cultivo no sólo se limita a aspectos agronómicos, también a aspectos sociales ya que, quienes lo producen se encuentran asociados a grupos de productores cañeros, liderados por productores, a través de la Unión Nacional de Productores de Caña de Azúcar de la Confederación Nacional Campesina (UNPCA-CNC) y de la Unión Nacional de Productores de Caña de Azúcar de la Confederación Nacional de Propietarios Rurales (UNPCA-CNPR).

4.2.3. Aspecto agronómico

La caña de azúcar se cultiva en diferentes condiciones ambientales, desde el nivel del mar hasta una altitud superior a los 1000 m. La temperatura, la humedad y la irradiación solar son los principales elementos que inciden en el desarrollo y producción del cultivo. El rango de temperatura óptima de germinación es de 32 a 38 °C, de desarrollo y absorción de nutrimentos de 27 °C; a temperaturas menores de 21 °C el crecimiento disminuye. Los requerimientos de precipitación del cultivo se encuentran entre 1500 a 2500 mm anuales. La luminosidad e intensidad lumínica, están directamente relacionadas con la síntesis y acumulación de sacarosa (Salgado *et al.*, 2001a). Las cañas contienen porcentajes variables de sacarosa dependiendo del clima, estación del año, variedad, condiciones de cultivo y suelo. En cuanto a las variedades o material genético, la productividad del campo cañero depende fuertemente de ellas. Rubio (1997), encontró que para los suelos arcillosos predominantes en la zona de influencia del ingenio La Gloria, Veracruz, las variedades cultivadas con mejor desarrollo son: Mex 69-290, Mex 68-P-23, SP 71-6180, SP 70-1284 y Q-96.

Algunos de los factores edafológicos que deben ser tomados en cuenta en el cultivo de caña de azúcar son: profundidad del suelo, grado de pendiente y relieve. El 85 % de las raíces de la caña de azúcar se concentran en los primeros 50 cm de profundidad y de una octava a una novena parte de los pelos radicales se desarrollan en los primeros 25 cm, alrededor de la planta. Los suelos que no tienen una pendiente generalmente uniforme, o que tienen muy poca pendiente, son afectados por mal drenaje a menos que tengan condiciones de buen drenaje interno. Los suelos con pendientes excesivas son susceptibles a la erosión y arrastre de nutrimentos y por lo general, no se facilita su nivelación.

El cultivo no es exigente en algún tipo de suelo en especial. En la zona de influencia de los ingenios La Gloria y El Modelo, se tienen taxonómicamente tres tipos de suelos, en los cuales se desarrolla sin problema alguno, estos son: Feozem háplico; suelos con alta concentración de piedras en todo el perfil; Fluvisol

endoéutrico; suelos cercanos a ríos y arroyos que se han formado por acumulación de tierra, son profundos, colores claros y textura media y Fluvisol éutrico; suelos de color oscuros y de textura fina o arcillosa (Domínguez y Aguilar, 1999).

Las principales plagas y enfermedades de la caña de azúcar en orden de importancia económica son: La mosca pinta (*Aeneolamia postica Walker*), la rata de campo (*Sigmodon hispidus*), la tuza (*Orthogeomys hispidus*) y los barrenadores del tallo (*Diatraea sp.*). En las regiones cañeras de México y en la mayoría de los países productores de caña de azúcar, se presentan patógenos que atacan este cultivo, entre los más importantes son: el carbón del tallo (*Ustilago scitaminea*), la escaldadura de la hoja (*Xanthomonas albilineans*), y la roya (*Puccinia melanocephala*). La prevención y control de la mayoría de las enfermedades se logran actualmente mediante la selección de variedades resistentes, realizando labores culturales como es la eliminación de malezas que sirven de hospederos o con la aplicación de plaguicidas (Sánchez 1997; Salgado *et al.*, 2001a).

Las necesidades de riego están en función de las características hidrodinámicas del suelo y de la eficiencia del sistema de aplicación. En general las necesidades de agua en caña de azúcar para obtener rendimientos cercanos a 100 t ha^{-1} , es de una lámina neta de agua de 1500 mm anuales, y la frecuencia del riego dependerá del régimen de lluvias y de la humedad del suelo.

Generalmente en el Módulo de riego I-1 La Antigua las aplicaciones de agua al cultivo se hacen por un sistema de riego rodado, donde frecuentemente los productores no tienen control de las láminas de agua aplicadas al cultivo, ni control total de la disposición de los periodos de riego, ya que dependen generalmente de la disponibilidad de agua y operación y administración del Módulo.

En cuanto a la fertilización, es considerada como el principal factor que conlleva al incremento a la producción de la caña de azúcar, comparado con el riego, rejuvenecimiento del cultivo e incremento de la superficie cultivada (PRONAC,

2007). No existe una dosis específica para caña de azúcar, ya que depende del tipo de suelo, la disponibilidad del riego, condiciones climáticas, entre otras. Existen diversos estudios (Lindsay, 1979; Cháves, 1999; Hedley y McLaughlin, 2005; Mc Beath *et al.*, 2006), que han determinado que el nitrógeno es el principal nutrimento para la producción de caña de azúcar.

Salgado *et al.* (2004) mencionaron que las necesidades de nutrimentos para la caña de azúcar (Cuadro 2) varían según las condiciones de disponibilidad de agua y señalan que las eficiencias de fertilización encontradas en el trópico mexicano son del orden de 0.5, 0.3 y 0.6 para el nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente; si el fertilizante se aplica granulado.

Cuadro 2. Demanda de nutrimentos del cultivo de caña de azúcar*.

Nutrimento	Demanda de nutrimento (kg ha ⁻¹)	
	Sin riego	Con riego
Nitrógeno	55.80	125.55
Fósforo	16.20	36.45
Potasio	99.00	222.75
Magnesio	15.00	33.75

*Demanda para obtener 60 y 135 t ha⁻¹ de caña para plantaciones sin y con riego, respectivamente. No considera las eficiencias de uso.

Un estudio realizado por la SAGARPA (2009), para el desarrollo de un modelo integral de sistema de información geográfica y edáfica como fundamento de la agricultura de precisión para la caña de azúcar en su etapa 1, recomienda el uso de diferentes dosis para la zona de influencia del Ingenio el Modelo, misma donde se ubica el Distrito y Módulo de La Antigua. Dichas dosis estuvieron en función de la distribución de los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio en los predios de producción de caña. En resumen, las dosis corresponden a más del 94.8 % de la superficie de producción bajo riego, donde se deben aplicar dosis de fertilización superior a 151 kg ha⁻¹ de nitrógeno. El 51.3 %, debe aplicar más de 151 kg ha⁻¹ de

P_2O_5 y el 81.7 % de la superficie cultivada bajo riego, no debe aplicar K_2O (SAGARPA, 2009).

4.3. El ciclo del nitrógeno en caña de azúcar

El ciclo del N se representa por medio de una serie de procesos (Figura 3), depende de entradas (agua de lluvia y fertilizante orgánico e inorgánico), transformaciones y retroalimentaciones por microorganismos, y finalmente salidas a la planta o, al ambiente.

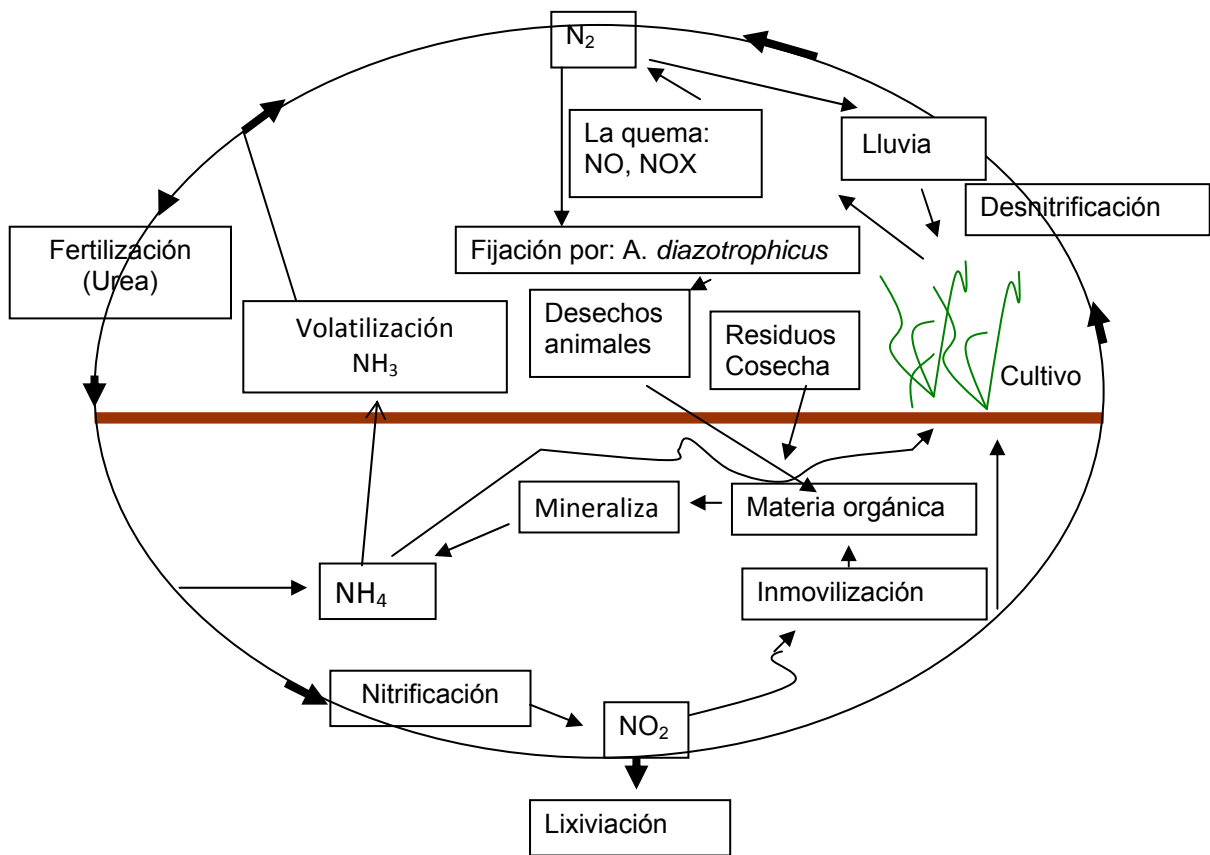


Figura 3. Ciclo del nitrógeno en caña de azúcar.

4.3.1. Mineralización

Es la transformación del nitrógeno orgánico a nitrógeno mineral, involucra a su vez dos subprocesos: amonificación que es la transformación de N orgánico a N-amoniaco y nitrificación que es la oxidación de N-amoniaco a N-nítrico. La mineralización siempre es mayor en suelos arenosos que en arcillosos, es favorecida a altas temperaturas y pH cercanos a la neutralidad. Por otro lado, es importante considerar la calidad de los residuos, ya que residuos con alta relación C: N (>20), presentan bajas tasas de mineralización, y tienden a inmovilizar el N mineral del suelo. Residuos ricos en nitrógeno como las leguminosas, presentan una baja relación C: N (<20) y, por ende, mayor velocidad de mineralización. Se entiende como inmovilización al proceso en que el N mineral es convertido en N orgánico; y que se utiliza por los microorganismos para la elaboración de su protoplasma celular (Castellanos *et al.*, 2000).

4.3.2. Fijación biológica de nitrógeno

Es un proceso de ganancia de N al suelo. Es la transformación de N₂ de la atmósfera a amonio. Este proceso lo llevan a cabo las bacterias simbióticas o asociativas. Las simbióticas (*Rhizobium* y *Azotobacter*) se encuentran en leguminosas; por ejemplo; en el frijol la fijación puede ser de 50 a 100 kg de N ha⁻¹, y en soya es de 75 A 150 kg de N ha⁻¹ (Castellanos *et al.*, 2000). En caña de azúcar, las bacterias fijadoras se encuentran en el interior del tallo, son del tipo asociativas (*Acetobacter diazotrophicus*). Al respecto Baldani *et al.* (1997); mencionaron que la asociación de *A. diazotrophicus* con caña de azúcar en Brasil, llega a fijar hasta 160 kg ha⁻¹ de N.

4.3.3. Desnitrificación

Es un proceso de pérdida gaseosa de N que se favorece en condiciones de falta de oxígeno y alta presencia de nitratos. Al no haber oxígeno, los microorganismos utilizan el ión nitrato como receptor de electrones y lo reducen a NO, N₂O y N₂. En

esta forma se escapa a la atmósfera. Estas pérdidas se agravan con las presencia de suelos compactados y arcillosos, logrando perder por esta vía del 5 al 50 % de N. Por tal razón, no se debe aplicar la totalidad del fertilizante nitrogenado en una sola aplicación y en el caso de cultivos de ciclo largo, como la caña de azúcar, en la fase inicial de crecimiento, se recomienda utilizar fuentes amoniacales.

4.3.4. Volatilización

Las pérdidas por volatilización amoniacal (NH_3) ocurren cuando se utiliza una fuente como amoníaco, urea, sulfato de amonio o nitrato de amonio. Estas pérdidas se favorecen con un pH por arriba de 7. En suelos con baja capacidad de intercambio catiónico, una de las prácticas que reducen este tipo de pérdidas es el enterrado del fertilizante (Salgado *et al.*, 2001b).

4.3.5. Lixiviación

La lixiviación es un proceso de transporte de N hacia el perfil del suelo e incluso a mantos freáticos. Teniendo en cuenta que el NO_3 es un anión y que no puede ser retenido por las arcillas como ocurre con los cationes del suelo, por tanto es fácilmente transportado por el agua. Las láminas de agua o lluvias abundantes favorecen el arrastre de NO_3 . Esta es la principal forma de pérdida de N en el agroecosistema con caña de azúcar. La cual tiene una importancia ambiental, pues los nitratos contaminan las aguas subterráneas.

Las pérdidas de N se favorecen en condiciones de excesiva lámina de agua, suelos arenosos y aplicaciones tempranas de fertilizantes nitrogenados en dosis altas. Castellanos y Peña Cabriales (1990) reportaron la presencia de nitratos en los mantos acuíferos de México. Datos presentados por Landeros *et al.* (2007), mostraron que este problema está presente prácticamente en todo el Distrito de Riego 035 La Antigua.

4.4. El concepto de actitud

El concepto de actitud, está estrechamente relacionado con la percepción. La percepción es la forma de ver un fenómeno. La actitud es la predisposición hacia algún fenómeno; es medido como un simple concepto que se valora positiva o negativamente (Blanco y Alvarado, 2005). En otras palabras, es el grado en que se puede o no llevar acabo la adopción de una práctica, tecnología o herramienta. Los métodos mas conocidos para medir actitud es el escalonamiento tipo Likert y el diferencial semántico. El nivel o valor captado de la actitud, deberá ser comparado con un conjunto de datos en estudio, y clasificado en una realidad objetiva (Cuadro 3).

Cuadro 3. Interpretación con base en escalonamiento tipo Likert.

Índice Likert	Interpretación
< a 1.5	Actitud negativa baja
De 1.5 a 2.2	Actitud ligeramente negativa
De 2.3 a 3.0	Actitud neutral
De 3.1 a 3.8	Actitud ligeramente positiva
≥ a 3.9	Actitud positiva alta

Fuente: Elaboración propia.

La actitud se utiliza frecuentemente en la investigación ambientalista. Uno de los primeros usos, en esta rama, es sobre la actitud conservacionista hacia el recurso agua que considera disposiciones valorativas, esenciales para entender por qué los individuos se deciden a actuar de manera pro-anti ambiental (Guevara y Rodríguez, 2002).

5. HIPÓTESIS

5.1. General

El manejo de dosis fraccionadas del fertilizante nitrogenado en caña de azúcar, tiene un impacto positivo en la productividad, rentabilidad y en la cantidad de nitrógeno lixiviado. Además, los productores cañeros muestran una actitud positiva a un fraccionamiento mayor del fertilizante nitrogenado, respecto a la práctica convencional.

5.2. Particulares

1. Existe una actitud positiva entre los productores cañeros hacia el manejo de dosis menores de fertilizante nitrogenado con un mayor fraccionamiento durante su suministro.
2. La cantidad total de fertilizante nitrogenado suministrado a la caña de azúcar en un número mayor de aplicaciones, da como resultado una mayor productividad, esto es, mayor rendimiento y mayor contenido de azúcar.
3. El uso de dosis fraccionadas de fertilizante nitrogenado, genera mayor rentabilidad en comparación a la práctica tradicional en el agroecosistema caña de azúcar.
4. La cantidad total de fertilizante nitrogenado, suministrado a la caña de azúcar en un número mayor de aplicaciones, contribuye a una menor lixiviación de nitrógeno, por lo que su impacto de contaminación al manto freático es menor.

6. OBJETIVOS

6.1. General

Evaluar la productividad, rentabilidad y la cantidad de nitrógeno lixiviado en caña de azúcar, bajo un manejo de dosis fraccionadas de fertilizante nitrogenado; así como la actitud de los productores hacia este manejo.

6.2. Particulares

1. Conocer el manejo actual de la fertilización y la actitud de los productores cañeros hacia el manejo de dosis menores de fertilizante nitrogenado y su fraccionamiento durante su aplicación.
2. Comparar el rendimiento y grados Brix de la caña de azúcar con respecto a la aplicación de diferentes dosis y fraccionamiento de la fertilización nitrogenada.
3. Determinar la rentabilidad de la producción de caña de azúcar, mediante la relación beneficio-costos; en función de las diferentes dosis y fraccionamientos del fertilizante nitrogenado.
4. Estimar la cantidad de nitrógeno lixiviado hacia el manto freático como resultado de la aplicación de diferentes dosis y fraccionamientos del fertilizante nitrogenado.

7. MARCO DE REFERENCIA

La presente investigación, se realizó en el Módulo de Riego I-1 La Antigua (Figura 4), que pertenece al Distrito 035 La Antigua. El Módulo se constituyó legalmente como asociación civil en el año de 1993, denominada “Asociación de usuarios COANALAG (Concesionaria de Aguas Nacionales para la Agricultura y Ganadería) Módulo de riego La Antigua” A.C.” Su extensión es de 13,817 hectáreas, de las cuales se riegan 8,717 de 2846 usuarios del riego (CNA, 2009). El Módulo cuenta con las aportaciones de agua de la presa derivadora La Antigua, para abastecer una red de 247,179 kilómetros de drenes. El Módulo de Riego se localiza en la porción central poniente del Estado de Veracruz, entre los paralelos 19° 09’ y 19° 33’ de Latitud Norte y los meridianos 96° 17’ y 96° 33’ de Longitud Oeste. Presenta un clima Aw₂, cálido subhúmedo, con lluvias en verano, con una precipitación media anual es de 1271 mm y una temperatura media anual de 25.3 °C. Lo anterior según la clasificación de Köpen, modificada por García (1973).

El volumen de evaporación anual en la zona de estudio es de 1,474.2 mm, con volúmenes máximos de octubre a mayo. Los vientos dominantes que se abaten sobre la región proceden del norte y se presentan principalmente entre los meses de octubre a marzo. También se presentan vientos que proceden del sur, los cuales ocurren de abril a septiembre. Por lo general, los vientos que proceden del norte son fríos y secos; los del sur son húmedos y calientes, los vientos moderados son dominantes todo el año.

La hidrología del Módulo, está conformada por la cuenca del río La Antigua que abarca un área de 2,827 km², nace en la Sierra Madre Oriental, a 3,850 msnm de altitud dentro del Estado de Puebla hasta llegar al Golfo de México. La calidad de sus aguas se clasifica como de buena calidad, lo que significa que puede ser utilizada en toda clase de suelos y para cualquier cultivo.

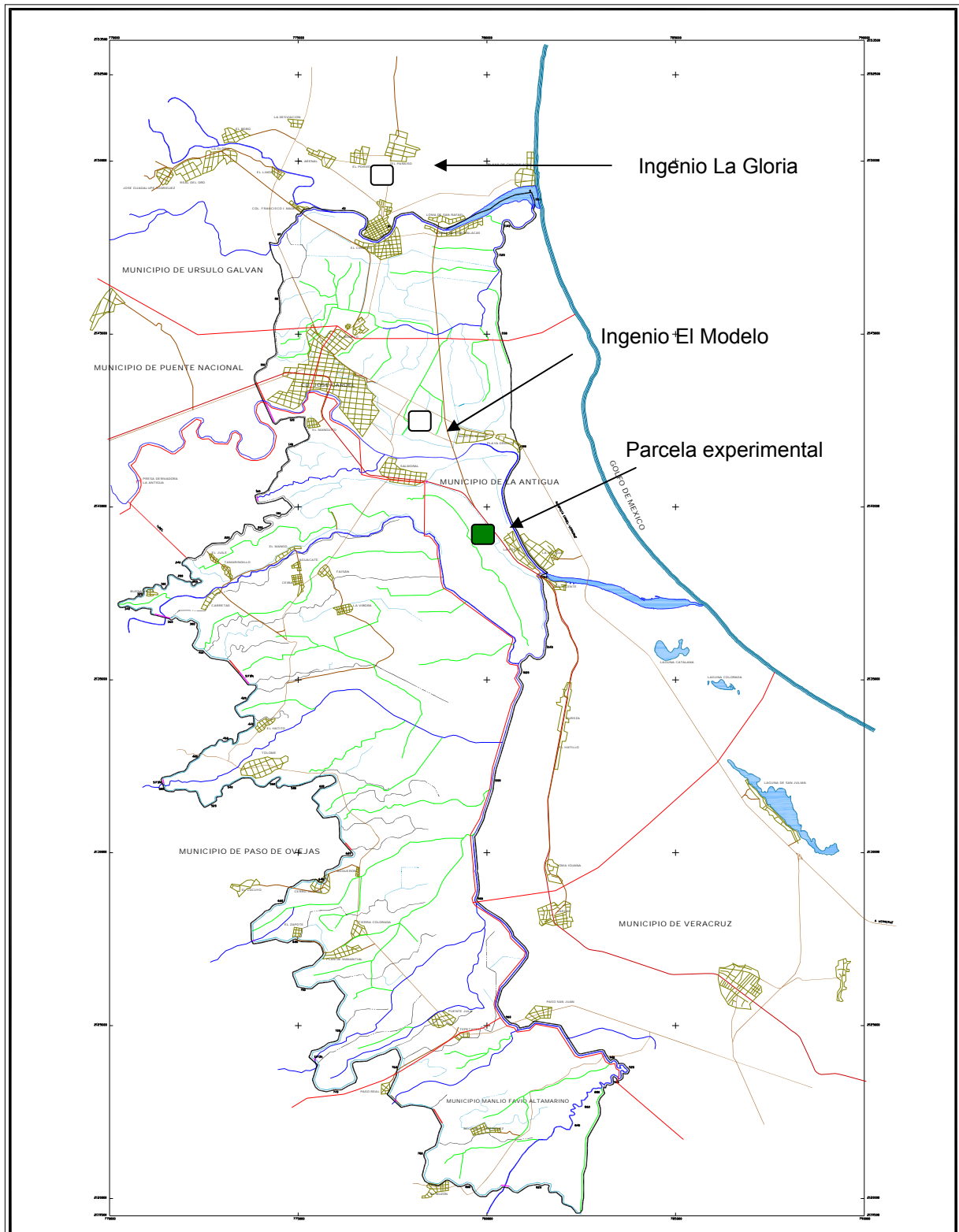


Figura 4. Módulo de Riego I-1 La Antigua. Fuente: CNA, 2009.

El 47.7 % del área total del Módulo, tiene pendientes menores del 0.5 % y en el 81.6 % de la superficie total la pendiente es menor de 2.0 %. Las pendientes pronunciadas de más de 10.0 % están constituidas por 509 ha y se localizan adyacentes al canal principal La Antigua y el lateral Cardel. El tipo de suelo característico en el Módulo es Fluvisol y presenta en general suelos planos de color oscuro y textura fina.

De acuerdo con la ubicación geográfica del Módulo y de las condiciones climatológicas de la región, su vocación agrícola se ha vinculado principalmente al cultivo de la caña de azúcar, que representa el 81.9 % del total de la superficie cultivada. El resto del patrón de cultivos está conformado por forrajes (9.3 %), toronja (4.0 %), maíz (1.6 %), mango (1.3 %) y, en menor proporción, hortalizas, frijol, papaya, limón y naranja (1.9 %). El principal motivo por el que predomina el cultivo de caña de azúcar, es por la presencia de dos ingenios azucareros (El Modelo y La Gloria), y además que en esta región de Veracruz fue una de donde se estableció por primera vez este cultivo.

El Módulo está conformado por cinco municipios siendo estos: La Antigua, Manlio Fabio Altamirano, Paso de Ovejas, Puente Nacional y Úrsulo Galván, de los cuales el 75 % de su población depende directa e indirectamente de la agricultura y ganadería.

8. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación tuvo una duración de tres años, de 2007 a 2009, comprendió dos fases (Figura 5). La primera de ellas referida al Diagnóstico sobre el uso y manejo del fertilizante nitrogenado, y la actitud de los productores cañeros respecto al uso de dosis menores del fertilizante nitrogenado y su fraccionamiento durante su suministro, y la fase 2, sobre la Experimentación con dosis y fraccionamiento del fertilizante nitrogenado.

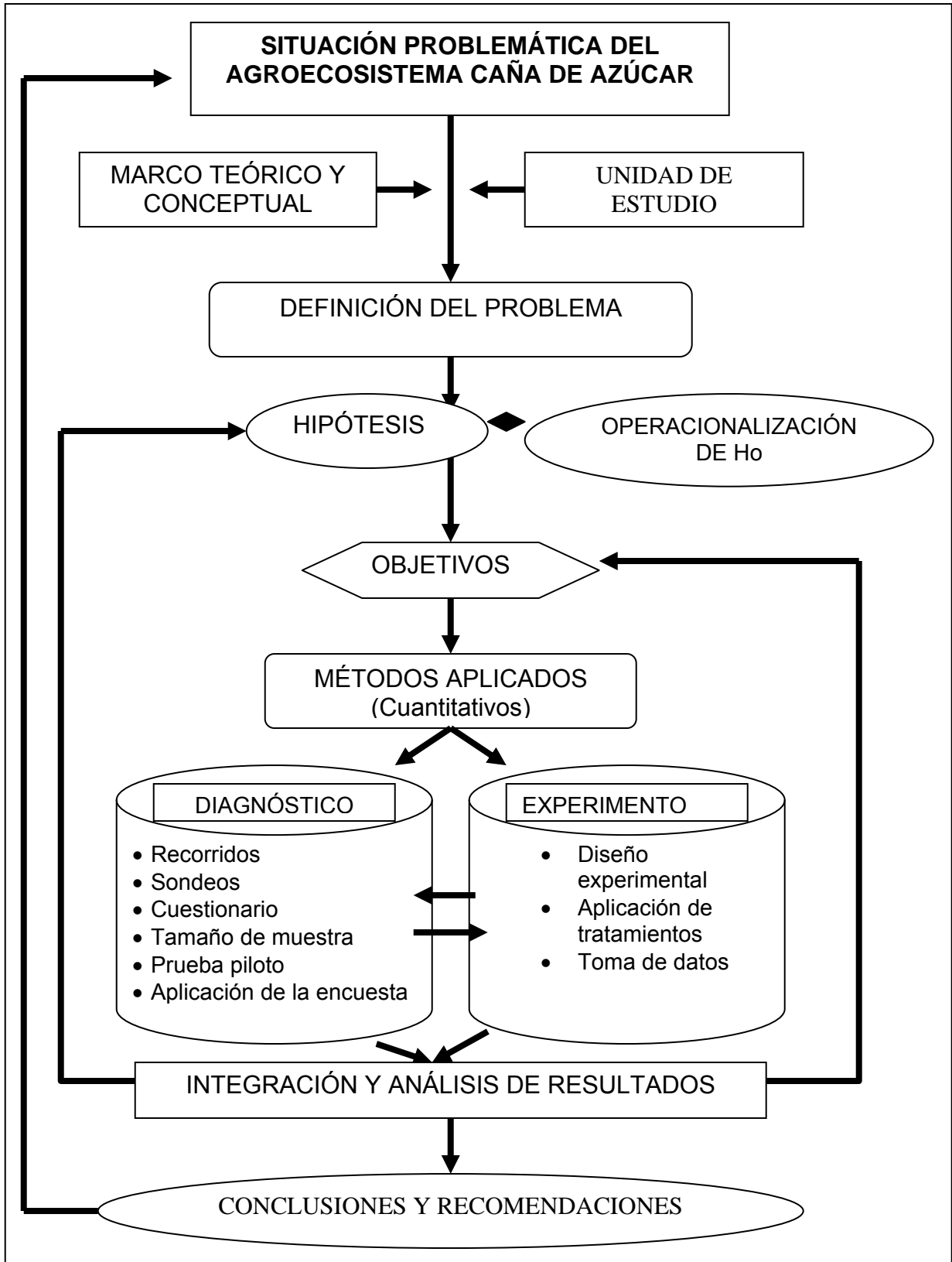


Figura 5. Fases metodológicas de la investigación. Modificado (Del Ángel, 2008).

8.1. Fase 1: Diagnóstico

Esta fase del estudio, se realizó de 2007 a 2008 y consistió en la revisión de la información relacionada al tema de estudio. Se analizó el historial de dosis, precios y costos de fertilización nitrogenada en la región, así como de rendimientos obtenidos. Posteriormente, se realizaron recorridos de campo y la aplicación de encuesta.

8.1.1. Aplicación de encuesta

La encuesta se realizó aplicando un cuestionario a una muestra de 250 productores cañeros. Lo anterior en 26 comunidades del Módulo I-1 La Antigua como son: Belisario Domínguez, Cabezas, Cardel, Cerro Guzmán, El Buzón, El Ciruelo, El Faisán, El Mango, El Modelo, Fco. I. Madero, Hatito, Loma del Nanche, La Antigua, La Barra, La Ceiba, La Posta, La Víbora, Nicolás Bravo, Puente Jula, Paso de Ovejas, Plan de Manantial, Salmoral, Tierra Colorada, Tamarindo, Tolome y Úrsulo Galván.

El tamaño de muestra se calculó mediante la fórmula siguiente: $n = Ns^2 / [(N_1)b^2/4 + s^2]$, donde n es el tamaño de muestra; N el tamaño de la población total; s^2 es la varianza exploratoria y b es la disposición de error (Sheaffer, 1987). Con base a la anterior, se estimó un tamaño de muestra de 250 productores de una población total de 2572 productores cañeros. La parcela o el nombre del entrevistado se obtuvieron mediante aleatorización a través de un muestreo sistemático.

Para el análisis, se compararon cinco estratos de productores, con base al número de hectáreas de su parcela (Cuadro 4). Esto es: a) menor a 1.5 ha, b) de 1.6 a 3.0 ha; c) de 3.1 a 6.0 ha; d) de 6.1 a 10.0 y e) mayor a 10.

Cuadro 4. Número de cañeros entrevistados por estrato.

Estrato	Superficie (ha)	No. de entrevistados	% representado
1	≤1.5	49	19.6
2	1.6-3.0	89	35.6
3	3.1 – 6.0	77	30.8
4	6.1 –10.0	24	9.6
5	> 10	11	4.4
Total		250	100

El cuestionario (Anexo 1) se estructuró a base de preguntas abiertas y cerradas, y estuvo compuesto de cuatro apartados: 1) datos generales del productor y la finca, 2) aspectos técnico y productivo, referente a fertilización del cultivo, 3) aspectos socioeconómicos; 4) aspectos de actitud.

Para la determinación de la actitud se utilizó el índice de Likert (Hernández *et al.*, 1991), considerando el promedio de las respuestas de los ítems con cinco opciones de respuesta: 5 indica “Totalmente de acuerdo”; 4 “De acuerdo”; 3 “Neutro”; 2 “En desacuerdo”; 1 “Totalmente en desacuerdo”. Los criterios utilizados para definir al encuestado fue: ser socios del Módulo de Riego I-1 La Antigua y ser productor cañero.

El Índice Likert de Actitud para cada estrato, se obtuvo con la fórmula utilizada por Lang-Ovalle *et al.* (2007):

$$ILE = \frac{PT}{N_i} \quad (1)$$

Donde ILE= Índice de Likert del estrato n, PT= puntuación total y Ni =Número total de afirmaciones. También se obtuvo el índice de actitud general de Likert utilizando la siguiente fórmula:

$$ILG = \frac{ILE + ILE2 + ILE3 + ILE4 + ILE5}{5} \quad (2)$$

Donde: ILG = Índice de likert general, ILE1= índice de likert estrato 1, ILE2= índice de likert estrato 2, ILE3= índice de likert estrato 3, ILE4= índice de likert estrato 4 ILE5= índice de likert estrato 5.

8.1.2. Sondeo

Para complementar el estudio de diagnóstico, se usó la técnica del sondeo, mediante recorridos de campo (Beebe, 1985), cuyo propósito fue identificar las prácticas de fertilización usadas actualmente por los productores y la delimitación del área de experimentación (parcela experimental).

Los criterios utilizados para la selección de la parcela experimental, fueron: identificar al productor con mayor actitud y cuya parcela cumpliera con suelos representativos de la zona, de acuerdo a observación. En esta parcela se estudió las características edafológicas del suelo, mediante la caracterización del perfil (Anexo 2); así mismo se complementó con estudios fisicoquímicos mediante la obtención 12 muestras de suelo a una profundidad de 40 cm (Anexo 3.1). Las muestras se analizaron en el laboratorio del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz para conocer el estado inicial del suelo.

Los análisis de laboratorio referidos incluyeron las determinaciones siguientes: textura (hidrómetro de bouyoucus), densidad aparente (barrena de núcleo), porosidad (probeta), color (tablas Munsell), conductividad hidráulica (pozo invertido), porcentaje de saturación (Método Dewis y Freitas), capacidad de campo (Olla de presión) punto de marchitamiento permanente (Membrana de presión), pH (1:2), nitrógeno total (Kjeldahl), PO₄ (Olsen), K⁺ (Método Acetato de Amonio 1N pH 7.0), materia orgánica (Walkey and Black).

El muestreo se repitió al final del ciclo de cultivo de la caña de azúcar, para conocer el estado fisicoquímico final del suelo (Anexo 3.2) y poder comparar con el análisis inicial. Una vez concluida esta fase, se procedió a estudiar el efecto del fraccionamiento de dosis del fertilizante nitrogenado en el rendimiento, rentabilidad del cultivo de caña de azúcar y la lixiviación mediante un experimento en campo.

8.2. Fase 2: Experimento en campo

8.2.1. Ubicación del experimento

El experimento se desarrolló de enero a diciembre del año 2009, la parcela experimental se ubicó en el ejido de Salmoral, Municipio de La Antigua. Su referencia corresponde a las coordenadas 19°19' 57.3'' Lat. N y 96° 20' 33.4' Lon W, presenta suelos con material parental aluvial del tipo Fluvisol éutrico propios de la región, con textura migajón arcillosa, con manto freático elevado de 75 a 95 m. La parcela es propiedad del Ingeniero Ariel Domínguez, cultivada con caña de azúcar con la variedad CP 72-2086, en su ciclo de producción soca, con riego rodado y con rendimiento en años anteriores cercanos a 100 t ha⁻¹.

8.2.2. Tratamientos y factores en estudio

Se evaluaron dos factores en tres niveles cada uno: Dosis (D) y Fraccionamientos (F), por lo que, su combinación condujo a la evaluación de nueve tratamientos de fertilización nitrogenada (Cuadro 5). Cada tratamiento con tres repeticiones en campo, mismos que se manejaron en igualdad de condiciones.

El primer factor correspondió a tres dosis de fertilización nitrogenada, siendo éstas: D1: 250, D2: 200 y D3: 150 kg de N ha⁻¹ respectivamente. Estas bajo tres fraccionamientos, que correspondieron al segundo factor, F1: fraccionado en dos aplicaciones, F2: en tres aplicaciones y F3: en cuatro aplicaciones.

Cuadro 5. Tratamientos evaluados para estudiar el efecto de dosis y fraccionamiento del nitrógeno.

N°	Clave	Dosis (kg N ha ⁻¹)	Fraccionamiento realizado
1	^T D1F1	250	dos aplicaciones (125 y 125).
2	D1F2	250	tres aplicaciones (80, 90 y 80).
3	D1F3	250	cuatro aplicaciones (60, 70, 60 y 60).
4	D2F1	200	dos aplicaciones (100 y 100).
5	D2F2	200	tres aplicaciones (70, 70 y 60).
6	D2F3	200	cuatro aplicaciones (50, 50, 50 y 50).
7	D3F1	150	dos aplicaciones (75 y 75).
8	D3F2	150	tres aplicaciones (50, 50 y 50).
9	D3F3	150	cuatro aplicaciones (40, 40, 40 y 30)

^T Testigo, que corresponde a la dosis y aplicación recomendada por los Ingenios.

Para balancear el sistema nutricional de la planta, a todos los tratamientos se les adicionó fósforo (P₂O₅) y potasio (K₂O), a razón de 20 y 60 kg ha⁻¹ a base de superfosfato simple 0-20-0 y cloruro de potasio 0-0-60, respectivamente. La aplicación del fertilizante se realizó en forma manual. Se aplicaron seis riegos en todas las unidades experimentales y en los nueve lisímetros instalados, durante el ciclo del cultivo, con una lámina de riego de 15 cm. Las malezas se controlaron manualmente y mediante la aplicación de pre-emergentes como el Gesapax combi (ametrina) y post-emergentes como el Gesapax H (ametrina + 2 - 4D), ambos a una dosis de 4 kg y 4 L ha⁻¹ en 400 L de agua, respectivamente.

8.2.3. Diseño experimental

Se utilizó un diseño bloques al azar en arreglo factorial en franjas de bloques divididos; esto debido a que se evaluaron dos factores los cuales se manejaron en parcelas grandes.

Cada unidad experimental tuvo una superficie 41.6 m², constituida de cuatro surcos de 8 m de largo por 1.3 m de ancho, separada a una distancia de 1.5 m por sus cuatro extremos. La parcela útil estuvo compuesta por dos surcos centrales, lo que equivale a una superficie de 20.8 m². Cada bloque con una superficie de 374.4 m², donde se evaluaron nueve tratamientos, cada tratamiento con tres repeticiones. La separación entre bloques fue de 1.5 m. La Superficie total del área experimental fue de 1596 m² (Figura 6).

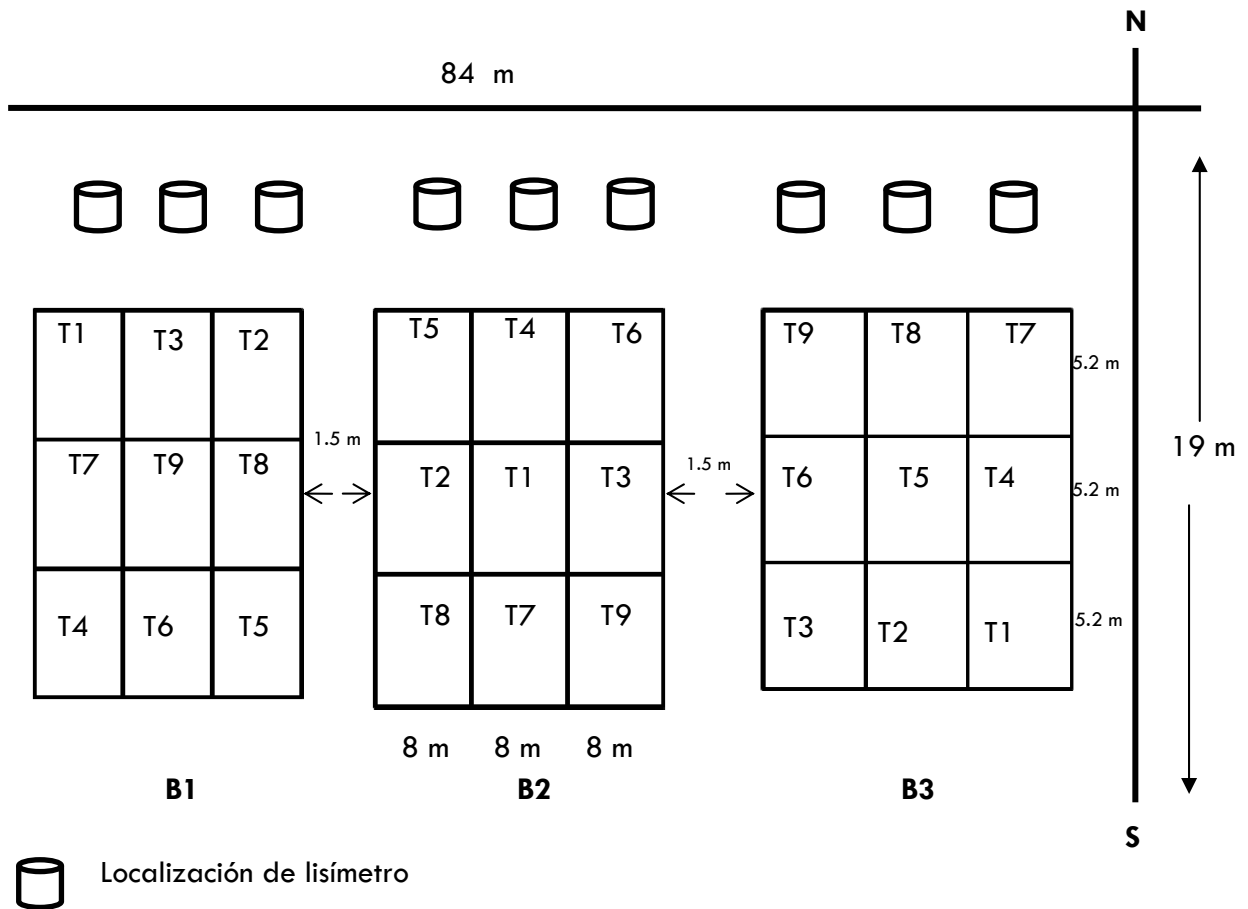


Figura 6. Distribución de los tratamientos y localización de lisímetros en el área experimental.

8.2.4. Modelo matemático del diseño experimental

El modelo matemático del diseño experimental utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + D_j + \varepsilon_{ij(a)} + F_k + \varepsilon_{ik(b)} + (DF)_{jk} + \varepsilon_{ijk(c)} \quad (3)$$

$$i = 1, 2, \dots, r$$

$$j = 1, 2, \dots, a$$

$$k = 1, 2, \dots, b$$

Donde:

Y_{ijk} es la observación en la dosis j en el nivel k del fraccionamiento en el bloque i ;

μ es la media general;

β_i es el efecto del bloque i ;

D_j es el efecto del nivel j de la dosis;

$\varepsilon_{ij(a)}$ es el error experimental de la ij -ésima parcela para dosis;

M_k es el efecto del nivel k del fraccionamiento;

$\varepsilon_{ik(b)}$ es el error de la ik -ésima parcela para niveles de fraccionamiento;

$(DM)_{jk}$ es el efecto de interacción de la dosis j y el fraccionamiento k ; y

$\varepsilon_{ijk(c)}$ es el error experimental de la ijk -ésima subparcela.

Para cada una de las variables que se estudiaron en el experimento, se probaron las siguientes hipótesis estadísticas:

Ho: $D_1 = D_2 = D_3$ contra Ha: Existen diferencias entre dosis

Ho: $F_1 = F_2 = F_3$ contra Ha: Existen diferencias entre fraccionamientos

Ho: No hay interacción $D \times F$ contra Ha: Existe interacción entre D y F

8.2.5. Variables de respuesta

Agronómicas. Las variables de respuesta del cultivo que se midieron fueron las siguientes:

Rendimiento ($t\ ha^{-1}$). Para ello se utilizó una balanza con capacidad de 300 kg, pesando rollos de caña previamente quemada y cosechada manualmente. La cosecha se realizó al mismo tiempo para todas las unidades experimentales el 29 de diciembre de 2009.

Grados brix. Se obtuvo en campo a los 11 meses de desarrollo del cultivo, muestreando tres plantas por tratamiento, se realizó utilizando un refractómetro de mano Atago (modelo ATC-1E). La manera en que se obtuvo esta muestra fue de acuerdo a los procedimientos de muestreo realizados por los ingenios de la región; esto es, en el tercio medio de tres tallos de cada parcela útil. El jugo de caña se extrajo mediante el uso de un punzón de cápsula y posteriormente una muestra del jugo se colocó en el refractómetro, el cual proporciona la lectura en grados brix.

Económicas. Para estimar la rentabilidad del sistema, se utilizó como principal indicador a la Relación Beneficio/costo, sin embargo se estudiaron otros indicadores económicos tales como:

Ingreso bruto ($\$ ha^{-1}$). Para estimar el ingreso bruto, se utilizaron los rendimientos medios obtenidos en relación a cada tratamiento y se multiplicó por el precio de venta medio regional ($\$ 423$ por tonelada) de acuerdo a la zafra 2007-2008 (Contreras-Gallardo, 2009).

Costos de producción ($\$ ha^{-1}$). Los costos de producción estuvieron en relación a todas las labores realizadas al cultivo. Los costos variaron en el concepto de fertilización y fertilizante, de acuerdo al cuadro de costos (Anexo 9).

El concepto fertilización, involucra el fraccionamiento y el número de jornales utilizados para tal actividad, así como la forma de aplicación. En cuanto al concepto fertilizante, hace referencia a la dosis de fertilización empleada.

Ingreso neto ($\$ ha^{-1}$). De acuerdo con Báez (2000), el ingreso neto resulta de una simple resta de los ingresos brutos menos los costos de producción del sistema. Por lo que para objeto de este estudio, se consideró tal operación matemática.

Rentabilidad (%). La rentabilidad se calculó mediante la relación que guarda los ingresos netos entre los costos de producción, sin embargo para establecer la rentabilidad del sistema, sólo se consideró la R B/C.

Relación beneficio/costo (R B/C). Se utilizó como el indicador de la rentabilidad del sistema. Como beneficio, se consideró el rendimiento obtenido ($t ha^{-1}$), y para los costos, fueron considerados, los costos netos totales de la producción, esto es; sin considerar intereses por parte de la adquisición de insumos vía crédito. La relación beneficio/costo se analizó bajo un análisis económico denominado Ex ante. Este análisis es un concepto que permite analizar y prever la bondad de los resultados de la tecnología diseñada, analizar las posibilidades de que la tecnología satisfaga los objetivos del proyecto, y así contribuir a los retos de manejo sostenible, equitativo y competitivo de la agricultura (Estrada *et al.*, 2001).

Este análisis tiene como propósito verificar si la adopción del plan alternativo es viable económicamente para el productor, lo que potenciaría el grado de adopción de la propuesta técnica a evaluar. Este compara entre los planes de manejo tradicional y alternativo (s) del cultivo, enlistando los costos de las labores del cultivo, así como de los insumos utilizados. Para obtener, para cada uno de las alternativas los costos de producción, ingresos netos, rentabilidades obtenidas y el incremento del ingreso neto de cada una de las alternativas de manejo con respecto al manejo tradicional (Testigo).

Lixiviación del nitrógeno. Se evaluó instalando, nueve lisímetros de balance en los que se ensayaron cada uno de los tratamientos. Debido a que el manto freático en la parcela experimental se encontraba a 81 cm, los lisímetros fueron de material de plástico con una altura de 1.10 m y 56 cm de diámetro, sostenidos en la base por una plataforma de concreto plana, contaron con una llave de salida sobre su base; para la colecta de los lixiviados (Anexo 4).

Para la recolección de los lixiviados, se instalaron contenedores de plástico, color transparente, en la parte posterior a la llave de extracción, con una capacidad de cinco litros.

Cada lisímetro en su parte interna, contaba con suelo de la parcela, representando las condiciones de la misma, con una primera capa, de abajo hacia arriba, de 15 cm de espesor de grava y arena, para permitir el drenado; la siguiente capa tenía un espesor de 81 cm compuesta de las mismas capas de suelo encontradas en el perfil de suelo de la parcela, incluyendo el cultivo en sus primeros 15 cm de altura. Durante el llenado de los lisímetros, se respetó al máximo la condición real del suelo, obteniendo la misma densidad aparente del suelo. En los lisímetros, se realizaron seis muestreos de agua, inmediatamente después del primer riego. Esto es, un muestreo antes y después de cada fertilización. Las muestras de agua recolectadas se transportaran al laboratorio del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, donde se les analizó el contenido de nitrógeno.

A fin de conocer la movilidad del nitrógeno en el suelo, se realizaron seis muestreos; en los meses de enero, marzo, mayo, julio, septiembre y diciembre, cuantificando la cantidad de nitrógeno ($N-NO_3$); esto en cada una de las unidades en estudio, a tres profundidades (20, 40 y 60 cm), tal como se ilustra en los Anexos 5, 5.1, 5.2 y 5.3. Lo anterior bajo el método de brucina (IITA, 1979).

8.3. Análisis estadístico.

Los datos obtenidos en la fase de diagnóstico fueron capturados en el programa Microsoft Office Excel, versión 2003. A partir de éste, se obtuvieron resultados tales como: promedio, desviación estándar, moda, coeficiente de correlación, histogramas y diagramas de frecuencia, además de pruebas de F y Tukey ($p \leq 0.05$). En la fase de experimentación, se incluyó, mediante un análisis de variación, los indicadores relevantes a través de pruebas con distribución “F” y “t” y pruebas de comparación de Tukey (Olivares, 1994).

8.4. Operacionalización de hipótesis

La operacionalización de las hipótesis, consiste en llevar cada una de las hipótesis planteadas a un plano operacional. Esto es, precisar al máximo el significado o alcance que se otorga a las variables de estudio (De Canales y Alvarado, 1991), las cuales adquieren diversos valores y cuya variación es susceptible de medirse (Hernández *et al.*, 1994).

La operacionalización se puede llevar acabo a hipótesis basadas en su contrastación a través de indicadores cualitativos y cuantitativos, el principal fin de esta acción es crear un lenguaje claro de cómo se miden las variables en estudio.

Para medir la actitud del productor, hacia la conservación del agroecosistema caña de azúcar, y en específico hacia la reducción del impacto por contaminación de fertilizante nitrogenado, esta es función de los enunciados presentados en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Operacionalización de la hipótesis que muestran la actitud de los cañeros del Módulo de Riego I-1 hacia el uso reducido y manejo fraccionado del nitrógeno.

Enunciado que mide la actitud	Unidad de medida
La caña de azúcar se produce sin dañar el medio ambiente	Escala likert ¹
El manejo actual del fertilizante nitrogenado causa contaminación	“
La cantidad de fertilizante nitrogenado que se aplica a la caña es excesiva	“
El exceso de fertilizante nitrogenado que se aplica a la caña de azúcar, provoca contaminación del agua superficial y subsuperficial	“
El número de aplicaciones del fertilizante nitrogenado que se realiza a la caña es un factor que contribuye a la contaminación del agua	“
La contaminación del agua, superficial y subsuperficial, afecta la salud de las personas	“
Estoy dispuesto a tomar medidas para contrarrestar los daños que provoca la producción de caña de azúcar al medio ambiente	“
Estoy dispuesto a reducir la cantidad de fertilizante nitrogenado	“
Estoy dispuesto a usar fuentes orgánicas de fertilización para reducir la contaminación	“
Estoy dispuesto a aumentar el número de aplicaciones del fertilizante nitrogenado total que aplico cada año al cultivo, sin aumentar la cantidad de fertilizante utilizado	“
Estoy dispuesto a aumentar el número de aplicaciones del fertilizante nitrogenado total que aplico cada año al cultivo, reduciendo la cantidad del fertilizante utilizado	“

¹Totalmente de acuerdo (5), De acuerdo (4), No estoy seguro (3), En desacuerdo (2), Totalmente en desacuerdo (1).

Para el caso de la productividad del cultivo caña de azúcar, se consideran las variables es función del rendimiento y contenido de sacarosa (Cuadro 7).

Cuadro 7. Operacionalización para medir productividad (P).

Indicador	Variables cuantitativas	Unidad de medida
P: considerada como las características de producción, generada por la aplicación de tres dosis y tres fraccionamientos del nitrógeno.	⇒ Rendimiento	t ha ⁻¹
	⇒ Sacarosa	° Brix

La rentabilidad económica del sistema caña de azúcar, será considerada utilizando como principal unidad de medida la Relación Beneficio/Costo (Cuadro 8).

Cuadro 8. Operacionalización para medir rentabilidad del sistema (Re).

Indicador	Variables cuantitativas	Unidad de medida
Re: considerada como aquella generada por la aplicación de tres dosis y tres fraccionamientos del nitrógeno.	⇒ Relación Beneficio/Costo por cada tipo de manejo del N.	Índice > 1.0 rentable < 1.0 no rentable

La lixiviación se medirá a través de la cuantificación de la pérdida acumulada del N (Cuadro 9).

Cuadro 9. Operacionalización de hipótesis para medir lixiviación de N (LN).

Indicador	Variable	Unidad de medida
LN: será considerada como aquel generado por la aplicación de tres dosis y tres fraccionamientos del fertilizante nitrogenado.	⇒ Pérdida acumulada de N.	kg ha ⁻¹

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo, se presentan los resultados correspondientes a la fase 1 de diagnóstico y fase 2 de experimentación. En la fase de diagnóstico se presenta un historial de la fertilización, en caña de azúcar en la región, así como los estadísticos descriptivos del Módulo de riego I-1 La Antigua y para cada uno de los estratos en estudio. Los resultados se presentan en el orden siguiente: Aspectos generales, aspectos de tipo técnico-productivo de manejo de la fertilización del cultivo, aspectos socioeconómicos y aspecto cultural que evalúa la actitud. Así mismo, análisis de correlación entre variables.

9.1. Resultados de la Fase 1: Diagnóstico

9.1.1. Historial de la fertilización nitrogenada en el Módulo I-1 La Antigua

La dosis de fertilización nitrogenada aplicada al cultivo de la caña de azúcar, ha cambiado durante el tiempo, de 1975 a 1995 pasó de 100 a 170 kg ha⁻¹. De 1996 al 2008 se incrementó significativamente, siendo en 2007 de 258 kg ha⁻¹. En 2008, se observó una pequeña disminución debida ala crisis económica mundial (254 kg ha⁻¹; Figura 7). En los últimos 15 años, la dosis de N aplicada a la caña aumentó un 60 %. De continuar esta tendencia, para el 2015 la dosis aplicada a la caña podría ser de 285 kg ha⁻¹ de N.

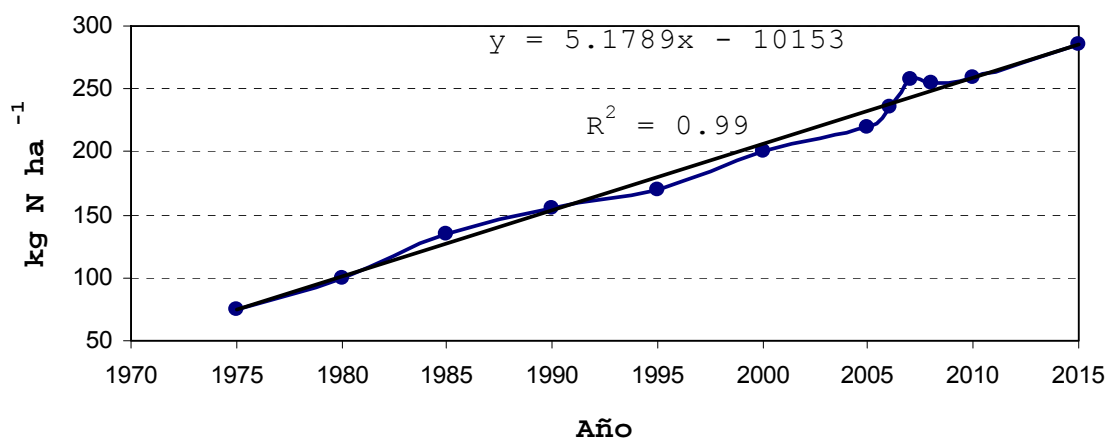


Figura 7. Historial de fertilización nitrogenada aplicada al cultivo de la caña de azúcar en el Módulo La Antigua.

La información anterior fue corroborada con los productores cañeros durante los recorridos y sondeos realizados. Ellos manifestaron que cuando contaban con la infraestructura de riego, sus rendimientos aumentaron, sin importar la dosis de fertilización y, que, esta era de 170 kg ha^{-1} , con rendimientos similares a los actuales. Según Carrillo *et al.* (2008), los requerimientos nutrimentales de los cultivos con riego aumentan, sobre todo para el riego por gravedad, como en el Módulo de Riego La Antigua. Esto, se debe a las bajas eficiencias de riego por el mal manejo de este recurso y de los fertilizantes. Otra causa que ha contribuido al incremento en las dosis es el crecimiento de la superficie cultivada de caña de azúcar con el sistema de monocultivo (Thom, 1992).

Por otro lado, el aumento en el precio del petróleo del 2008 y la crisis económica mundial actual, ha reducido y podría reducir el incremento de dosis del fertilizante nitrogenado en caña de azúcar. Ya que estos dos fenómenos han impactado considerablemente en los precios de los fertilizantes y la economía de los productores. Por lo que prácticas como la reducción de dosis y fraccionamiento de N cobran interés. De acuerdo con registro de precios de los fertilizantes, del año 2007 al año 2008 se tuvo un incremento en el precio del 105 % (Figura, 8).

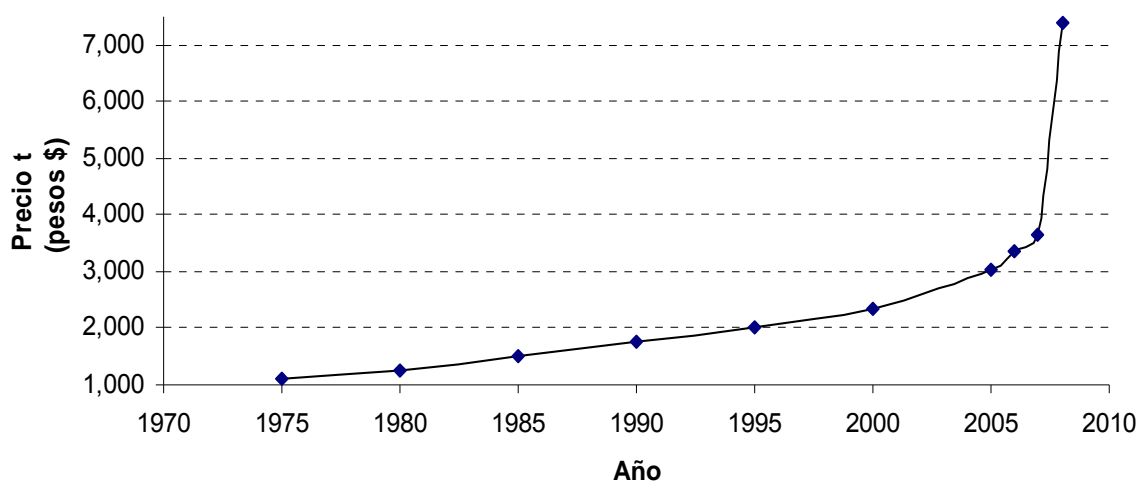


Figura 8. Historial del precio por tonelada de Urea (46-0-0) en la zona de influencia de los Ingenios La Gloria y El Modelo. Fuente: Elaboración propia con registros de Fertilizantes del Golfo de Veracruz, S.A. de C.V.

9.1.2. Estadísticos generales

Perfil del productor. La edad media del productor fue 60.8 años ($s= 13.0$), con una escolaridad media de 6.0 años ($s= 4.6$). El 79 % de los cañeros son del género masculino y 21 % femenino (Cuadro 10). Se encontró que el 55 % de los cañeros encuestados posee una superficie de producción menor a 3.0 ha y que la mayor escolaridad corresponde a productores con mayor superficie de producción superior a 10 ha.

Cuadro 10. Edad y escolaridad de productores cañeros del Módulo I-1 La Antigua.

Estrato (No.)	Superficie (ha)	n		Edad (años)		Escolaridad (años)	
		n	%	\bar{X}	(s)	\bar{X}	(s)
1	≤1.5	49	19.6	59.5	(10.6) [†]	5.9	(4.8) [*]
2	1.6 – 3.0	89	35.6	61.7	(12.4)	5.5	(3.9)
3	3.1 – 6.0	77	30.8	61.2	(14.2)	5.6	(4.4)
4	6.1 –10.0	24	9.6	59.5	(15.3)	6.8	(4.7)
5	> 10.0	11	4.4	53.5	(11.7)	9.6	(7.6)
Total		250	100	60.8	(13.0)	6.0	(4.6)

*Entre paréntesis se indica la desviación estándar.

Los productores de los estratos uno dos y tres, (con menos de 6.0 ha), el nivel de estudios oscila muy cercano a la media poblacional (6 años de estudio). Además, el 86 % de los productores poseen una superficie sembrada con caña menor a 6.0 ha, que se podrían considerar como pequeños productores. Mientras que el 9.6 % se consideran como productores a mediana escala, y un 4.4 % productores a gran escala, con una superficie mayor a 10 ha. Con respecto a éstos últimos, se observa que son los de menor edad en contraste con la media poblacional.

9.1.3. Aspecto técnico-productivo

El aspecto técnico-productivo del cultivo, engloba aspectos de manejo y principalmente de fertilización. Se encontró que se cultivan ocho variedades de caña, las cuales son: CP 72-2086, Mex 57-473, Mex 68-P23, Mex 69-290, Mex 79-431, Mex 91-662, Q-96 y RD 75-11 (Cuadro 11). El rendimiento medio de la zona de estudio es de 100.1 t ha⁻¹, el 24 % de los productores consideran dicho rendimiento alto, el 46 % lo consideran medio y el 30 % bajo. En cuanto a los ciclos de producción, el 73.3 % se encuentra en el ciclo de producción de resoca, seguido por el ciclo soca (19.2%) y el 7.5 % el ciclo de producción es plantilla.

Cuadro 11. Variedades de caña de azúcar cultivadas en el Módulo I-1 La Antigua.

Variedad	Superficie encuestada (Ha)	Superficie (%)	Rendimiento medio* (t ha ⁻¹)	S
CP 72-2086	242.85	24.0	100.49	18.49
Mex 57-473	7.10	0.7	90.00	14.14
Mex 68-P23	91.30	9.0	100.30	12.96
Mex 69-290	393.96	39.0	98.43	13.75
Mex 79-431	73.50	7.3	108.57	19.30
Mex 91-662	8.50	0.8	95.00	35.36
Q-96	187.25	18.6	102.43	14.31
RD 75-11	6.00	0.6	95.00	21.21
General	1010.46	100.0	100.1	15.2

* Datos reportados por los productores, S: Desviación estándar.

Con base al Cuadro 11, se observa que las variedades que se encuentran por arriba de la media regional de rendimiento (100.1 t ha⁻¹) son: CP 72-2086, Mex 68-P23, Mex 79-431 y Q-96. Tal vez por ello que estas representen el 58.9 % de la superficie cultivada.

Respecto la identificación y priorización de los principales problemas de tipo técnico-productivo del agroecosistema cañero, los productores identificaron en orden de importancia a: 1. Fertilización, 2. Manejo del agua, 3. Plagas y enfermedades, 4. Contaminación y 5. Lejanía con el ingenio (Figura 9).

■ Fertilización
 ■ Manejo del agua
 ■ Plagas y enfermedades
 ■ Contaminación
 ■ Lejanía con el ingenio

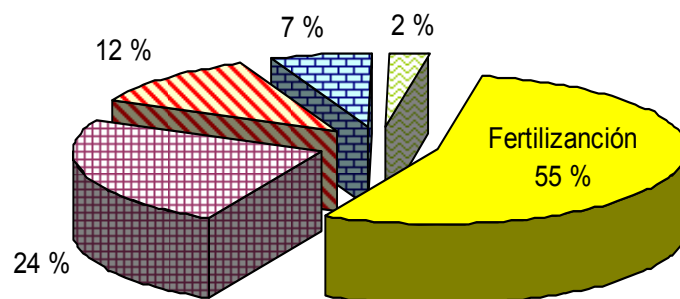


Figura 9. Percepción de los productores cañeros en relación a problemas de tipo técnico-productivo del cultivo caña de azúcar, en el Módulo de Riego I-1 La Antigua.

Los datos reportados para la priorización de problemas de tipo técnico productivo, no tienen relación con lo señalado en 2007 por el Programa Nacional de la Agroindustria Caña de azúcar (PRONAC), que consideró que la problemática de tipo técnico-productivo en caña se presenta en el orden siguiente: fertilización (29 %), manejo del agua (27 %), suelos no apropiados (23 %) y rejuvenecimiento del material “variedades” (21 %). Lo anterior se explica debido al contexto estudiado. Sin embargo, tampoco coinciden por lo reportado por Martínez, 2009; quien hizo referencia a problemáticas de este tipo en la zona estudiada, los cuales mencionó que corresponden a: rejuvenecimiento del material “variedades” (49 %), manejo del agua (20 %), manejo de la fertilización (16 %), plagas y enfermedades (7 %), combate de malezas (7 %), otros (1 %). Esto se podría deber principalmente que esta priorización de problemas, sólo considera la percepción de los técnicos de los ingenios, por lo que, resulta diferente a la percepción de los productores cañeros.

De acuerdo a la Figura 9, la fertilización es el principal problema de tipo-técnico productivo, lo que se puede explicar debido a que para esa época que se realizó la encuesta, los precios del fertilizante eran muy elevados. Sin embargo, realizando un análisis más amplio respecto a cuáles son los principales problemas relacionados a la fertilización; los productores responden que se derivan de:

empleo de dosis inadecuadas, altos costos del fertilizante, aplicación extemporánea y contaminación producida por los fertilizantes (Figura 10).

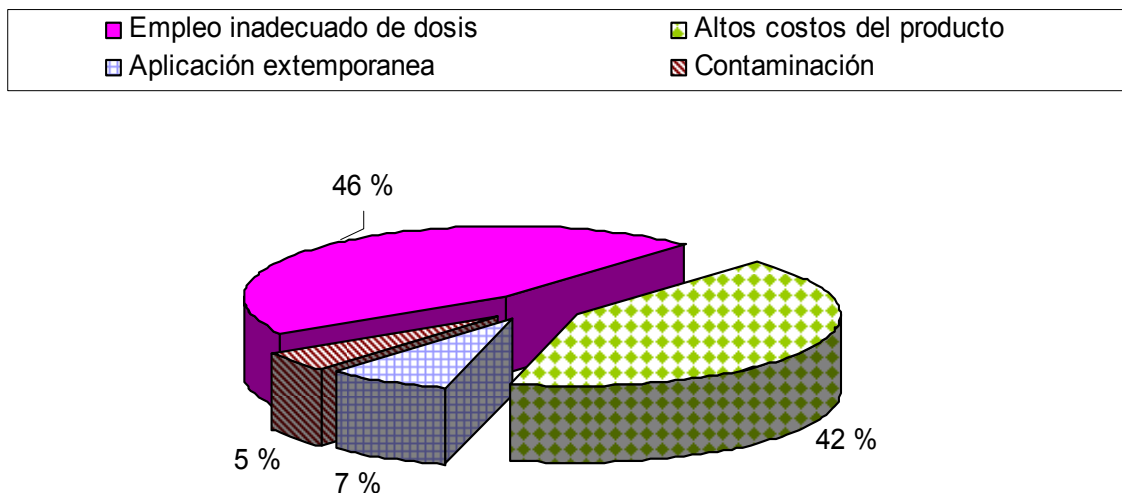


Figura 10. Problemática relacionada con la fertilización en caña de azúcar, en el Módulo I-1 La Antigua.

En relación al manejo del agua, los problemas son: insatisfacción traducida como escasez, ya que no se cubren las necesidades básicas del cultivo, altos costos de la tarifa del agua y problemas técnicos-económicos para adoptar un sistema de riego eficiente. Con base a éste último, se obtuvieron opiniones tales como: falta de asesoría para la implementación de un sistema de riego, dificultad en el abastecimiento del agua para su operación y altos costos para su instalación. Estos datos relacionados con problemas de adopción de un sistema de riego, coinciden con los reportados por Del Ángel (2008), para el mismo Módulo.

Los problemas que engloban a plagas y enfermedades, sólo tuvo dos menciones: alta incidencia de mosca pinta o salivazo (*Aeneolamia postica*) y la rata cañera (*Sigmodon hispidus*). Plagas que coinciden con lo reportado por Fuentes (2007). Respecto a enfermedades sólo se mencionó a la Raya roja (*Pseudomonas rubrilneas*). Lo anterior se debe a que el combate de plagas y enfermedades no representan gran problema en el agroecosistema.

En cuanto a los problemas de contaminación, los productores manifestaron que la producción de caña de azúcar afecta directa e indirectamente, al ambiente a través de la quema de la caña que produce humo y ceniza que afecta las vías respiratorias de los pobladores de las comunidades aledañas; contaminación por la aplicación aérea de agroquímicos que con los fuertes vientos de la región no se garantizan su eficiente y segura distribución; contaminación de las aguas por agroquímicos, incluidos los fertilizantes; así como la pérdida de la fertilidad del suelo provocada por la requema de la caña y la compactación de los suelos a través del uso de maquinaria pesada. En relación a la quema y requema de la caña, Ramos *et al.* (2000), reportaron que éstas dos actividades, causan pérdidas de nitrógeno total, así como de los nitratos del suelo. La materia orgánica del suelo disminuye en porcentaje y el calor de la quema de caña produce una reducción inmediata de las poblaciones de microorganismos del suelo.

Por último, la lejanía o distancia con respecto al ingenio representa un problema, ya que aumentan los costos de producción por el acarreo de la caña cosechada y de los insumos con respecto a la ubicación de la parcela de los productores.

El 46 % de los productores que identificaron a la fertilización como el principal problema de tipo técnico-productivo, vertió diversas problemáticas en relación a la fertilización.

En primer lugar; el empleo de dosis inadecuadas. Esto, porque los ingenios de la región recomiendan de manera general una dosis, para todas las áreas cañeras, sin importar la variedad o el tipo de suelo. En segundo lugar, los altos precios del fertilizante, sobre todo porque se incrementan los costos de producción. Otro problema, es que algunos productores, sobre todo aquellos que son sujetos de crédito de fertilizante, realizan aplicaciones extemporáneas, ya que con el retraso de su entrega por parte del ingenio, hace que el cultivo no lo aproveche eficientemente. Resulta interesante que un 5 % de productores percibe que la fertilización produce contaminación a las aguas del manto freático.

9.1.3.1. Descripción de la fertilización

Se encontró que la dosis de fertilización media general aplicada en la zona es de 254-85-108 kg ha⁻¹ de N, P y K respectivamente. El rendimiento medio fue 100.1 t ha⁻¹ y el valor de la moda de fertilización nitrogenada fue de 220-0-0, a base de urea. El 99.2 % de los productores aplican fertilizantes a base de urea (46-0-0), fosfato diamónico (DAP) (18-46-0), cloruro de potasio (KCl) (0-0-60) y mezclas como 20-10-10 y 20-10-20. Los productores que poseen una superficie menor a 1.5 ha aplican una mayor cantidad de fertilizante nitrogenado (312.6 t ha⁻¹), mientras que los productores con superficie mayor a 1.5 ha, usan dosis menores a 245 t ha⁻¹ (Cuadro 12).

Cuadro 12. Dosis de NPK aplicada a caña de azúcar en el Módulo I-1 La Antigua.

Estrato	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Rendimiento	
(No.)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)	
	\bar{X}	\bar{X}	\bar{X}	\bar{X}	
1	312.6	77.7	78.8	100.6	(14.5)*
2	239.8	96.9	118.2	102.0	(15.4)
3	243.3	74.4	107.3	98.7	(15.5)
4	238.6	87.2	121.0	97.1	(12.9)
5	220.1	98.1	124.5	98.2	(18.3)
Media	254.2	85.4	107.7	100.1	

*Desviación estándar entre paréntesis.

De acuerdo a lo reportado por los productores se encontró que no existe una relación directa entre dosis de fertilización y rendimiento. En la Figura 11, se presentan datos agrupados por dosis de fertilización en relación a los rendimientos de caña de azúcar, obtenidos en el Módulo La Antigua, para la Zafra 2007-2008. Se observa que el mayor rendimiento (103.1 t ha⁻¹) corresponde a una dosis de

nitrógeno de 224 kg ha⁻¹ y el menor (97.1 t ha⁻¹) a 120 kg ha⁻¹. Sin embargo, un análisis económico general entre las dosis del intervalo mostrado sugiere que no existe diferencia entre los beneficios correspondientes obtenidos, por lo que de 120 a 224 kg ha⁻¹ de N se podría localizar la dosis económica, ambiental y productiva. Esta última, de acuerdo con Landeros-Sánchez *et al.* (2007), podría estar alrededor de 120 kg ha⁻¹, la cual, desde el punto de vista ambiental y económico, puede resultar en mejores beneficios para los productores y para la sociedad. Lo anterior deberá complementarse con la incorporación de residuos orgánicos a los campos cañeros y de un mayor fraccionamiento en la aplicación del fertilizante nitrogenado.

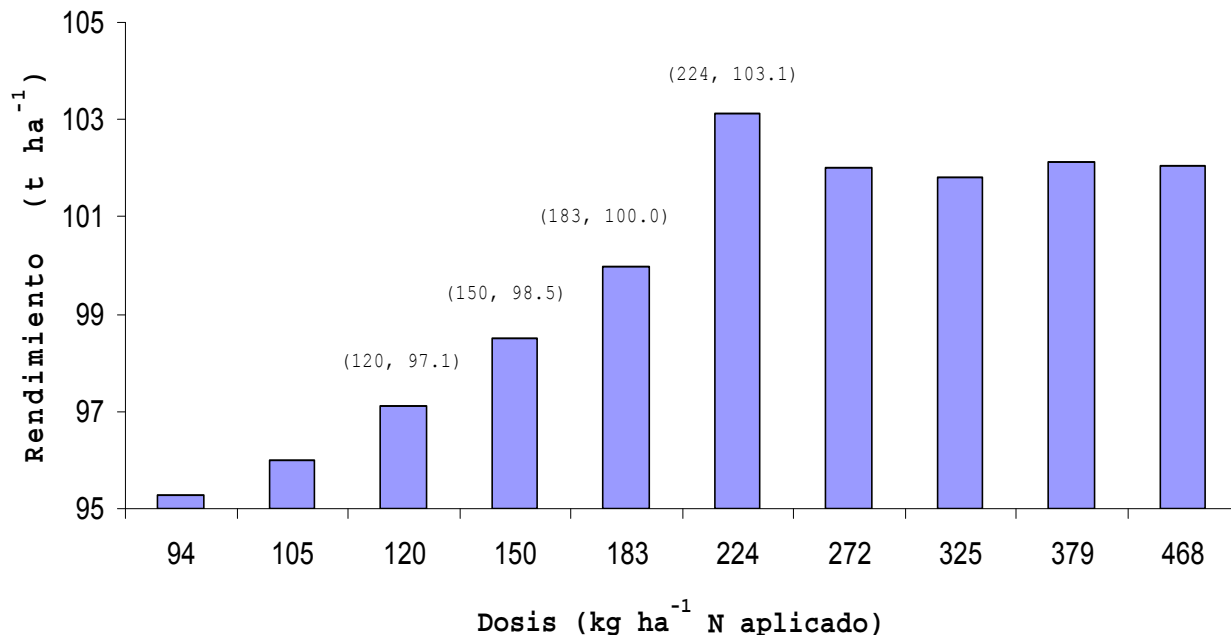


Figura 11. Rendimientos y dosis de fertilización nitrogenada en caña de azúcar registrados en la zafra 2007-2008 en el Módulo de La Antigua.

Además, los productores que emplean una dosis superior a 224 kg N ha⁻¹, tienen una pérdida económica considerable, ya que el rendimiento de la caña de azúcar tiende a mantenerse e incluso a reducirse.

Respecto al número de aplicaciones o fraccionamiento del nitrógeno, el 33 % de los productores suministran el total del fertilizante nitrogenado en una sola aplicación, el 66 % en dos aplicaciones y el 2 % restante en tres. Las Figuras 12 y 13 muestran las ventajas de fertilizar en una y dos aplicaciones respectivamente.

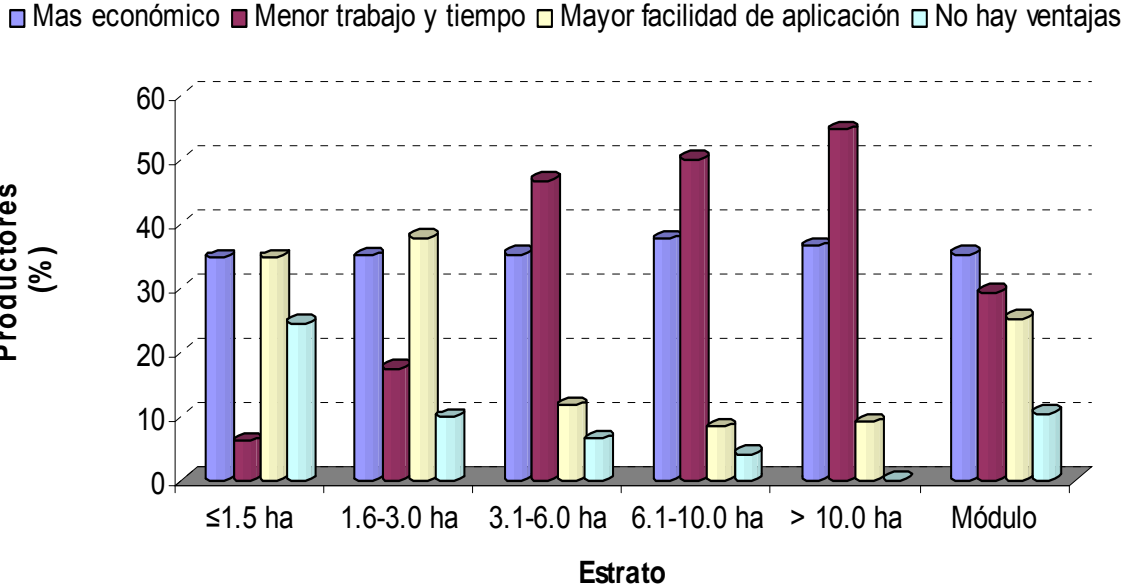


Figura 12. Percepción del productor cañero sobre las ventajas de aplicar el fertilizante nitrogenado en un sólo momento.

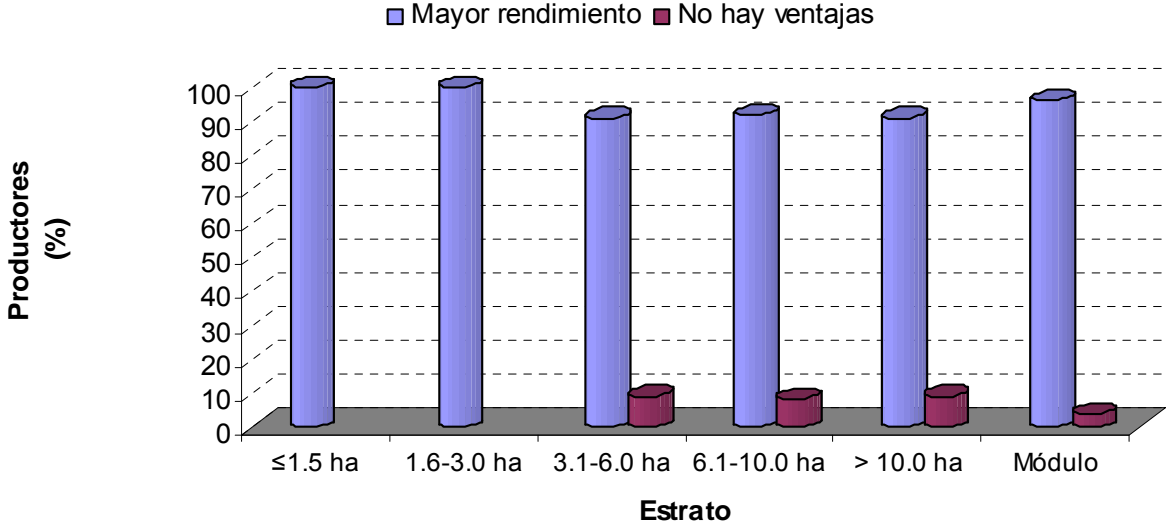


Figura 13. Percepción del productor cañero sobre las ventajas de fraccionar la cantidad total del fertilizante nitrogenado en dos o más aplicaciones.

Las ventajas mencionadas cuando se realiza una sola aplicación del fertilizante, en lo económico, es ligeramente constante para todos los estratos. Sin embargo, la ventaja de menor trabajo y tiempo destinado para esta actividad, se incrementa cuando la superficie de producción es mayor.

El 96 % de los productores, encontraron cómo única ventaja; que al fraccionar la aplicación total del fertilizante nitrogenado, se obtienen mayores rendimientos. Lo anterior, debido a que el fraccionamiento del fertilizante provoca una mayor eficiencia, reduciendo las pérdidas por lixiviación y volatilización principalmente.

Cuando el productor cañero realiza una sola aplicación del fertilizante nitrogenado generalmente lo hace a base de urea o mezclado con fertilizantes fosfatados y potásicos, o hace uso de mezclas como 20-10-10 o 20-10-20. Sin embargo, la moda de fertilización es aplicar sólo urea. La aplicación se realiza generalmente a los cuatro meses después del destronque del cultivo en el caso de las socas y resocas; y puede ser manual o con maquinaria.

Cuando la aplicación del fertilizante total nitrogenado se fracciona en dos aplicaciones, generalmente, en una primera aplican el 50 % del nitrógeno y el 100 % del fósforo y potasio, esto se realiza a los primeros 15 días de brotación. El resto del nitrógeno (50 %), se aplica dos o tres meses después. Generalmente la primera aplicación la hacen utilizando maquinaria y la segunda de forma manual. Esto ya que a la primera aplicación la planta tiene un tamaño que no es dañada por el paso del tractor, lo que no sucede al momento de la segunda aplicación.

Cuando el fraccionamiento del fertilizante se realiza en tres aplicaciones, los productores aplican en la primera, 1/3 del nitrógeno total y todo el fósforo y el potasio, esto a los primeros 15 días de brotación; en la segunda, 1/3 del nitrógeno, que se realiza a los dos meses después y en la última aplicación; el siguiente tercio del nitrógeno a los dos meses de la segunda aplicación.

En cuanto a la forma de aplicación del fertilizante nitrogenado, se encontró que los productores con menor superficie fertilizan manualmente. Sin embargo, al aumentar la superficie cultivada el productor fertiliza manual y mecánicamente, aunque con una mayor tendencia hacia el uso de maquinaria (Cuadro 13). Lo anterior, debido a que es más rentable para el productor utilizar maquinaria para grandes extensiones de tierra, ya que con esto, reduce considerablemente los costos de producción por concepto de jornales.

En el Módulo de Riego, predomina la aplicación combinada “manual y maquinaria” (44 %); la forma manual 34 % y con uso de maquinaria el 21 %.

Cuadro 13. Forma de aplicación habitual del fertilizante (en porcentaje).

<u>Estrato</u>						
Forma	≤ 1.5 ha	1.6 -3 ha	3.1-6 ha	6.1-10 ha	>10 ha	Módulo
Manual	42.9	37.0	33.7	20.8	0	34.4
Maquina	18.3	16.9	24.7	29.2	36.3	21.2
Ambas	38.8	46.1	41.6	50.0	63.7	44.4
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Al preguntar a los productores que si la forma en que ellos fertilizan es la adecuada, el 74.4 % mencionó que sí, 17.2 % lo negó y 8.4 % restante dijo no saber. Sin embargo, los que respondieron que sí, explicaron que así lo recomienda el inspector de campo del ingenio.

9.1.4. Aspecto socioeconómico

Este rubro engloba aspectos de organización, así como la percepción sobre la rentabilidad de la actividad cañera. El 50.0 % de los cañeros pertenecen a la Confederación Nacional Campesina (CNC), el 47.6 % a la Confederación Nacional de Propietarios Rurales (CNPR) y el 2.4 % pertenecen a la Unión Nacional de

Productores Cañeros (UNPC). El 86 % de los entrevistados, no reciben asesoría por parte de su asociación, en cuanto al uso y manejo de los fertilizantes en caña de azúcar. Respecto a otros tipo de asesorías, en el último año, sólo el 17.2 % han recibido las mismas. Lo anterior demuestra que un porcentaje bajo de productores recibe asistencia técnica. Esta respuesta, no se debe al bajo interés de los productores, sino que responde a que la mayoría se dedica a otras actividades diferentes a la producción cañera que imposibilita la asistencia a los cursos. Morris y Potter (1995), señalan que existe baja asistencia de productores cañeros en cuanto a cursos debido al mismo fenómeno. En la región de estudio el motivo por el cual el productor cañero busca emplearse en otra actividad diferente a la de su finca, se debe a los bajos ingresos del agroecosistema y la baja capacidad para ser acreedores a créditos (Arcos, 2010).

Los cañeros del Módulo, vendieron su producción de caña del ciclo 2007-2008, en un 74.4 % al ingenio El Modelo y un 25.6 % al ingenio La Gloria. El precio pagado fue de 405 pesos 0/100 M.N. Este precio fue considerado, por el 13.1 % de los productores, como un precio alto; el 57.6 % lo consideró como medio y el 29.2 % como bajo (Figura 14). Cabe mencionar que el precio por t de caña de azúcar pagado a los productores, ha sido superior históricamente a los precios medios pagados a otros cañeros del Estado de Veracruz (SIAP, 2008). Lo anterior dado por las características y calidad de la producción (Anexos 6.1 y 6.2).

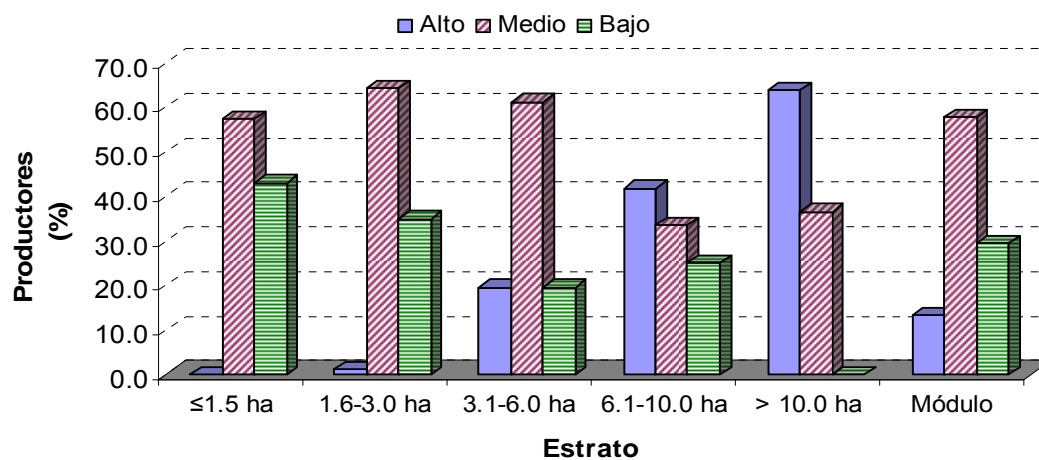


Figura 14. Percepción de los productores cañeros del Módulo I-1 La Antigua sobre el precio pagado por tonelada de producción de caña de azúcar.

Con base a la Figura 14, se establece que los productores con mayor superficie cultivada, consideran que el precio por tonelada es alto; mientras los que poseen menor superficie, consideran que el precio pagado es bajo. Lo anterior, puede deberse a que a medida que aumenta la superficie cultivada con caña de azúcar, la actividad se vuelve más rentable (Sánchez, 2003).

Con el fin de complementar la pregunta anterior, se les preguntó a los productores que opinaran en términos generales acerca de que sí la producción cañera era o no un negocio rentable. Al respecto, el 81.2 % opinó que no, el 11.6 % respondió que sí y el 7.2 % dijo no saber. La Figura 15, pone de manifiesto que la actividad cañera es más rentable para quién posee mayor superficie de producción, ya que para los que poseen menos de seis hectáreas, la actividad apenas alcanza a cubrir los costos de producción. Al menos así lo revelaron los productores con una superficie mayor a 10 hectáreas, ya que en este estrato se registró el porcentaje más alto (36.4) de respuesta, que manifiestan que la actividad cañera si es un negocio.

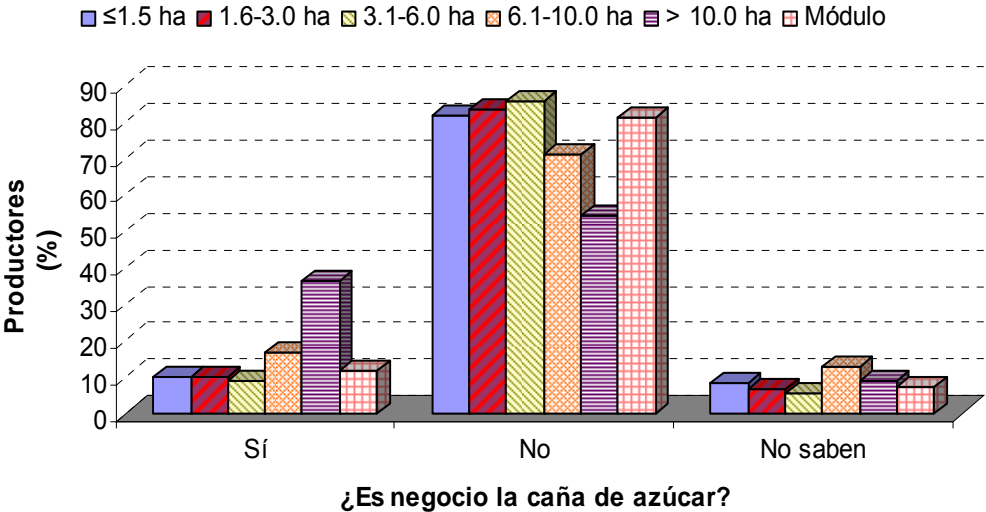


Figura 15. Percepción de los productores cañeros sobre si la actividad cañera en el Módulo I-1 La Antigua es negocio.

9.1.5. Actitud registrada

En este apartado, se hace un análisis de la actitud de los productores cañeros, hacia el cuidado y la conservación del agroecosistema cañero; esto mediante a la adopción de esquemas sustentables de fertilización que conllevan a la reducción y fraccionamiento de la dosis total del fertilizante nitrogenado aplicado a la producción de caña de azúcar.

El Cuadro 14, muestra la actitud para los enunciados aplicados. Se encontró que los productores tienen una actitud positiva (3.7), en la escala de Likert, hacia la conservación del agroecosistema cañero. Para todos los enunciados y planteamientos sugeridos se tuvo una actitud positiva, con diferente intensidad.

Cuadro 14. Enunciados que evalúan la actitud de los productores cañeros respecto a la conservación del agroecosistema y el uso reducido y fraccionado del N.

Enunciado	Escala Likert	
	\bar{x}	s
30. Estoy dispuesto a tomar medidas para contrarrestar los daños que provoca la producción de caña de azúcar al medio ambiente	4.1	0.8
31. Estoy dispuesto a reducir la cantidad de fertilizante nitrogenado que aplico a la caña	3.5	1.1
32. Estoy dispuesto a usar fuentes orgánicas de fertilización para reducir la contaminación	4.0	0.8
33. Estoy dispuesto a aumentar el número de aplicaciones del fertilizante nitrogenado total que aplico cada año al cultivo, sin aumentar la cantidad de fertilizante utilizado	3.7	1.1
34. Estoy dispuesto a aumentar el número de aplicaciones del fertilizante nitrogenado total que aplico cada año al cultivo, reduciendo la cantidad del fertilizante utilizado	3.3	1.2
<i>Actitud General Módulo I-1 La Antigua</i>	3.7	0.6

S: Desviación estándar.

La mayor actitud registrada (4.1) correspondió a la disposición que tienen los cañeros a tomar medidas para contrarrestar los daños que provoca la producción de caña al ambiente. Los productores con una actitud más positiva, son en general, aquellos que poseen una mayor superficie cultivada (Figura 16).

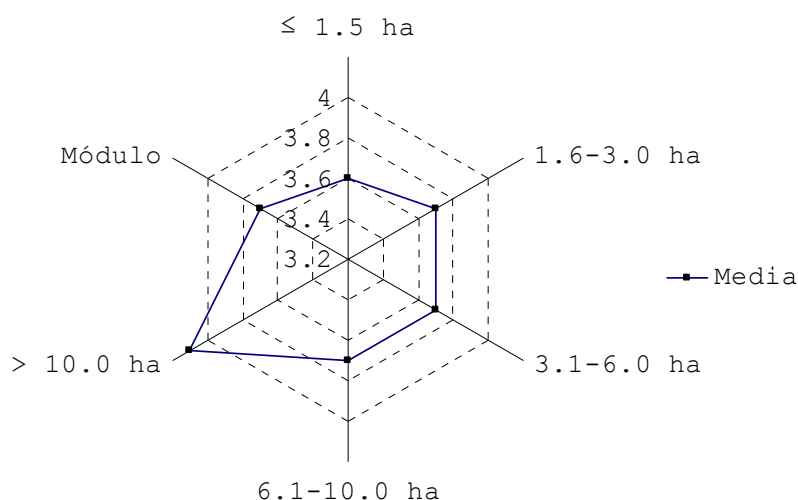


Figura 16. Actitud media, respecto a la conservación del agroecosistema caña de azúcar en función de cada estrato.

Se registró una actitud positiva alta para el estrato 5 (> 10.0 ha), lo cual puede relacionarse al grado de escolaridad de los productores, que es superior al resto de los estratos. Romero *et al.* (2005), al realizar un estudio en la Cuenca del río Conchos, concluyeron que los productores con superficies mayores a 10 ha mostraron una actitud positiva alta hacia la adopción de un nuevo sistema de riego. Lo anterior, se debe a que tales productores poseen una visión más empresarial y su capacidad de ingresos es mayor.

En el Módulo se han realizado diversos estudios en relación a la actitud sobre el cuidado y conservación del ambiente; y han coincidido en que los productores del Módulo de riego, muestran una actitud positiva. Tal es el caso del estudio de la percepción y actitud de los productores, hacia la conservación del recurso agua realizado por Del Ángel (2008), donde los productores mostraron una actitud

positiva alta hacia los factores ambientales y en especial sobre el cuidado y conservación del agua.

En relación con la actitud hacia la reducción y fraccionamiento de la dosis empleada se encontraron valores positivos (Cuadro 15).

Cuadro 15. Actitud de productores del Módulo La Antigua hacia la disminución de dosis y fraccionamiento del N aplicado a la caña de azúcar.

Actitud hacia:	Estrato				
	1	2	3	4	5
Reducción de la dosis de N	*3.3c	3.5bc	3.5bc	3.7b	4.3a
Fraccionamiento del N	3.8a	3.8 ^a	3.5a	3.7a	3.8a
Reducción de dosis y fraccionamiento del N	3.1b	3.4b	3.1b	3.9a	4.0a

*Se presentan valores medios basados en la escala de Likert. Valores con distinta letra en una misma hilera son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Todos los estratos mostraron una actitud positiva; en cuanto a la reducción de la dosis total de nitrógeno aplicada a la caña. Sin embargo; los productores del estrato 5 (> 10 ha) mostraron una actitud altamente positiva, con un valor de 4.3 ($p \geq 0.05$). Productores con una superficie menor a 10 ha mostraron una actitud ligeramente positiva.

En relación a la práctica del fraccionamiento de la dosis total del fertilizante nitrogenado aplicada anualmente, no hubo diferencias estadísticas entre estratos ($p \geq 0.05$). Sin embargo, existió una actitud ligeramente positiva para todos los estratos.

Respecto a la combinación de estos dos factores, reducción y fraccionamiento de la dosis total del fertilizante nitrogenado aplicado, la actitud fue positiva y con diferencias significativas entre estratos. Los estratos 4 y 5 mostraron los valores positivos altos en la escala de Likert (3.9 y 4.0) respectivamente. Esto indica que

los productores con superficies mayores a 6 ha, mostraron una actitud altamente positiva.

La actitud de los productores con una superficie menor a 6 ha fue ligeramente positiva, menor a 3.5.

El interés por conocer la actitud acerca del fraccionamiento y reducción de las dosis del fertilizante nitrogenado, radica en reducir las pérdidas del fertilizante hacia el manto freático. Se tienen estudios que dicha lixiviación contamina el manto freático de la región (Landeros *et al.*, 2007). Las Figuras 17 y 18, presentan la percepción de los productores acerca de que si el exceso de fertilizante nitrogenado que se aplica a la caña de azúcar, provoca contaminación al agua superficial y subsuperficial y que si dicha contaminación existiera dañaría la salud de las personas.

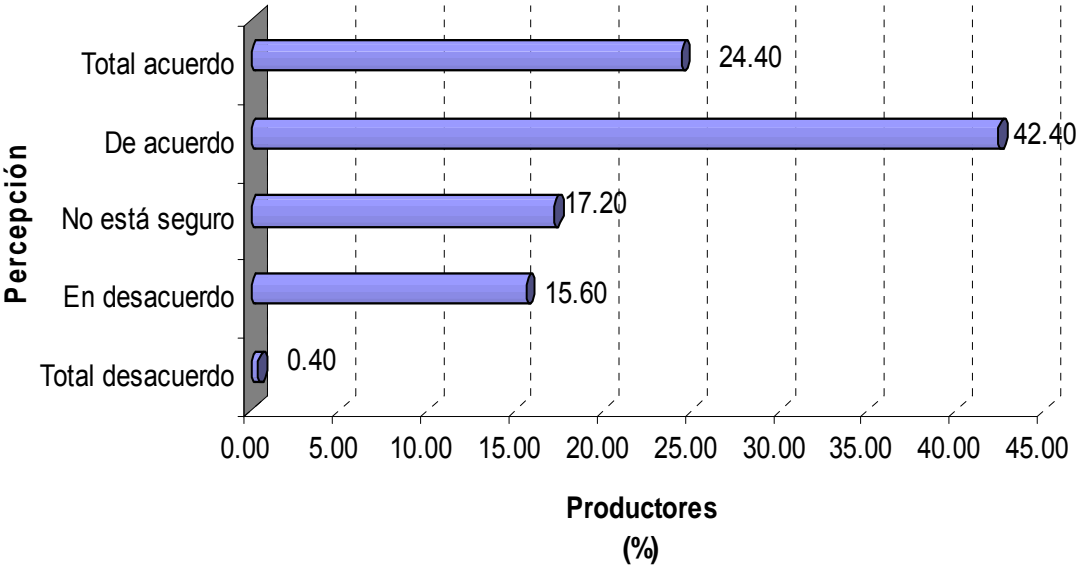


Figura 17. Percepción del productor cañero, respecto a que si el exceso de fertilizante nitrogenado aplicado al cultivo, provoca contaminación al agua superficial y subsuperficial.

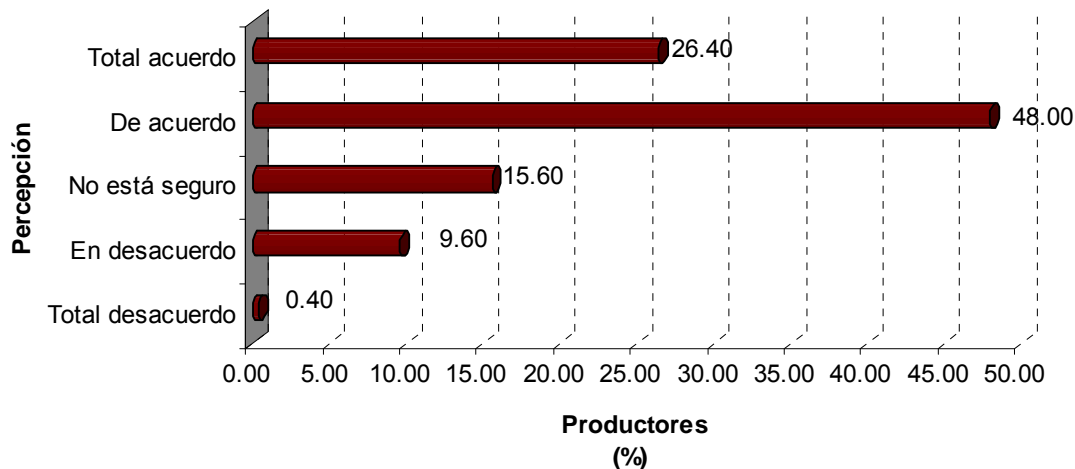


Figura 18. Percepción de los cañeros del Módulo La Antigua respecto a que la contaminación del agua superficial y subsuperficial afecte a la salud de las personas.

Con base a la Figura 17, se observa que existe reconocimiento por parte de productores cañeros, de que el exceso de fertilizante nitrogenado que se aplica a la caña de azúcar, provoca contaminación al agua superficial y subsuperficial. Así lo afirma la mayoría de los cañeros (66.8 %) entre opiniones de acuerdo y totalmente de acuerdo. Datos similares son reportados por Del Ángel (2008), donde encuentra que existe prioridad sobre la conservación de las aguas superficiales y subsuperficiales del mismo Módulo.

En relación a que si la contaminación de las aguas superficiales y subsuperficiales afecta la salud humana, el (74.4 %) de los cañeros opinan estar de acuerdo y totalmente de acuerdo. Lo anterior se puede deber a que los productores sienten que su salud está en riesgo por estar en contacto con agua y con residuos de fertilizantes o plaguicidas. Otro de las causas de acuerdo con Escalona (2001), podría ser, que un porcentaje bajo de productores ya hayan sufrido un problema de salud y otro porcentaje más alto por comentarios de otras personas.

Para tener un análisis más amplio entre las variables de estudio, se realizaron estudios de correlación (Cuadro 16).

9.1.6. Análisis de correlación entre variables

Cuadro 16. Correlación entre las variables de estudio del diagnóstico con niveles de significancia del 5 %.

<i>Variables</i>	<i>Edad</i>	<i>Escolaridad</i>	<i>Superficie</i>	<i>Rendimiento</i>	<i>Años del cultivo</i>	<i>No aplicaciones</i>	<i>Dosis N</i>	<i>Dosis P₂O₅</i>	<i>Dosis K₂O</i>	<i>Actitud</i>
Edad	1.00									
Escolaridad	-0.59	1.00								
Superficie	-0.10	0.41	1.00							
Rendimiento	-0.14	0.39	0.00	1.00						
Años del cultivo	0.16	-0.15	0.01	-0.61	1.00					
No aplicaciones	0.02	0.04	-0.08	0.12	-0.05	1.00				
Dosis N	-0.01	0.05	-0.05	0.11	0.03	0.51	1.00			
Dosis P ₂ O ₅	-0.13	0.12	0.01	0.08	-0.12	0.29	-0.17	1.00		
Dosis K ₂ O	-0.14	0.14	0.11	0.10	-0.12	0.27	-0.16	0.57	1.00	
Actitud	-0.09	0.14	0.42	-0.01	-0.06	-0.07	-0.05	0.06	0.02	1.00

Barrera y Vargas (2005) y Saavedra *et al.* (2007) señalaron que para estudios sociales, correlaciones superiores a ± 0.40 son significativas y muestran influencias directas. Valores en negritas presentan correlaciones significativas.

En relación al Cuadro 16, se encontraron correlaciones negativas y positivas. Al respecto, se encontraron dos correlaciones significativas negativas. La primera (-0.59) entre edad y escolaridad. Esto es, que los productores cañeros de menor edad presentan mayor grado de estudios. La segunda correlación negativa (-0.61) fue entre edad del cultivo de la caña de azúcar y el rendimiento; esto es una tendencia normal que a menor edad del cultivo, mayor rendimiento.

Respecto a correlaciones positivas entre variables, se encontraron cuatro correlaciones. La primera (0.41) entre escolaridad y superficie, esto es que se cumple una tendencia de que a mayor escolaridad del productor cañero, posee una mayor superficie de producción. La segunda correlación fue entre superficie y actitud (0.42), esto es, los productores con mayor superficie de producción, muestran mayor actitud positiva hacia la conservación del agroecosistema cañero. La tercera fue entre las variables dosis de nitrógeno y número de aplicaciones (0.51). Esto es, a mayor dosis de nitrógeno aplicada a la caña de azúcar, aumenta el número de aplicaciones. La cuarta, se dio entre la dosis de fósforo y la dosis de potasio aplicada (0.57), esto indica que cuando la dosis de fósforo aplicada aumenta, también aumenta la cantidad de potasio aplicado. Lo anterior, debido a que generalmente el productor aplica fórmulas compuestas como el 20-10-10 y 20-10-20 de NPK, respectivamente.

Una vez integrados los resultados para la fase 1 diagnóstico, se observó que la actual crisis económica y los incrementos en el precio del fertilizante sin duda ha impactado positivamente sobre la actitud de los productores cañeros, hacia la reducción y fraccionamiento en las dosis del fertilizante nitrogenado. Por lo que, de acuerdo a los resultados antes presentados, se determina que la hipótesis particular uno, la cual estipula que *“Existe una actitud positiva entre los productores cañeros hacia el manejo de dosis menores del fertilizante nitrogenado con un mayor fraccionamiento durante su suministro. SE ACEPTA.*

9.2. Resultados de la Fase 2: Experimento

Los resultados que se presentan a continuación, se obtuvieron durante el ciclo soca del cultivo.

9.2.1. Productividad

Rendimiento en campo. Los rendimientos obtenidos para cada uno de los tratamientos evaluados, son superiores a los de la media de la región que es de 100.1 t ha^{-1} (Figura 19).

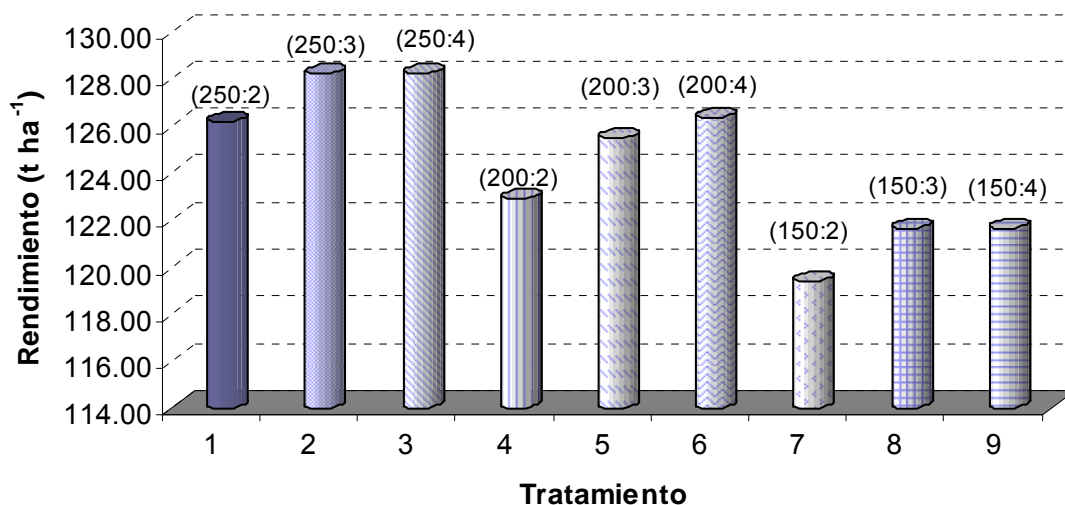


Figura 19. Rendimientos obtenidos en el cultivo de la caña de azúcar. Entre paréntesis la dosis de nitrógeno y el fraccionamiento aplicado.

El análisis de varianza (Anexo 7), demuestra que el factor dosis no causó diferencias significativas en los rendimientos obtenidos. Sin embargo, el factor fraccionamiento del nitrógeno, causó diferencias significativas hacia los rendimientos obtenidos. El Cuadro 17, muestra la comparación de medias entre los factores estudiados, además indica que al fraccionar la cantidad total de nitrógeno aplicado al cultivo de la caña de azúcar, en tres aplicaciones, se obtienen rendimientos superiores a 125 t ha^{-1} .

Cuadro 17. Comparación de rendimientos medios en caña de azúcar, en relación al factor dosis y fraccionamiento de N.

Dosis de N kg ha ⁻¹	Número de Fraccionamientos			\bar{x}
	2	3	4	
250	126.17	128.20	128.20	127.52 a
200	122.90	125.50	126.33	124.90 a
150	119.40	121.63	121.63	120.88 a
\bar{x}	122.82 b	125.10 a	125.38 a	

Letras diferentes entre columnas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

Los resultados demuestran que, al aplicar dosis de fertilización superiores a los 150 kg ha⁻¹ de nitrógeno, no se garantiza mayores rendimientos. Sin embargo, el fraccionamiento si genera mayores rendimientos en el cultivo. De acuerdo con Pacheco *et al.* (1986) y Weier (1996) el fraccionamiento del fertilizante nitrogenado aumenta la eficiencia de absorción del cultivo.

°Brix. En la Figura 20 se observan los valores de grados brix de cada uno de los tratamientos, encontrándose que al usar dosis más altas de fertilización nitrogenada se obtienen los mayores contenidos de azúcar. Lo mismo sucede con el fraccionamiento, ya que al fraccionar en un número mayor la cantidad total del fertilizante nitrogenado se obtienen los mayores contenidos de azúcar. Lo anterior pone de manifiesto que tanto el factor dosis como fraccionamiento del N, generan diferencias significativas en términos de °Brix (Anexo 8). Al respecto Salgado *et al.* (2000b), menciona que el fraccionamiento del nitrógeno no causa diferencias en los contenidos de ° Brix. Lo anterior pudo deberse a que estos autores evaluaron el efecto de recuperación del N en un suelo arenoso, por lo que su eficiencia de recuperación y aprovechamiento en este tipo de suelos es baja.

En relación a este estudio, se obtuvieron niveles de grados brix cercanos a la media regional 15.0. Sin embargo, se consideran bajos de acuerdo al IMPA (1998), que determinó que una concentración adecuada en grados brix, debe ser igual o superior a 16. Los bajos niveles de sacarosa pudo deberse a que el muestreo, se realizó a los 11 meses. Ya que de acuerdo con Martínez (2009), la

caña de azúcar obtiene los máximos contenidos de sacarosa a los doce meses de edad. Otra de las causas de los bajos contenidos de ° Brix encontrados en el cultivo, pudo ser la precipitación en épocas cercanas al muestreo de esta variable, por lo que, los contenidos de humedad en el cultivo eran elevados y los de sacarosa por tanto bajos (Meneses, 2003).

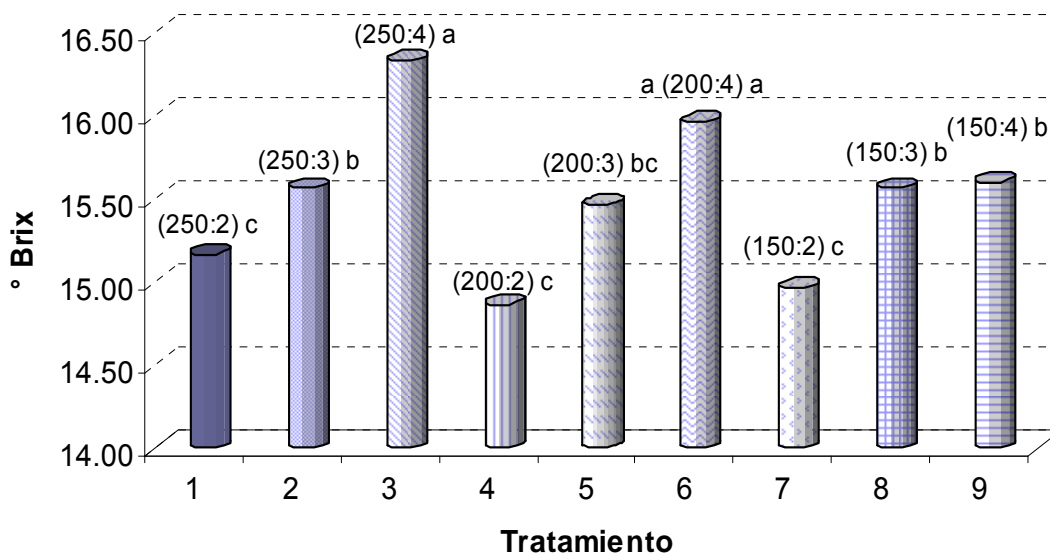


Figura 20. °Brix obtenidos en caña de azúcar. Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05$). Entre paréntesis la dosis de nitrógeno y el fraccionamiento aplicado.

En la Figura 20 se indica que la interacción entre dosis y el fraccionamiento del fertilizante nitrogenado produce diferencias estadísticas en la concentración de azúcar. Los mayores °Brix, se obtuvieron con la dosis 250 y 200 kg ha⁻¹ fraccionado en cuatro aplicaciones para ambos casos. En la región de estudio, los ingresos por venta de caña, sólo están sujetos a rendimiento y no al contenido de azúcar, por lo que reducir la dosis, no afecta el ingreso directo por concepto de venta de caña de azúcar.

En relación a los resultados obtenidos para productividad, se determina que la hipótesis particular dos, la cual estipula que *“La cantidad total de fertilizante nitrogenado, suministrado a la caña de azúcar en un número mayor de aplicaciones, genera mayor productividad, esto es, mayor rendimiento y mayor contenido de azúcar”*. SE ACEPTA.

9.2.2. Rentabilidad del sistema

Cuadro 18. Análisis de rentabilidad del empleo de dosis reducidas y fraccionadas del N en caña de azúcar.

Tratamiento	T1 (250:2)*	T2 (250:3)	T3 (250:4)	T4 (200:2)	T5 (200:3)	T6 (200:4)	T7 (150:2)	T8 (150:3)	T9 (150:4)
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	124.4	127.1	127.9	122.9	125.4	125.9	119.4	121.6	121.6
Precio de Venta (\$ t ⁻¹)	423	423	423	423	423	423	423	423	423
Ingreso bruto (\$ ha ⁻¹)	52621	53763	54101	51986	53072	53255	50506	51450	51450
Costo de Producción (\$ ha ⁻¹)	31452	31572	31602	30016	30076	30136	28572	28632	28662
Ingreso neto (\$ ha ⁻¹)	21169	22191	22499	21970	22996	23119	21934	22818	22788
Rentabilidad (%)	67.3	70.3	71.2	73.2	76.5	76.7	76.7	79.7	79.5
Relación B/C	1.67	1.70	1.71	1.73	1.76	1.77	1.77	1.80	1.79

*Entre paréntesis dosis y fraccionamiento de nitrógeno.

Para medir la rentabilidad de los tratamientos evaluados, se analizaron las variables económicas como: ingreso bruto, costo de producción, ingreso neto, rentabilidad y la Relación Beneficio/Costo presentados en el Cuadro 18.

Ingreso bruto. Se encontró que los mayores ingresos se obtuvieron con el tratamiento tres (250:4), lográndose ingresos por zafra por \$ 54 101. Los menores ingresos se obtuvieron con el tratamiento siete (150:2), donde los ingresos correspondieron a \$ 50 506.

Costos de producción. Se encontró que los mayores costos de producción se tienen con el tratamiento tres (250:4), que ascienden a \$ 31 602. Mientras que los menores costos de producción fueron de \$ 28 572 con el tratamiento siete (150:2). Sin embargo, como menciona Rodríguez (1992), la dosis más rentable no es con la que se tiene el más bajo costo de producción por hectárea. La dosis más rentable debe considerar la producción del cultivo traducido en ingresos netos y, los costos de producción (Figura 21).

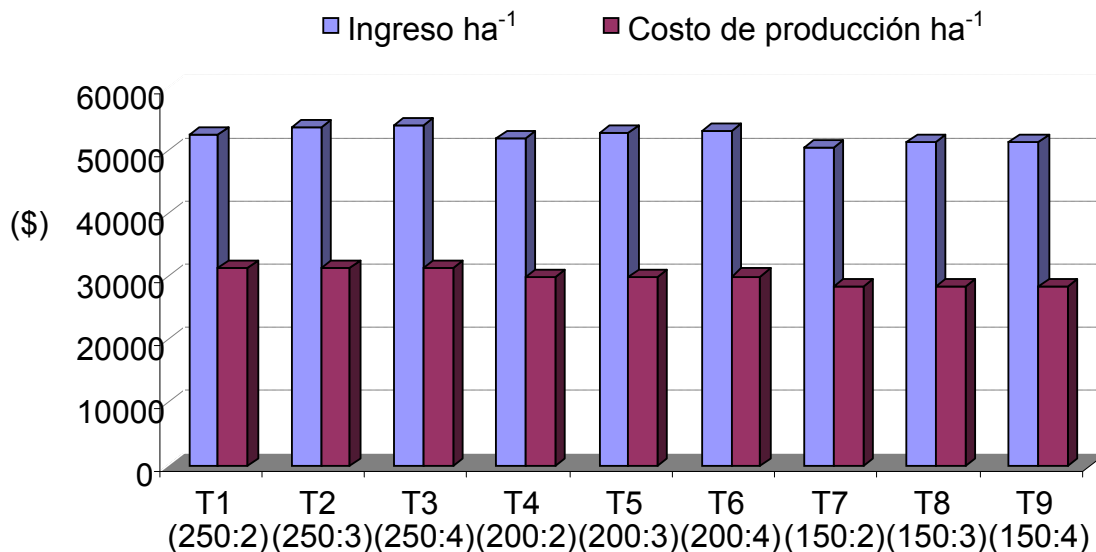


Figura 21. Comparación de ingreso bruto y costo de producción por hectárea, para los nueve tratamientos de fertilización con N en caña de azúcar.

Ingreso neto. El mayor ingreso neto se obtuvo con el tratamiento seis (200:4) siendo de \$ 23 119; mientras que el menor ingreso se obtuvo al utilizar el tratamiento uno (250:2) con ingresos de \$ 21 169.

Rentabilidad. La mayor rentabilidad se obtuvo al utilizar el tratamiento ocho (150:3), obteniendo una rentabilidad del 79.7 %. La menor rentabilidad se obtuvo con el tratamiento uno o testigo (250:2) siendo del 67.3 %.

Relación Beneficio/Costo. De acuerdo a las medias obtenidas para los tratamientos evaluados, el tratamiento que mostró el mayor beneficio/costo, fue el tratamiento ocho (150:3) a razón de 1.80. El que tuvo la menor relación beneficio-costo fue el tratamiento uno (250:2) siendo de 1.67. De acuerdo al análisis de varianza, para esta variable (Anexo 10), con el factor dosis se encontraron diferencias estadísticas en la relación beneficio/costo. Lo anterior se debió a que el ahorro considerable en las dosis de nitrógeno, se tradujo en un ahorro económico considerable, que permitió elevar la relación beneficio/costo de los tratamientos con menor dosis de nitrógeno (Cuadro 19). Sin embargo, el factor fraccionamiento no produjo diferencias estadísticas significativas en el beneficio/costo.

Cuadro 19. Comparación de medias de la R B/C, obtenidos en caña de azúcar, en relación al factor dosis y fraccionamiento de N.

Dosis de N kg ha ⁻¹	Número de Fraccionamientos			\bar{x}
	2	3	4	
250	1.67	1.70	1.71	1.69 b
200	1.73	1.76	1.77	1.75 a
150	1.77	1.80	1.79	1.79 a
\bar{x}	1.72 a	1.75 a	1.76 a	

Letras diferentes entre hileras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

Con base a los resultados para la variable relación beneficio/costo, se puede observar que utilizar una dosis de 150 kg ha⁻¹ de N fraccionado en tres aplicaciones, se genera una mayor rentabilidad en la producción de caña de

azúcar. Por lo que se podría decir que utilizar dosis superiores a 150 kg ha^{-1} , el cultivo es menos rentable económicamente. Esto se confirma con los resultados de la primera etapa (diagnóstico), donde el 81.2 % de los productores cañeros, fertilizan con una dosis superior a los 150 kg ha^{-1} de N, y sus rendimientos son similares, e incluso más bajos a los experimentados cuando se utiliza una dosis más baja.

Al respecto, Wilcox (1999); mencionó que la reducción de la dosis de N, el fraccionamiento y el uso de residuos orgánicos como vinaza y otros residuos orgánicos; son alternativas viables para la reducción de los costos de la fertilización. Sin embargo, Hernández *et al* (2008), después de realizar un análisis económico del empleo de dosis reducidas de fertilización nitrogenada en combinación con vinaza y cachaza, llegaron a la conclusión que, la fertilización química es la opción más rentable; pero esta omite los efectos benéficos residuales que sobre el suelo ejercen la composta y vinaza. Por lo anterior, habría que considerar no sólo la reducción de las dosis y fraccionamiento del fertilizante nitrogenado, si no además la incorporación de residuos de cosecha o residuos orgánicos con potencial de usarse como abono.

En relación a los resultados para rentabilidad, se determina que la hipótesis particular tres, la cual estipula que “El uso de dosis fraccionadas de fertilizante nitrogenado, genera mayor rentabilidad en comparación a las utilizadas tradicionalmente en el agroecosistema caña de azúcar” SE ACEPTA.

9.2.3. Lixiviación de nitrógeno

De acuerdo con los resultados de los análisis de lixiviados, se encontró que al aplicar una dosis de 250 kg ha^{-1} de N; se pierden de manera acumulada de 30.62 hasta 40.86 kg de nitrógeno por hectárea, que representa un 16.3 %; aunque esto depende del fraccionamiento o del número de aplicaciones en que se fraccione la dosis de N (Figura 22).

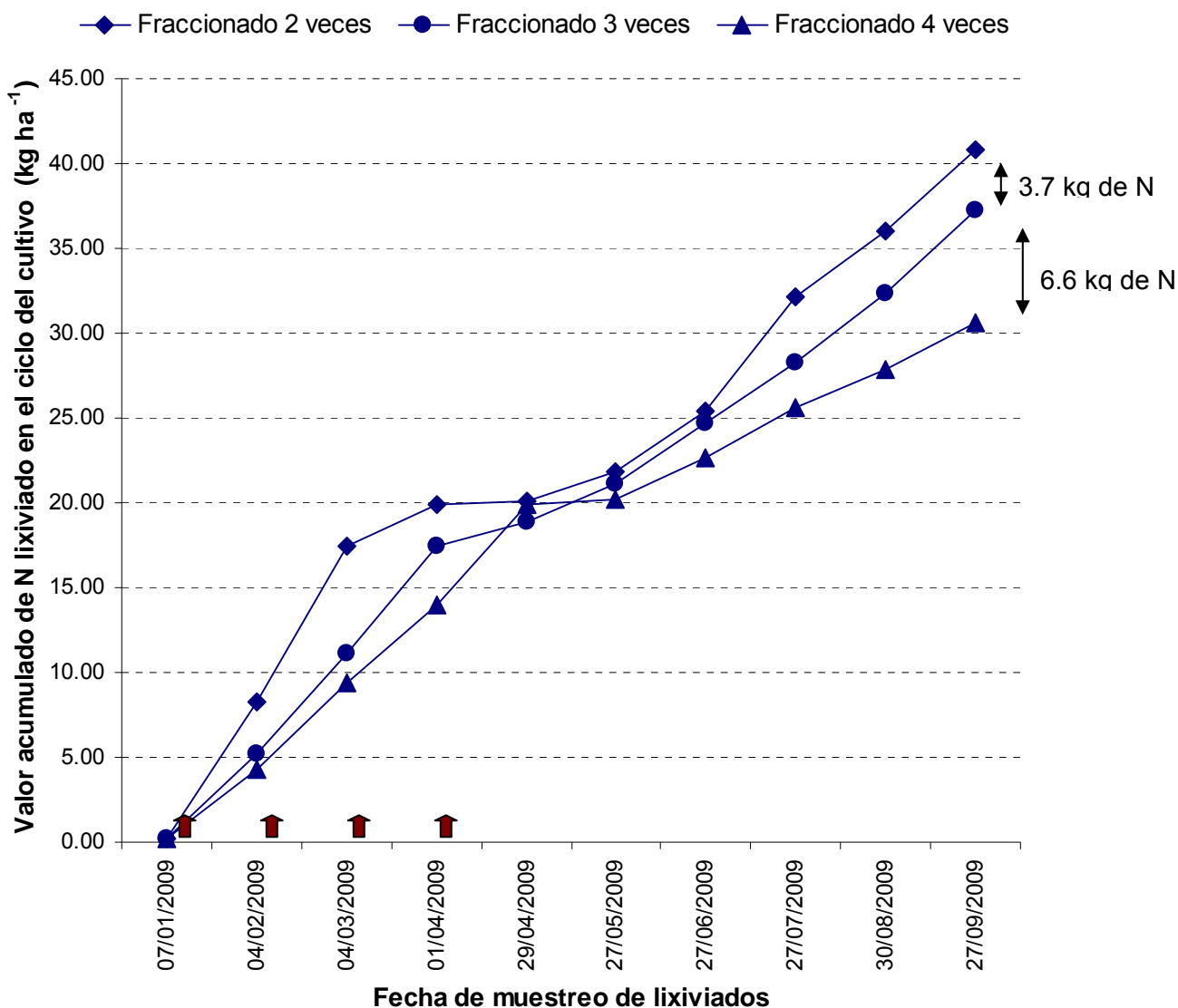


Figura 22. Nitrógeno lixiviado al aplicar una dosis de 250 kg ha^{-1} de N al cultivo de caña de azúcar. Las flechas rojas indican el momento de la fertilización.

Al aplicar una dosis de 200 kg ha^{-1} de N, se pierden de manera acumulada de 21.82 hasta 30.16 kg de nitrógeno por hectárea, que implica una pérdida de hasta 15.0 %. Lo anterior coincide con lo reportado por Bergström y Johansson, (1991); quienes reportan pérdidas por lixiviación de N del orden de este porcentaje para la misma dosis. En la Figura 23, se observa una tendencia de que a mayor fraccionamiento de dosis total del N, las pérdidas de N por lixiviación son menores.

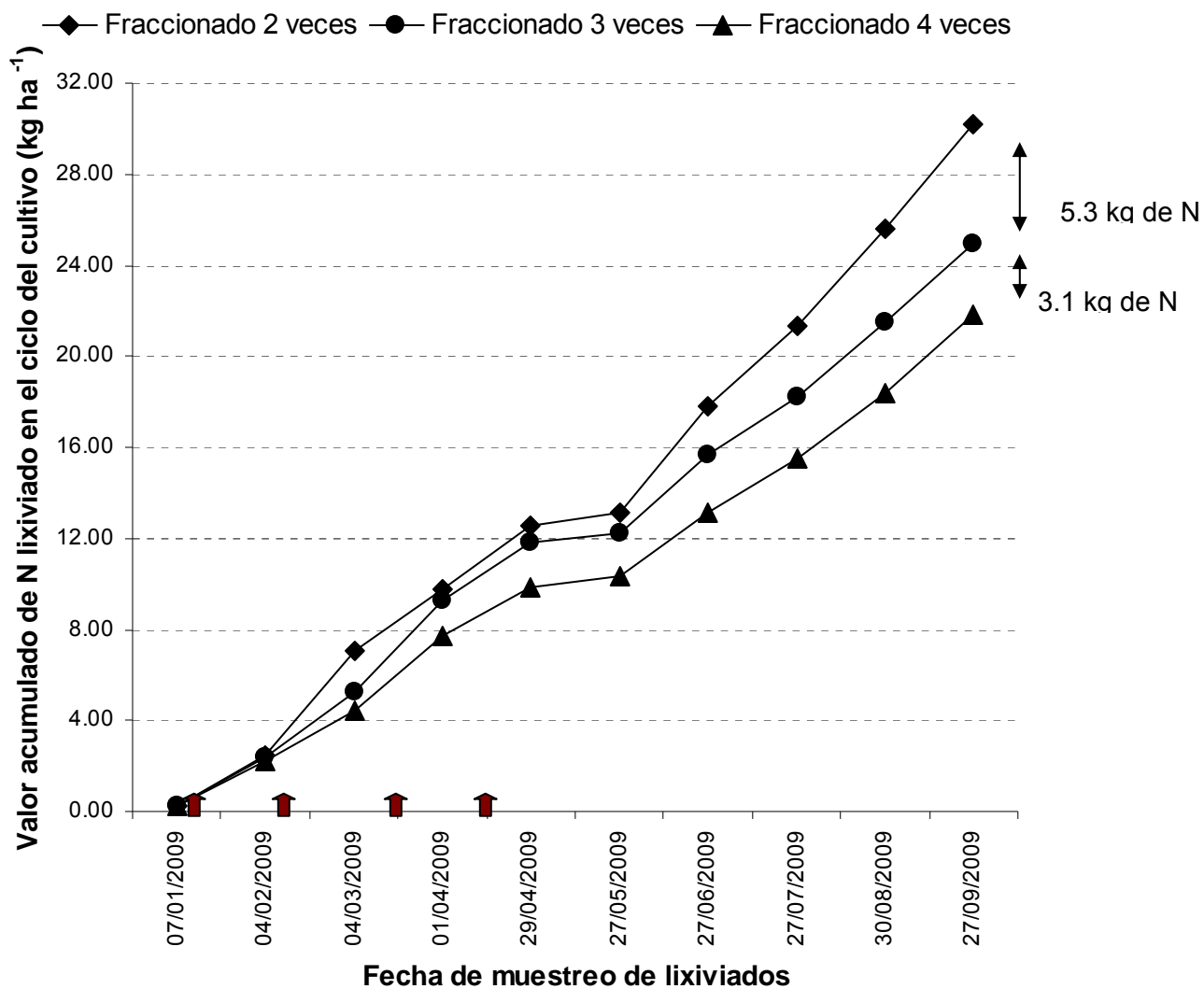


Figura 23. Nitrógeno lixiviado al aplicar una dosis de 200 kg ha^{-1} de N al cultivo de caña de azúcar. Las flechas en rojo indican el momento de la fertilización.

La Figura 24 muestra las pérdidas por lixiviación de nitrógeno al aplicar una dosis de 150 kg ha^{-1} de nitrógeno, fraccionándolo en dos, tres y cuatro aplicaciones. Se observa que las pérdidas oscilan entre 15.40 a 18.18 kg ha^{-1} que corresponden a un porcentaje de pérdida hasta del 12.1% .

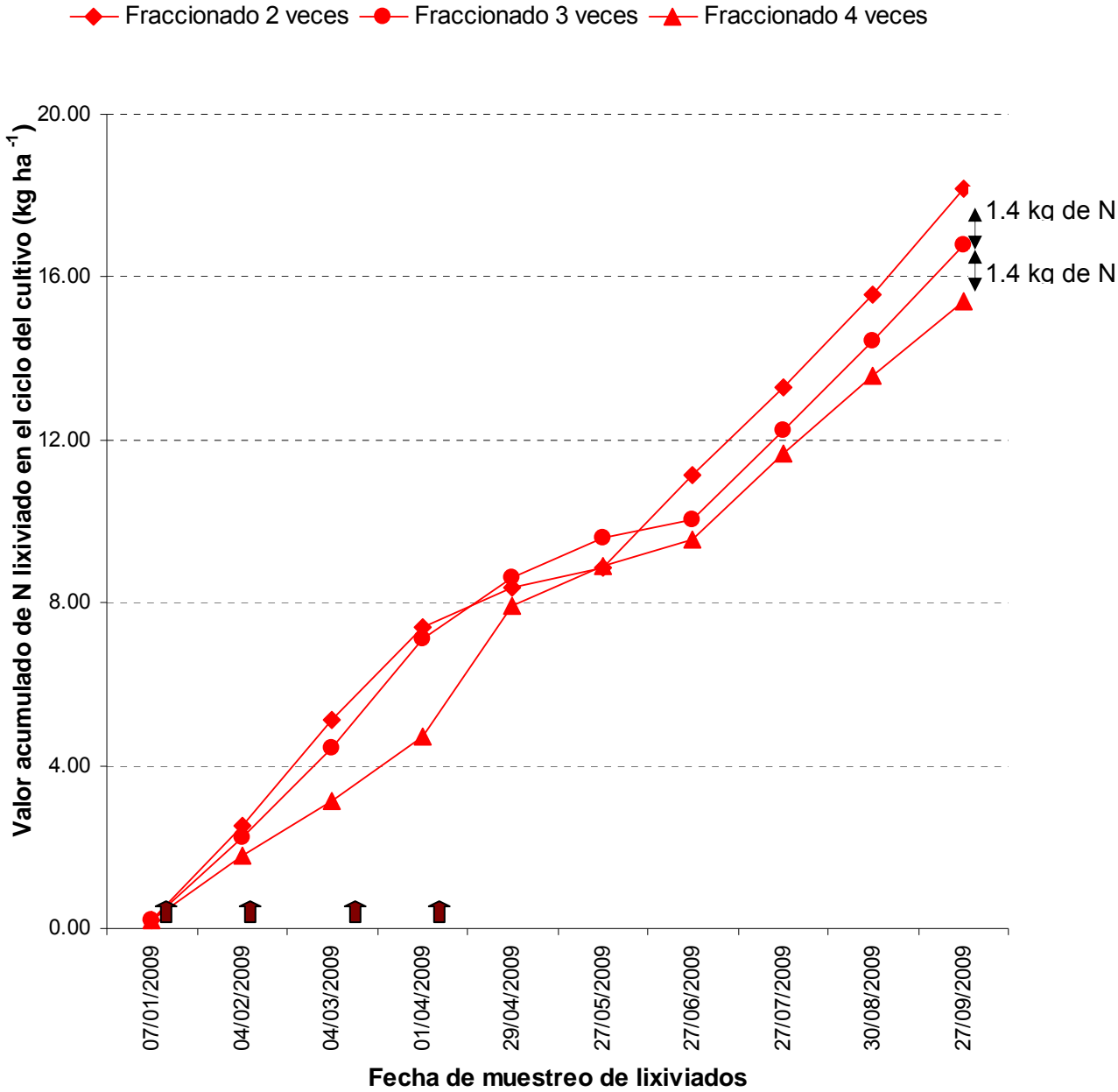


Figura 24. Nitrógeno lixiviado al aplicar una dosis de 150 kg ha^{-1} de N al cultivo de caña de azúcar. Las flechas rojas indican el momento de la fertilización.

De acuerdo a las Figuras 22, 23 y 24, se observa que al fraccionar en un número mayor la dosis de nitrógeno aplicado, las pérdidas de éste son menores.

La Figura 25 muestra la comparación entre las dosis evaluadas. Se observa que a menor dosis aplicada, la lixiviación del nitrógeno es menor. La menor pérdida de nitrógeno se presentó cuando se aplica una dosis de 150 kg de N ha⁻¹ fraccionado en cuatro aplicaciones. Lo anterior coincide con lo mencionado por Cháves (1999) quien expresó que el fraccionamiento de la fertilización nitrogenada es una práctica que si bien puede no reanudar en incrementos productivos, sí racionaliza la pérdida de nitrógeno por lixiviación.

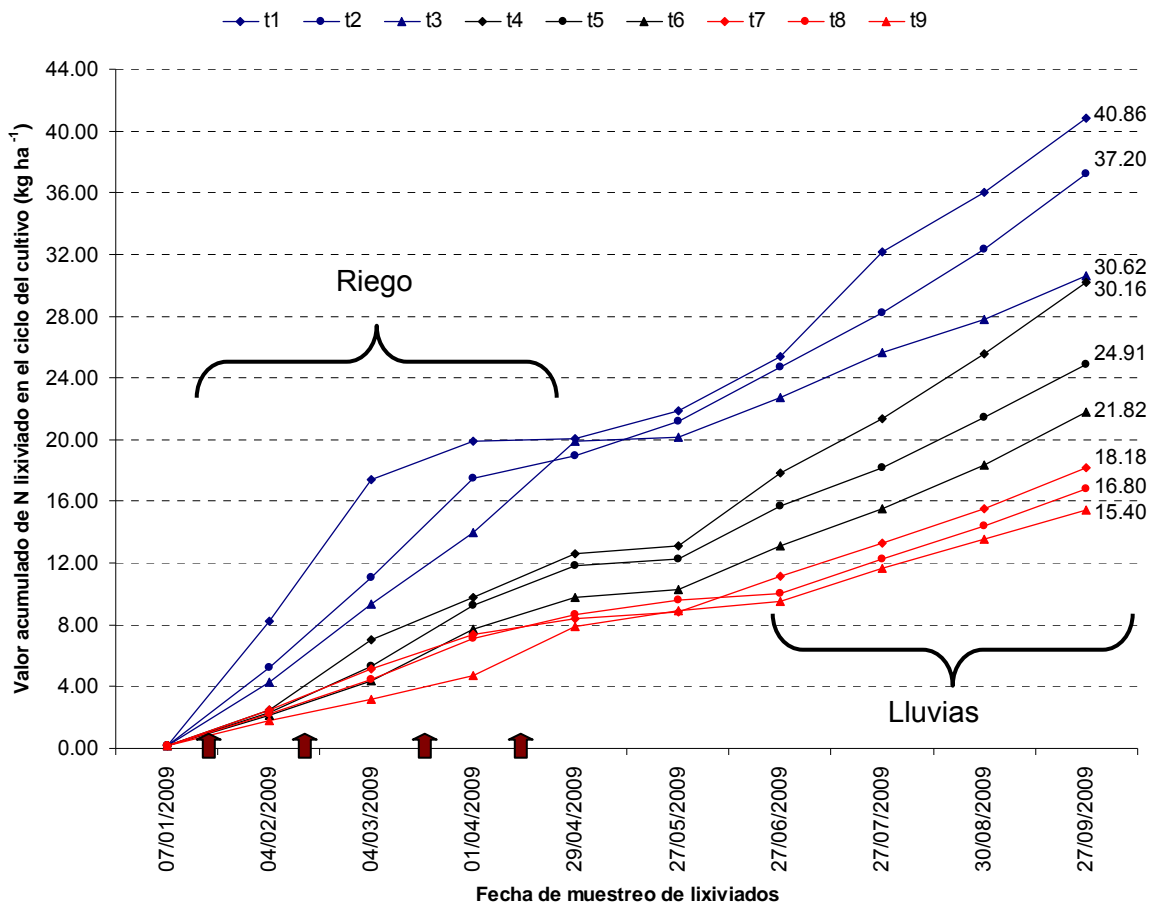


Figura 25. Comparación del N acumulado por los tratamientos evaluados. Las flechas rojas indican el momento de la fertilización.

El comportamiento acumulativo del nitrógeno en todos los tratamientos fue similar, registrándose un incremento en las épocas de riego y lluvias y en las épocas de seca las pérdidas por lixiviación de nitrógeno fueron menores, oscilando entre los 0.30 hasta los 4.75 kg de N ha⁻¹. La Figura 26 muestra el comportamiento temporal de la cantidad de nitrógeno lixiviado, esto en tres épocas de muestreo (riego, seca y lluvia).

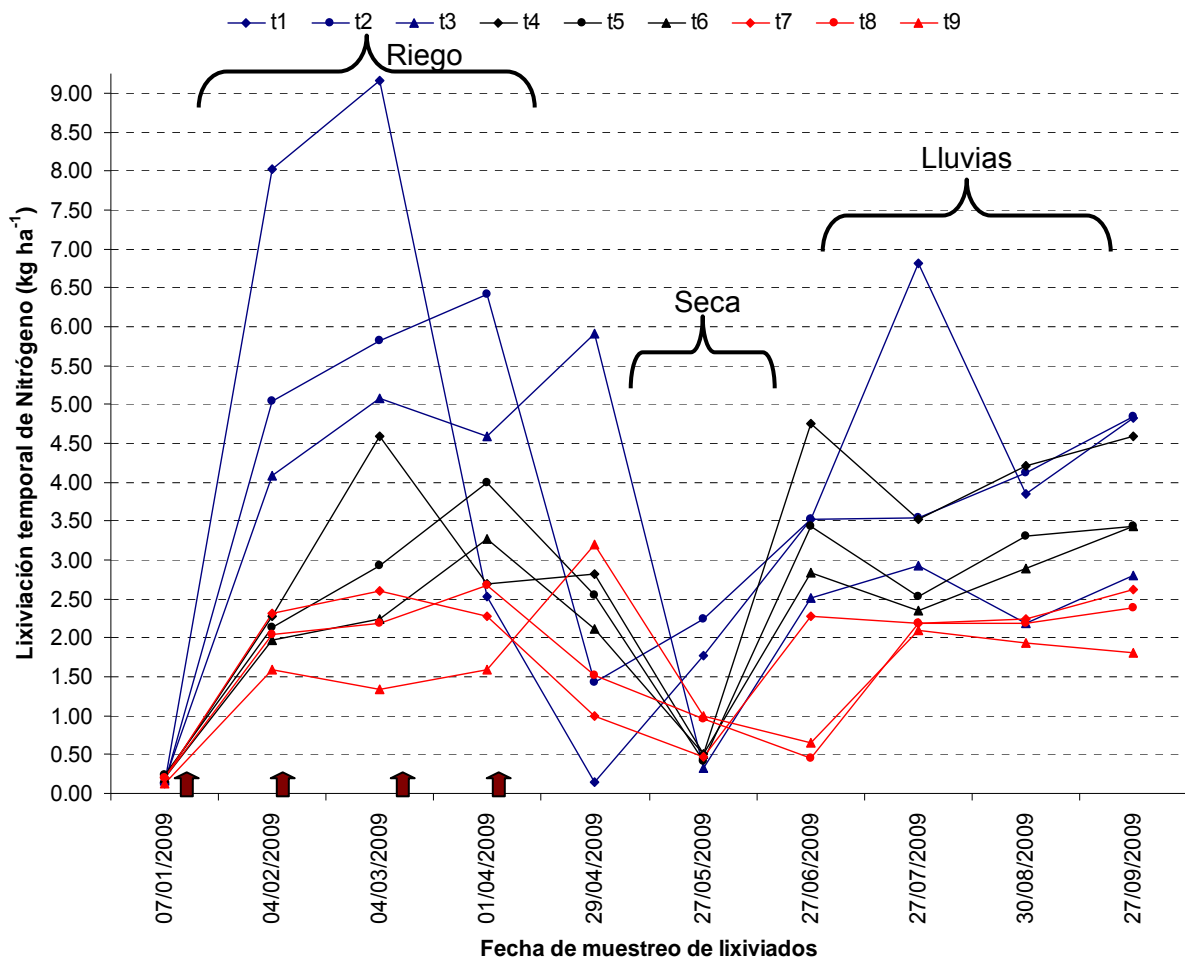


Figura 26. Comportamiento temporal de nitrógeno lixiviado. Las flechas en rojo indican el momento de la fertilización.

En relación a la Figura 26, se observa que la máxima pérdida de nitrógeno por lixiviación se tiene para cada tratamiento, momento después de la última aplicación de nitrógeno. Lo anterior, también combinado con la aplicación del riego, hace que se lixivie el nitrógeno aplicado. Sin embargo, cuando deja de

aplicarse nitrógeno, las pérdidas son menores, sobre todo por que inmediatamente después se presenta la época seca del cultivo.

Cuando inicia la época de temporal, se incrementan considerablemente las pérdidas de nitrógeno por lixiviación, sin superar a las pérdidas ocasionadas por el riego. Estos datos no coinciden con los reportados por Pacheco *et al.* (1986), quienes reportaron que las máximas pérdidas de nitrógeno se dan en época de lluvia y no en la época de riego. Esto se explica debido a que usaron láminas de riego de 10 cm, cuando en éste experimento fueron de 15 cm, además el tipo de suelo es diferente. Al respecto, O' Shea, y Wade (2008); mencionaron que en regiones tropicales uno de los mayores factores que inciden en la lixiviación es el tipo de suelo y la cantidad de nitrógeno aplicado.

De manera general, y de acuerdo a los objetivos e hipótesis planteados para lixiviación, observamos en la Figura 27, que a medida que se incrementa el fraccionamiento y se reduce la dosis del nitrógeno, las pérdidas de N por lixiviación son menores.

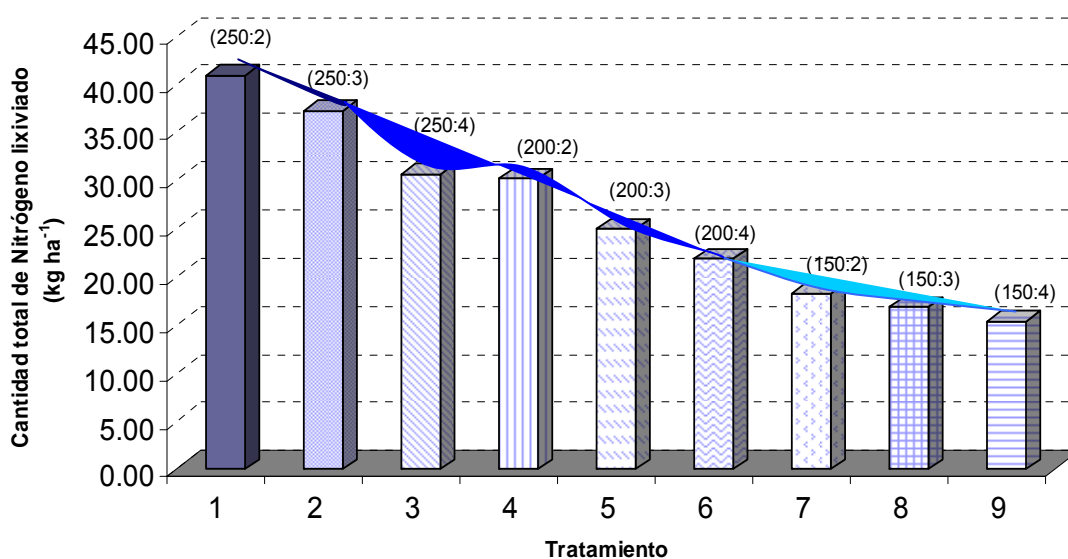


Figura 27. Lixiviación de nitrógeno total correspondiente a los tratamientos evaluados.

En relación a los resultados obtenidos para pérdida de nitrógeno por lixiviación, se determina que la hipótesis particular cuatro, la cual estipula que *“La cantidad total de fertilizante nitrogenado, suministrado a la caña de azúcar en un número mayor de aplicaciones, contribuyen a una menor lixiviación de nitrógeno, por lo que su impacto de contaminación al manto freático es menor”*. SE ACEPTA.

De acuerdo a la contrastación de las tres hipótesis planteadas para la Fase 2 (experimental), las cuales son aceptadas; los resultados integrados en relación a las variables en estudio se presentan en el Cuadro 20.

Cuadro 20. Integración de las variables en estudio de la fase 2.

Variables:		Productivas	Económica	Del ambiente		
To.	Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Fraccionamiento	Rendimiento (t ha ⁻¹)	° Brix	R B/C	Lixiviación de N (kg ha ⁻¹)
1	250	2	126.1	15.2	1.67	40.9
2	250	3	128.2	15.6	1.70	37.2
3	250	4	128.2	16.3	1.71	30.6
4	200	2	122.9	14.9	1.73	30.1
5	200	3	125.5	15.5	1.76	24.9
6	200	4	126.3	16.0	1.77	21.8
7	150	2	119.4	15.0	1.77	18.1
*8	150	3	121.6	15.6	1.80	16.8
9	150	4	121.6	15.6	1.79	15.4

* Tratamiento adecuado al objetivo del estudio

En relación al Cuadro 20, se observa que el tratamiento más adecuado para recomendar a los productores cañeros del Módulo I-1 La Antigua, aprovechando su actitud positiva hacia su uso; sería el tratamiento ocho, que propone utilizar 150 kg ha⁻¹ de N fraccionado en tres aplicaciones, con esto se obtendrían los mayores beneficios económicos y ambientales, traducidos en menor impacto por contaminación de nitrógeno a manto freático. Así mismo, se recomienda que para mejorar la fertilidad natural del suelo y los rendimientos; es necesario recurrir, además a la incorporación de residuos de cosecha del cultivo y a un manejo eficiente del agua de riego.

10. CONCLUSIONES

En este estudio, realizado bajo el enfoque conceptual de agroecosistema, se logró integrar los paradigmas cualitativos a través del diagnóstico y el cuantitativo en la fase experimental. Por lo que permitió el análisis y la reflexión para explicar una realidad compleja llamada fertilización nitrogenada en el agroecosistema caña de azúcar.

La influencia de ingenios sobre tipo y dosis de fertilización nitrogenada está muy arraigada en la Región del Distrito 035 La Antigua, Veracruz. Lo anterior se debe a que los productores cañeros no cuentan, en general, con los recursos económicos necesarios al momento de la fertilización, por lo que recurren al crédito en forma de producto (fertilizante) que el ingenio les recomienda. Así mismo, el ingenio promueve sus paquetes tecnológicos que incluyen una fertilización nitrogenada excesiva, argumentando que dicha fórmula de fertilización es la recomendada para la región y que de no aplicarse, los rendimientos en campo podrían resultar muy bajos.

El incremento de los precios de los fertilizantes ha impactado, de manera positiva, la actitud de los productores hacia el empleo de dosis reducidas de nitrógeno. De esta forma, tal incremento y la actual crisis económica son factores que pueden inclinar a los productores hacia una producción más sustentable. Esto es, más orgánica y con menor fertilizante químico, lo que sin lugar a duda resultaría en un menor impacto negativo al medio ambiente y, en particular, al agua subterránea.

Existe una actitud positiva de cañeros hacia la reducción de dosis y el fraccionamiento del nitrógeno que puede ser aprovechada para el establecimiento de una estrategia regional de producción de caña de azúcar más orgánica y, consecuentemente, más amigable con el ambiente. Tal estrategia debería incluir, hasta donde sea posible, la no quema de la caña de azúcar y el aprovechamiento de los residuos de la cosecha como fuente de nutrimentos para el cultivo; un

manejo más tecnificado del agua; un manejo del fertilizante químico que haga posible que el cultivo absorba con mayor eficiencia el nitrógeno y los demás nutrimentos; y un manejo integrado de plagas y enfermedades. Es claro que bajo la estrategia productiva anterior, se perderá menos nitrógeno por escurrimiento y por lixiviación y, en consecuencia, el agua superficial y subterránea será menos contaminada por nitrógeno; el riesgo de afectación a la salud humana y de otros organismos se reducirá; se logrará un sistema de producción de caña de azúcar más sustentable; y los productores tendrán ahorros económicos al reducir la cantidad de nitrógeno aplicado.

De este estudio se deduce que la práctica del fraccionamiento del fertilizante nitrogenado indujo a un mayor aprovechamiento del nitrógeno por el cultivo, dado que con esta práctica se observó un aumento en los rendimientos de la caña de azúcar. Asimismo, la reducción de las dosis del fertilizante nitrogenado resultó en ahorros económicos y en menores pérdidas por lixiviación hacia el manto freático.

Finalmente se puede concluir que el presente trabajo ha logrado identificar la dosis y el manejo productivo, económico y ambiental del fertilizante nitrogenado en el cultivo de caña de azúcar en el Módulo de Riego I-1 La Antigua. Esto es, al aplicar una dosis de 150 kg ha^{-1} de nitrógeno fraccionado en tres aplicaciones se pueden mejorar o mantener los rendimientos; particularmente si se evita la quema de la caña de azúcar y aprovechando los residuos de la cosecha y otros materiales orgánicos.

11. RECOMENDACIONES

11.1. Científicas

Se recomienda evaluar el uso de dosis menores a 150 kg ha^{-1} de N, esto es, dosis de 100 y 75 kg ha^{-1} de N y fraccionadas en tres aplicaciones, pero con aportes de residuos de cosecha. Para esto, se propone la eliminación de la quema de la caña de azúcar y si es posible aplicación de residuos de la agroindustria cañera, siempre y cuando éstos aseguren su calidad como abono.

Una vez obtenidos resultados de la anterior recomendación, investigar sobre el efecto de las bacterias (*Acetobacter diazotrophicus*) como fijadoras de nitrógeno en caña de azúcar. Y de ser posible generar investigación en relación a nanofertilizantes.

Utilizar el procedimiento metodológico relatado en esta investigación para conocer con mayor eficiencia el nivel de respuesta de la caña de azúcar frente a otros nutrimentos, principalmente P y K.

11.2. Tecnológicas

Debido a la variabilidad de suelos en la zona, se propone compactar unidades agroecológicas comunes, con extensiones de 50 ha, promoviendo la instalación de sistemas de riego eficientes y/o captación de agua que permitan hacer un uso eficiente de fertilizantes. Así mismo aprovechar los residuos generados por la transformación de la caña de azúcar (Bagazo, Cachaza y Vinaza) a través de su aplicación bajo estrictos análisis que aseguren su calidad.

11.3. A los tomadores de decisiones

Promover en el uso de una fertilización más amigable con el medio ambiente, esto es, a través del uso de dosis de 150 kg ha^{-1} de N, fraccionada en tres aplicaciones. Tal promoción podría efectuarse en parcelas demostrativas, a través de grupos de investigación vinculados con los Consejos Municipales de Desarrollo Rural Sustentable, con el objetivo de validar y transferir tecnología a productores cañeros.

A los gobiernos Federal y Estatal, hacer cumplir las leyes existentes, mediante auditorías en campo; basado en la Ley de la Agroindustria Azucarera, Artículo 9°: Que establece que la esta Ley deberá promover las siguientes funciones: Apartado XV: Preservar el medio ambiente y proteger la biodiversidad en el campo cañero, alentando la ejecución de programas de recuperación ecológica.

Legislar a favor de la producción de caña de azúcar sustentable, mediante leyes que prohíban el uso excesivo de dosis de fertilización nitrogenada y la quema de la caña de azúcar principalmente. Así mismo, el gobierno deberá incentivar a productores, mediante el pago por servicios ambientales, el pago de la cosecha en crudo de la caña de azúcar y la aplicación reducida de fertilizante químico.

12. LITERATURA CITADA

- Abellán, G. J. 1992. Interpretación de análisis de suelo, foliar y agua de riego, Consejo de abonado (Normas Básicas). Junta extremadura. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España, 280 p.
- Ageitos Carvajal A, Álvarez Artola S, Sánchez Pupo E. 1980. Nitratos en aguas subterráneas: causa de metahemoglobinemia en lactantes. *Revista Cubana Higiene y Epidemiología* 18(3):227–350.
- Álvarez Síntes R. 2001. Temas de Medicina General Integral. La Habana: Ciencia Médicas; 119-21 p.
- Altieri M., A. 1999. Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Editorail Nordan-Comunidad. 327 p.
- Altieri M., A. 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 1971:1–24.
- Appelgren B. G. 1994. Agricultural and environmental legislation – Lithuania. TCP/LIT/2352, FAO, Rome. 232 p.
- Arcos, M.G. 2010. La educación financiera y su influencia en la estrategia crediticia del productor cañero en el centro de Veracruz. Colegio de Postgraduados. Tesis de Doctorado. 144 p.
- Báez, L. G. 2000. Indicadores económicos. *Revista Venezolana de Análisis de Coyuntura* VI: 275-282.
- Baldani, J. I., Caruso, L., Baldani, V.L.D., Goi, S. R., and Döbereiner, J., 1997. Recent advances in BNF with non-legumes plants. *Soil Biol. Biochem.* 29:911-922.
- Barrera, F. y Vargas, E. 2005. Relaciones familiares y cogniciones románticas en la adolescencia: el papel mediador de la autoeficacia romántica. *Rev. Estud. Soc., maio/ago.* 21: 27-35.
- Beebe, J. 1985. Rapid rural appraisal: The critical first step in a farming systems approach to research. FSSP Network Paper No. 5, Farming Systems Support Project, University of Florida, Gainesville, Florida. U.S.A. pp: 120.
- Bergström, L. y Johansson, R. 1991. Leaching of nitrate from Monolith Lysimeters of Different Types of Agricultural Soils. *J.Env. Quality.* 20:801-807.

- Blanco, N., Alvarado, M. E. 2005. Escala de actitud hacia el proceso de investigación científico social. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)* XI: 537-544.
- Bolsi A. S., Ortiz, C., y D'Arterio, J. P. 2005. Agroindustria azucarera y mortalidad: análisis comparado de cuatro complejos latinoamericanos. *Theomai* : 37p.
- Bustillo, G. L. C. 2008. Condiciones para el desarrollo rural sustentable del Distrito de Desarrollo Rural 006, La Antigua, Veracruz. México, bajo un enfoque autopoietico. Tesis Doctoral, Campus Veracruz, Colegio de Postgraduados. 184 p.
- Carrillo A., E., J. Vera-Espinoza., Alamilla M., J., Obrador O., J. y Aceves N. E. 2008. Cómo aumentar el rendimiento en caña de azúcar en Campeche. 1era edición. 67 p.
- Castellanos R. J. Z. 1981. La contaminación del agua por nitratos provenientes de la agricultura. *Seminarios técnicos Comarca Lagunera. CIAN-INIA-SARH.* 6(9):139-158.
- Castellanos R. J. Z. 1989. La contaminación por nitratos en el acuífero de la Comarca Lagunera. En: *Problemas de contaminación en México. Comisión Interinstitucional para el desarrollo e investigación sobre contaminación ambiental por plaguicidas. México.* 3(16): 5-10.
- Castellanos, J. Z. y Peña-Cabriales, J. J. 1990. Los nitratos provenientes de la agricultura: una fuente de contaminación de los acuíferos. *Terra* 8: 113-126.
- Castellanos, J. Z., Uvalle-Bueno, J. y A. Aguilar-Santelises. 2000. *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas.* 2ª edición. México. 226 p.
- Castro-Luna†, F. Gavi-Reyes, J.J. Peña-Cabriales, R. Núñez-Escobar y Etchevers-Barra, J.D. 2006. Eficiencia de recuperación de N y K de tres fertilizantes de lenta liberación. *Revista Terra Latinoamericana* 24 (2).
- Chaves, M. 1999. Nutrición y fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica. Conferencia 78. XI Congreso Nacional Agronómico/ III Congreso Nacional de suelos. Costa Rica. pp: 193-214.
- Checkland PB. 1989. *Sof Systems Methodology. Human Systems Management:* 8(4):273-289.
- COAAZUCAR. 2005. Resultados de la zafra 2004-2005. Comité de la industria azucarera, México, D. F. <http://www.sagarpa.gob.mx/Coaazucar/Coaazucar/coaazucar.htm> (consultada: 08-01-07).

- Comisión Nacional de Agua, CNA. 2009. Plan Director para la modernización Integral del Riego del Distrito de Riego 035, La Antigua, Veracruz. 142 p.
- Contreras-Gallardo, S. 2009. Impacto de los sistemas de riego de baja presión en los agroecosistemas con caña de azúcar del Municipio de Actopan, Veracruz. Tesis de Maestría del Campus Veracruz, Colegio de Postgraduados. 113 p.
- Conway, G. 1985. Agroecosystem analysis. *Agricultural Administration* 20: 31-55.
- De Canales F. y Alvarado, E. 1991. Metodología de la investigación: Manual para el estado de la salud. Ed. Limada. México 134 p.
- Del Ángel, P. E. 2008. Percepción y actitud de productores y administradores del Distrito De Riego 035 La Antigua, Veracruz, hacia la conservación del recurso agua. Colegio de Postgraduados. Tesis de Maestría. 130 p.
- Dematté JAM, Ligia de Sousa SM, Crusoé RG, Alves CL, Formaggio AR, Pittol FL 2005. Variações espectrais em solos submetidos á aplicação de torta de filtro. *Rev. Bras. Cien. Solo* 29: 317-326.
- Domínguez, T. T. y Aguilar A. A. 1999 Diagnostico de la unidad de riego Puente Nacional, Veracruz. México. *Terra* 17(4): 345-354.
- Escalona, J. D. 2001. Evaluación de actitudes ambientales en estudiantes de Ciencias. *Educere* 5: 302-306.
- Estrada, B. M., Nikolskii, G.A., Mendoza, P.J.D., Cristobal, A.D., De la Cruz, L.E., Brito, M. N., Gómez, V.A. y Bakhlaev, E.O. 2007. Lixiviación de nitrógeno inorgánico en suelo agrícola bajo diferentes tipos de drenaje en el trópico húmedo. *Universidad y Ciencia*. 1: 1-13.
- Estrada, R.D.; Chaparro, O.; Rivera, B. 2001. Utilización de modelos de simulación para evaluación ex ante. http://www.intertel.hn/org/ciathill/guías/exa_nte.htm
- FAO/CEPE. 1991. Legislation and measures for the solving of environmental problems resulting for agricultural practices. FAO/United Nations. Ginebra. Report No. 7
- FAO, 2005. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Estadísticas. <http://apps.fao.org/faostat/collections>(Consultada_: 22-03-07).
- Farahbakhshazad N., Dinnes D., Changsheng L., Jaynes D., Salas W. (2008). Modeling biogeochemical impacts of alternative management practices for a row-crop field in Iowa. *Agric. Ecosyst. Environ.* 123, 30 – 48.

- Figuroa V. U., Márquez R. J., Faz C. R., Cueto W. A., y Palomo G. A. 2006. Uso eficiente de estiércol como fertilizante orgánico en cultivos forrajeros. Memoria de la XVIII Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED. Venecia Durango México. 7-13 p.
- Fuentes S.E. 2007. Efectividad biológica de seis rodenticidas utilizados para el control de *Sigmodon hispidus* (RODENTIA: CRICETIDAE) EN CAÑA DE AZÚCAR. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados. 122 p.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Segunda edición. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 246 p.
- García, E.A. 1984. Manual del campo cañero mexicano. Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar. México, DF. Pp. 32-47.
- García, R. 2006. Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentos epistemológicos de la investigación interdisciplinaria. Gedisa. España. 200p.
- García, R., Espinoza, J., y Marcano, J. 1997. La contaminación ambiental causada por la quema de la caña de azúcar, al momento de la cosecha. FONAIAP. Divulgación No 57: 32-34.
- Gliessman, S. R. 2002. Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 359 p.
- Grageda, C. O., Vermoesen, A. A., Cleemput, V. O., Peña-Cabriales, J. J. 2000. Efecto del tipo de suelo, humedad y fuente de nitrógeno en las emisiones de N₂ y N₂O. TERRA Latinoamericana 18: 1-9.
- Grageda, C.O., Medina, C. T., Aguilar, A. J., Hernández M. Mi., Solís, M. E., Aguado, S. G., Peña C.J. 2004. Pérdidas de nitrógeno por emisión de N₂ y N₂O en diferentes sistemas de manejo y con tres fuentes nitrogenadas. Agrociencia 38: 625-633.
- González, D. G., Ozier, L. H., Sierra, L. T., Cid, G. 2006. Predicción de pérdidas de agua y lixiviación de nitratos en suelos ferralíticos rojos cultivados bajo riego en el sur de La Habana. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 15: 1-6.
- Guevara, M. J., y Rodríguez, A. C. 2002. Localización de actitudes proambientales. Revista de Psicología de la Universidad de Chile. IX (2): 93-109.
- Gutiérrez, M., Velardes, A; García, R y Rodríguez Miguel. 2007. El laboreo localizado en los suelos arcillosos pesados para la plantación de la caña de azúcar. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 4: 31-34.

- Hallberg, G. R. 1989. Nitrate in groundwater in the United States. En: Nitrogen Management and groundwater protection (Ed) Elsevier, Amsterdam. p: 69-73.
- Hart, R. 2000. FSR's expanding conceptual framework. A history of farming Systems Research. Oifsa, CABI Publishing. Pp. 41-66.
- Hedley, M.J., and McLaughlin, M.J.. 2005. Reactions of phosphate fertilizers and by-products in soils. In: J.T. Sims and A.N. Sharpley (ed.) phosphorus: Agriculture and the Evironment. Agron. Monogr. No. 46. ASA, CSSA, and SSA. Madison, WI. 181-252.
- Hernández, M. G., Salgado, G. S., Palma, L. D., Lagunes, E. L., Castelán, E. M. y Ruiz-Rosado, O. 2008. Vinaza y composta de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un gleysol mólico de Chiapas, México. *Interciencia*. (11) 33: 855-860.
- Hernández, R.M., Hernández, Z.J. 2008. Verdades y mitos de los biocombustibles. *Elementos: ciencia y cultura*. 71:(15) pp. 15-18.
- Hernández, S. R., Fernández, C. C., Bautista, L. P. 1991. Metodología de la investigación. Editorial McGraw-Hill. México, D.F. p.p. 284.
- Hernández, S. R., Fernández, C. C., Bautista, L. P. 1994. Metodología de la investigación. Editorial McGrawhill Interamericana de México S.A. de México. 1-69 p.
- Hernández, X. 1977. Metodología para el estudio de agroecosistemas con persistencia de tecnología agrícola tradicional. *Agroecosistemas de México*. Colegio de Postgraduados-ENA. México. pp. 321-333.
- IMPA. Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar.1988. Programa de Variedades. Metodología Experimental, México O. E. 1 – 59 p.
- INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL AGRI-CULTURE. IITA. 1979. Selected methods for soil and plant analysis. Ibadan, Nigeria, IITA. Manual series no. 1. 1-27 pp.
- Jimenez, R. J. Juarez, F. L., Guerrero, A.P. Valdez, A.B. y Moguel J.E. 2000 Emisión de bióxido de carbono por la quema del cultivo de la caña de azúcar. Memorias del IX día del cañero. Resultados de investigación en el cultivo de la caña de azúcar. GITCAÑA-Campus Tabasco, C.P. H. Cárdenas, Tabasco. 94-98 pp.
- Knobeloch L, Salna B, Hogan A, Postle J, Anderson H. 2000. Blue babies and nitrate-contaminated well water. *Environ Health Perspect*: 108(7):675-8.

- Landeros, S. C; Hernández R. S. L., López V. M. C. 2000. Pérdidas de nitrógeno (NO₃) en los predios cañeros del ingenio La Gloria del Estado de Veracruz. Memoria del IX Día del Cañero. H. Cárdenas Tabasco. México. pp. 35 – 41.
- Landeros-Sánchez C, Castañeda Chávez M, Lango R. F., Moreno-Seceña J.C. y Palomarez G. M. 2007. Contaminación del Agua por nitrógeno causada por la agricultura en zonas cañeras de Veracruz, México. Memoria del IX Simposio Internacional y IV Congreso Nacional de Agricultura Sostenible, Veracruz, México. p 371.
- Laird R., J.; A. Turrent F.; V. Volke H. y J. I. Cortés F. 1993. La investigación en productividad de agrosistemas. Cuaderno de Edafología 18. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. 42 p.
- Larios Ortiz L. 2004. Comportamiento de la metahemoglobinemia infantil en la provincia de Camagüey: 1985–1994. Archivo Médico de Camagüey 8: (2).
- Lindsay, W. L. 1979. Phosphates In W.L. Lindsay (ed.) Chemical equilibria in soils. Jhon Wiley & Sons, New York. pp. 162-205.
- Manzo, R., Ramírez H.F., Garza N. H. y Mendoza Serafín J. 2001. Generación y transferencia de tecnología en la agricultura peri-urbana: caso Tecámac. Agricultura Técnica en México, enero-junio, 47-56.
- Marten, G. G. 1998. Productivity, Stability, Sustainability, Equitability and Autonomy as Properties for Agroecosystem Assessment. Agricultural Systems 26: 291-316.
- Martínez, T. D. R., 2009. Evaluación agroindustrial de variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en el Ingenio El Modelo, Úrsulo Galván, Veracruz. Campus Veracruz, Colegio de Postgraduados. Veracruz, México. Tesis de Maestría.
- Martínez, R. J. G., M. Rivera G. y R. Faz C. 2005. Determinación espacial de la vulnerabilidad de un acuífero a ser contaminado por nitratos. AGROFAZ 5 (3): 77-84.
- Mc Beath, T. M., Smernick, R. J., Lombi, E and McLaughlin, M. J. 2006. Hydrolysis of Pyrophosphate in a Highly Calcareous Soil: A Solid-State Phosphorous-31 NMR Study. Soil Sci. Soc. Am. J. 70:856-862.
- Meneses, P J. M. 2003. Resultados de evaluaciones de riego por surcos en la caña de azúcar en un vertisuelo. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 12: 51-53.

- Morris, C. and Potter, C. 1995. Recruiting the new conservationists: farmers' adoption of agrienvironmental schemes in the UK. *Journal of Rural Studies* 11(1): 51–63.
- Muchovej, R.M., and P.R. Newman. 2004. Nitrogen fertilization of sugarcane on a sandy soil: I. Yield and leaf nutrient composition. *J. Amer. Soc. Sugar Cane Technol.* 24:210-224.
- Muñoz, H., Armienta, M. A., Vera, A. y Cenicerros, A. 2004. Nitrato en el agua subterránea del Valle de Huamantla, Tlaxcala, México. *Rev. Int. Contaminación Ambiental.* 20 (3) 91-97.
- Muñoz, R. J. 2005. La interacción *Gluconacetobacter diazotrophicus*-caña de azúcar como modelo para el estudio de la transmisión de bacterias benéficas. *Elementos* 57: 57-62p.
- NOM-127-SSA1 (1994). Norma Oficial Mexicana. Salud Ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Pp 1-32.
- Odum, E.P. 1972. *Ecología*. 3ra edición. Edit. Interamericana. México. pp 308.
- Olivares S. E. 1994. Paquete de diseños experimentales Versión 2.1. Facultad de Agronomía UANL, Marín N. L.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 1980. Nitratos, nitritos y compuestos de N–Nitrito. Publicación científica No. 394. Washington. Pp. 1-37.
- O' Shea, L., and A. Wade. 2008. Controlling nitrate pollution: An integrated approach. *Land Use Policy* 26: 799–808.
- Pacheco A. J. 1992. Nitratos en agua subterránea. *Ciencia y desarrollo.* 17(102):98-104.
- Pacheco, R., González, M. A. y Briceño, J. A. 1986. Efecto del fraccionamiento de la fertilización nitrogenada en la lixiviación del nitrato, potasio, calcio y magnesio en un Andept de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 10 (1/2): 129-138.
- Palma, L. D., Salgado, G. J., Obrador, O. S., Trujillo, N. A., Lagunes, E. L. C., Zavala, C. J., Ruiz B., Carrera M. M. 2002. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilización en caña de azúcar (SIRDF) TERRA Latinoamericana : [fecha de consulta: 26 de mayo de 2009] Disponible en: <<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57320314>> ISSN 0187-5779.

- Pérez, O., Hernández, F., López, A., Balañá, P., Solares, E., Y Maldonado, A. 2008. The use of green manure as an alternative to improve and sustainability sugarcane crop. Sugar Journal. Vol: 70: No 9. 14-21.
- Pretty JN and Conway GR. The blue baby syndrome and nitrogen fertilisers: A high risk in the tropics? IIED. Gatekeeper series 5. uk (1998).
- PRONAC. Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de azúcar. 2007. Informe de la SAGARPA México.
- Ramos, N.M., López, F.L. y Ordoñez P.B. 2000. Efectos de la quema y extracción de nutrimentos por la caña de azúcar y las malezas en la región de Veracruz Central. Simposium producción de caña de azúcar. XXX Congreso Nacional SMCS. Veracruz, Ver.México.
- Rodríguez, S. F. 1992. Fertilizantes: Nutrición Vegetal. Editorial A.G.T. México. 157 p.
- Romero, P., R; Monnier, J. y Miquel, R. 2005. Organización social y conflictos por el agua en los distritos de riego de la cuenca del Río Conchos. In: Vargas, S. y Mollard, E. Problemas socioambientales y experiencias organizativas en las cuencas de México. IMTA-IRDCONACYT, México.
- RIVM. 1992. The environment in Europa. A global perspective. National Institute of Public Health and Environmental Protection (RIVM). Netherlands. Pp 23-27.
- Rubio, I. J. F. 1997. Evaluación y selección de variedades. II Taller Variedades de Caña de Azúcar. ITA No. 18. 114 p.
- Saavedra, T. J., Colmenares, O. y Pirela, S. J. 2007. Correlación entre dimensiones de personalidad de marca y la marca emocional: Estudio en Cadena de Farmacias. Revista de Ciencias Sociales, Vol.13, no.2, p.219-229.
- SAGARPA 2008. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Comunicado 137/08. Disponible en: <http://www.presidencia.gob.mx/prensa/sagarpa/?contenido=37208>
- SAGARPA 2009. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Desarrollo de un Modelo Integral de Sistema de Información Geográfica y Edáfica como fundamento de la agricultura de precisión para la caña de azúcar en su etapa 1. www.sagarpa.com.mx.
- Salgado, G. S., Bucio, A. L; Riestra D. D; y Lagunes L. 2001a. Caña de Azúcar: Hacia un manejo sustentable. Colegio de Postgraduados; Villahermosa Tabasco. México 394 p.

- Salgado, G. S., Núñez, E. R; Peña, C. J; Etchevers, B. J.D.; Palma, L. D; y Marcos-Soto R. 2001b. Eficiencia de recuperación del nitrógeno fertilizante en soca de caña de azúcar sometida a diferentes manejos de fertilización. *Revista Terra* 19 (2): 155-162.
- Salgado, G.S., Palma, L.D.J.; Lagunes, E.L.C.; Ortiz, G.C.F. y Ascencio, R.J.M. 2004. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilización en caña de azúcar: Ingenio Santa Rosalía. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco. 69 p.
- Sánchez, F. M. 1997. Desarrollo de la Producción de caña y azúcar en la republica mexicana. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 143 p.
- Sánchez-Uranga. R. 2003. Impacto de la crisis azucarera mexicana en las unidades de producción cañera (Casos ingenio La Gloria y El Modelo, Veracruz, México). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. 161 p.
- Sevilla GE. 2007. De la sociología a la agroecología. Perspectivas agroecológicas Volumen I. Icaria Editorial, España. Pp 75-103.
- Sheaffer, R. and Mendenhall. 1987. Elementos de muestreo. Grupo Editorial Ibero América. México. p 52-66.
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera 2008. Estadística básica. Anuario estadístico de la producción agrícola 2007. Caña de azúcar. <http://www.siap.gob.mx/ventana.php?idLiga=1042&tipo=1>
- Silva, G.S., Pérez, A.R. Toxtle, T.J. Bonilla, F.N. 2003. Análisis teórico metodológico del enfoque Cadenas Agrolimentarias. Agricultura, Ambiente y Desarrollo Sustentable. BUAP. Puebla. Pp 55-73.
- Smith, C.J., Dunin, F.X., Zegelin, S.J. Poss, R. 1998. Nitrate leaching from Riverine clay soil under cereal rotation. *Australian Journal Agricultural Resersearch* 49: 379-389.
- Smith, C.J., Dunin, F.X., Poss, R., Angus, J.F. 2000. Nitrogen buget of wheat growing on a Riverine clay soil. *Australian Journal Agricultural Resersearch* 51: 867-876.
- Smith, V.H. 2003. Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems: a global problem. *Eviron. Sci. Pollut. R.* 10: 126-139.
- Stanley, E.M. 2007. Introducción a la química ambiental. Universidad autónoma de México. Editorial Reverté. 208 p.
- Thom, M., A, Marezki. 1992. Evidence for direct uptake of sucrose by sugar stalk tissue. *J. Plant Physiol.* 39: 555-559.

- Thomas, J.R., A.W. Scott, Jr., and R. P. Wiedenfeld. 1985. Fertilizer requirements of sugarcane in Texas. *J. Amer. Soc. Sugar Cane Technol.* 4:62-72.
- Trebuil G. 1990. Principles and steps of the method of diagnosis on Agrarian Systems: A case study from Sathing Phra Area Southern Thailand. En *Farming Systems Research and Development in Thailand*. Prince of Songla University, Kasetsar University and Technological Research and Exchange Grup. Thailand. Pp 29-63.
- UNEP, OECD, IEA, IPCC. 1995. Guidelines for National Green house Gas Inventories. Bracknell. IPCC. Paris. 3p.
- Weier KC, McEwan CW, Vallis I, Catchoole VR, Myers R. 1996. Potential for biological denitrification of fertilizer nitrogen in sugarcane soils. *Aust. J. Agric. Res.* 47: 67-79.
- Wilcox, T. 1991. Fertilizer selection strategy may reduce production costs. *BSES. Bulletin No 35. Australia.* pp: 7-8.
- Yepis, V.O., Fundadora, H.O., Pereira, M.C. y Crespo, B.T. 1999. La contaminación ambiental por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de tomate. *Scientia gerundensis*, 24: 5-12 p.
- Yiridoe K. E. and Weersink A. 1997. A Review and Evaluation of Agroecosystem Health Analysis: The Role of Economics. *Agricultural Systems* 55 (4): 601-626.
- Zinck, J. A., Berroterán, J. L., Farshad, A., Moameni, A., Wokabi, S., Van R. E. 2005. La sustentabilidad agrícola: un análisis jerárquico. *Gaceta Ecológica*: 53-72.

13. ANEXOS

ANEXO1. CUESTIONARIO PARA EL DIAGNÓSTICO DEL USO Y MANEJO DEL FERTILIZANTE NITROGENADO EN EL MÓDULO DE RIEGO 035 LA ANTIGUA.

El presente cuestionario, tiene el propósito de recabar información que permita medir la actitud de los productores cañeros de los ingenios la Gloria y el Modelo, respecto al uso de fuentes alternas y dosis menores de fertilizante nitrogenado. La información que usted nos brinde será utilizada únicamente con fines de investigación dentro del Postgrado en Agroecosistemas Tropicales del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz.

A. Aspectos generales:

1. Nombre del productor: _____

2. Edad: ____ años 3. Escolaridad Máxima: _____

B. Aspecto técnico-productivo:

4. ¿Cuál es la superficie de su parcela?: _____ ha. ¿Qué produce?:

Tipo de cultivo	Rendimiento	Superficie cultivada	Precio de venta

5. ¿Qué variedad(es) de caña de azúcar siembra? _____

6. ¿Cómo considera su rendimiento obtenido en caña? () Alto () Medio () Bajo

7. Su siembra es: plantilla () soca () o resoca () de cuántos años _____

8. ¿Mencione los tres principales problemas que enfrenta en la producción de caña?

1) _____

2) _____

3) _____

9. ¿Qué tipo de fertilizantes aplica a la caña? () Orgánico () Inorgánico –Urea, Triple.

10. Cuántas aplicaciones de fertilizante realiza en un ciclo de producción de caña?

() Ninguna () Una () Dos () Tres () Más de tres

11. ¿Cuáles son las ventajas de dar una aplicación?

12. ¿Cuáles son las ventajas de aplicar el fertilizante en dos a más aplicaciones?

13. ¿Dónde obtiene el fertilizante que aplica a la caña de azúcar?

() En el ingenio () Tiendas de agroquímicos

14. ¿Qué fertilizantes y cuál es la cantidad que aplica a la caña en su parcela?

1) _____

2) _____

3) _____

15. ¿Cómo aplica su fertilizante?

() A mano () Con maquinaria () Ambos

16. ¿Cree que la cantidad, la forma y la época de aplicación de fertilizante nitrogenado que utiliza es la adecuada? () Si () No () No sabe

¿Por qué? _____

C. Aspecto socio-económico

17. ¿A qué asociación cañera pertenece? () CNC () CNPR () Otra:

18. ¿Recibe asesoría de su asociación en el aspecto de uso y manejo de los fertilizantes?

() Sí () No

19. ¿Asiste usted a las asesorías de tipo técnico-productivo impartidas por la asociación?

Sí No

20. ¿Cuál de todos los insumos utilizados para la producción de caña le resulta más costoso en términos económicos?

Herbicidas Hormonas Insecticidas Semilla Fertilizante Agua

21. ¿A qué Ingenio vende su producción? La Gloria El Modelo

22. ¿Cómo considera el precio pagado a su producto?

Alto Medio Bajo

23. En términos generales, ¿usted cree que ser cañero es negocio?

Sí No No sabe

D). Aspecto cultural

24. Se puede producir caña de azúcar sin dañar el medio ambiente

Totalmente de acuerdo De acuerdo No estoy seguro
 En desacuerdo Totalmente en desacuerdo

25. El actual manejo del fertilizante nitrogenado utilizado causa contaminación

Totalmente de acuerdo De acuerdo No estoy seguro
 En desacuerdo Totalmente en desacuerdo

26. La cantidad de fertilizante nitrogenado que aplica a la caña es excesiva

Totalmente de acuerdo De acuerdo No estoy seguro
 En desacuerdo Totalmente en desacuerdo

27. El exceso de fertilizante nitrogenado que se aplica a la caña de azúcar, provoca contaminación al agua superficial y subsuperficial

Totalmente de acuerdo De acuerdo No estoy seguro
 En desacuerdo Totalmente en desacuerdo

28. El número de aplicaciones del fertilizante nitrogenado que realiza a la caña es un factor que contribuye a la contaminación del agua

Totalmente de acuerdo De acuerdo No estoy seguro
 En desacuerdo Totalmente en desacuerdo

29. La contaminación del agua superficial y subsuperficial afecta la salud de las personas

Totalmente de acuerdo De acuerdo No estoy seguro
 En desacuerdo Totalmente en desacuerdo

30. Estoy dispuesto a tomar medidas para contrarrestar los daños que provoca la producción de caña de azúcar al medio ambiente

Totalmente de acuerdo De acuerdo No estoy seguro
 En desacuerdo Totalmente en desacuerdo

31. Estoy dispuesto a reducir la cantidad de fertilizante nitrogenado

Totalmente de acuerdo De acuerdo No estoy seguro
 En desacuerdo Totalmente en desacuerdo

32. Estoy dispuesto a usar fuentes orgánicas de fertilización para reducir la contaminación

Totalmente de acuerdo De acuerdo No estoy seguro
 En desacuerdo Totalmente en desacuerdo

33. Estoy dispuesto a aumentar el número de aplicaciones del fertilizante nitrogenado total que aplico cada año al cultivo, sin aumentar la cantidad de fertilizante utilizado

Totalmente de acuerdo De acuerdo No estoy seguro
 En desacuerdo Totalmente en desacuerdo

34. Estoy dispuesto a aumentar el número de aplicaciones del fertilizante nitrogenado total que aplico cada año al cultivo, reduciendo la cantidad del fertilizante utilizado

Totalmente de acuerdo De acuerdo No estoy seguro
 En desacuerdo Totalmente en desacuerdo

*******Por su atención y colaboración muchas gracias*******

ANEXO 2. PERFIL DE SUELO ENCONTRADO EN EL SITIO EXPERIMENTAL

DESCRIPCION DEL SITIO

Descrito por: Juan Carlos M. Seceña y Jorge López Collado
Fecha: Diciembre 30 de 2008
Coordenadas: 19°19' 57.3" Lat. N y 96° 20' 33.4' Lon W
Elevación: 7 m.s.n.m **Relieve:** plano con buen drenaje
Pendiente: 0.05
Material Parental: Sedimentos aluviales
Flora: Maleza y pasto **Fauna:** Mariposas
Vegetación cultivada: Caña, inicios del ciclo soca
Condiciones meteorológicas: Soleado



DESCRIPCION DEL PERFIL



<i>Hte</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
Ap	0-12 cm, profundidad 12.0 centímetros, color en seco (12.5YR 2.5/1); color en húmedo (7.5YR 2.5/1); textura Migajón arcillosa; horizonte seco; estructura bloques subangular; de consistencia friable en húmedo, pegajoso y plástico cuando se satura; permeabilidad rápida; bien drenado; poros frecuentes y finos y discontinuos caóticos; raíces comunes y medias; sin presencia de piedras; sin manchas o motas, poca reacción al H ₂ O ₂ ; reacción media al HCl y presenta un pH de 7.1. Transición regular y marcada (por color).
Bt	12-53 cm, profundidad 41 centímetros, color en seco (10YR 3/2); color en húmedo (2.5YR 3/1); textura Migajón arcillosa; horizonte seco; estructura bloques subangular; de consistencia friable en húmedo, pegajoso y ligeramente plástico cuando se satura; permeabilidad rápida; bien drenado; poros numerosos y finos y discontinuos caóticos; sin raíces; sin presencia de piedras; presenta una mancha regular que se extiende por todo el horizonte de color canela; el horizonte no presentó reacción al H ₂ O ₂ , sin embargo; sí presenta alta reacción al HCl y presenta un pH de 7.1. Transición regular y marcada (por humedad).
C	53-81 cm, profundidad 28 centímetros, color en seco (7.5.YR 3/1); color en húmedo (10YR 3/2); textura arcillosa; horizonte húmedo; estructura laminar; de consistencia barrosa, pegajoso y plástico cuando se satura; permeabilidad baja; poco drenado; poca presencia de poros, presenta poros finos y discontinuos caóticos; sin presencia de raíces y de piedras; no presenta manchas o motas; sin reacción al H ₂ O ₂ y al HCl; presenta un pH de 7.1. Transición regular y marcada (por manto freático somero).

ANEXO 3. ESTUDIO FISICOQUÍMICOS DEL SUELO

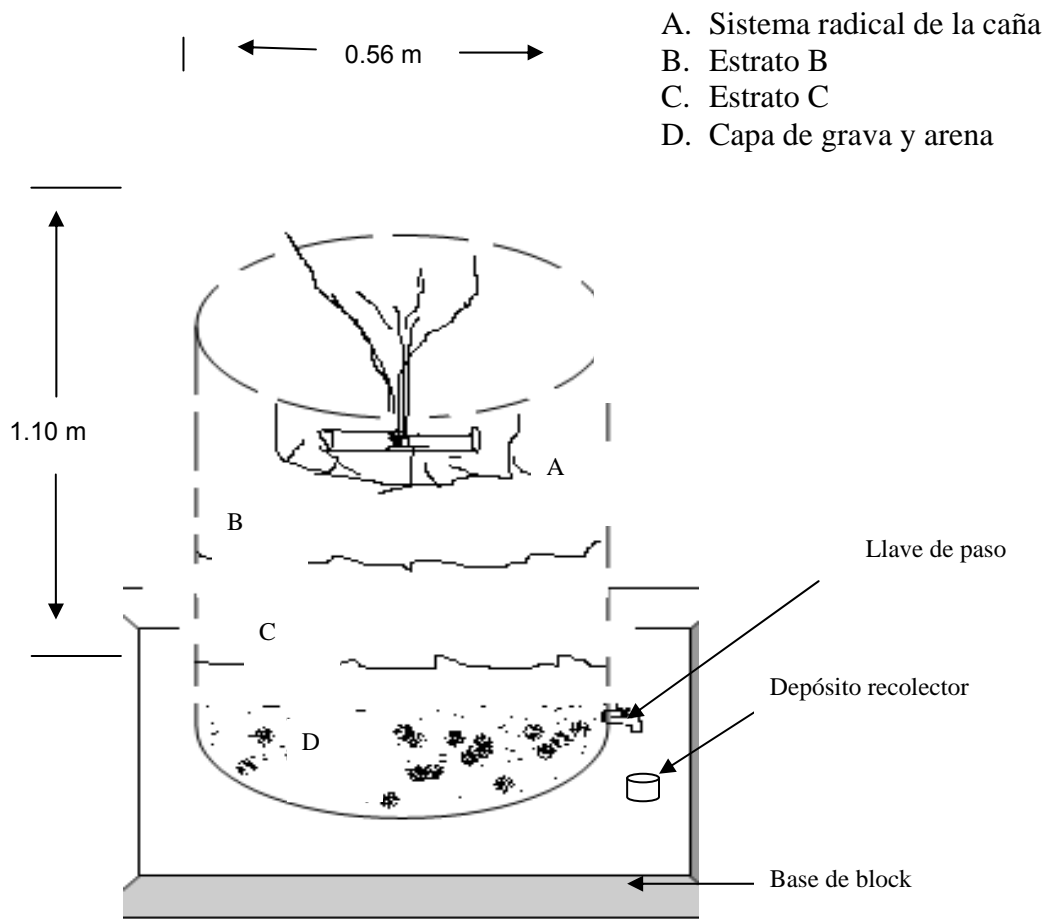
Anexo 3.1. Análisis inicial de suelo: Enero 2009, inicio del ciclo del cultivo de caña de azúcar.

Determinación		Unidad de medida	Clasificación
T E X T U R A	Arena	21.1 %	Suelo Arcilloso
	Limo	37.5 %	
	Arcilla	41.4 %	
Densidad Aparente		1.25 g/cm ³	Densidad media
Espacio Poroso		52.83 %	Suelo no compacto
Humedad a C.C.		0.38 cm ³ / cm ³	
Humedad a P.M.P.		0.21 cm ³ / cm ³	
Conductividad Hidráulica		0.24 cm/h	Lenta
Porcentaje de Saturación		54.6 %	Medio
PH		7.1	Neutro
Conductividad Eléctrica		0.2 mmhos	No salino
Materia Orgánica		1.8 %	Bajo
Nitrógeno Total		0.09 %	Bajo
PO ₄ ⁻		2 ppm	Muy Bajo
K		0	Muy Bajo
NO ₃ ⁻		5 mg kg ⁻¹	Bajo
CO ₃		60 p.pm.	
HCO ₃		0.0	

Anexo 3.2. Análisis final de suelo: Diciembre 2009, inicio del ciclo del cultivo de caña de azúcar.

Determinación		Unidad de medida	Clasificación
T E X T U R A	Arena	21.1 %	Suelo Arcilloso
	Limo	37.5 %	
	Arcilla	41.4 %	
Densidad Aparente		1.50 g/cm ³	Densidad Alta
Espacio Poroso		43.39 %	Suelo ligeramente compactado
Humedad a C.C.		0.39 cm ³ / cm ³	
Humedad a P.M.P.		0.25 cm ³ / cm ³	
Conductividad Hidráulica		0.14 cm/h	Muy Lenta
Porcentaje de Saturación		54.6 %	Medio
PH		7.0	Neutro
Conductividad Eléctrica		0.4 mmhos	No salino
Materia Orgánica		1.7 %	Bajo
Nitrógeno Total		0.07 %	Bajo
PO ₄ ⁻		7 ppm	Bajo
K		2 ppm	Bajo
NO ₃ ⁻		7 mg kg ⁻¹	Bajo
CO ₃		100 p.p.m.	
HCO ₃		0.0	

ANEXO 4. ESQUEMA DEL LISÍMETRO EMPLEADO



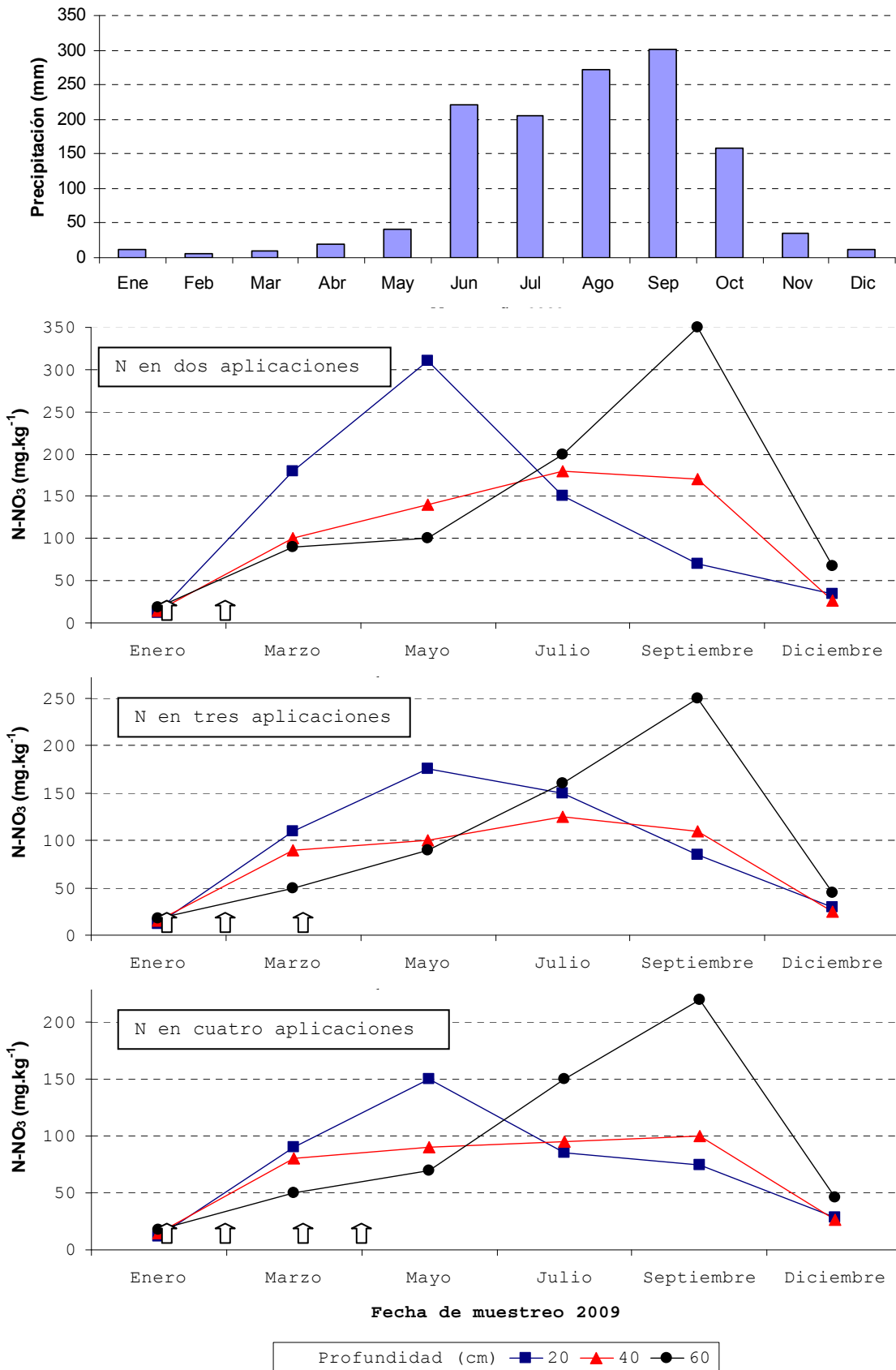


Figura 5.1. Movilidad del nitrato en el perfil del suelo de acuerdo con el fraccionamiento de 250 kg de N ha⁻¹ en el cultivo de caña de azúcar. Las flechas indican la época de aplicación.

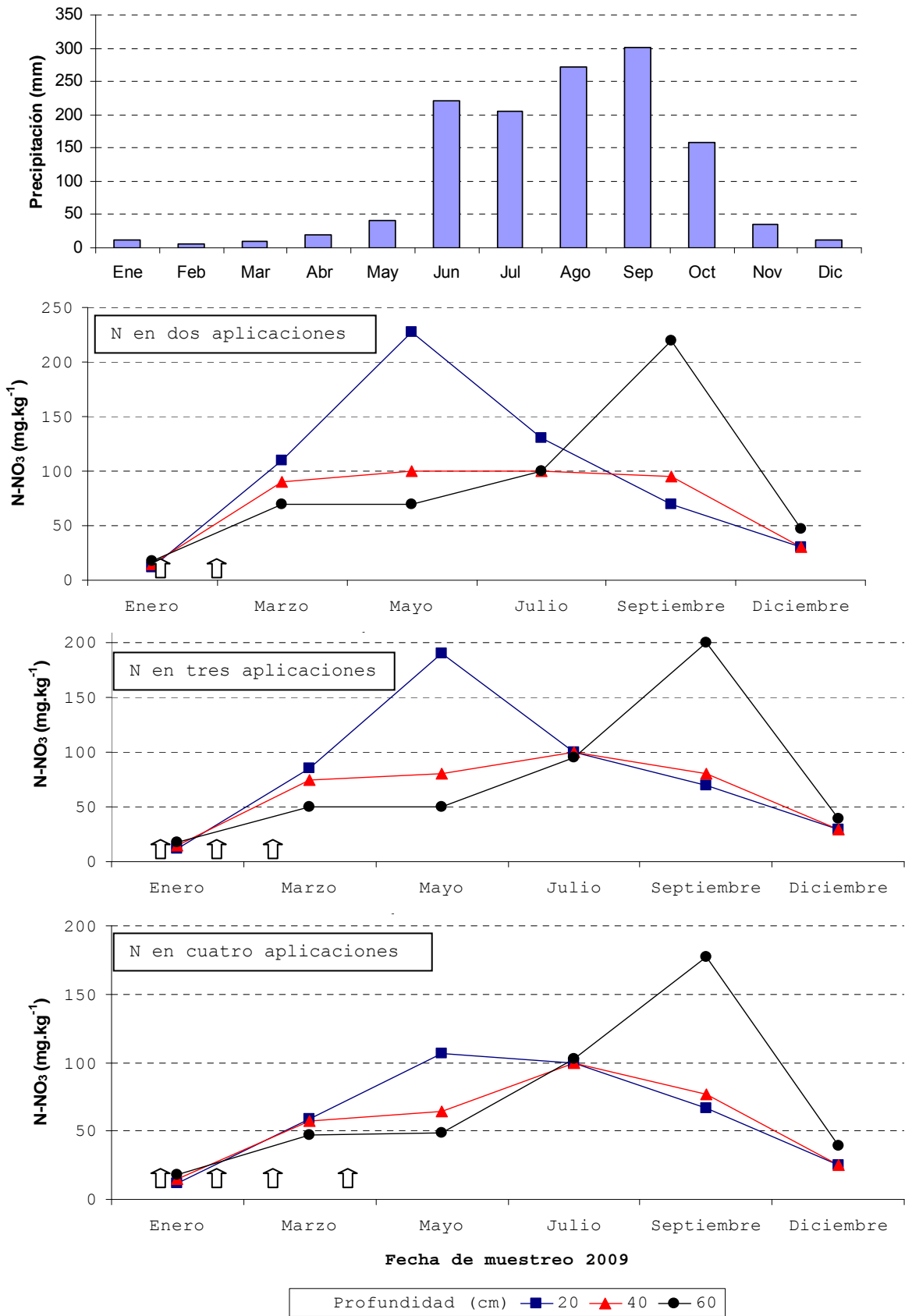


Figura 5.2. Movilidad del nitrato en el perfil del suelo de acuerdo con el fraccionamiento de 200 kg de N ha⁻¹ en el cultivo de caña de azúcar. Las flechas indican la época de aplicación.

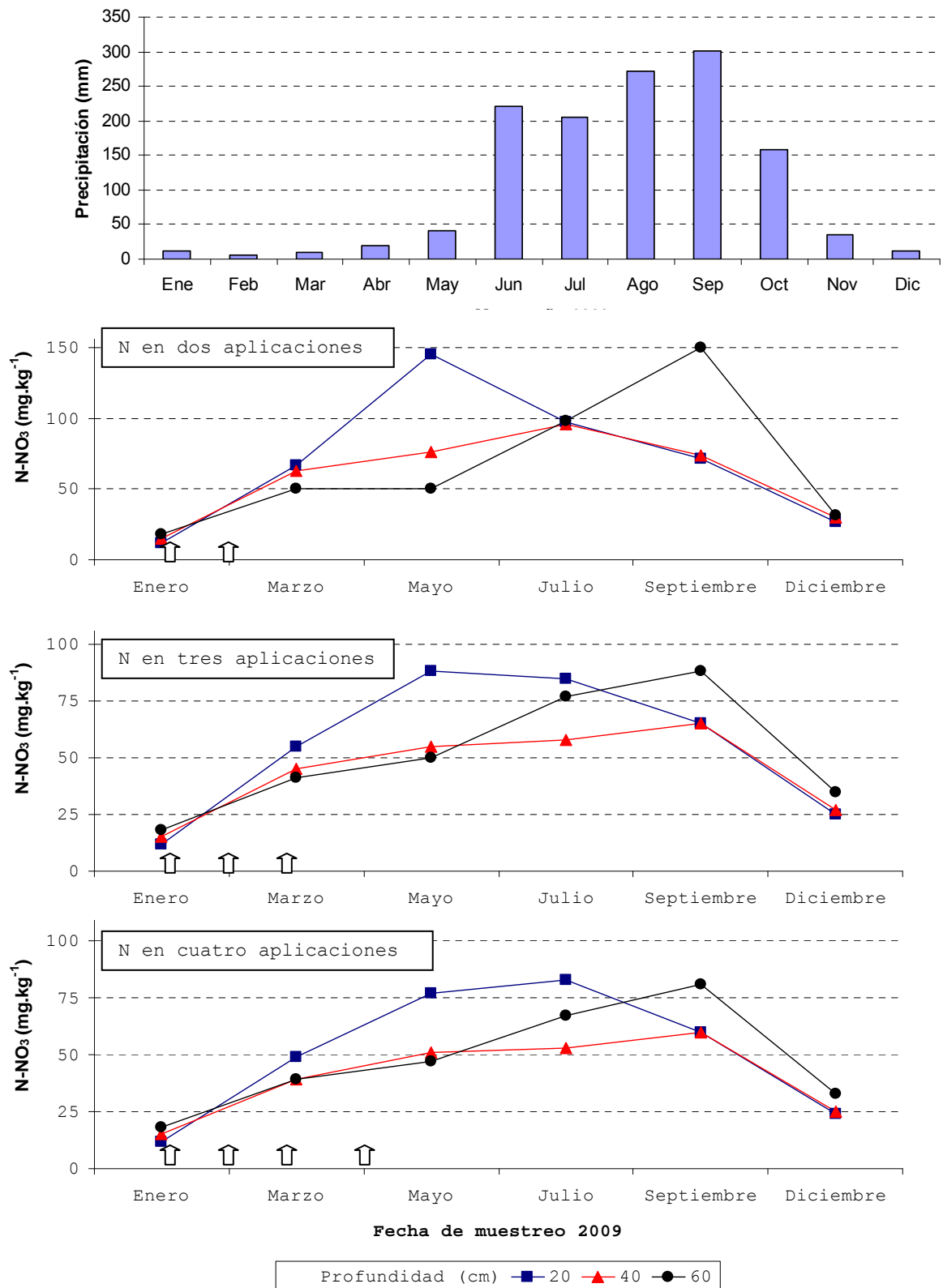


Figura 5.3. Movilidad del nitrato en el perfil del suelo de acuerdo con el fraccionamiento de 150 kg de N ha⁻¹ en el cultivo de caña de azúcar. Las flechas indican la época de aplicación.

ANEXO 6. HISTORIAL DE PRECIO DE LA TONELADA DE CAÑA DE AZÚCAR

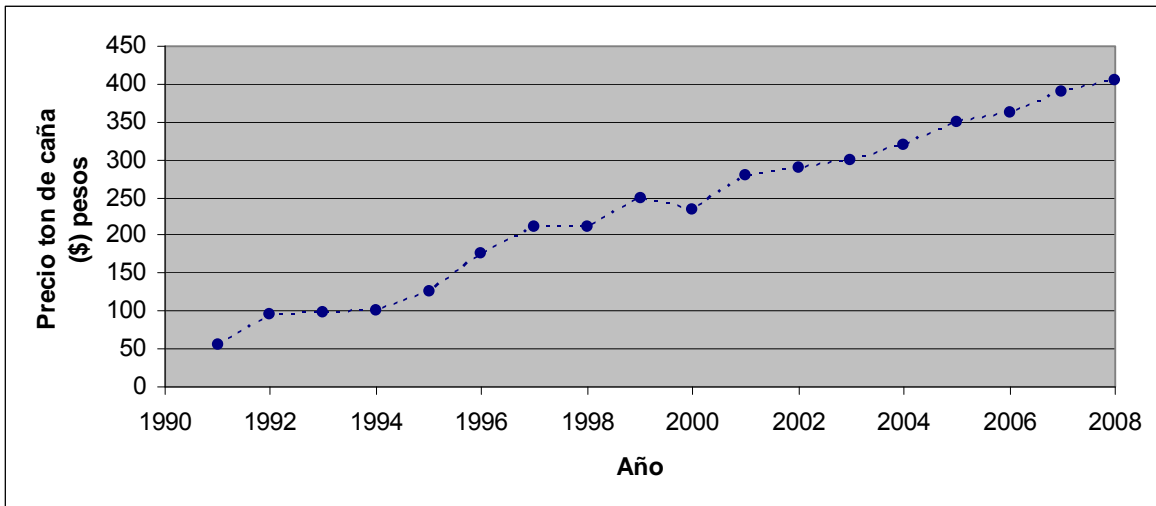


Figura Anexa 6.1. Historial de precio pagado por tonelada de caña de azúcar en el Módulo de riego I-1 La Antigua.

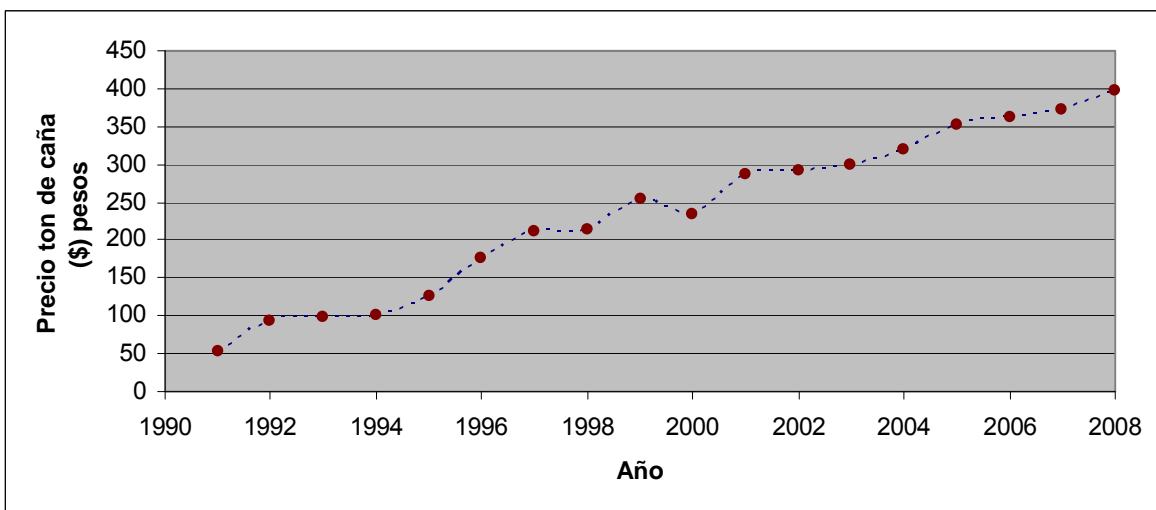


Figura Anexa 6.2. Historial de precio pagado por tonelada de caña de azúcar en el Estado de Veracruz.

ANEXO 7. ANOVA PARA RENDIMIENTO DEL CULTIVO CAÑA DE AZÚCAR

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Repeticiones	2	72.94	36.47	1.26 NS	0.38
Factor Dosis	2	200.97	100.48	3.47 NS	0.13
Error en dosis	4	115.87	28.97		
Factor Fraccionamiento	2	35.66	17.83	10.76*	0.02
Error fracc.	4	6.63	1.66		
Interacción D x F	4	1.72	0.43	0.03 NS	0.99
Error en D x F	8	113.94	14.24		
Total	26	547.71			

* Significativo a la comparación de medias de la Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

C.V. = 3.03 %

ANEXO 8. ANOVA PARA ° BRIX DEL CULTIVO CAÑA DE AZÚCAR

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Repeticiones	2	0.008	0.004	0.49 NS	0.650
Factor Dosis	2	0.495	0.248	27.41**	0.006
Error en dosis	4	0.036	0.009		
Factor Fracc.	2	4.219	2.109	751.48**	0.000
Error fracc.	4	0.011	0.002		
Interacción D x F	4	0.472	0.118	2.37	0.139
Error en D x F	8	0.398	0.049		
Total	26	5.641			

* Significativo a la comparación de medias de la Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

C.V. = 1.40%

ANEXO 9. COSTOS DE PRODUCCIÓN POR HECTÁREA DE CAÑA DE AZÚCAR DE ACUERDO CON DIFERENTES DOSIS Y FRACCIONAMIENTO DEL NITRÓGENO

Tratamiento Actividad	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Limpieza (DESPEDRAR)	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700
Subsoleo	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Barbecho	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Rastreo	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Surcado	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Siembra	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
Riego	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Aporque y Fertilización (Mecánico)	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Fertilización (Manual) 1	300	210	150	240	150	120	180	120	90
Fertilización (manual) 2		210	150		150	120		120	90
Fertilización (Manual) 3			150			120			90
FERTILIZANTE Urea, SFCS,KCI	6880	6880	6880	5504	5504	5504	4120	4120	4120
Malezas (Manual)	600	600	600	600	600	600	600	600	600
GESAPAX H-375 (HERBICIDA)	189	189	189	189	189	189	189	189	189
GRAMOPOL (HERBICIDA)	130	130	130	130	130	130	130	130	130
GESAPAX COMBI (HERBICIDA)	254	254	254	254	254	254	254	254	254
Plagas y Enfermedades (Manual)	600	600	600	600	600	600	600	600	600
ARRIVO (INSECTICIDA)	132	132	132	132	132	132	132	132	132
FOLEY (INSECTICIDA)	104	104	104	104	104	104	104	104	104
Plagas y Enfermedades (Aéreo)	1127	1127	1127	1127	1127	1127	1127	1127	1127
FURADAN (INSECTICIDAS)	460	460	460	460	460	460	460	460	460
KLERAT (PLAGUICIDA)	285	285	285	285	285	285	285	285	285
Quema	900	900	900	900	900	900	900	900	900
Corte (Manual) y Alce (Mecánico)	3646	3646	3646	3646	3646	3646	3646	3646	3646
Acarreo	6445	6445	6445	6445	6445	6445	6445	6445	6445
Total	31452	31572	31602	30016	30076	30136	28572	28632	28662

ANEXO 10. ANOVA PARA LA RELACIÓN BENEFICIO-COSTO EN UNA HECTÁREA DE CAÑA DE AZÚCAR.

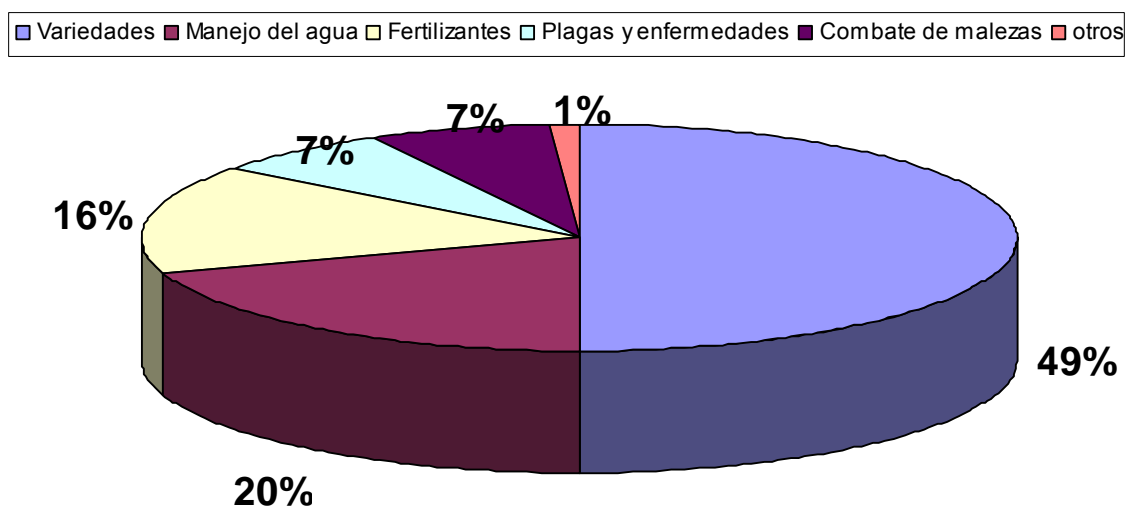
FV	GL	SC	CM	F	P>F
Repeticiones	2	0.002	0.001	0.692	0.554
Factor Dosis	2	0.036	0.018	10.952 *	0.026
Error en dosis	4	0.006	0.001		
Factor Fracc.	2	0.006	0.003	2.023	0.247
Error fracc.	4	0.006	0.001		
Interacción D x F	4	0.000	0.000	0.086	0.982
Error en D x F	8	0.005	0.000		
Total	26	0.062			

C.V. = 1.5 %

ANEXO 11. DATOS DE LAS COMUNIDADES ENCUESTADAS

Comunidad	Productores No.	Porcentaje (%)	Superficie (ha)	Superficie (%)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Nitrógeno (kg ha ⁻¹)	Fósforo (kg ha ⁻¹)	Potasio (kg ha ⁻¹)
B. Dominguez	8	3.2	32.50	3.2	90.62	204.62	146.63	181.63
Cabezas	2	0.8	6.50	0.6	111.50	362.50	33.00	40.50
Cardel	12	4.8	21.00	2.1	103.08	369.75	95.92	89.42
Cerro Guzmán	3	1.2	30.50	3.0	83.33	241.67	42.33	42.33
El Buzón	5	2.0	20.25	2.0	102.00	289.60	139.60	139.60
El Ciruelo	28	11.2	109.64	11.0	98.50	324.14	80.00	110.90
El Faisán	16	6.4	105.10	10.5	111.56	239.44	87.00	112.63
El mango	9	3.6	30.00	3.0	103.33	212.22	73.88	147.77
El Modelo	8	3.2	37.35	3.8	96.75	245.63	43.13	48.13
Fco. I. Madero	5	2.0	11.25	1.1	92.00	262.00	59.60	59.60
Hatito	19	7.6	83.00	8.2	100.68	211.05	151.21	150.95
Loma del Nanche	4	1.6	21.00	2.0	102.75	229.50	229.50	229.50
La Antigua	3	1.2	11.00	1.1	100.00	167.33	62.33	90.66
La Barra	9	3.6	16.75	1.6	100.56	350.44	55.33	79.77
La Ceiba	5	2.0	17.25	1.7	98.00	155.80	72.20	72.20
La Posta	6	2.4	24.75	2.4	90.83	263.50	73.66	110.33
La Víbora	13	5.2	59.25	5.8	99.62	294.15	41.00	61.77
Nicolas Bravo	8	3.2	13.30	1.3	93.13	258.50	76.00	102.25
Puente Jula	8	3.2	26.57	2.6	107.63	246.75	78.63	112.38
Paso de Ovejas	6	2.4	30.75	3.0	102.50	206.50	83.16	119.83
Plan de Manantial	10	4.0	28.50	2.8	105.00	216.00	96.50	130.50
Salmoral	27	10.8	123.50	12.2	96.07	212.33	65.78	87.40
T. Colorada	6	2.4	45.25	4.5	111.00	147.33	104.83	124.00
Tamarindo	9	3.6	47.25	4.6	106.00	292.00	77.56	120.33
Tolome	5	2.0	19.00	1.9	98.00	169.60	79.00	119.00
Úrsulo Galván	16	6.4	39.25	3.9	95.81	261.06	73.50	90.06
Media	250	100.0	1010.5	100.0	100.01	247.44	85.43	106.67

ANEXO 12. PRIORIDAD EN LA ATENCIÓN DE LAS PROBLEMÁTICAS DE TIPO TÉCNICO-PRODUCTIVO POR PARTE DE LOS INGENIOS LA GLORIA Y EL MODELO.



14. RESEÑA FOTOGRÁFICA



