



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ

POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**CONTAMINACIÓN DEL AGUA CON NITRATOS Y NITRITOS Y SU IMPACTO
EN LA SALUD PÚBLICA EN LA ZONA DE INFLUENCIA DEL
MÓDULO DE RIEGO (I-1) LA ANTIGUA, VER. MÉXICO**

ITZEL GALAVIZ VILLA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS

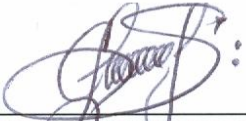
Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz.


2010


La presente tesis, titulada: **Contaminación del agua con nitratos y nitritos y su impacto en la salud pública en la zona de influencia del Módulo de Riego (I-1) La Antigua, Ver. México** realizada por la alumna: **Itzel Galaviz Villa**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:


**DOCTORA EN CIENCIAS
AGROECOSISTEMAS TROPICALES**

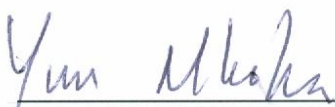
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
DR. CESÁREO LANDEROS SÁNCHEZ

ASESOR: 
DRA. MA. DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ

ASESOR: 
DR. JUAN PABLO MARTÍNEZ DÁVILA

ASESOR: 
DR. ARTURO PÉREZ VÁZQUEZ

ASESOR: 
DR. IOURII NIKOLSKII GAVRILOV

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Ver. 5 de Octubre de 2010.

CONTAMINACIÓN DEL AGUA CON NITRATOS Y NITRITOS Y SU IMPACTO EN LA SALUD PÚBLICA EN LA ZONA DE INFLUENCIA DEL MÓDULO DE RIEGO (I-1)

LA ANTIGUA, VER.

Itzel Galaviz Villa, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2010.

La contaminación de las aguas emerge como una consecuencia de los asentamientos humanos y de las actividades rurales, agrícolas, silvícolas e industriales en una región. Se ha encontrado que al incrementarse el uso de fertilizantes nitrogenados también se produce un mayor impacto contaminante en las aguas. Los nitratos y nitritos disueltos en agua subterránea, destinada al consumo humano, ocasionan efectos negativos en la salud, tales como; la producción de nitrosaminas (causa del cáncer) y la disminución de la capacidad de transporte de oxígeno por la sangre, conocida como síndrome del bebe azul. El objetivo del presente estudio fue determinar la relación entre la concentración de nitratos y nitritos disueltos en el agua de consumo humano, y la incidencia de cáncer de esófago y estómago en la población aledaña a las zonas cañeras del Módulo de Riego I-1 La Antigua, Ver. La investigación se realizó en un área aproximada de 1,000 ha. Se empleó la técnica de encuesta y se elaboró un cuestionario que fue aplicado a una muestra de 130 productores rurales. Se identificaron las fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano y se realizó un muestreo de agua por época (estiaje, lluvias y nortes), de marzo a septiembre de 2009. En éstas, se determinó, de acuerdo a las normas oficiales mexicanas, la concentración de nitratos y nitritos disueltos. Las concentraciones máximas de nitratos en aguas superficiales, subterráneas y envasadas fueron de 2.9, 7.7, 7.5 mgL⁻¹, respectivamente. Se identificaron 45 casos de cáncer de estómago y esófago, distribuidos en los municipios de La Antigua, Manlio Fabio Altamirano, Paso de Ovejas, Puente Nacional y Úrsulo Galván. Se encontró una correlación de $r = 0.46$ ($p < 0.05$) entre el factor de Uso Racional de Nitrógeno (URN) en el cultivo y el número de casos de cáncer registrados en la zona de estudio.

Palabras clave: agroecosistemas, fertilizantes nitrogenados, contaminación del agua, cáncer.

WATER CONTAMINATION BY NITRATES AND NITRITES AND ITS IMPACT ON
PUBLIC HEALTH IN AREAS INFLUENCED BY THE MODULO DE RIEGO (I-1)

LA ANTIGUA, VER.

Itzel Galaviz Villa, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2010.

The water pollution has emerged as a consequence of human settlements and the rural, agricultural, forestry and industrial activities of any region. It has been found that increasing use of nitrogen fertilizer also produces a greater impact in water quality. Nitrates and nitrites that are dissolved in groundwater used for human consumption, cause adverse health effects, such as the production of nitrosamines (cancer), and a decrease of the oxygen carrying capacity of the blood, known as the blue baby syndrome. The aim of this study was to determine the relationship between the concentration of dissolved nitrates and nitrites in drinking water, and the cases of cancer in the population living in areas influenced by the “Modulo de Riego (I-1)”. This research was carried out in an area of 1,000 ha. A survey was applied to a sample of 130 farmers. Sources of drinking water supply were identified and sampled once in each of the following seasons: dry, rainy and windy, from March to September 2009. Nitrates and nitrites concentration were determined from these water samples, according to Mexican Official standards. The maximum concentrations of nitrate in surface, ground and bottled water were 2.9, 7.7 and 7.5 mgL⁻¹ respectively. A number of 45 cases of stomach and esophagus cancer were identified, which were distributed in the municipalities of La Antigua, Manlio Fabio Altamirano, Paso de Ovejas, Ursulo Galvan and Puente Nacional. A correlation of $r = 0.46$ ($p < 0.05$) was found between the Rational Use factor of Nitrogen (RUN) in sugar cane and the number of cancer cases recorded for studied area.

Key words: agroecosystems, nitrogen fertilizers, water pollution, cancer.

AGRADECIMIENTO

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada durante el periodo de enero de 2007 a junio 2010 para realizar mis estudios de doctorado en el Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, por permitirme formar parte de su programa de postgrado en Agroecosistemas Tropicales.

Al Dr. Cesáreo Landeros Sánchez, por fungir como mi Profesor Consejero, y por hacer posible mi participación en el proyecto de investigación.

A la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Boca del Río, por las facilidades brindadas en el desarrollo experimental de esta investigación.

A la Dra. Ma del Refugio Castañeda Chávez, por impulsarme siempre a ser mejor profesionista y ser humano.

Al Dr. Juan Pablo Martínez Dávila, por su tiempo, apoyo y asesorías, por ayudarme a comprender que una buena educación se obtiene cuando se fomenta el desarrollo del pensamiento.

A los miembros de mi Consejo Particular por todo su apoyo y confianza a lo largo de mi formación profesional.

A mis amigos y compañeros de generación por enseñarme a trabajar en equipo.

A Laura, Faby, Rosario y al Sr. Andrés, por su amabilidad y disponibilidad para hacernos las cosas más llevaderas y sencillas.

Al personal directivo y operativo del Módulo de Riego (I-1) La Antigua, por su colaboración y apoyo en la realización de este proyecto.

A toda mi familia, gracias.

A mi amigo Gonzalo (QEPD)

*Todos nacemos con un ángel de la guarda,
pero pocos lo conservamos...*

- F. Cabral -

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	3
2.1 Modelo teórico conceptual para el análisis del agroecosistema cañero y los efectos del manejo inadecuado de fertilizantes nitrogenados en la salud humana.....	3
2.1.1 Definición del concepto de agroecosistema.....	3
2.1.2 Objetivo del modelo de análisis.....	4
2.1.3 Filosofía y organización.....	4
2.1.4 Premisas teóricas.....	5
2.1.5 Bases conceptuales y metodológicas del modelo.....	7
2.2 Agroecosistema (AES) y sustentabilidad.....	11
2.2.1 El Agua en el agroecosistema.....	12
2.2.2 Agua superficial y subterránea.....	14
2.2.3 Acuífero.....	15
2.2.3.1 Acuífero de la zona costera de Veracruz.....	16
2.2.3.2 Vulnerabilidad de contaminación de un acuífero.....	17
2.2.4 Agua Purificada.....	18
2.3 El agroecosistema con caña de azúcar.....	20
2.3.1 Importancia socioeconómica del cultivo de caña de azúcar.....	21
2.3.2 Prácticas agrícolas para la producción de caña de azúcar.....	22
2.4 Compuestos nitrogenados.....	24
2.4.1 Fuente y uso de los fertilizantes nitrogenados en la agricultura.....	25
2.4.2 Formas y movilización de los nitratos y nitritos en el ambiente.....	25
2.4.3 Proceso de lixiviación de nitratos en suelos agrícolas.....	26
2.4.4 Los nitratos y la salud humana.....	29
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	32
4. HIPÓTESIS	35
4.1 General.....	35
4.2 Específicas.....	35
5. OBJETIVOS	36
5.1 General.....	36
5.2 Específicos.....	36
6. MARCO DE REFERENCIA	37
6.1 Área del estudio.....	37
6.1.1 Condiciones ambientales.....	37
6.1.2 Hidrología.....	38
6.1.3 Topografía.....	38

6.1.4 Fuentes de abastecimiento de agua.....	39
6.1.5 Población.....	39
6.1.6 Actividades productivas de la zona.....	39
6.1.6.1 Ingenio El Modelo.....	40
6.1.6.2 Ingenio La Gloria.....	40
7. MATERIALES Y MÉTODOS.....	41
7.1 Delimitación del área de estudio.....	41
7.1.1 Ubicación de los puntos de monitoreo.....	39
7.2 Diagnóstico de manejo del agroecosistema y de la salud humana.....	44
7.2.1 Entrevista a informantes clave.....	44
7.3 Periodicidad de monitoreo y análisis.....	44
7.4 Colecta y transporte de muestras al laboratorio.....	45
7.5 Determinación de la concentración de nitratos y nitritos.....	45
7.6 Determinación de casos de cáncer.....	46
7.7 Análisis estadísticos.....	46
7.7.1 Relación estadística de las concentraciones de nitratos y los casos de cáncer.....	46
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
8.1 Identificación del manejo del agroecosistema con caña de azúcar.....	47
8.2 Identificación del manejo del agua.....	54
8.3 Salud humana.....	55
8.3.1 Registro de casos de cáncer en México.....	55
8.3.2 Casos de cáncer en área de influencia del Módulo de Riego (I-1)...	56
8.4 Determinación de nitratos y nitritos.....	58
8.4.1 Agua subterránea.....	58
8.4.2 Agua superficial.....	62
8.4.3 Agua envasada.....	64
8.5 Correlación estadística: nitratos y casos de cáncer.....	66
9. CONCLUSIONES.....	69
10. LITERATURA CITADA.....	70

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Ingesta diaria admitida (IDA) de nitratos y nitritos para el ser humano.	31
Cuadro 2. Tipos de muestras analizadas por puntos y localidades de muestreo.....	41
Cuadro 3. Principales épocas existentes en un ciclo anual en el Estado de Veracruz (Farías, 1991).	45
Cuadro 4. Protocolos empleados para el análisis fisicoquímico de las muestras.....	46
Cuadro 5. Información general obtenida de la aplicación del cuestionario a los productores.....	47
Cuadro 6. Tipos de fertilizante aplicado y cantidad de nitrógeno contenido en la mezcla.....	48
Cuadro 7. Casos de cáncer de estómago y esófago por localidad; edad y sexo, de habitantes diagnosticados.....	58
Cuadro 8. Frecuencias de casos de cáncer y número de productores por estrato de aplicación de nitrógeno.....	67
Cuadro 9. Frecuencias de casos de cáncer de acuerdo al Factor de Uso Racional de nitrógeno (URN) por estratos.....	68

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Modelo teórico-conceptual para el análisis del agroecosistema cañero y los efectos del manejo inadecuado de fertilizantes nitrogenados en la salud humana.....	10
Figura 2. Representación de las formas y movilización de compuestos nitrogenados en un agroecosistema con caña de azúcar.....	27
Figura 3. Problemática de la aplicación inadecuada de fertilizantes nitrogenados en el agroecosistema con caña de azúcar, y alternativas de solución.....	32
Figura 4. Ubicación geográfica del Módulo de Riego (I-1) La Antigua, Ver...	37
Figura 5. Superficie total del Módulo de Riego (I-1) La Antigua, Ver Delimitación de la zona de estudio.....	42
Figura 6. Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo de aguas superficiales, subterráneas y envasadas, en el área de estudio (Módulo de Riego I-1 La Antigua)	43
Figura 7. Frecuencia en el uso de diferentes tipos y combinaciones de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de caña de azúcar.....	48
Figura 8. Periodos, dosificación y frecuencia de fertilización en el agroecosistema con caña de azúcar.....	49
Figura 9. Clasificación del uso racional del nitrógeno en diferentes localidades del área de estudio.....	51
Figura 10. Comparativo de frecuencias de acuerdo al seguimiento de las recomendaciones del ingenio, asesoría técnica, uso racional del nitrógeno y conciencia ecológica de los productores, en el cultivo de caña de azúcar.....	53
Figura 11. Tipos de agua empleada por los productores para el consumo humano en la zona de estudio.....	54
Figura 12. Porcentaje de defunciones por tumores malignos y por sexo, según año de ocurrencia, 1998-2007. Fuente: INEGI. Estadística vitales, 1998-2007. Base de datos.....	54
Figura 13. Número de casos de cáncer de estómago y esófago detectados en habitantes de la región del sotavento y zona de influencia del Módulo de Riego (I-1) La Antigua, durante el periodo 2004-2009.....	57
Figura 14. Concentración media de nitratos (N-NO ₃ mgL ⁻¹) por localidad y por época, en agua subterránea.....	59
Figura 15. Análisis de varianza (p<0.05) de las concentraciones de nitratos (N-NO ₃ mgL ⁻¹) en agua subterránea, de las localidades de estudio.....	60
Figura 16. Análisis de varianza (p<0.05) de las concentraciones de nitritos en agua subterránea, en las diferentes localidades de estudio.....	61

Figura 17.	Análisis de varianza ($p < 0.05$) de las concentraciones de nitratos ($\text{N-NO}_3 \text{ mg L}^{-1}$) por época, en agua superficial.....	62
Figura 18.	Concentración media de nitratos ($\text{N-NO}_3 \text{ mgL}^{-1}$) por punto y por época, en agua superficial.....	63
Figura 19.	Análisis de varianza ($p < 0.05$) de las concentraciones de nitritos ($\text{N-NO}_2 \text{ mgL}^{-1}$) por época, en agua superficial.....	64
Figura 20.	Concentraciones máximas de nitratos ($\text{N-NO}_3 \text{ mgL}^{-1}$) en diferentes marcas de agua envasada distribuidas en la zona de estudio.....	65
Figura 21.	Análisis de varianza entre tipos de cáncer y concentración de nitratos en agua envasada.....	66

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso indispensable para la vida en el planeta y esencial para el desarrollo económico y social de cualquier país del mundo. En la actualidad, México es un país con baja disponibilidad de agua, ubicándose en el lugar 81 a nivel mundial. Para lo cual, destina el 75% del consumo hídrico del país en el desarrollo de actividades agropecuarias, y el resto, para uso público e industrial (INEGI, 2006).

El estado de Veracruz, ha sido considerado como una de las entidades de gran diversidad biológica y social; rico en población, en territorio, en recursos naturales y en actividad agropecuaria, forestal y pesquera (Borja *et al.*, 1995). Sin embargo, sus cuerpos de agua son receptores del drenaje agrícola y de aguas negras no tratadas o tratadas parcialmente, las cuales poseen niveles altos de minerales y compuestos orgánicos, además de residuos de plaguicidas y fertilizantes (EPA, 2004).

De acuerdo con Stigter *et al.*, (2005), el impacto de la agricultura en la calidad del agua superficial y subterránea puede determinarse por las cantidades de fertilizantes aplicados, los cuales junto con la irrigación provocan la salinización y la contaminación del agua con nitratos. El grado de contaminación dependerá de factores hidrogeológicos así como de la intensidad de las prácticas agrícolas. De tal forma, que la amenaza de contaminación del agua subterránea se incrementa en suelos arenosos bajo riego, ya que los contaminantes con elementos muy móviles como los nitratos (NO_3^-) son fácilmente lixiviados. No obstante, el aporte de nitratos en la agricultura no solo se debe a la aplicación de fertilizantes nitrogenados, sino también a la mineralización del nitrógeno orgánico (Landeros *et al.*, 2000). El potencial contaminante de ésta actividad en el ambiente ha sido evidenciado y constatado por una cantidad considerable de estudios, encontrándose que al intensificarse la actividad agrícola también se produce un mayor impacto contaminante sobre las aguas superficiales y subterráneas (Lucey y Goolsby, 1993; Richards *et al.*, 1996; Landeros *et al.*, 2000).

La movilidad y concentración de los nitratos en los suelos, es de vital importancia en términos de salud humana y ambiental. Lo cual es posible evaluar por medio del

estudio de indicadores abióticos, bióticos, culturales y sociales (salud humana), cuya base conceptual está fundamentada en el propósito de la actividad productiva (Bertollo, 1998).

2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1 Modelo teórico-conceptual para el análisis del agroecosistema cañero y los efectos del manejo inadecuado de fertilizantes nitrogenados en la salud humana

En esta sección se hará una breve argumentación sobre la definición e interpretación del concepto de agroecosistema; y de algunos elementos teórico-filosóficos de corrientes de pensamiento como: el materialismo dialéctico e histórico (Marx y Engels), el humanismo (Edgar Morin), el pensamiento complejo (Rolando García), el pensamiento sistémico (Enrique Herrscher) y el estructural funcionalismo (Manuel Parra). Aún cuando estas corrientes difieren en algunos de sus principios, cada una aporta elementos importantes que ayudan a conformar y explicar los alcances y limitaciones de éste Modelo de Análisis del Agroecosistema cañero, de una manera menos reduccionista.

2.1.1 Definición del concepto de Agroecosistema

De acuerdo con Conway (1985), un agroecosistema (AES) es un ecosistema modificado por el hombre, quien en su interacción con el medio provee la labor, y determina el manejo. Aún cuando definirlo parece sencillo, la complejidad de la conceptualización de AES aumenta conforme se incluyen en esta interacción aspectos biológicos, político-sociales, culturales y económicos. Describir un agroecosistema puede resultar tan complejo, como tratar de referir el producto de todas las posibles combinaciones de la interrelación hombre-medio ambiente.

Por lo anterior, de acuerdo con Martínez *et al.*, (2010), un agroecosistema es considerado un modelo conceptual; basado en el nivel mínimo de control del hombre sobre el medio ambiente, o resultado de un sistema complejo que posibilita gestar una visión integradora del universo. En otras palabras, un AES es una unidad óptima para el estudio de la agricultura, y para su propia transformación. Posee interferencias políticas y culturales, de instituciones públicas y privadas, para contribuir principalmente a la producción de alimentos, materias primas, y servicios ambientales que la sociedad demanda. De esta forma, según Martínez *et al.*, (2010), los objetivos del AES

dependen del tipo de controlador que lo regula, de los recursos que este maneja y de su interrelación con el medio ambiente.

2.1.2 Objetivo del Modelo de Análisis

Analizar un fragmento de la realidad, en un tiempo y espacio determinado, el cual pueda ser examinado con las herramientas adecuadas en la frontera del conocimiento; explicado de acuerdo al contexto y en dirección de las corrientes complejas, aun cuando sea de manera sucinta.

2.1.3 Filosofía y Organización

Este Modelo de Análisis se basa en varias corrientes filosóficas. Siendo una de ellas la corriente empírico inductiva. Pues coincide con esta, en el sentido de situar a la experiencia como origen del conocimiento, pero no como límite (Pérez-Tamayo, 2008). Donde el objeto de estudio es del tipo clásico (observable, medible, normativo, legista, etc.) desde hace aproximadamente 450 años. De esta forma, se toman en consideración la observación de los efectos medibles de la experiencia del productor como fuente explicativa del tipo de manejo que realiza sobre el AES, así como los efectos del mismo; y también, como fuente de conocimiento para el diseño de nuevas estrategias y paquetes tecnológicos, que podrían servir en algún momento (actualmente no lo hacen) al mejor cuidado y aprovechamiento del entorno.

Coincidiendo con la filosofía empirista, se emplea el punto de vista positivista, reconociendo como válido el conocimiento científico generado a partir de teorías y de la aplicación del método científico (Pérez-Tamayo, 2008). Por medio del cual, se planteó una pregunta de investigación, objetivos, hipótesis, y un diseño experimental; siendo éste, el modelo clásico de investigación científica desde Galileo.

Para obtener una visión más amplia e integral que sirva al estudio del AES (como sistema en sí, y como parte de un sistema mayor), se retoma la filosofía holista; que advierte sobre la importancia de apreciar los eventos desde la integralidad y su contexto. Se refiere a la manera de ver las cosas enteras, en su totalidad, en su

conjunto, en su complejidad, pues de esta forma se pueden apreciar interacciones, particularidades y procesos que por lo regular no se perciben si se estudian los aspectos que conforman el todo, por separado (Hurtado, 2000). Es necesario considerar al AES, y a los componentes que lo rodean, como un modelo dinámico para tratar de captar y comprender el funcionamiento en tiempo y espacio, del flujo de interacciones constantes entre cada uno de los componentes que se encuentran dentro y fuera de él; y que de alguna forma, se hallan ligados y se reorganizan constantemente.

Este Modelo de Análisis no concuerda con la filosofía dialéctica en promover el esfuerzo humano como elemento dominante de la naturaleza y del hombre mismo; como tampoco en no utilizar la racionalidad subjetiva para juzgar los actos y el modo de vivir del ser humano (Chávez, 2004). Por lo cual, se acepta como válido el criterio del investigador para obtener abstracciones de la realidad y dar explicación a lo observado durante el desarrollo de la investigación.

2.1.4 Premisas teóricas

Bajo la premisa de que la búsqueda del conocimiento complejo es producto de un continuo aprendizaje (positivista y dialéctico), una de las bases de este Modelo es la teoría de la complejidad propuesta por el humanista Edgar Morin (1988). Ésta se caracteriza como una teoría consciente de la complejidad de la realidad (producto de la interacción de lo biológico, físico, social y económico) y del surgimiento de lo imprevisto; tanto en lo concerniente al desarrollo de cualquier investigación, como en el proceso de aprendizaje y actuación de los sujetos (productores, investigadores, etc.) durante el mismo.

La teoría de la complejidad analiza la realidad como un tejido de eventos, de acciones, interacciones, retroacciones y determinaciones que constituyen nuestro alrededor. También presta atención al estudio de los “sistemas”, como resultado de la percepción de los objetos, fenómenos y procesos determinados, entendidos como aquellos que presentan características, cualidades o particularidades (Herrscher, 2005), tales como;

heterogeneidad de las partes (naturaleza diversa y múltiple), interacciones no lineales, riqueza de interacción entre ellas, carácter multidimensional y multirreferencial; y además, presentan comúnmente numerosas variables medibles. Esta teoría menciona que bajo una aparente estática o simpleza del medio, se ocultan frecuentemente la verdadera dinámica de dichos procesos, y las interacciones entre sus partes (Morin, 1988).

Otra de las teorías, que toma como fundamento este Modelo, es la estructural-funcionalista. La cual establece que los elementos de una determinada estructura social son interdependientes entre sí. Una variación en alguno de ellos, incide en los demás. Percibe a los sistemas como un conjunto ordenado de elementos, estáticos o dinámicos, interdependientes, que permanecen abiertos a la percepción de variables que pueden modificarlos (concuenda con la teoría de la complejidad). Los sistemas mantienen fronteras con sus ambientes, y su función es el logro de metas o fines. De acuerdo con la teoría sistémica de Parsons, la acción del actor se orienta unitariamente hacia un fin en un contexto situacional (Sevilla, 2006). Por otra parte, la teoría sistémica está íntimamente vinculada a la cibernética; la cual es la teoría del control y de la comunicación, conocida también; como la ciencia del gobierno y de la regulación de los sistemas (Herrscher, 2008). Por lo tanto, desde el punto de vista estructural-funcionalista, el productor (controlador, de acuerdo a la cibernética) siempre tratará de mantener un estado en función de las características de su contexto, que es su ubicación en la sociedad; y un rol, que es la función (cañero) que cumple dentro de la misma; sociedad a la cual, también pertenecen las instituciones públicas y privadas, asociaciones, etc.

Con esta perspectiva, el tipo de manejo que el productor decida aplicar sobre el AES, dependerá de su bagaje cultural, del producto de las interrelaciones que mantenga con el sector social al cual pertenece, y de la influencia que ejerzan sobre él otras organizaciones en las que participe (instituciones de investigación, asociaciones, etc.). Determinando con ello, la salud y productividad del agroecosistema cañero. Al tomar como base la filosofía dialéctica mezclada cuidadosamente con modelos teóricos

estructural funcionalistas, se tienen evidencias de un pequeño paso hacia la construcción de una teoría de la complejidad ecléctica. El estatus o rol que desempeña el ser humano dentro de la sociedad y del entorno, dependerá del proceso de aprendizaje continuo durante el cual, cada individuo, se apropia de capacidades, conocimientos, experiencias, habilidades y hábitos a través de la acción e interacción con el medio externo (sociedad, medio ambiente, etc.). Lo que como un todo, va conformando progresivamente el desarrollo de la personalidad del sujeto (productor, investigador, etc.), y con ello, el cambio continuo del medio (sistema).

Lo anterior, de acuerdo con Rolando García (1986), corresponde a problemáticas complejas, donde están involucrados el medio físico-biológico, la producción, la tecnología, la organización social, la economía y la política. Situaciones que se caracterizan por la confluencia de múltiples procesos cuyas interrelaciones constituyen la estructura de un sistema que funciona como una totalidad organizada la cual se denomina “sistema complejo”.

La consecuencia de emplear una perspectiva sistémica en este Modelo de Análisis de la realidad fenomenológica, hermenéutica y dialéctica, es lo que hace posible ver al agroecosistema ya no con un fin predeterminado (por alguien), como se plantea en los esquemas tradicionales, sino que puede tener diversos fines en función de la forma cómo los productores, asociaciones, ingenio, etc., la vean; surgiendo así la variedad interpretativa. Estas visiones estarán condicionadas por los intereses y valores que posean los involucrados (productores asociaciones, etc.), donde debería existir un interés común centrado en la necesidad de atender las problemáticas complejas (Herrscher, 2005) para lograr la supervivencia del agroecosistema.

2.1.5 Bases Conceptuales y Metodológicas del Modelo

Este Modelo de Análisis del AES (Figura 1) hace coincidir a la filosofía dialéctica y la teoría del materialismo histórico, en un intento de eclecticidad creativa, en el establecimiento de categorías en las que es posible identificar el proceso productivo (productor), las asociaciones (relaciones sociales de producción) e instituciones de

investigación públicas y privadas (relaciones jurídicas, políticas e ideológicas); cuya sinergia culmina en la producción (inmediata y global) de aquello que demanda la sociedad (Parra *et al.*, 1984). Sin embargo, el modelo evade la concepción materialista (injusta y opresora) de la historia, donde la división de los hombres en clases sociales es base de la producción y economía del Estado; la cual ha impedido la intervención de la clase trabajadora en la industrialización de sus productos y además, su participación en los beneficios económicos generados por su esfuerzo.

Aun, cuando tradicionalmente el procedimiento adecuado para abordar cualquier problema de investigación desde su totalidad es el método dialéctico; otro punto de partida en la constante búsqueda de la verdad, es el pensamiento sistémico. El cual emplea la percepción del mundo real en términos de totalidades para su análisis y comprensión, a diferencia del planteamiento del método científico, que sólo percibe partes de éste y de manera inconexa. El pensamiento sistémico permite explorar los sistemas socio-culturales intencionales (productores de caña de azúcar) bajo un punto de vista que describe colectivamente el sistema social en su totalidad, y donde la generación y la distribución de la riqueza se puede distribuir de forma equitativa en un contexto de interdependencia, auto-organización y libertad de elección (Gharajedaghi, 2005).

Por tanto, este Modelo de Análisis emplea el enfoque sistémico-metodológico a partir de que el objeto de estudio es un conjunto de partes interdependientes. Caracterizado porque su estructura y sus funciones lo distinguen del medio ambiente en el que está inmerso, y permite establecer relaciones entre los diversos componentes, sistemas y subsistemas (Lilienfeld, 1984) en una dinámica conflictiva y a veces contradictoria. Metodológicamente, trata de entender fenómenos bajo la integración de corrientes teóricamente contrarias (en este caso) tal como lo hace Trebuil (1990), donde en un modelo dialéctico inserta un elemento estructural funcionalista (el agroecosistema) sin que el nuevo modelo en general pierda capacidad explicativa, al contrario; el análisis se enriquezca, aun cuando supuestamente eso no debía ocurrir o tal vez, el pensamiento complejo tendrá que hacerlo así para aprovechar los potenciales para explicar mejor el

mundo. Este Modelo concibe la integración en cada uno de los fenómenos que surgen en diferente nivel jerárquico (Trebuil, 1990); sin que el término jerárquico denote necesariamente una relación de poder, sino una subordinación puramente clasificatoria (Herrscher, 2005). En la cual, se pueden observar todos los sistemas existentes bajo la idea unificadora de la realidad y de los objetos (recursividad) (Johansen, 2004). Además, esta metodología también es dinámica, porque reconoce que la evolución agroecológica está en función de procesos socio-económicos, vistos desde un enfoque interdisciplinario (Trebuil, 1990).

Debido a la naturaleza de este Modelo de Análisis, se requiere del empleo de algunas herramientas metodológicas inductivas y deductivas para obtener un diagnóstico del AES lo más cercano a la realidad; estas herramientas son asociadas generalmente a la investigación cualitativa y cuantitativa, respectivamente. La investigación cuantitativa es empleada para recoger y analizar datos cuantitativos sobre variables (p. ej. concentración de NO_3 y NO_2 en el agua); y la investigación cualitativa para llevar registros narrativos de los fenómenos que son estudiados mediante técnicas como la observación participante, y entrevistas semi estructuradas (p. ej. entrevistas a informantes clave para el establecimiento de criterios de investigación). De esta forma, la metodología cuantitativa estudia la asociación o relación entre variables numéricas, y la cualitativa lo hace en contextos estructurales y situacionales (Pita y Pértegas, 2002).

En este, como en otros modelos que han sido propuestos para el análisis del desarrollo agrícola, el ser humano se ubica como “controlador” (agricultor, consejo de administración de la organización campesina o empresarial). En este sentido, es el protagonista central, el que recibe los estímulos (positivos o negativos) del exterior y del interior de su unidad productiva, y a partir de ello procesa información propia de su bagaje cultural y sesgo sociológico. Basado en estos procesos, el controlador realiza la toma decisiones acerca de que fertilizante usar, como, cuanto y cuando aplicarlo. En síntesis, determina la racionalidad de manejo (Martínez, 1997).

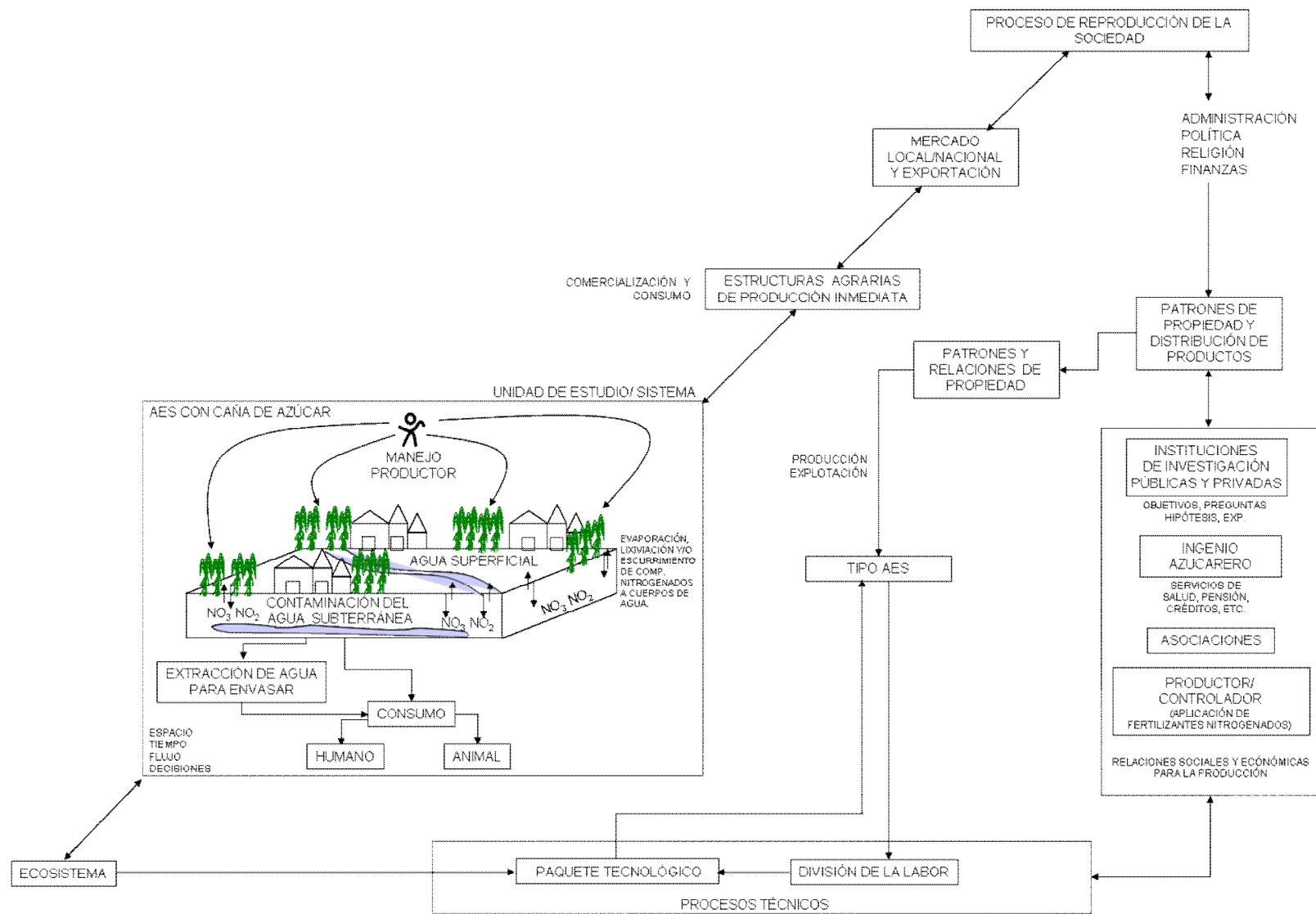


Figura 1. Modelo teórico-conceptual para el análisis del agroecosistema cañero y los efectos del manejo inadecuado de fertilizantes nitrogenados en la salud humana.

El establecimiento de las fronteras jerárquicas de este Modelo de Análisis son una modificación de la propuesta dialéctica-marxista de Parra *et al.*, (1984); que parte de la existencia de un ecosistema que se transforma o modifica por acción del controlador hasta llegar a un nivel (mayor) socioeconómico global. Al incorporar lo anterior, a los elementos obtenidos de la conceptualización estructural funcionalista del sistema agrario de Trebuil (1990), se identifica al agroecosistema junto con algunas variables y relaciones entre elementos que logran integrar un Modelo de Análisis del agroecosistema cañero con categorías e interacciones socio-productivas ordenadas bajo una misma jerarquía clasificatoria. De esta forma, este Modelo de Análisis expone la posibilidad de que los enfrentamientos teóricos tiendan a diluirse para proponer teorías más incluyentes que ayuden a explicar mejor la realidad, que cuando se emplea cualquiera de ellas por separado. Los criterios aquí propuestos plantean evidencias del inicio de una pequeña parte de la construcción de la complejidad en sus planteamientos teóricos.

2.2 Agroecosistema (AES) y Sustentabilidad

En la última década del siglo XX ha existido una constante preocupación con respecto a la salud y protección del ambiente, debido particularmente a la contaminación química del agua y los alimentos; lo cual ha sido relacionado con el mal uso y manejo de agroquímicos en los cultivos, constituyendo un peligro para la salud humana por su acumulación en los organismos, recursos naturales y el ambiente (FAO, 2000).

Sustentabilidad es un concepto que se refiere al equilibrio que debe existir entre los recursos que aporta el ecosistema y el aprovechamiento que el ser humano hace de los mismos (Palomo *et al.*, 2007). Con los años la sustentabilidad ha llegado a ser más que un término, ya que evoca una multiplicidad de procesos que la componen y una nueva forma de pensar en la cual los seres humanos, la cultura y la naturaleza, se integran. De esa visión centrada en la integralidad y debido al deterioro del medio ambiente y a otros aspectos vinculados con la calidad de vida del ser humano, se ha transitado hacia el concepto de “agricultura sustentable”. Dentro de las muchas definiciones, la Sociedad Americana de Agricultura (1989) cita lo siguiente: “una

agricultura sustentable es aquella que, a largo plazo, promueve la calidad del medio ambiente y los recursos base de los cuales depende la agricultura; provee las fibras y alimentos necesarios para el ser humano; es económicamente viable y mejora la calidad de vida de los agricultores y la sociedad en su conjunto”. El cumplimiento de este objetivo, debe realizarse de tal forma que la combinación de componentes, tanto del ecosistema (bióticos y abióticos) como los sociales (socioeconómicos y productivos), encuentren un equilibrio que permita a la naturaleza mantenerse y renovarse así misma (Bertollo, 1998); promoviendo la salud de la naturaleza, del hombre, y del agroecosistema en su conjunto, es decir, de manera sustentable.

Como parte de los compromisos firmados por México durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, se adoptó la denominada Agenda 21 documento normativo con la perspectiva de alcanzar un “desarrollo sustentable” en todos los ámbitos (Declaración de Río de Janeiro, 1992). El cual reconoce que el uso intensivo de los fertilizantes está relacionado con la eutrofización de los cuerpos de agua, la acidificación del suelo y la contaminación del agua con nitratos (Gallardo y Vallejos, 1999). Además, dentro de los conceptos modernos de producción, denominados “Buenas Prácticas Agrícolas”, se garantiza que los productos de consumo humano cumplan los requisitos mínimos de inocuidad, seguridad de los trabajadores, rastreabilidad de los alimentos de origen agrícola, así como la sustentabilidad ambiental; contribuyendo a proteger la salud de los consumidores (Siller *et al.*, 2002) y del ecosistema.

2.2.1 El Agua en el Agroecosistema

El agua es un componente de nuestra naturaleza que ha estado en la Tierra desde hace más de 3,000 millones de años. Hoy ocupa tres cuartas partes de la superficie del planeta. Alrededor del 98% de este recurso corresponde a agua salada que se encuentra en mares y océanos. El agua dulce que existe en el planeta corresponde en un 69% a glaciales y nieves perpetuas, un 30% está constituida por aguas subterráneas, y una cantidad no mayor a 0.7% se encuentra en lagos y ríos.

El agua es un recurso indispensable para la vida en el planeta y esencial para el soporte y desarrollo social y económico de cualquier nación o país. Debido, en gran parte, a que a que las actividades humanas y de producción dependen de la utilización de los recursos naturales, principalmente del agua.

En la actualidad, ante la magnitud del problema de escasez y contaminación del agua en el país, el presidente de México Felipe Calderón Hinojosa, señaló que es urgente que todos los sectores del país integren, a través del diálogo y el debate, una agenda que coloque al vital líquido como tema central y prioritario, incluso, como un asunto de seguridad nacional (Sala de prensa Gobierno Federal, 2010). El agua dulce se ha convertido en un tema que es necesario atender para asegurar la sustentabilidad del país. Debido al uso inadecuado y el desequilibrio que se tiene por la escasez en la región norte del país, y el exceso de agua en el sureste de México (CULCyT, 2008).

La gestión sostenible del agua es, hoy en día, una prioridad hemisférica y mundial. Existe un consenso de que el manejo de los recursos hídricos no sólo se relaciona con la protección de un recurso natural para salvaguardar ecosistemas, y mantener condiciones ambientales; sino también como un medio para anticipar y evitar conflictos, en la medida que se materializan las amenazas respecto a la producción de alimentos y energía; y se amplían e intensifican los problemas de pobreza y salud (FAO, 2002). Países miembros de la OEA, acuerdan que más allá de la escasez o abundancia de agua, o el carácter complejamente impredecible de su comportamiento, muchos de los problemas que afectan al sector están relacionados con cuestiones de gobernabilidad. En este sentido, existe un creciente esfuerzo por parte de los países para buscar establecer un marco legal, político e institucional adecuado para regular el desarrollo y la gestión de los recursos hídricos. A fin de respaldar estos esfuerzos, la Unidad de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente de la Organización de los Estados Americanos (OEA/UDSMA) proporciona a los países miembros mecanismos para el diálogo y la cooperación intergubernamental (especialmente en cuestiones transfronterizas); y promueve el intercambio de información, experiencias; y ayuda a diseñar, formular y

ejecutar proyectos relacionados con la gestión integrada de los recursos hídricos y el desarrollo de cuencas hidrográficas (Asociación Mundial del Agua, 2002).

2.2.2 Agua superficial y subterránea

Las fuentes de abastecimiento de agua dulce son tanto superficiales como subterráneas. En el primer caso se trata de cuerpos de agua como lagos, lagunas, presas y corrientes, en tanto que las fuentes de agua subterránea son mantos acuíferos constituidos por arena, grava o roca que contiene agua. Existen interconexiones entre los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, así como cuerpos de agua superficiales naturales que integran cuencas hidrológicas, las cuales representan sistemas ecológicos en los que los escurrimientos principales están interconectados (confluyen en lagos si la cuenca es cerrada, o al mar, si es abierta), lo cual es relevante para cualquier intento de uso racional de este recurso.

México posee 314 cuencas hidrológicas en las cuales fluyen los numerosos ríos y arroyos del país. La Comisión Nacional del Agua (CNA), ha agrupado a tales cuencas en 37 regiones hidrológicas para hacer más eficaz la administración de los recursos hidráulicos, y a su vez, en 13 regiones mayores de tipo administrativo para facilitar la creación de organismos de cuenca como parte de los esfuerzos de descentralización de funciones. La agrupación de las cuencas se basa principalmente en rasgos orográficos e hidrográficos. De tal manera que cada región hidrológica se distingue por su tipo de relieve y escurrimientos, presentando características similares en su drenaje. Las diversas cuencas hidrológicas del país son alimentadas principalmente con el 28% de los escurrimientos de agua de lluvia que se precipita anualmente sobre el territorio nacional, el 72% restante retorna a la atmósfera mediante fenómenos de evaporación y transpiración. Cabe señalar que la precipitación pluvial que recibe el país es irregular, tanto espacial como temporalmente. La mitad del promedio anual de precipitaciones se registra en el sureste y parcialmente en el centro y Pacífico central, extensión que equivale al 30% del territorio nacional, y en contraste, sólo un 30% del volumen medio anual de las precipitaciones se presenta en la mitad norte del territorio nacional (CNA, 2009).

Las aguas subterráneas son una de las principales fuentes de suministro para uso doméstico y para el riego en muchas partes del mundo (Celis, 2009). Una de las principales dificultades del estudio del agua subterránea es que ésta no puede verse directamente en el subsuelo y, en ocasiones, ocurre en ambientes complejos. El agua subterránea es parte de la precipitación que se filtra a través del suelo hacia los estratos porosos y en ocasiones los satura de agua. Se mueve lentamente hacia los niveles bajos, generalmente en ángulos inclinados, debido a la gravedad. Eventualmente, las corrientes de agua subterránea, llegan a los manantiales, los arroyos, lagos y océanos. Los factores responsables de la existencia del agua subterránea son la gravedad, que mueve al agua hacia el centro de la Tierra; y el tipo de rocas, que de acuerdo con su porosidad, almacenarán más o menos agua (IMTA, 2010).

2.2.3 Acuífero

La mayor parte de los espacios porosos de las rocas bajo el nivel freático están llenos de agua. Pero las rocas tienen una porosidad diferente y características permeables diferentes, lo que significa que el agua no se mueve de igual manera en todo tipo de rocas. El agua subterránea se encuentra normalmente empapando materiales geológicos permeables que constituyen capas o formaciones a los que se les denomina “acuíferos” (Hernández, 2009).

Un acuífero es aquella área bajo la superficie de la tierra donde el agua de la superficie (lluvia) percola y se almacena. A veces se mueve lentamente al océano por flujos subterráneos. Una formación acuífera viene definida por un muro y por un techo, que puede ser libre, semipermeable o impermeable. A través de pozos o galerías filtrantes se puede explotar esta masa de agua para consumo humano, agrícola o industrial. En muchos lugares en los que las precipitaciones son escasas e irregulares pero el clima es muy apto para la agricultura, son un recurso vital y una gran fuente de riqueza, ya que permiten cultivar productos apreciados en los mercados internacionales. De manera general, un acuífero es una unidad geológica saturada que contiene y

transmite agua, de tal manera que puede extraerse en cantidades económicamente aprovechables (IMTA, 2010).

Los acuíferos pueden distinguirse por la calidad del agua que existe en los mismos, cada acuífero tiene una determinada calidad natural que está íntimamente ligada a los tipos de terreno en que se encuentra, y por los estratos de suelo que ha viajado anteriormente. También influye el tiempo de permanencia durante el cual ha estado en contacto con los materiales de estos terrenos (Hernández, 2009).

2.2.3.1 Acuífero de la Zona Costera de Veracruz

El área que ocupa este acuífero abarca nueve municipios de los cuales uno está comprendido en su totalidad, y ocho de manera parcial. El primero corresponde a Veracruz, y los parciales son: Boca del Río, La Antigua, Jamapa, Manlio Fabio Altamirano, Medellín de Bravo, Paso de Ovejas, Puente Nacional y Soledad de Doblado. Las poblaciones de mayor importancia son Veracruz, Boca del Río, Soledad de Doblado, Manlio Fabio Altamirano, Medellín, Tejería y El Tejar (CNA, 2009).

En el acuífero costero de Veracruz, se han realizado diversos estudios hidrogeológicos, cuyo fin ha sido establecer las condiciones de funcionamiento del sistema acuífero y definir áreas susceptibles de incrementar las extracciones, entre otros aspectos. En 1973, la empresa Ariel Construcciones, S. A., efectuó en el acuífero costero de Veracruz, un estudio geohidrológico preliminar en donde se detectaron 456 aprovechamientos, de los cuales 119 correspondían a pozos y 334 a norias y tres manantiales, extrayendo un volumen anual de 68.7 mm³. En 1979, se realizó la actualización del estudio geohidrológico ya señalado, detectándose 51 pozos adicionales a los inventariados en 1973 de donde se pudo determinar una extracción de 95.6 mm³ anuales.

Durante 1980, la empresa Ariel Construcciones, S.A., desarrolló el estudio geohidrológico denominado zona Jamapa, detectando 535 aprovechamientos, de los que 196 correspondieron a pozos, 336 norias y 3 manantiales, mediante los que se

extraía un volumen de 92.04 mm³. En 1982, se realizó un nuevo estudio de evaluación geohidrológica cuyo resultado permitió conocer la disponibilidad del acuífero, estimando una extracción por bombeo de 92.04 mm³ anuales. En 1998, se llevó a cabo la actualización de inventario de aprovechamientos, donde se detectaron 440 obras, de las que 366 se encontraron en operación, con las que se determinó un volumen anual de extracción de 86.77 mm³ encontrándose que el municipio de Veracruz es donde se extrae el mayor volumen de agua (54.14 mm³).

La división hidrológica efectuada en el acuífero, permitió definir cuencas abiertas, cerradas y cuencas de menor extensión que descargan directamente al Golfo de México. En las primeras se distingue la cuenca del río La Antigua que ocupa una superficie de 604 km² con una longitud de 41 km. En esta se encuentra instalada una estación hidrométrica denominada Cardel, con una historia de registros de 1951 a 1996 (CNA, 2002).

2.2.3.2 Vulnerabilidad de Contaminación de un Acuífero

El término “vulnerabilidad de contaminación de un acuífero” está íntimamente ligado al concepto de “calidad del agua subterránea”, y puede definirse como la medida con la que un contaminante tiene acceso a las aguas subterráneas. La vulnerabilidad depende de las características naturales del sitio, especialmente del tipo de roca con la que está formado esa parte del suelo, de las propiedades químicas, físicas y biológicas del mismo, del volumen de precipitación y de la profundidad de los niveles freáticos (Beltrami, 2001). La determinación del grado de vulnerabilidad de un acuífero se lleva a cabo, normalmente, teniendo en cuenta un contaminante de tipo genérico. Pero bajo ciertas circunstancias, es necesario que este grado de vulnerabilidad se establezca en función de un contaminante o foco de contaminación específico, tal como las actividades agrícolas.

Las sustancias que modifican la calidad del agua de los acuíferos se dividen en: las presentes en la naturaleza y aquellas producidas por las actividades antropogénicas. Dentro de las primeras se encuentran: arsénico, flúor y elementos radiactivos, entre

otros (IMTA, 2010); mientras que en las segundas se incluyen la infiltración de nitratos y otras sustancias químicas muy solubles, provenientes de los fertilizantes agrícolas. Estos suelen ser una causa grave de contaminación de los suministros en llanuras de elevada productividad agrícola y densa población.

Otras fuentes de contaminantes son las descargas de fábricas, los productos agrícolas y los químicos utilizados por las personas en sus hogares y patios. Los contaminantes también pueden provenir de tanques de almacenamiento de agua, pozos sépticos, lugares con desperdicios peligrosos y vertederos. Actualmente, los contaminantes del agua subterránea que más preocupan son los compuestos orgánicos industriales, como disolventes, pesticidas, pinturas, barnices, o los combustibles como la gasolina. En cuanto a los abonos químicos minerales, los nitratos son los que generan mayor preocupación. Estos se originan de diferentes fuentes: la aplicación de fertilizantes, los pozos sépticos que no están funcionando adecuadamente, las lagunas de retención de desperdicios sólidos no impermeabilizadas, y la infiltración de aguas residuales o parcialmente tratadas (Pacheco *et al.*, 2004).

Las aguas subterráneas suelen ser más difíciles de contaminar que las superficiales, pero cuando esta contaminación se produce, es más difícil de eliminar. Esto sucede porque las aguas del subsuelo tienen un ritmo de renovación muy lento. Se calcula que mientras el tiempo de permanencia medio del agua en los ríos es de días, en un acuífero es de cientos de años, lo que hace muy difícil su descontaminación (Perdomo *et al.*, 2001).

2.2.4 Agua Purificada

El agua, usada principalmente para consumo humano, se extrae de los mantos acuíferos para someterse a diferentes procesos de purificación y cumplir los estándares de calidad que le confieren el nombre de agua purificada. Generalmente, estos estándares, son más estrictos que los que rigen el agua potable normal, debido a que es destinada a consumo humano directo (Aquaker, 2010).

Sólo las aguas minerales naturales pueden ser utilizadas en la producción de agua envasada. Por su naturaleza, son bacteriológicamente sanas, con origen en yacimientos subterráneos, y se obtienen por la salida natural de un manantial o por su extracción desde un acuífero. Su principal característica, es el contenido en minerales, oligoelementos y su pureza original. El agua de manantial se caracteriza por ser agua potable que surge de la tierra o se capta mediante instalaciones preparadas con ese fin. Es decir, es agua de elevada pureza a la que se le aplican tratamientos físicos necesarios para su consumo (Ambientum, 2001). Por lo anterior, el agua ha sido clasificada en; agua potable preparada, y la de abastecimiento público preparado. Las primeras proceden de manantial; y las segundas, provienen de los sistemas normales que abastecen a las poblaciones y potabilizadoras (Maseda, 2007).

En el artículo 29 del reglamento de la Ley General de Salud (1993) se define como agua potable aquella que es apta para el consumo humano, cuya ingestión no cause efectos nocivos a la salud, cuando se encuentra libre de gérmenes patógenos y de sustancias tóxicas, y cumpla además con los requisitos que se señalan en la norma correspondiente.

El agua purificada es producto de un tratamiento fisicoquímico y microbiológico, con el objeto de reducir al mínimo el número de bacterias nocivas y hacerla prácticamente incolora, inodora, agradable al paladar, cuyos rangos se encuentren dentro de los límites permisibles (Gurrola, 1995).

Un estudio científico recientemente publicado por el Consejo para la Defensa de los Recursos Naturales (NRDC, por sus siglas en inglés), establece que el agua embotellada que se vende en los Estados Unidos no es necesariamente más limpia, ni más segura para beber, que la mayoría de las aguas que salen de la llave. El estudio incluyó pruebas de más de 1.000 botellas de 103 marcas de agua embotellada. A pesar de que se encontró que la mayoría de las aguas examinadas eran de alta calidad, algunas marcas estaban contaminadas. Cerca de la tercera parte contenían algún nivel de contaminación incluyendo químicos orgánicos sintéticos, bacterias, y arsénico; y por

lo menos en una de las muestras se excedía el límite permitido por los estándares del estado o de la industria del agua embotellada (NRDC, 2007).

En México, en una publicación del diario El financiero (2008); la Asociación Nacional de Productores y Distribuidores de Agua Purificada calcula que el 77% de los hogares cuentan con agua potable. Sin embargo, se consume agua embotellada en un promedio de dos garrafones de 20 litros por semana. Este porcentaje explica el 52% del consumo de agua embotellada en América Latina, el cual corresponde a 29 mil millones de pesos en ventas de este producto en 2004, mientras que para 2005 la cifra alcanzó 32 mil millones de pesos.

Miles de empresas purificadoras, pseudo-purificadoras o simples llenadoras, saturan el mercado nacional y ofrecen sus productos, convirtiéndose en una supuesta alternativa al sistema de agua potable. Sin embargo, cerca del 85% de estos negocios no cuentan con la infraestructura y los controles sanitarios necesarios para garantizar la higiene y la seguridad que los consumidores merecen (ANPDAPAC, 2007).

2.3 El Agroecosistema con Caña de Azúcar

La caña de azúcar pertenece a la familia de las gramíneas, género *Saccharum*. Las variedades cultivadas son híbridos de la especie *officinarum* y otras afines. Procede del Extremo Oriente, de donde llegó a España en el siglo IX, y traída desde ese país al continente Americano, en el siglo XV. Es un cultivo multianual que se corta cada 12 meses. Tiene un tallo macizo de 2 a 5 metros de altura, con 5 ó 6 cm de diámetro. El sistema radicular lo compone un robusto rizoma subterráneo; puede propagarse mediante estos rizomas y por trozos de tallo. La caña tiene una riqueza de sacarosa del 14% aproximadamente, aunque varía a lo largo de toda la recolección (SIAP, 2010).

La temperatura, la humedad y la luminosidad, son los principales factores del clima que controlan el desarrollo de la caña. La caña de azúcar es una planta tropical que se desarrolla mejor en lugares cálidos y soleados. Cuando prevalecen temperaturas altas, la caña de azúcar alcanza un gran crecimiento vegetativo y bajo estas condiciones la

fotosíntesis se desplaza hacia la producción de carbohidratos de alto peso molecular, como la celulosa y otros materiales que constituyen el follaje y el soporte fibroso del tallo (Subirós, 2000).

Es indispensable proporcionar una adecuada cantidad de agua al cultivo durante su desarrollo, para permitir la absorción, transporte y asimilación de los nutrientes. La caña de azúcar se cultiva con éxito en la mayoría de suelos, siempre y cuando contengan materia orgánica y presenten buen drenaje, tanto externo como interno, además de un pH que oscile entre 5.5 y 7.8 para su óptimo desarrollo. Se reportan buenos resultados de rendimiento, y de azúcar, en suelos con textura franco limoso y franco arenoso (SIAP, 2010).

2.3.1 Importancia Socioeconómica del Cultivo de Caña de Azúcar

Dentro del agro mexicano el cultivo de caña de azúcar se registra en 15 estados del país, donde se benefician directamente 227 municipios. Actualmente, operan 54 ingenios azucareros en México, con una superficie de 812,000 ha, de las cuales fueron cosechadas, en el ciclo 2008/2009, 663,000 de ellas; lo que representa aproximadamente, 5 millones de toneladas de azúcar y el 0.06% del PIB nacional (UNC, 2010). De este total, el 40% proviene de 22 ingenios azucareros localizados en el Estado de Veracruz, lo que le confiere el primer lugar de producción azucarera en el país (Calatayud y Jácome, 2007).

México ocupa el 7º lugar a nivel mundial en producción de azúcar en el mundo, el 7º lugar en consumo de azúcar (44 kg per capita/año), y el 4º y 5º lugar en la producción de azúcar por hectárea. Es una de las industrias más importantes del país con proyecciones de crecimiento y de mayor fuerza económica, política y social; generando 440 mil empleos directos y 2.5 millones de empleos indirectos, cuyo efecto socioeconómico se refleja en 12 millones de mexicanos (Calatayud y Jácome, 2007; UNC, 2010).

2.3.2 Prácticas Agrícolas para la Producción de Caña de Azúcar

La fertilización constituye una práctica cultural de máxima importancia para que el cultivo de caña de azúcar alcance altos rendimientos. Sin embargo, su elevado costo de producción exige realizar un uso oportuno y efectivo para asegurar su máximo aprovechamiento.

La ejecución adecuada y efectiva de la fertilización puede significar la diferencia entre sólo recuperar lo invertido o generar un beneficio económico. A fin de mejorar la eficiencia del uso de los fertilizantes, es necesario que la implementación de esta práctica vaya acompañada de estudios de suelo y del conocimiento de la producción de cada lote a través de su vida económica.

Las necesidades nutricionales del cultivo de caña de azúcar, están determinadas por la cantidad total de nutrientes que necesita extraer del suelo durante su crecimiento y desarrollo, para lograr una elevada producción. La caña de azúcar posee altos requerimientos nutricionales debido a su elevada capacidad de producción de material vegetal (tallos, follaje, cepa y raíces), y la prolongada duración de su ciclo vegetativo y productivo. Razón por la cual, efectúa una extracción de nutrientes del suelo que puede alcanzar niveles de 800 a 1500 Kg ha⁻¹ por año. Algunos de los compuestos más importantes, por su cantidad, son; nitrógeno, fósforo y potasio. Por esta razón, el cultivo de caña de azúcar exige la ejecución de un programa adecuado de fertilización, capaz de restituir al suelo lo extraído por el cultivo, especialmente lo que se pierde a través de la materia prima que es cosechada y procesada en el ingenio (EEAOC, 2004).

Está comprobado, en todas las áreas cañeras del mundo, que de todos los nutrientes necesarios para el adecuado desarrollo de la caña de azúcar, el más importante en cuanto a respuesta del cultivo, es el nitrógeno. Los principales efectos derivados de la aplicación de este compuesto al cultivo, se reflejan en una mayor y más rápida formación de tallos; como también, en un mayor crecimiento vegetativo (más follaje, mayor altura, y peso por tallo). Esto permite determinar un mayor rendimiento en caña y azúcar por hectárea (SIAP, 2010).

Existe una variabilidad en la respuesta esperada a la fertilización nitrogenada, según la edad del cultivo y la disminución de la producción proyectada asociada a la no fertilización. Por esta razón, la EEAOC (2004) recomienda fertilizar las cañas plantas, especialmente en lotes de respuesta conocida al nitrógeno, utilizando solamente una media dosis de 1,5 Kg urea/surco. Esto permitirá incrementar su producción y mejorar la calidad de la cepa establecida. En cambio, las cañas socas presentan una respuesta segura y elevada a la fertilización; e incluso las socas más viejas al tener una menor capacidad de abastecerse de las reservas del suelo, muestran una elevada dependencia a la fertilización y puede provocar una disminución en la producción, si no son fertilizadas con nitrógeno.

En términos generales, la decisión de no fertilizar las socas más viejas puede significar la reducción del 40% en la cantidad de materia prima que se produce por hectárea. Asimismo, la EEAOC (2004), determinó que las pérdidas pueden ser mayores en suelos de baja fertilidad, aún cuando el resto de las prácticas culturales sean adecuadas. Sin embargo, esta alta dependencia de las socas más viejas a la fertilización, no requiere un incremento en la dosis de urea, sino mantener una dosificación adecuada. Una vez establecidas las condiciones en las que se pueden obtener los mayores beneficios de la aplicación de nitrógeno, deben analizarse las dosis necesarias para cada situación. Lo cual constituye una herramienta fundamental de decisión para mejorar el manejo de la fertilización, y para elegir la dosis adecuada, según las condiciones de los diferentes cultivos.

Otro de los factores que acentúan la necesidad de fertilizar con nitrógeno, es el drenaje impedido; ya que los anegamientos temporarios comprometen el abastecimiento normal de nitrógeno a partir de la materia orgánica del suelo. Frente a éstas condiciones, de no poder controlar el problema mediante el diseño y mantenimiento de un sistema de drenaje, se reportan incrementos de un 20% en la dosis de fertilizante para mejorar la respuesta (EEAOC, 2004).

Con respecto a la faena de recolección de la caña, esta se lleva a cabo entre los 11 y 16 meses de la plantación. Es decir, cuando los tallos dejan de desarrollarse, las hojas se marchitan, caen, y la corteza de la capa se vuelve quebradiza. La quema de la plantación se realiza para eliminar las malezas y hojarasca que impiden el corte de la caña. Aunque se han empleado con éxito varias máquinas cortadoras de caña, la mayor parte de la zafra o recolección continúa realizándose a mano. La caña se abate cerca del suelo y se corta por el extremo superior, cerca del último nudo maduro; ya cortadas se apilan a lo largo del campo, de donde se recogen a mano o a máquina para su transporte al ingenio (SIAP, 2010).

La quema y requema anual en el cultivo de caña de azúcar causa, esencialmente, la degradación del entorno ambiental con énfasis en los suelos y recursos hídricos. De esta forma, la sustentabilidad agrícola se ve amenazada por el deterioro de la capacidad productiva del agroecosistema, que genera factores limitantes de desarrollo de las actividades productivas, entre los que destacan; la erosión, empantanamiento, salinización, destrucción de la estructura y compactación, y contaminación por compuestos químicos (Ascanio y Hernández, 2008).

2.4 Compuestos Nitrogenados

Las formas de N_2 de mayor interés, en orden decreciente por su estado de oxidación, son: nitrato, nitrito, amoníaco y nitrógeno orgánico. Todas ellas son convertibles biológicamente entre sí y forman parte del ciclo del nitrógeno (Hill, 1996). Los nitratos (NO_3^-) y nitritos (NO_2^-) son aniones que contienen nitrógeno (N_2) y oxígeno (O_2). El nitrato es la forma estable de la combinación de nitrógeno y oxígeno en condiciones aeróbicas; sin embargo, puede ser reducido en ausencia de oxígeno, como ocurre en condiciones anaeróbicas. Debido al bajo potencial del $N-NO_3^-$ para su co-precipitación o adsorción, procesos de filtración convencionales o el ablandamiento no son adecuados para su eliminación. Los nitritos contienen nitrógeno en un estado de oxidación relativamente inestable; son producto de la reducción del nitrato por acción microbiana en condiciones anaeróbicas y de la oxidación biológica de las aminas y del amoníaco (NH_3) (Hunter *et al.*, 1998). Los nitratos y nitritos son sales solubles en agua; los

nitratos no son compuestos reactivos, a diferencia de los nitritos, los cuales oxidan compuestos como el fierro de la hemoglobina y algunas aminas y amidas. Desde el punto de vista sanitario, la presencia de nitratos en humanos y animales no se detecta, debido a que ningún país realiza un monitoreo permanente de su concentración en ambos organismos, por lo que el impacto de este compuesto se hace evidente hasta que se manifiesta un problema de salud (WHO, 2007).

2.4.1 Fuente y Uso de los Fertilizantes Nitrogenados en la Agricultura

El nitrato se usa principalmente como fuente de nitrógeno inorgánico en la fabricación de fertilizantes y es la forma asimilable del nitrógeno más importante en la producción agrícola. El nitrógeno aplicado como abono, puede estar en forma de urea, amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-), los cuales siguen los mismos modelos de reacción que el nitrógeno liberado a través de los procesos bioquímicos (Pacheco *et al.*, 2002). Los nitratos pueden encontrarse en aguas superficiales y subterráneas como consecuencia del escurrimiento directo de las aguas pluviales desde áreas agrícolas (incluyendo la aplicación excesiva de nitrógeno inorgánico y abonos); así como por la inadecuada disposición de las aguas residuales, industriales y domésticas, y de la oxidación de excretas humanas y animales (WHO, 2007).

2.4.2 Formas y Movilización de los Nitratos y Nitritos en el Ambiente

En regiones tropicales y subtropicales con altas temperaturas y precipitaciones pluviales abundantes, los mantos acuíferos están expuestos a una contaminación acelerada por N_2 de origen orgánico, tanto por la descomposición de la materia orgánica que se encuentra en los suelos, como por residuos fecales de origen animal o humano que directa o indirectamente se depositan en la superficie terrestre (De Miguel y Vásquez, 2006).

El N_2 puede convertirse en un contaminante del agua cuando su concentración rebasa los límites permisibles para su uso en cada una de las actividades reguladas por las normas nacionales e internacionales, ya sea como parte de la materia orgánica en suspensión o por la influencia de fertilizantes nitrogenados comerciales. El N_2 se

moviliza en forma de sales solubles difícilmente precipitables; su descomposición se realiza, básicamente, mediante su asimilación biológica a largo plazo y en cantidades limitadas. El nitrato inorgánico se forma en la naturaleza por la descomposición de compuestos nitrogenados, tales como: proteínas, urea, etc., en cuya descomposición se forma amoníaco y amonio, respectivamente (Hunter *et al.*, 1998). La concentración de nitrógeno inorgánico en aguas subterráneas no contaminadas raramente excede los 10 mgL^{-1} .

Los nitritos pueden encontrarse, naturalmente, en suelos con pH superior a 7.7. Los fertilizantes nitrogenados pueden ser transformados a nitritos directamente, cuando éstos son aplicados en suelos con valores de pH entre 7.0 y 7.3 (Figura 2). En este caso, la concentración de nitritos puede alcanzar los 100 mgL^{-1} (De Miguel y Vázquez, 2006).

El exceso de nitritos en el agua es la forma particularmente nociva para la salud de humanos y animales. Se sospecha que una de las causas de la presencia de nitritos en el agua es una reciente contaminación de origen fecal (Standard Methods, 2005). Además, pueden encontrarse en ambientes con bajos niveles de oxígeno, o debido a la escorrentía o lixiviación del agua en terrenos contaminados. Parte de este compuesto perdido por lixiviación contamina los acuíferos y reduce la eficiencia en el aprovechamiento de los fertilizantes nitrogenados (Feigenbaum *et al.*, 1987; Arauzo *et al.*, 2003).

2.4.3 Proceso de Lixiviación de Nitratos en Suelos Agrícolas

El N_2 se encuentra en forma orgánica en el suelo y constituye entre el 95 y 98% del nitrógeno total. Esta forma orgánica se transforma en amonio por acción bacteriana, el cual, a su vez, se oxida a nitrato (NO_3^-). Ambos compuestos (amonio y nitrato) pueden ser absorbidos por las plantas o asimilados por la biomasa microbiana del suelo (García, 1996).

El contenido de nitrógeno en los suelos presenta una gran variación; los valores para la capa arable oscilan entre 0.2 y 0.7% y tienden a disminuir con la profundidad. Sin embargo, tales porcentajes se incrementan debido a la disminución de la temperatura del suelo y al aumento de las precipitaciones atmosféricas (Navarro y Navarro, 2003). Las plantas sólo pueden aprovechar el nitrógeno en forma de nitratos, por lo que las otras formas eventualmente se lixivian hacia los mantos freáticos, cuya concentración dependerá de la frecuencia, cantidad y modo de aplicación, así como del tipo de fertilizante (De Miguel y Vásquez, 2006).

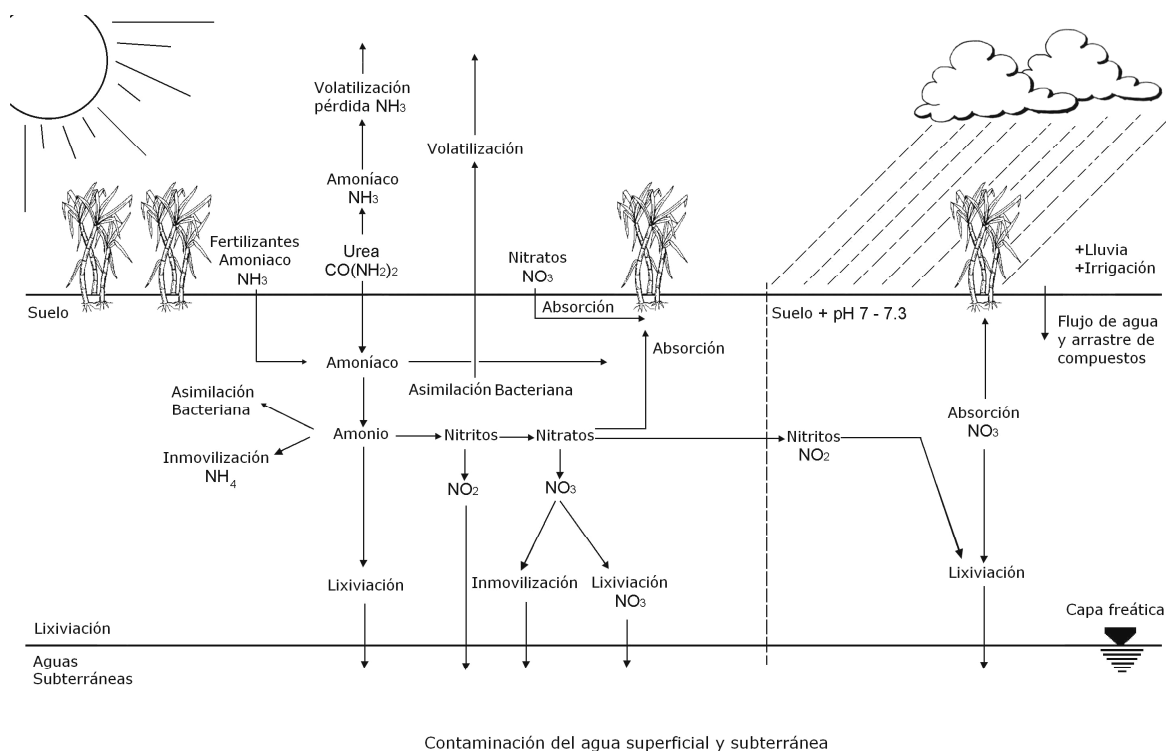


Figura 2. Representación de las formas y movilización de compuestos nitrogenados en un agroecosistema con caña de azúcar.

Otro de los factores que promueve la lixiviación de nitratos hacia el subsuelo es la lluvia o la aplicación del riego, y el tipo de suelo (Cepuder y Kumar, 2002). La mayoría de los suelos poseen abundantes partículas coloidales, tanto orgánicas como inorgánicas cargadas negativamente, las cuales causan que aniones como los nitratos sean repelidos y, en consecuencia, se lixivien con mayor facilidad. Por el contrario, muchos

suelos tropicales adquieren carga positiva y, por tanto, retienen más fuertemente estos compuestos. Por ejemplo, un suelo arenoso (cargado negativamente) puede disminuir drásticamente la fertilidad química del suelo y requerir de fertilización. Las dosis elevadas de fertilizantes y aplicación de grandes volúmenes de agua de riego en suelos permeables, pueden causar la lixiviación de altas cantidades de nitratos que contaminan las aguas subterráneas (Medina y Cano, 2001; Civeira *et al.*, 2003). El subsuelo de tipo cárstico (rocas carbonatadas), por su parte, permite que el agua de lluvia se infiltre más fácilmente al acuífero ocasionando el arrastre de sustancias como los compuestos nitrogenados, que producen la contaminación del manto freático (Granel *et al.*, 2002).

En un suelo de tipo arcilloso, las partículas se expanden y la superficie se torna impermeable, por lo que el agua con elevados niveles de nitratos escurre someramente y contamina las aguas superficiales (Perdomo *et al.*, 2001, Estrada-Botello *et al.*, 2007). Es claro que el proceso de lixiviación ocurre también en suelos de tipo arcilloso, aunque el proceso es más lento que en los suelos arriba mencionados. De tal forma que, para remover compuestos contaminantes como los nitratos, será necesaria la instalación de drenaje subterráneo parcelario.

En esencia, la lixiviación es un proceso en el cual los nitratos no absorbidos por los cultivos migran disueltos a través del perfil del suelo y se incorporan a las aguas subterráneas. Aún cuando los nitratos sean transportados por el agua hacia estratos más profundos del suelo, es posible que éstos puedan subir por capilaridad en los periodos de sequía. Los nitratos también son transportados de capas inferiores del suelo hacia las superiores cuando ocurre una elevación del manto freático. Este fenómeno de transporte incluye tanto el nitrógeno proveniente de fertilizantes comerciales, como el que se forma por mineralización en estratos profundos. Lo anterior hace posible que los nitratos se ubiquen al alcance de las raíces de los cultivos o desciendan como consecuencia de la lluvia o el riego (Navarro y Navarro, 2003).

2.4.4 Los Nitratos y la Salud Humana

Los alimentos son la principal fuente de exposición a los nitratos y nitritos, especialmente las verduras que acumulan los nitratos en sus partes verdes, como son las espinacas y lechugas. El agua proporciona entre el 10 y 15% del total de nitratos ingeridos. Estudios médico-toxicológicos mostraron que de un 5 al 10% de la ingesta total de nitratos se transforma en nitritos por las bacterias de la saliva, estómago e intestino delgado del ser humano. El nitrato es una sustancia que por sí misma no es tóxica. Los efectos dañinos de los nitratos se deben a su conversión (reducción) a nitritos, reacción que se presenta, en parte, durante el metabolismo humano. Los nitritos pueden reaccionar con las aminas, sustancias obtenidas por el metabolismo proteico (carnes, pescados, huevos, leche), originando nitrosaminas, las cuales son agentes potencialmente cancerígenos (Tulupov *et al.*, 2001; Del puerto *et al.*, 2008).

La presencia de nitratos en los sistemas públicos de abastecimiento de agua es un riesgo a la salud humana, sobre todo en infantes menores de 4 meses de edad que consumen agua con más de 50 mgL^{-1} de ión nitrato (equivalente a 10 mgL^{-1} de N-NO_3). Como consecuencia se presenta una intoxicación aguda llamada metahemoglobinemia o síndrome del bebe azul (Vitoria *et al.*, 1991; Larios *et al.*, 2004; WHO, 2007). La metahemoglobinemia tiene su origen en la reducción de los nitratos a nitritos, o como resultado de la ingestión directa de estos últimos. Los nitritos son capaces de transformar la hemoglobina de la sangre a metahemoglobina. Este fenómeno causa la reducción de la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, lo que resulta en afecciones conocidas como cianosis (color azul), hipoxia (falta de oxígeno), taquicardia, náuseas, vómitos, convulsiones, estado de coma y, en algunas ocasiones, la muerte (Martínez y Velásquez, 1998; Gupta *et al.*, 2000).

Entre 1945 y 1965 se reportaron 300 casos de metahemoblinemia en países industrializados; la mayor parte de ellos, como resultado de la ingesta de agua proveniente de pozos situados en las proximidades de granjas ganaderas donde se registró una elevada concentración de nitratos (Pacheco, 1997). En un estudio realizado en Indiana (E.E.U.U), se determinó que el consumo de agua con concentraciones de

N-NO₃⁻ entre 19 y 29 mgL⁻¹ aumentaba la frecuencia de abortos espontáneos (Nolan, 1999). Investigaciones en la India demostraron que no obstante que los lactantes menores de un año son más susceptibles a la exposición excesiva de nitratos, este compuesto puede producir una intoxicación aguda en niños de mayor edad (Gupta *et al.*, 2000). Además, existen riesgos en personas embarazadas y en pacientes con tratamiento médico gástrico, con déficit hereditario en metahemoglobina-reductasa NADH, G6PD; y en pacientes con hemoglobinopatías (Freitas *et al.*, 2001). Los animales, como el ganado bovino, también pueden presentar síntomas por metahemoglobinemia, como por ejemplo: problemas de coordinación, dificultades en la respiración, coloración azul en las membranas mucosas, vómito y abortos, como ocurre en vacas lecheras (Davison *et al.*, 1964).

En Chile, Zaldívar y Robinson (1973) realizaron una investigación epidemiológica sobre la asociación entre el cáncer de estómago y los fertilizantes nitrogenados, y encontraron que el 49.4% de las personas expuestas al contacto con nitrato de sodio fallecieron por ese padecimiento. Estudios realizados en Inglaterra demostraron que los nitratos no pueden ser excluidos como factores etiológicos del desarrollo del cáncer gástrico y de la mortalidad por este padecimiento (Peter y Clough, 1983), encontrándose una relación estadísticamente significativa ($r^2 = 0.46$) entre este tipo de cáncer y la ingestión de agua contaminada con nitratos (Sandor *et al.*, 2001). En una investigación realizada en 258 municipios de la provincia de Valencia, España, se encontró que la exposición creciente al consumo de agua potable contaminada con nitratos eleva el índice de mortalidad, en ambos sexos, por cáncer de estómago y próstata (Morales *et al.*, 1995).

Con el objetivo de prevenir la metahemoglobinemia, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció como límite máximo permisible para los nitratos un valor de 50 mgL⁻¹. La máxima cantidad de nitratos que puede ser ingerida diariamente por un individuo durante toda su vida, sin que produzca ningún efecto adverso sobre la salud, es definida como ingesta diaria admisible (IDA) (Cuadro 1); la cual está determinada por el comité conjunto de la FAO/OMS (JEFCA) con los valores siguientes:

Cuadro 1. Ingesta diaria admitida (IDA) de nitratos y nitritos para el ser humano.

ION	IDA
Nitrato (NO ₃ ⁻)	0 – 3.7 mg kg ⁻¹ de peso corporal
Nitrito (NO ₂ ⁻)	0 – 0.06 mg kg ⁻¹ de peso corporal

Fuente: FAO/OMS (2002).

Con amplia información epidemiológica de respaldo, la OMS propuso valores guía en relación con efectos agudos por ingesta de agua con nitratos y nitritos, los cuales pueden presentarse simultáneamente en el agua de consumo humano. La suma de las relaciones entre la concentración y el valor guía de ambos parámetros (50 mgL⁻¹ para los nitratos y 3 mgL⁻¹ para los nitritos) no deberá superar la unidad, conforme a la expresión siguiente (WHO, 2007):

$$[\text{nitrato}] / 50 + [\text{nitrito}] / 3 \leq 1$$

Bajo los mismos criterios de la OMS, la legislación europea estableció como máxima concentración de nitratos permitida en agua para consumo humano, 50 mgL⁻¹ (Directiva 91/676/CEE, 1991). Es posible que exista cierta confusión al respecto, ya que la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de Norteamérica (EPA) establece en su regulación que la concentración máxima en el agua de consumo humano es de 10 mgL⁻¹ de nitrógeno, lo que es aproximadamente 50 mgL⁻¹ de nitratos. Son formas diferentes de expresar una misma concentración. La legislación mexicana en la norma oficial establece, 10 mgL⁻¹ de nitrógeno (N-NO₃⁻) y 0,05 mgL⁻¹ de nitrógeno (N-NO₂⁻) como límites máximos permisibles para agua de uso y consumo humano (SSA, 1994).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro del agro mexicano, el cultivo de caña de azúcar está representado por 812,000 hectáreas, las cuales producen anualmente aproximadamente 5 millones de toneladas de azúcar. De este total, el 38.4% proviene de 22 ingenios azucareros localizados en el Estado de Veracruz; abasteciendo el mercado nacional y exportando un millón de toneladas al mercado exterior. La industria azucarera en México es una de las más importantes del país con proyecciones de crecimiento y de gran fuerza económica, política y social; de la cual viven 12 millones de mexicanos (Calatayud y Jácome, 2007; UNC, 2010). A pesar de la importancia de este cultivo en México y en particular en Veracruz, no se han desarrollado programas de investigación que recomienden e implementen la aplicación de dosis efectivas de fertilizantes nitrogenados, de acuerdo a los diferentes tipos de suelo y por ende para los diferentes productores. Previeniendo con ello, el impacto ambiental y en la salud humana (Figura 3).

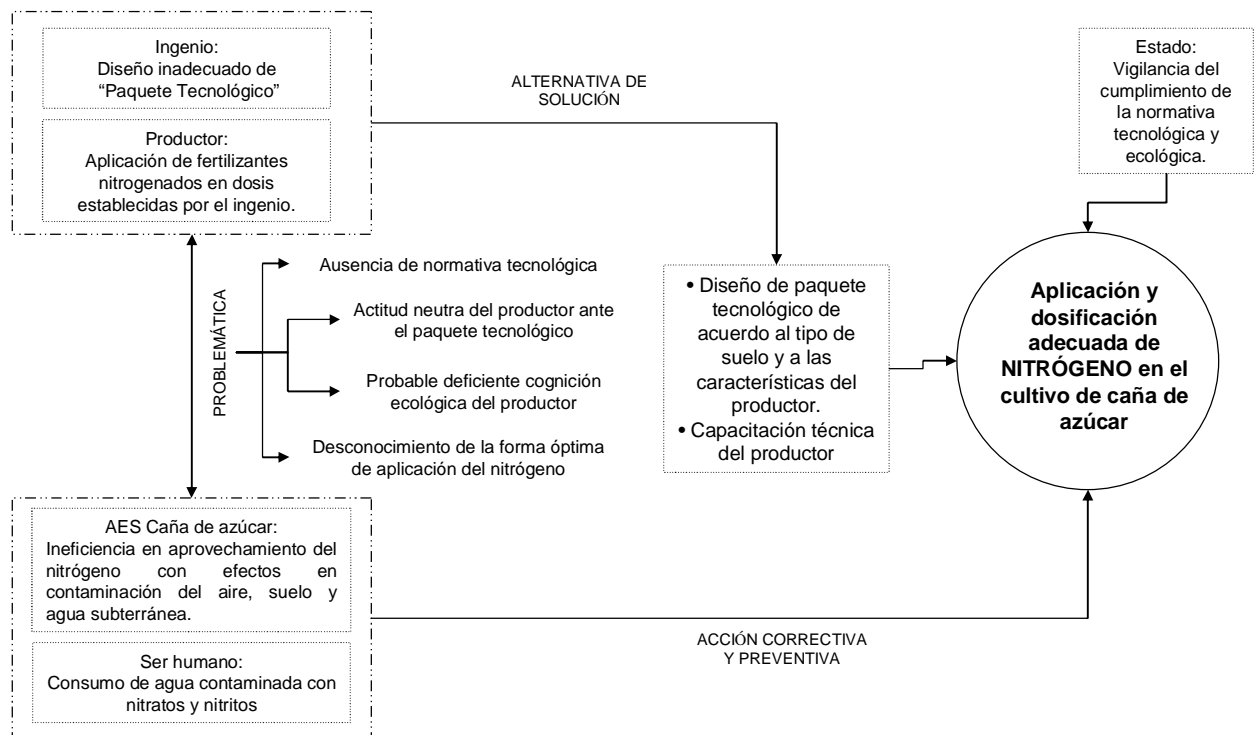


Figura 3. Problemática de la aplicación inadecuada de fertilizantes nitrogenados en el agroecosistema con caña de azúcar, y alternativas de solución.

Los nitratos y nitritos son conocidos por causar varios efectos en la salud humana. Dentro de los más comunes se encuentran la disminución del funcionamiento de la glándula tiroidea (nitrato), bajo almacenamiento de la vitamina A (nitrato), producción de nitrosaminas, las cuales son conocidas como una de las causas más comunes de cáncer (nitratos y nitritos); y la disminución de la capacidad de transporte de oxígeno por la sangre conocida como metahemoglobinemia, o “síndrome del bebe azul” (Sasson *et al.*, 1993; Lenntech, 2005). Investigaciones epidemiológicas han demostrado la asociación del varios tipos de cáncer (gástrico, colon y próstata) con niveles altos de nitratos en agua para consumo humano (Zaldívar y Wetterstrand, 1978; Clough, 1985; Morales *et al.*, 1995).

Debido a toxicidad de éstos compuestos varios países del mundo han establecido un valor crítico de concentración de nitrógeno en el agua en forma de nitratos (N-NO_3^-), Estados Unidos de América (E.U.A.) estableció este valor en 10 mgL^{-1} , la Comunidad Económica Europea en 11.3 mgL^{-1} (Smith *et al.*, 1996), y México en 10 mgL^{-1} en forma de nitrógeno (NOM-127-SSA1-1994).

El cáncer es la tercera causa de muerte en México, con el 12.7% del total de defunciones registradas. De acuerdo con su densidad poblacional, cuatro entidades representan 36 de cada 100 fallecimientos por tumores de tipo maligno. Entre ellos, el Distrito Federal (10.7%), estado de México (10.6%), Veracruz de Ignacio de la Llave (7.8%) y Jalisco (7.3%) (INEGI, 2009). En Veracruz actualmente se han atendido alrededor de 600 casos diagnosticados en 2006 y parte del 2007. Representando un gasto público superior a los 44 millones de pesos en pacientes con cáncer de mama, cérvico-uterino y leucemia infantil. Aunado a que otros tipos de cáncer no son atendidos, de forma gratuita, en hospitales de gobierno (com. pers.).

Como parte de los compromisos firmados por México durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, se adoptó la denominada Agenda 21, documento normativo con la perspectiva de alcanzar un desarrollo sustentable en los ámbitos social, económico y ecológico. El cual reconoce que el uso

intensivo de los fertilizantes está relacionado con la eutroficación de los cuerpos de agua, la acidificación del suelo y la contaminación del agua con nitratos (Gallardo y Vallejos, 1999).

Por todo lo anterior, la presente investigación se plantea con el propósito de generar conocimiento que permita responder la siguiente pregunta de investigación: ¿Existe una relación entre los casos de cáncer en la población aledaña al Módulo de Riego I-1 La Antigua, Ver., y la concentración de nitratos y nitritos disueltos en el agua para consumo humano?

4. HIPÓTESIS

4.1 Hipótesis General

Existe una relación estrecha entre la concentración de nitratos y nitritos disueltos en el agua para consumo humano, derivados del manejo inadecuado de fertilizantes nitrogenados en el agroecosistema caña de azúcar, con los casos de cáncer de esófago y estómago detectados en poblaciones aledañas a las zonas cañeras del Módulo de Riego I-1 La Antigua, Ver.

4.2 Hipótesis Específicas

- 4.2.1 El manejo inadecuado de fertilizantes nitrogenados en el agroecosistema con caña de azúcar origina fuentes puntuales y no puntuales de contaminación que deterioran la calidad del agua de uso y consumo humano.
- 4.2.2 La concentración de nitratos y nitritos en la zona de estudio excede los límites máximos permisibles (10 mgL^{-1}) en agua destinada al uso y consumo humano.
- 4.2.3 La incidencia de cáncer de esófago y estómago en la población aledaña al Módulo de riego I-1 La Antigua, Ver., se relaciona con las altas concentraciones de nitratos y nitritos presentes en el agua de consumo humano.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

Determinar la relación entre la concentración de nitratos y nitritos disueltos en el agua de consumo humano, derivados del manejo inadecuado de fertilizantes nitrogenados en el agroecosistema con caña de azúcar, y la incidencia de cáncer de esófago y estómago en la población aledaña a las zonas cañeras del Módulo de Riego I-1 La Antigua, Ver.

5.2 Objetivos Específicos

- 5.2.1 Conocer el manejo de los fertilizantes nitrogenados en el agroecosistema con caña de azúcar e identificar las fuentes puntuales y no puntuales de contaminación que deterioran la calidad de agua superficial, subterránea y de consumo humano.
- 5.2.2 Determinar y comparar la concentración de nitratos y nitritos en el agua de consumo humano, manto freático y superficial; con los límites máximos permisibles (10 mgL^{-1}).
- 5.2.3 Establecer la relación, si existe, entre: la presencia de nitratos y nitritos en el agua de consumo humano; y la incidencia de cáncer de esófago y estómago en la población aledaña a las zonas cañeras.

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1 Área de Estudio

El área de estudio se ubica en el Estado de Veracruz; geográficamente, dentro de la superficie física con la que cuenta “El Módulo I-1 La Antigua, A.C.” (Figura 4), la cual se localiza entre las coordenadas 19° 22' LN y 96° 20' LO. Dicha superficie consta de 13,793.0 ha, de las cuales 8,648.0 ha se tienen registradas como superficie de riego.

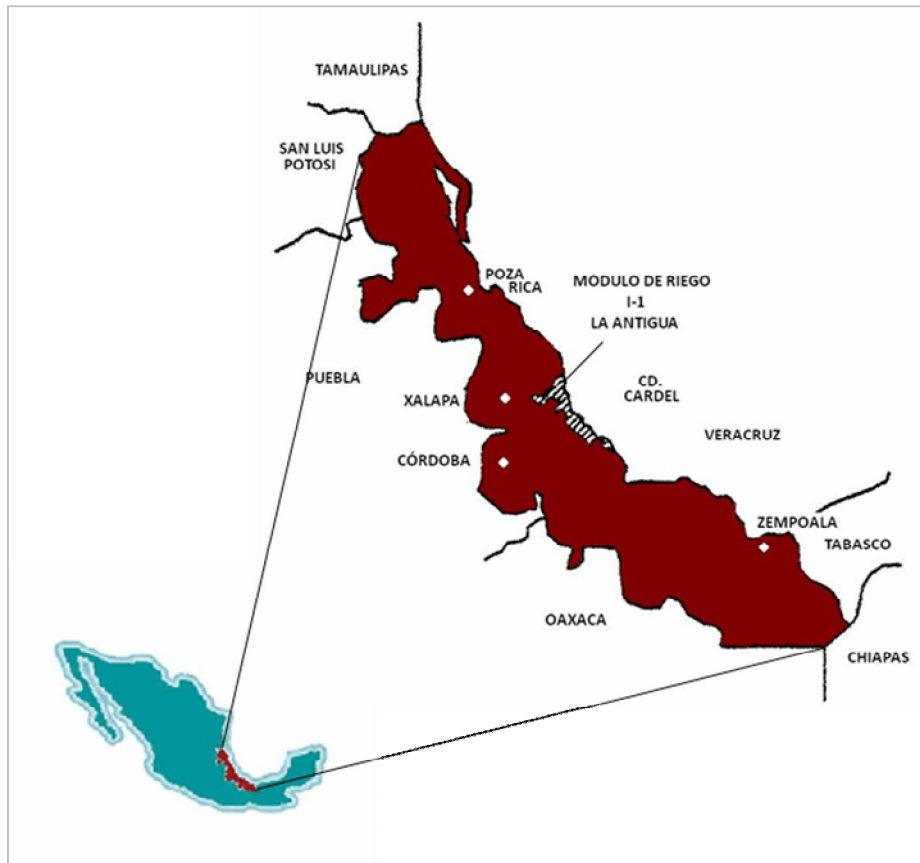


Figura 4. Ubicación geográfica del Módulo de Riego (I-1) La Antigua, Ver.

6.1.1 Condiciones Ambientales

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por García (1981), el clima en el área de estudio corresponde al tipo Aw'1(w), cálido subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual es 25.3 °C, con una precipitación media anual de 1,271.01mm distribuida en cuatro meses húmedos (junio a septiembre) y ocho meses

secos (octubre a mayo). En el primer período se precipitan 990.95 mm (77.97%) del volumen total anual y en el segundo 280.06 mm que representa el 22.03% (GEV, 2002).

La evaporación media anual es de 1,474.2 mm, los meses de mayor evaporación es 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 y marzo. Los vientos procedentes del sur ocurren de abril a septiembre. Por lo general, los vientos dominantes fríos y secos proceden del norte, entre los meses de octubre y marzo; los del sur, son húmedos y calientes, de abril a septiembre. Los vientos moderados prevalecen todo el año (GEV, 2002).

6.1.2 Hidrología

El Módulo para su operación cuenta con el aprovechamiento de los volúmenes conducidos por el río La Antigua. El cual abarca un área de 2,827.0 km². Nace en la Sierra Madre Oriental a 3,850.0 msnm dentro del estado de Puebla, y en su paso hasta llegar al Golfo de México recibe varios afluentes (INEGI, 2006).

6.1.3 Topografía

Se observa que el 47.7% del área total 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% constituidas por 509 ha se localizan adyacentes al canal principal La Antigua y lateral Cardel. De acuerdo a lo anterior, las pendientes en general son bastantes favorables para el cultivo, sin embargo; el microrelieve en la mayor parte de la superficie origina algunos problemas en el manejo del agua de riego (SIAP, 2010).

Los tipos de suelo que predominan en la región son de tipo cambisol y vertisol, el primero representado por con una capa de suelo de roca poco susceptible a la erosión; el segundo, presenta grietas anchas y profundas durante el estiaje, y durante la época de lluvias es muy elástico y pegajoso. En cuanto a texturas se identifican desde suelos

arcillosos, francos, arenosos y limosos en sus distintas combinaciones. Son suelos duros y con tonalidades negras, grises o rojizas. La producción de caña de azúcar en condiciones de riego supera en promedio las 100 t ha⁻¹. Sin embargo, la Unión Nacional de Cañeros A.C. (2010) reportó un rendimiento de 64.1 ton/ha a nivel nacional, durante la zafra 2008/2009 (SIAP, 2010).

6.1.4 Fuente de Abastecimiento de Agua

El Módulo para su operación cuenta con las aportaciones de la presa derivadora La Antigua. De acuerdo a lo suministrado por la presa, el volumen requerido para abastecer al sector agrícola es de 213.157.000 m³, en una red de 247,179 km de canales, y 382 km de caminos de operación y acceso. Además, de 5,833,500 m³ para uso industrial.

6.1.5 Población

La superficie que abarca el Módulo de Riego (I-1) está distribuida en los municipios de La Antigua, Manlio Fabio Altamirano, Paso de Ovejas, Puente Nacional, y Ursulo Galván, en 40 comunidades que hacen uso del agua de riego, el 75% de su población depende de forma directa o indirecta de la agricultura y ganadería.

6.1.6 Actividades Productivas de la Zona

La ubicación geográfica del Módulo y las condiciones climatológicas de la región, le confieren una vocación netamente agrícola, que se ha vinculado principalmente al cultivo de la caña de azúcar, con una representatividad del 81.9% del total de la superficie cosechada. El resto de la superficie agrícola está ocupada por el cultivo de 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 predominio de cultivo de caña de azúcar se debe a la asociación comercial de los productores con los ingenios azucareros El Modelo y La Gloria, los cuales tiene una capacidad de molienda suficiente para captar toda la producción.

6.1.6.1 Ingenio El Modelo

El Ingenio El Modelo S.A. se encuentra situado en la zona costera central del Estado de Veracruz, en las estribaciones de la llanura costera del Golfo Sur. Con una superficie de aproximadamente 15,974 ha, distribuidas en los Municipios de Paso de Ovejas, Puente Nacional, Úrsulo Galván, Veracruz y Actopan, pero principalmente en el Municipio de La Antigua. Entre las principales localidades que comprenden el ingenio se encuentran Úrsulo Galván, barra de Chachalacas, Cerro Guzmán, El Paraíso (La Charca), Salmoral (parte del sur) y Playa de Chachalacas (PRONAC, 2009a).

6.1.6.2 Ingenio La Gloria

El Ingenio La Gloria S.A. se encuentra situado en la parte sur de la región cañera XIII de la costa de Veracruz, aproximadamente 35 km al noroeste del puerto. Ubicado en el municipio de Úrsulo Galván, limita al norte con Actopan, al este con el Golfo de México, y al sur con Puente Nacional. El ingenio La Gloria comprende un área de aproximadamente 15,174 ha. Entre las principales localidades que comprenden el ingenio se encuentran San Isidro, Chalahuite, Santa Rosa, Arrollo de Piedra, Jareros, Mata Verde, El Zapotito, Villa Zempoala, La Gloria, Paso del Bobo, El Arenal, El Palmar, Guayabal y La Antigua (PRONAC, 2009b).

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Delimitación del Área de Estudio

El estudio se realizó en un perímetro de un área aproximada de 1,000 ha; que agrupan el mayor número de localidades dentro de las zonas cañeras ubicadas en la superficie del Módulo de Riego (I-1) La Antigua (Figura 5).

7.1.1 Ubicación de Puntos de Monitoreo

Se establecieron aleatoriamente siete puntos de muestreo de agua subterránea (pozos profundos de abastecimiento público de agua para uso y consumo humano), ubicados en las localidades de: Tolome, Loma Fina-El Tejón, Carretas, Faisan, La Vibora, Salmoral y La Posta. Además de tres puntos de muestreo de aguas superficiales localizadas en la riberas del río Chico y del arroyo Tolome, así como un punto en su intersección (Figura 6). Además, fueron colectadas muestras de agua envasada de consumo humano regular, distribuidas en las diferentes localidades de estudio (Cuadro 2).

Cuadro 2. Tipos de muestras analizadas por punto y localidad de muestreo.

TIPOS DE MUESTRAS		
AGUAS SUBTERRÁNEAS (POZOS PROFUNDOS)	AGUAS SUPERFICIALES	AGUA ENVASADA (MARCAS ANALIZADAS)
Tolome	Río Chico	Ártico
Loma Fina	Arroyo Tolome	Ciel
Carretas	Intersección	Santorini
Faisan		Bonafont
La Vibora		Isabel
Salmoral		Xallapan
La Posta		San Carlos
		Santa Catalina
		Acuabella
		Arizona
		Ideal
		Fuente de Vida
		Ameyali



Figura 5. Superficie total del Módulo de Riego (I-1) La Antigua, Ver. Delimitación de la zona de estudio.

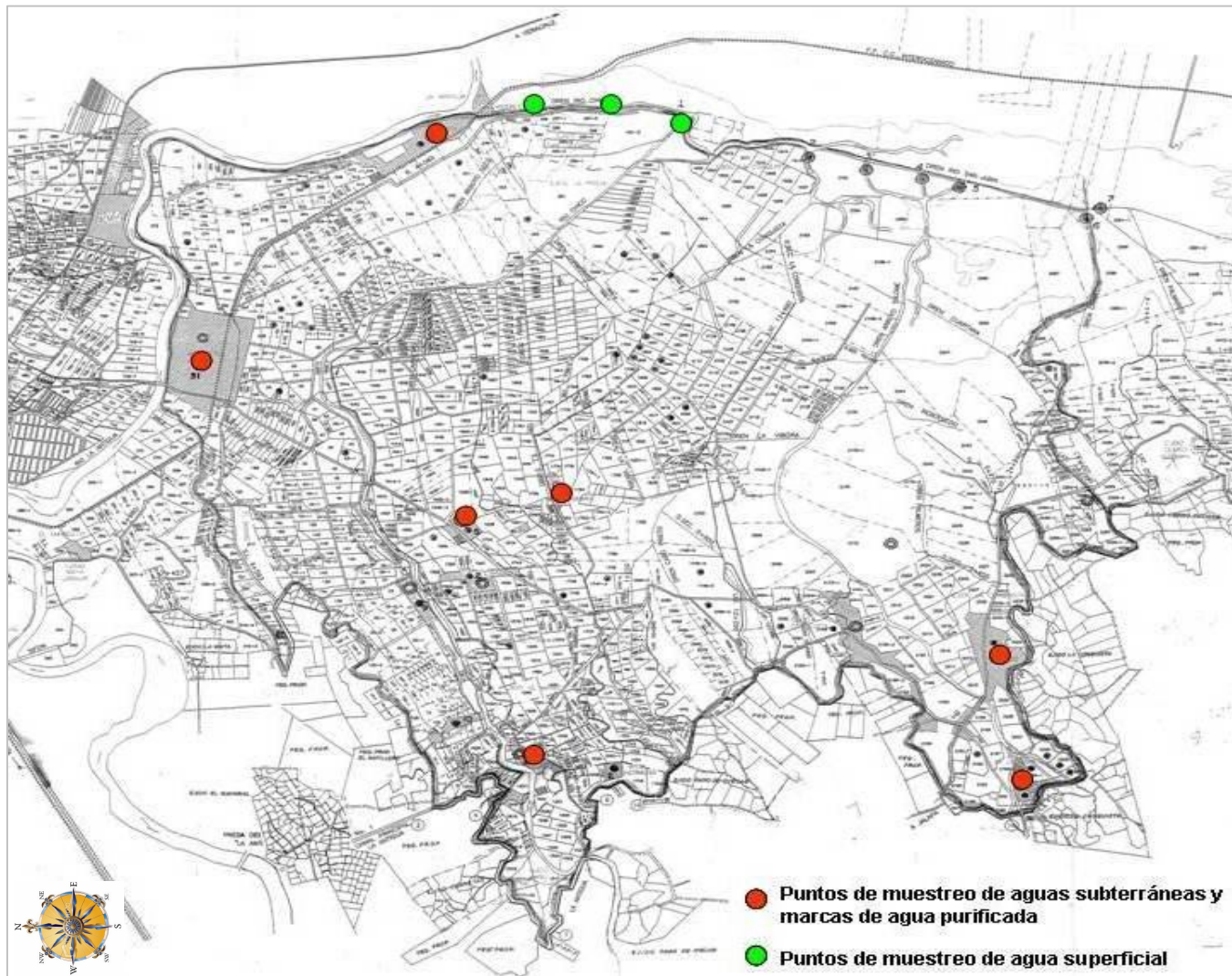


Figura 6. Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo de aguas superficiales, subterráneas y envasadas, en el área de estudio (Módulo de Riego I-1, La Antigua).

7.2 Diagnóstico de Manejo del Agroecosistema y de la Salud Humana

Se usó la técnica de encuesta y se elaboró un cuestionario que fue aplicado a una muestra de 130 productores rurales, de una población total de 1677 usuarios. Dicho tamaño de muestra se calculó mediante la expresión matemática siguiente: $n = Ns^2 / [(N-1)b^2/4 + s^2]$, donde n es el tamaño de muestra; N es el tamaño de la población, s^2 es la varianza exploratoria y b es la disposición de error (Sheaffer, 1987).

El cuestionario se estructuró de acuerdo a la operacionalización de las hipótesis (determinación de las variables de estudio), de esta forma se obtuvo, únicamente, información pertinente al desarrollo de la investigación.

La información derivada del cuestionario fue la siguiente; fuente de abastecimiento de agua para su consumo, consumo semanal, uso y manejo del agua, número de familiares que fallecieron por el cáncer o que padecen esta enfermedad, tipo de cáncer, otros padecimientos, frecuencia; tipo de fertilizante y cantidad aplicada, forma y frecuencia de aplicación del fertilizante, etc., (Anexo 1).

7.2.1 Entrevista a Informantes Clave

Se realizaron visitas y entrevistas a personal directivo y operativo del Módulo de Riego I-1, para recabar información pertinente a la zona de estudio. Además se acudió a instancias de gobierno, como; CNA (Comisión Nacional del Agua), SESVER (Servicios de Salud de Veracruz), IMSS (Instituto Mexicano del Seguro Social, de Veracruz), Hospital Regional de Veracruz, CECAN (Centro Estatal de Cancerología, de Xalapa) y a la Jurisdicción Sanitaria No. V y No. VIII; para recopilar información sobre datos y estadísticas de salud, referentes a los casos de cáncer registrados en el área de estudio.

7.3 Periodicidad de Monitoreo y Análisis

Se realizaron tres muestreos, uno por época, de marzo a diciembre de 2009; considerando para tal efecto las épocas climatológicas prevalecientes durante el

periodo de estudio propuestas por Farías (1991), las cuales se describen en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Principales épocas existentes en un ciclo anual en el Estado de Veracruz (Farías, 1991).

ÉPOCA	CARACTERÍSTICAS	
	TEMPERATURA AMBIENTAL	PRECIPITACIÓN PLUVIAL
Nortes (noviembre-febrero)	Baja	Ocasional
Estiaje (marzo - junio)	Alta	Nula
Lluvias (julio-octubre)	Alta-Media	Abundante

7.4 Colecta y Transporte de Muestras al Laboratorio

La colecta de los diferentes tipos de muestra se realizó de acuerdo a los lineamientos descritos en la Norma Oficial Mexicana NOM-014-SSA1-1993, la cual establece los “Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano, en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados”. Para la determinación de nitratos, se colectó un volumen de 500 ml de agua en frascos de vidrio, las cuales se almacenaron a 4 °C previo a su análisis.

Se colectaron también muestras de agua directamente de la llave, cuando ésta era destinada para consumo humano directo. Así como también, se colectaron muestras de agua envasada de las diferentes marcas que se distribuyen en la zona de estudio.

7.5 Determinación de la Concentración de Nitratos y Nitritos

A cada muestra de agua se le determinó la concentración de NO_3^- y NO_2^- , conforme a las técnicas descritas en el Cuadro 4. Para evaluar el nivel de contaminación de las diferentes fuentes de abastecimiento de agua se tomarán como referencia la Norma Oficial Mexicana que regula los límites máximos permisibles de los contaminantes en análisis:

NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

Cuadro 4. Protocolos empleados para el análisis fisicoquímico de las muestras.

DETERMINACIÓN	METODOLOGÍA
Nitratos	❖ NMX-AA-079-SCFI-2001, Análisis de aguas. Determinación de nitratos en Aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - Método de prueba*.
Nitritos	❖ NMX-AA-099-2006, Análisis de aguas. Determinación de nitrógeno de nitritos en aguas naturales y residuales - Métodos de prueba*.

* El método se recomienda especialmente para niveles nitratos o nitritos por debajo de 0,1 mg N/L, donde otros métodos carecen de la sensibilidad adecuada.

7.6 Determinación de Casos de Cáncer

Debido a que la encuesta no generó información sobre el número y tipos de cáncer suscitados en la población aledaña a la zona cañera. Esta información fue obtenida de la base de datos de la Jurisdicción Sanitaria No. VIII. La cual, se encontraba organizada por año de detección, municipio de procedencia del paciente, y tipo de cáncer. Para fines de esta investigación, fueron procesados únicamente los casos de cáncer de esófago y estómago, los cuales son relacionados con la ingestión prolongada de nitratos y nitritos.

7.7 Análisis Estadísticos

El análisis estadístico de los datos, se realizó con el programa STATISTICA versión 7.0, mediante pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas. En dicho análisis se empleó el análisis de frecuencias y factorial; además de análisis de varianza simple, gráfico y prueba de medias (Fisher LSD), para ratificar diferencias significativas entre categorías. Así también, análisis de varianza múltiple para determinar diferencias entre variables.

7.7.1 Relación Estadística de Concentraciones de Nitratos y los Casos de Cáncer

Se realizaron análisis de varianza entre concentraciones de nitratos en agua de consumo humano y tipos de cáncer. Se empleó la prueba no paramétrica de correlación de Spearman, para medir la asociación entre el número de casos registrados de cáncer de esófago y estómago, y los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio y de la encuesta.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Identificación del Manejo del Agroecosistema con Caña de Azúcar

De acuerdo a la primera hipótesis y el objetivo número uno, se obtuvieron los siguientes resultados:

De la encuesta realizada a 130 usuarios y productores rurales del Módulo de Riego (I-1) La Antigua, se obtuvo información general relacionada con la edad de productor, sexo, escolaridad máxima y el número de años que ha cultivado caña de azúcar (Cuadro 5). Se encontró que la edad promedio de los productores es de 58 años, el 80% de ellos es de sexo masculino y el 20% restante, femenino. El 13.7% cuenta con educación media superior y universitaria; el 13.8% terminó la secundaria, el 59.9% curso la primaria (24.6% de éste, de forma incompleta), siendo el 12.7% restante, analfabeta. El 71.5% de los productores cuenta con más de 15 años de experiencia en el cultivo de caña de azúcar.

Cuadro 5. Información general obtenida de la aplicación del cuestionario a los productores.

TENDENCIA/RANGOS	SEXO		EDAD	ESCOLARIDAD MÁXIMA	AÑOS DE EXPERIENCIA EN EL CULTIVO
	M	F			
Frecuencia	80%	20%			
Media			58	5.8	23.3
Máximos y mínimos			24/94	0/16	1/60

En cuanto al manejo del agroecosistema cañero, se obtuvieron datos sobre el uso de diferentes cantidades y tipos de fertilizante en el cultivo (Cuadro 6). El 35% de los productores emplea fertilizante triple 17 (nitrógeno, fósforo y potasio); seguido del 29% que realiza una combinación con urea, y el 12% aplica esta última como única fuente de nitrógeno. En menor porcentaje se fertiliza con una mezcla 20-10-20 de nitrógeno, fósforo y potasio (N-P-K), así como sulfato de amonio, mezcla 10-20-20 (N-P-K); y abono orgánico, el cual es empleado por sólo el 4% de los productores (Figura 7).

Cuadro 6. Tipos de fertilizante aplicado y cantidad de nitrógeno contenido en la mezcla.

FERTILIZANTE	CONTENIDO DE N ₂
Urea	46%
Triple 17	17%
Sulfato de amonio	21%
Mezcla 20-10-20 (N-P-K)	20%
Mezcla 10-20-20 (N-P-K)	10%
Abono orgánico	10%

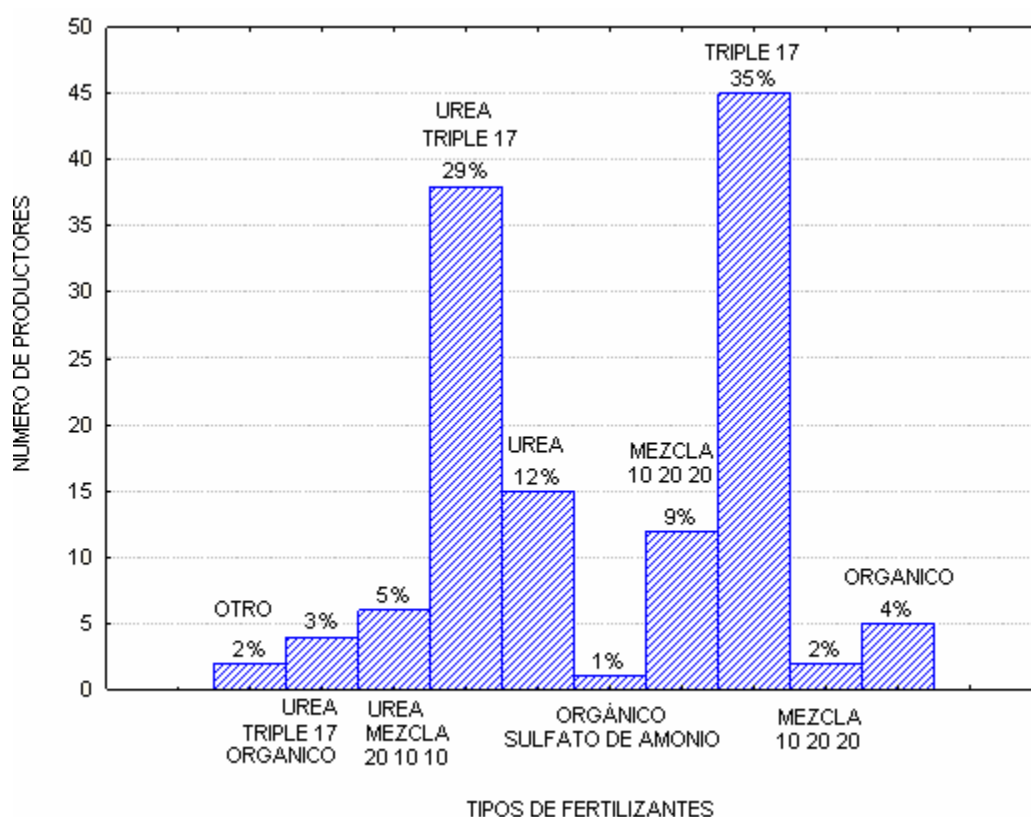


Figura 7. Frecuencia en el uso de diferentes tipos y combinaciones de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de caña de azúcar.

La selección de las fuentes de nitrógeno que se emplean en las zonas de abasto de los ingenios depende, básicamente, de la disponibilidad de los fertilizantes en la región y de su precio. Aún cuando, para ello, deben emplearse criterios relacionados al ambiente químico edáfico, ya que cualquier fertilizante que libere amonio (sulfato y nitrato de amonio, urea, entre otros), tendrá un efecto residual ácido en el suelo. En

zonas donde el suelo es neutro o alcalino, al aplicar amonio, se incrementa el riesgo de volatilización del nitrógeno por la transformación del amonio al gas amoniaco. Esto llega a representar pérdidas de nitrógeno significativas si el fertilizante se deja expuesto sobre la superficie del terreno (PRONAC, 2009b). Con respecto a pérdidas por lixiviación, de acuerdo con la Asociación Mexicana de Agricultores Ecológicos (1992); el fertilizante orgánico se caracteriza por su baja solubilidad, ya que estos liberan más lentamente los nutrientes a las plantas y su efecto es de mayor duración, lo que disminuye su pérdida por lixiviación. Además, su variada composición de nutrientes responde de manera equilibrada a las necesidades de las plantas (Narea y Valdivieso, 2002). Lo que según Gross (1986), mejora la labranza, fertilidad y productividad del suelo.

La aplicación o dosificación de fertilizante nitrogenado en caña de azúcar, es una labor que el 59.2% de los productores realiza en una sola aplicación, y el 40.8% restante, lo fracciona en dos aplicaciones (Figura 8).

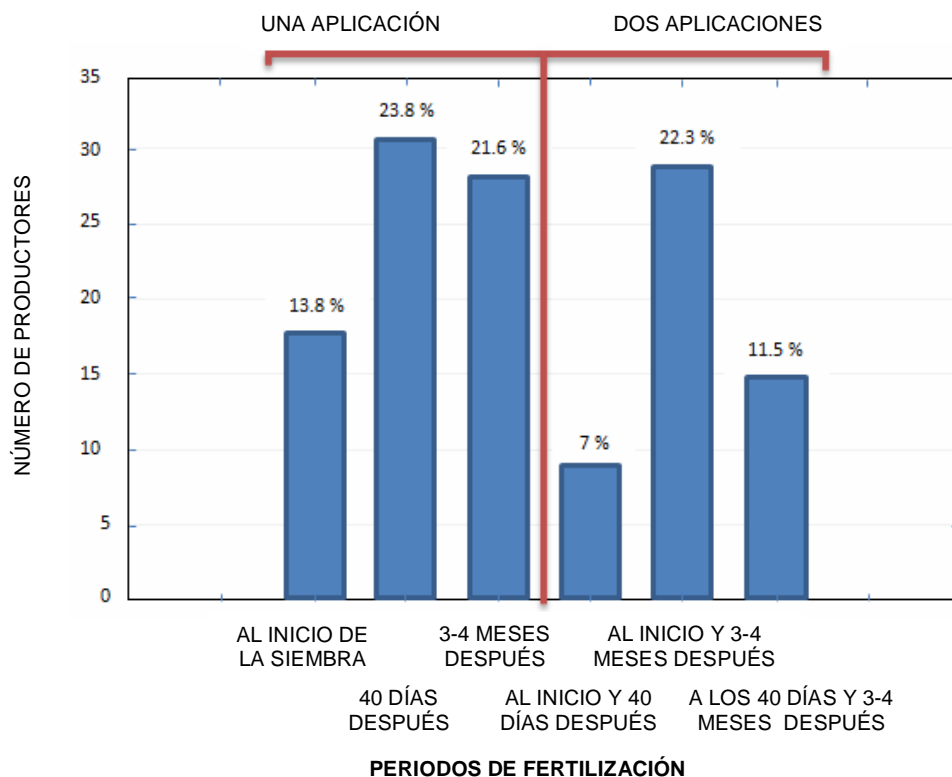


Figura 8. Periodos, dosificación y frecuencia de fertilización en el agroecosistema con caña de azúcar.

De acuerdo con PRONAC (2009ab), en zonas de abasto de los ingenios La Gloria y El Modelo, se recomienda, en época de lluvias, aplicar 1/3 de la dosis de fertilizante al momento de la siembra o inicio del rebrote de la caña, y los 2/3 restantes adicionarlos durante la primera labor del cultivo. En zonas donde el comienzo del ciclo inicia en abril o mayo, se puede aplicar la mitad de la dosis al inicio del ciclo y el resto a la primera labor. Se puede observar, que la dosificación y periodos de aplicación del fertilizante, no se lleva a cabo al 100% de acuerdo a las recomendaciones técnicas de los ingenios.

El nivel de aplicación de fertilizante en el área de estudio se encuentra entre 50 Kg y 1.57 ton N_2 ha^{-1} al año. Lo que representaría 151.19 ton de N_2 aplicado en una superficie total de 398 ha aproximadamente, en promedio 379.8 Kg N_2 ha^{-1} . Esta cantidad de nitrógeno aplicado, es mayor a la recomendada en zonas de riego (200 kg N_2 ha^{-1} , aproximadamente), en áreas de abasto del ingenio La Gloria y El Modelo (PRONAC, 2009ab).

Las desventajas agronómicas del empleo de grandes cantidades de fertilizante nitrogenado, se basan en que los fertilizantes inorgánicos sólo son usados parcialmente por las plantas durante un periodo relativamente corto en relación al ciclo del cultivo, lo que representa grandes pérdidas por lixiviación y evaporación causadas por las lluvias y las altas temperaturas. Desde el punto de vista económico, esta cantidad de nitrógeno aplicado, cuyo propósito es asegurar su máximo aprovechamiento por la planta, incrementa el costo de producción y disminuye la relación beneficio: costo (Ascanio y Hernández, 2008).

Con información de cantidad y dosificación del fertilizante nitrogenado, y variables como edad del productor, nivel de escolaridad y años de experiencia en el cultivo, se realizó un análisis de varianza multifactorial ($p < 0,05$) para determinar qué variables influyen en el Uso Racional del Nitrógeno (URN) en el agroecosistema con caña de azúcar (Figura 9).

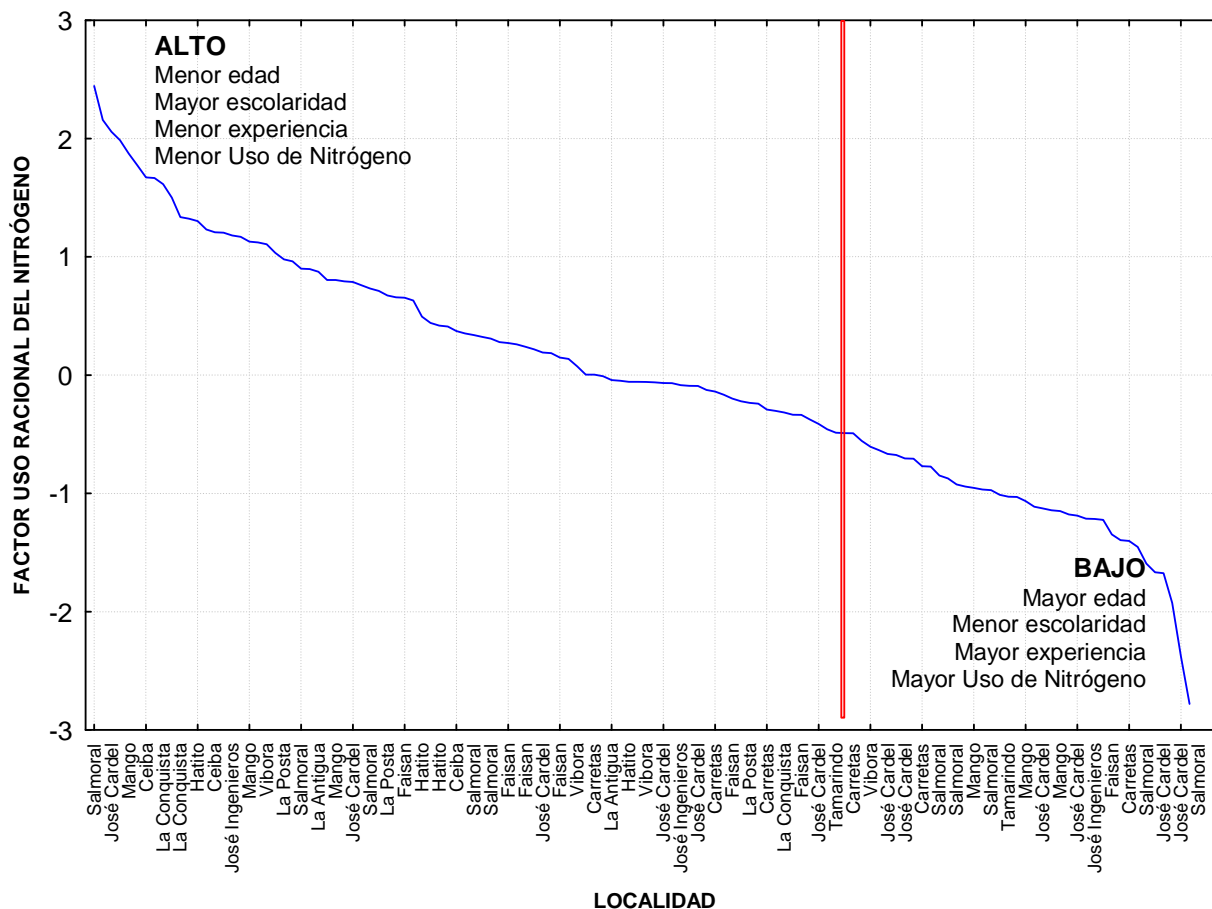


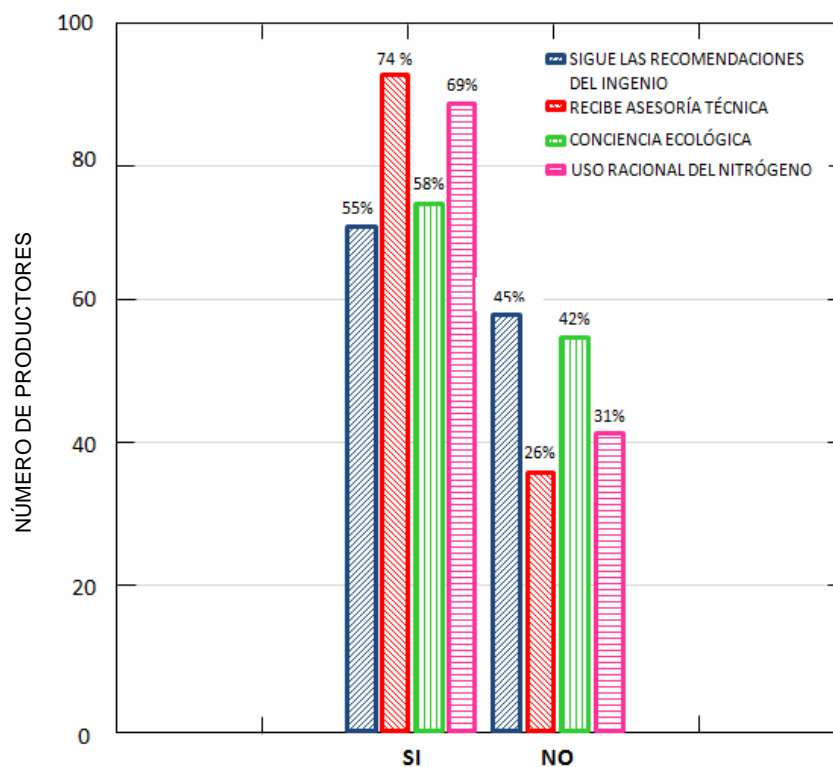
Figura 9. Clasificación del Uso Racional del nitrógeno en diferentes localidades del área de estudio.

De esta forma, se obtuvieron dos categorías significativamente diferentes ($p < 0,05$) que clasifican el nivel de uso del fertilizante en: Uso Racional Alto (69.23%), dado por aquellos productores que tienen menor edad, mayor escolaridad, que aplican una menor cantidad de fertilizante nitrogenado, y además, de menor experiencia en el cultivo. Y por otro lado, los productores que realizan un Uso Racional Bajo (30.77%), son aquellos de mayor experiencia, mayor edad, menor escolaridad y que aplican una mayor cantidad de nitrógeno en sus labores de cultivo. Además, existe una correlación estadística ($r = 0.65$, $p < 0,05$) importante entre el tipo de Uso Racional y la escolaridad de los productores, corroborando que al aumentar la escolaridad se realiza un uso más racional del fertilizante nitrogenado.

Los productores clasificados en la categoría de Uso Racional Alto, establecen una menor resistencia al cambio de actitud en cuanto a seguir recomendaciones de manejo adecuadas al cultivo, reciben o solicitan asesoría técnica, además de tener conocimiento sobre los efectos de la aplicación excesiva de nitrógeno en el ambiente (Figura 10). Lo anterior concuerda con lo observado por Moreno (2010), quien menciona que existe una actitud positiva en los cañeros más jóvenes y con mayor escolaridad, en relación a la reducción de la cantidad de fertilizante aplicado y su dosificación en cantidades amigables con el ambiente.

Hoffmann y Velazquez (1993), afirman que el “sistema caña de azúcar” en Veracruz, está compuesto por personas de campo con un bajo nivel de escolaridad, pero también profesionistas y técnicos. En estas condiciones el cambio de patrones en el cultivo no interfiere con una visión o concepción de “lo que se debe hacer” o “lo que siempre se ha hecho”, como ocurre en las sociedades campesinas más arraigadas a un territorio dado. Un productor tiene un cierto margen de acción en cuanto a sus opciones productivas. Sin embargo, su posición económica y social (cultural) le impone, evidentemente, limitaciones; las cuales, se traducen en un manejo del cultivo poco eficiente, de acuerdo a sus posibilidades y a su percepción.

Acorde con la información proporcionada por los productores, el 92.0% se encuentra en zonas de abasto del ingenio El Modelo, y el resto (8%) destina su producción al ingenio La Gloria. Los primeros se ubican dentro de la categoría de Uso Racional Bajo del nitrógeno y el segundo grupo, a diferencia del anterior, se encuentra dentro de la categoría de Uso Racional Alto. De acuerdo con Romero *et al.*, (2008), actualmente la asesoría técnica es enfocada prácticamente a vigilar la aplicación de insumos y al reporte de las labores que se van realizando durante el ciclo agrícola. Bajo estas circunstancias, los técnicos disponen de poco tiempo para asesorar a los productores sobre el uso de fertilizantes, dosificación, aplicación de insecticidas, manejo del agua y sistemas de riego, entre otros factores de producción. Lo anterior, marca la diferencia entre tipos de URN.



Recomendaciones: N = 130, Media = 1.5462, SD = 0.4998
 Asesoría: N = 130, Media = 1.7385, SD = 0.4412
 Conciencia ecológica: N = 130, Media = 1.5769, SD = 0.496
 Tipo Índice Manejo: N = 130, Media = 1.6923, SD = 0.4633

Figura 10. Comparativo de frecuencias de acuerdo al seguimiento de las recomendaciones del ingenio, asesoría técnica, Uso Racional del Nitrógeno y conciencia ecológica de los productores, en el cultivo de caña de azúcar.

Hasta el 2009, no se habían desarrollado investigaciones sobre el manejo adecuado del fertilizante nitrogenado en zonas del Módulo de Riego (I-1) La Antigua. En el estudio realizado por Moreno (2010) dentro de esta misma zona, se proponen dosis de nitrógeno de 150 Kg ha^{-1} en tres aplicaciones ($50 \text{ Kg/ha/aplicación}$), con rendimientos de hasta 126 Kg ha^{-1} de caña de azúcar. De esta forma, la aplicación de una sola dosis de fertilizante para todos los tipos de suelos, y por ende para todos los productores, ha empezado a ser una recomendación técnica obsoleta (Landeros *et al.*, 2005; Calatayud y Jácome, 2007). Se ha comprobado que áreas con ganadería o agricultura intensiva, originan el deterioro de la calidad del agua de los acuíferos. Este fenómeno representa una amenaza potencial para la calidad del agua de consumo en áreas rurales (Dukes y Evans, 2006; Larios, 2008).

8.2 Identificación del Manejo del Agua

En relación al manejo del agua para consumo humano, fue posible identificar que el 88% de las familias de los productores consume agua envasada por purificadoras de la localidad o de la zona; el 9 y 3% restante, consume agua potable y de pozo, respectivamente (Figura 11). Los tratamientos de purificación previos al consumo del agua potable y de pozo son: cloración, filtración y tratamiento térmico.

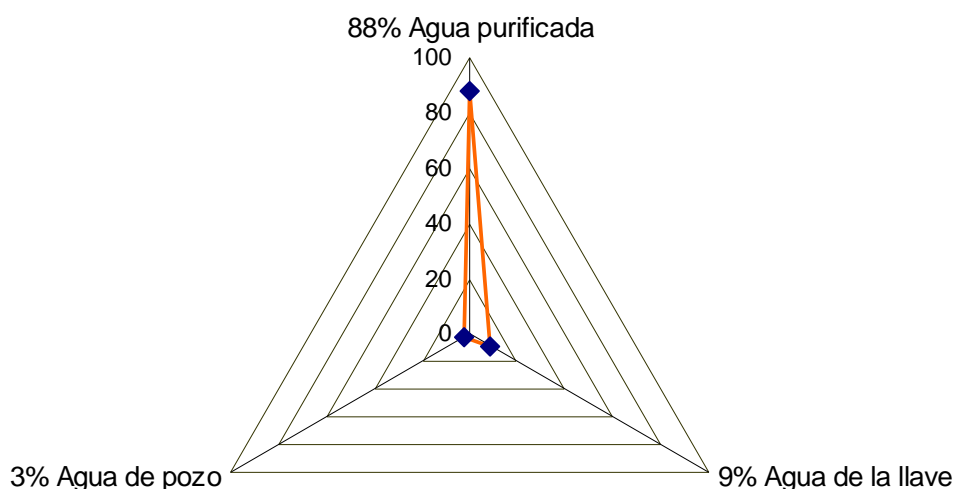


Figura 11. Tipos de agua empleada por los productores para el consumo humano en la zona de estudio.

El consumo hídrico por semana y por familia, es mayor a los 35 L. Lo cual concuerda con un estudio realizado por la Asociación Nacional de Productores y Distribuidores de Agua Purificada, el cual calcula que el 77% de los hogares mexicanos que cuentan con agua potable, consumen alrededor de 40 litros de agua embotellada por semana (El Financiero, 2008).

En la actualidad, el cloro es el desinfectante de agua más económico, práctico y efectivo empleado en la purificación del agua de pozo en cada una de las localidades de estudio. Se ha comprobado que el uso de otros desinfectantes como el ozono, el dióxido de cloro y la monoclaramina no son capaces de mantener el efecto desinfectante posterior del cloro residual. Sin embargo, a pesar de la alta eficiencia del cloro en la desinfección del agua de uso y consumo humano, también existen riesgos

asociados a su presencia en altas concentraciones (NAS, 2008). El nivel de riesgos a la salud es difícil de determinar. Los estudios epidemiológicos hasta ahora realizados, no son suficientes para poder distinguir entre el peligro de contraer una enfermedad celular degenerativa, por efecto de la cloración, y el alto riesgo por consumo de agua contaminada con microorganismos patógenos. Aparentemente, el riesgo en el consumo de agua clorada radica en la toxicidad indirecta de sus subproductos. El consumo de agua con niveles de cloro de 25 a 90 mg L⁻¹ puede provocar desde una irritación en la cavidad bucal, hasta una sensación de estrangulamiento en garganta y laringe, incluso, perforaciones o formación de obstrucciones en el esófago (Castro, 2010).

La eficacia de los sistemas de filtración empleados en los hogares de los productores varía considerablemente. Estos eliminan turbidez, color, algunos protozoarios, bacterias y virus; pero no son eficientes para eliminar productos químicos. El proceso de filtración de estos equipos consiste en tratar el agua pasándola a través de medios granulares (arena), filtros de cartucho, o de filamento; para retener físicamente los microbios y sedimentos del agua, sin mejorar su condición físico-química (NAS, 2008). Por otro lado, el tratamiento térmico del agua a ebullición (hervir el agua), es un método de desinfección que ha demostrado concentra considerablemente algunas sustancias como los nitratos o el sodio (Miñana, 2004).

8.3 Salud Humana

El objetivo de la última sección del cuestionario (Anexo 1), fue obtener información referida a los tipos de enfermedades que se presentan en la población cañera, esperando identificar y cuantificar los tipos de cáncer relacionados con ingestión de agua contaminada con nitratos. Sin embargo, al no obtenerse datos útiles a la investigación, se procedió a gestionar información y estadísticas en la Jurisdicción Sanitaria No. VIII.

8.3.1 Registro de Casos de Cáncer en México

Durante 2007, en México se registraron 514,420 defunciones, 55.4% fueron hombres y 44.6% mujeres; de las cuales, los tumores malignos ocuparon el tercer lugar entre las

principales causas de muerte del país con 68,815 casos (13.4%), por debajo de los decesos por las enfermedades del sistema circulatorio y las enfermedades endocrinas, nutricionales y metabólicas. De 1998 al 2007, las defunciones por tumores malignos se incrementaron, siendo las mujeres quienes presentaron los porcentajes más altos durante ese periodo (INEGI, 2009). En el ámbito nacional, para 2007 el cáncer representó la tercera causa de muerte entre las mujeres con 35,303 defunciones (15.4%), mientras en los hombres fue la cuarta causa con 33,509 muertes, lo que representa 11.8% del total de defunciones entre los varones (Figura 12).

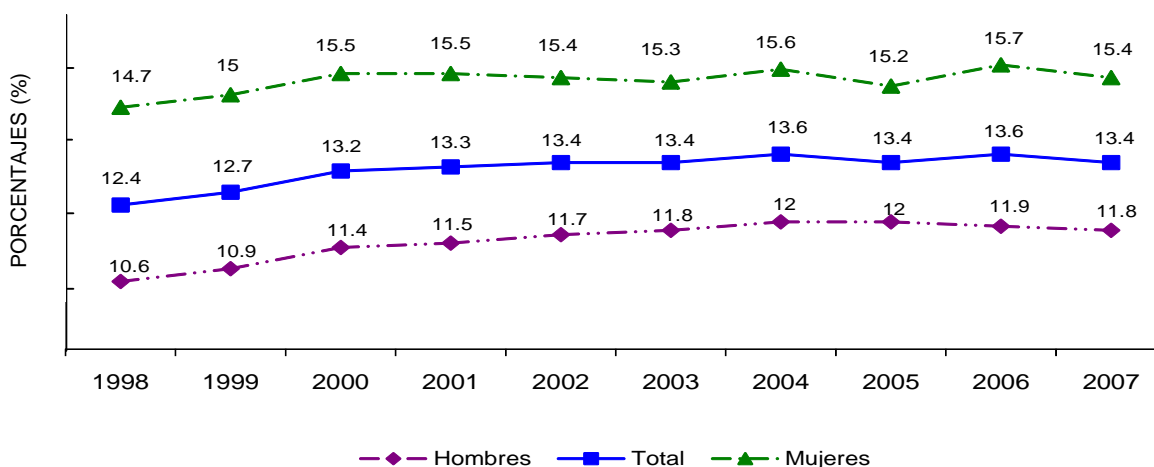


Figura 12. Porcentaje de defunciones por tumores malignos y por sexo, según año de ocurrencia, 1998-2007. Fuente: INEGI. Estadísticas vitales, 1998-2007. Base de datos. Nota: El porcentaje se da en relación con el total de defunciones registradas en cada año, en general y por sexo.

8.3.2 Casos de Cáncer en el Área de Influencia del Módulo de Riego (I-1)

Con la finalidad de cumplir con el tercer objetivo de esta investigación, en esta sección se abordan casos de cáncer de esófago y estómago, los cuales se han asociado a la ingestión prolongada de agua contaminada con nitratos y nitritos (Zaldívar y Robinson, 1973; Peter y Clough, 1993; Morales *et al.*, 1995; Sandor *et al.*, 2001).

Datos proporcionados por la Jurisdicción Sanitaria No. VIII reportan un total de 338 casos de cáncer de estómago y esófago, en la región de Sotavento, durante el periodo

de 2004 a 2009. De los cuales, 45 (13.3%) de ellos se ubicaron en el área correspondiente al Módulo de Riego (I-1), y se encuentran distribuidos en los municipios de: La Antigua, Manlio Fabio Altamirano, Paso de Ovejas, Puente Nacional y Úrsulo Galván (Figura 13).

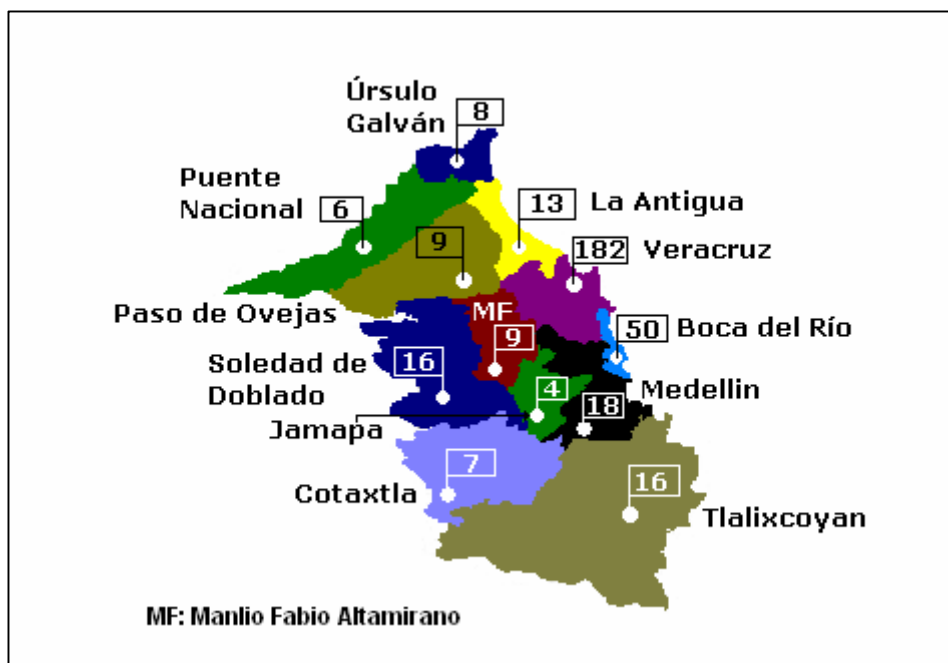


Figura 13. Número de casos de cáncer de estómago y esófago por municipio, detectados en habitantes de la región del sotavento y zona de influencia del Módulo de Riego (I-1) La Antigua, durante el periodo 2004-2009.

De acuerdo con el INEGI (2009), la edad de la población está relacionada con el tipo de cáncer que padece. Los hombres mayores de 60 años presentan mayor incidencia de casos de cáncer de órganos digestivos, tal como se puede observar en el Cuadro 7.

Por lo anterior, es posible ACEPTAR la primera hipótesis planteada en esta investigación, al establecer que: “El manejo inadecuado de fertilizantes nitrogenados en el agroecosistema con caña de azúcar origina fuentes puntuales y no puntuales de contaminación que deterioran la calidad del agua de uso y consumo humano”.

Cuadro 7. Casos de cáncer de estómago y esófago por localidad; edad y sexo, de habitantes diagnosticados.

LOCALIDAD	NO. CASOS	SEXO (%)		\bar{X}	EDAD		
		M	F		S	MAX.	MIN.
Boca del Río	50	58	42	66.0	16.7	88	20
Cotaxtla	7	86	14	68.8	19.8	90	35
Jamapa	4	75	25	63.2	21.8	89	37
Medellín de Bravo	18	67	33	68.2	12.7	89	40
Soledad de Doblado	16	75	25	73.3	14.0	89	51
Tlaxicoyan	16	38	62	69.8	13.2	87	39
Veracruz	182	58	42	65.6	13.5	92	26
La Antigua	13	62	38	69.6	12.8	95	45
Manlio F. Altamirano	9	78	22	72.8	6.29	81	60
Paso de Ovejas	9	44	56	63.1	14.3	77	28
Puente Nacional	6	50	50	70.0	12.0	85	51
Úrsulo Galván	8	62	38	62.2	21.9	89	24

Fuente: Jurisdicción Sanitaria No. VIII.

8.4 Determinación de Nitratos y Nitritos

De acuerdo al planteamiento de la segunda hipótesis y al objetivo número dos, se obtuvieron los siguientes resultados:

8.4.1 Agua Subterránea

El análisis de varianza de la concentración de nitratos extraída de los pozos profundos ubicados en las diferentes localidades, no mostró diferencias significativas entre épocas (Figura 14), pero si entre localidades ($p < 0,05$). La concentración máxima fue obtenida en el pozo de abastecimiento público de Tolome ($7.77 \text{ mg N-NO}_3 \text{ L}^{-1}$), y la mínima en la localidad del Faisan y La Posta, con 0.36 y $0.70 \text{ mg N-NO}_3 \text{ L}^{-1}$, respectivamente (Figura 15). Estas diferencias entre localidades pueden ser atribuidas al tipo de Uso Racional del nitrógeno que los productores realizan en la zona y posiblemente a la profundidad de los pozos, ya que el ubicado en la localidad de Tolome tiene una profundidad aproximada de 3 m; mientras que, el localizado en el Faisan alcanza una profundidad de 10 a 15 m. Esto último tiene relación estrecha con

lo que señalan Liua *et al.*, (2005); las concentraciones de N-NO₃ en aguas subterráneas están significativamente correlacionadas con la profundidad del pozo, concluyendo que a mayor profundidad (150-200 m) la concentración de nitrato disminuye por efecto de la dilución.

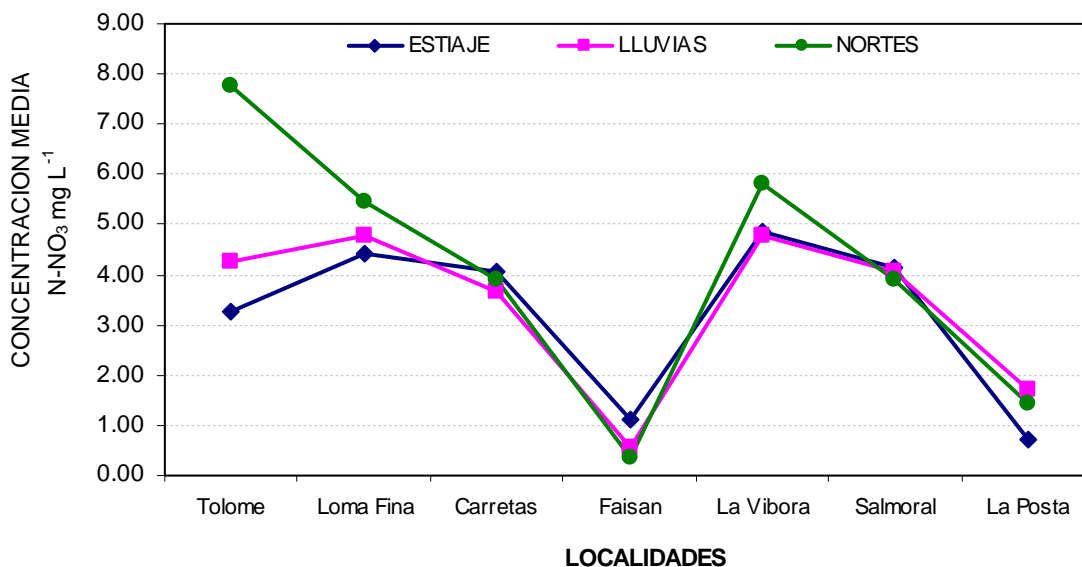
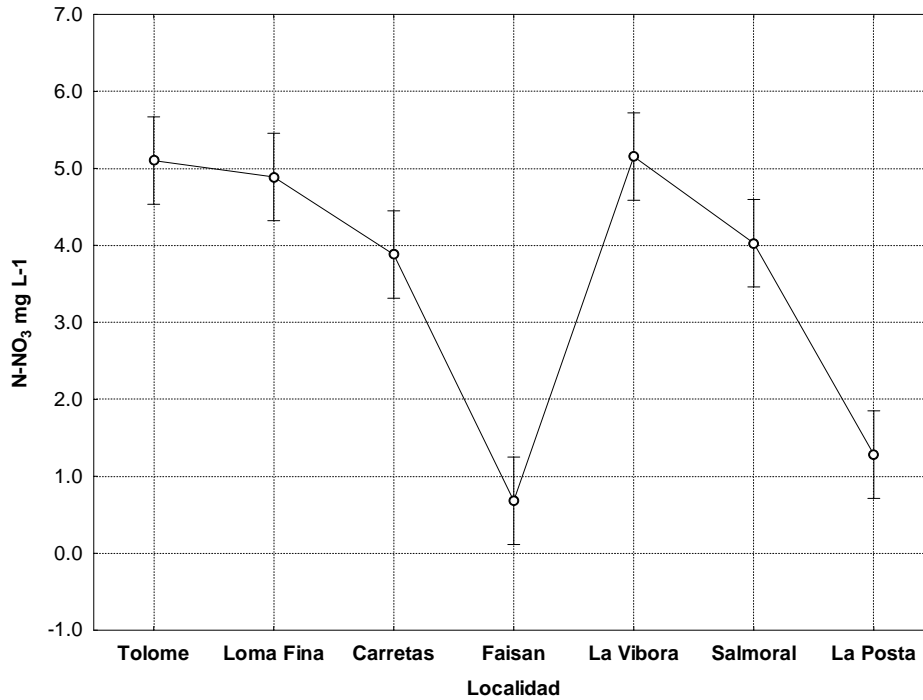


Figura 14. Concentración media de nitratos (N-NO₃ mgL⁻¹) por localidad y por época, en agua subterránea.

Las concentraciones de nitrato encontradas en cada una de las localidades durante las tres épocas, se encuentran dentro de los límites máximos permisibles (10 mgL⁻¹) establecidos en la normatividad nacional e internacional (Directiva 91/676/CEE, 1991; SSA, 1994; WHO, 2007). Sin embargo, al emplear esta fuente de abastecimiento de agua para consumo humano, la calidad del agua puede verse afectada por incrementos importantes en la concentración de nitratos. Debido al empleo de métodos de desinfección, como la ebullición, que ha demostrado concentra considerablemente este tipo de compuestos químicos (Miñana, 2004).



F(6, 56) = 42.446, p=0.0001

Figura 15. Análisis de varianza ($p < 0.05$) de las concentraciones de nitratos ($\text{N-NO}_3 \text{ mg L}^{-1}$) en agua subterránea, de las localidades de estudio.

De acuerdo con Dukes y Evans (2006), se han encontrado mayores concentraciones de nitratos en tierras agrícolas que en aquellas dedicadas a otros usos. Los resultados sugieren que la concentración de nitratos en agua subterránea es atribuida a los fertilizantes aplicados a pastos y cultivos de la región. Además, para mejorar la respuesta del cultivo, se reportan incrementos de hasta un 20% en la dosis de fertilizante aplicado cuando se enfrentan problemas de drenaje impedido, lo que causa anegamientos temporarios que comprometen el abastecimiento normal de nitrógeno a la planta (Pacheco *et al.*, 2002).

Las concentraciones de nitritos, de igual forma, se encontraron por debajo del límite permisible de $0.05 \text{ mg N-NO}_2 \text{ L}^{-1}$ (Directiva 91/676/CEE, 1991; SSA, 1994; WHO, 2007). Al realizar el análisis de varianza no se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre localidades (Figura 16), ni entre épocas.

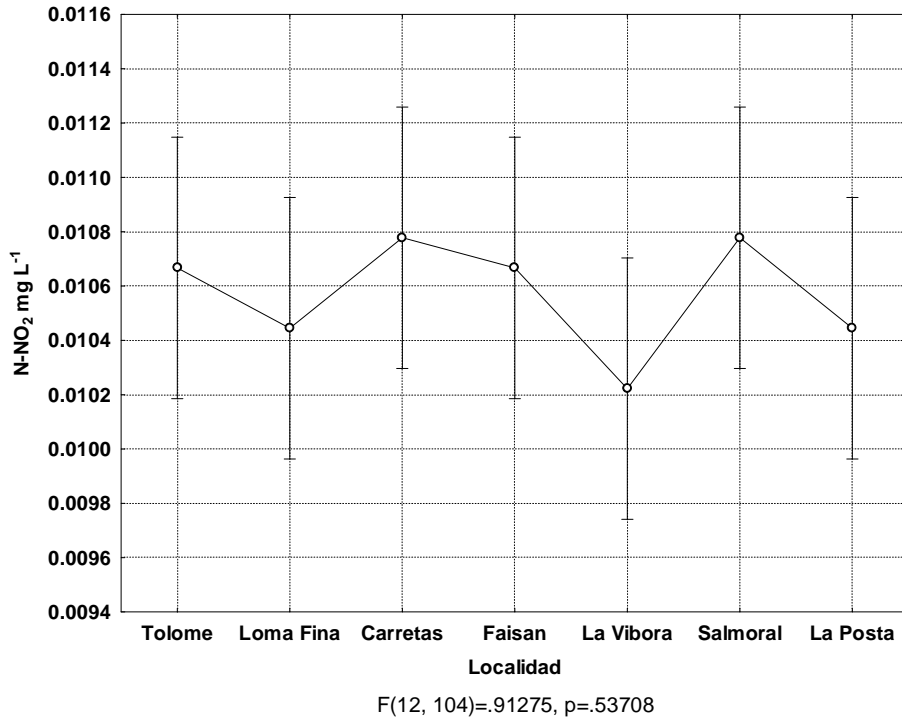


Figura 16. Análisis de varianza ($p < 0.05$) de las concentraciones de nitritos en agua subterránea, en las diferentes localidades de estudio.

La mayor concentración de nitritos se presentó en las localidades de Carretas y Tolome, con valor de $0.013 \text{ mg N-NO}_2 \text{ L}^{-1}$. Estas bajas concentraciones en agua subterránea pueden deberse al pH del suelo agrícola al momento de la fertilización, ya que al mantener valores menores a 7.0 impide que los fertilizantes nitrogenados puedan ser transformados a nitritos directamente (De Miguel y Vázquez, 2006); y de esta forma, por lixiviación, sean llevados hasta el manto acuífero (Feigenbaum *et al.*, 1987; Arauzo *et al.*, 2003).

El acuífero de Veracruz se encuentra en un estado vulnerable a la contaminación por nitratos y nitritos. La infiltración o lixiviación de los compuestos nitrogenados a través del perfil del suelo modifican la calidad del agua subterránea (Beltrami, 2009). Este deterioro está impactando negativamente, no solo a las localidades aledañas a las zonas agrícolas, sino también a las poblaciones que se ven abastecidas por el mismo acuífero, como Boca del Río, La Antigua, Jamapa, Manlio Fabio Altamirano, Medellín de Bravo, Paso de Ovejas, Puente Nacional y Soledad de Doblado (CNA, 2009).

8.4.2 Agua Superficial

El análisis de varianza de las concentraciones de nitratos y nitritos en aguas superficiales, mostraron diferencias significativas entre épocas, pero no entre puntos ($p < 0.05$). El nivel de nitratos encontrado durante la época de nortes fue significativamente diferente al de estiaje y lluvias ($p < 0.05$). Sin embargo, los valores en época de estiaje y lluvias no fueron diferentes entre sí (Figura 17).

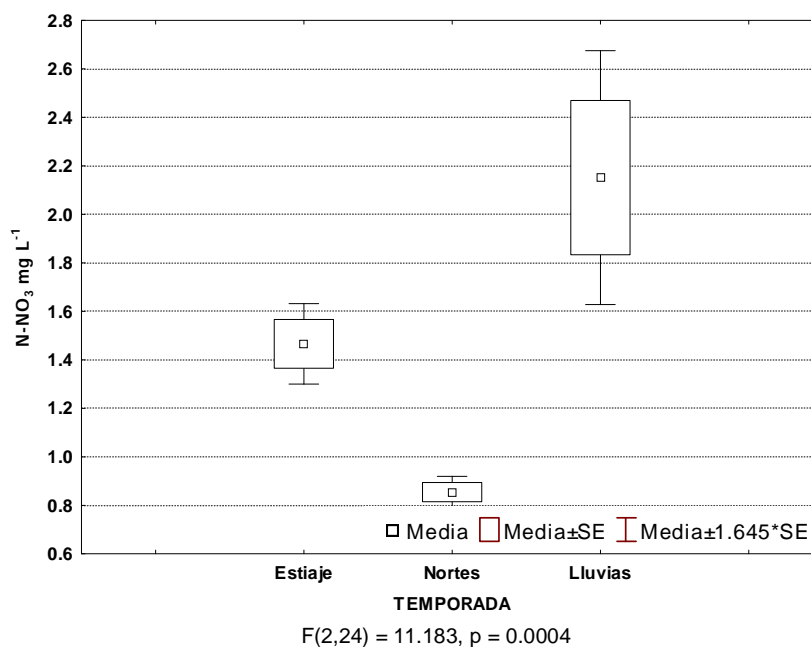


Figura 17. Análisis de varianza ($p < 0.05$) de las concentraciones de nitratos ($N-NO_3$ mg L^{-1}) por épocas en agua superficial.

La concentración máxima de nitratos fue obtenida en el punto de intersección del río Chico y arroyo Tolome (2.94 mg $N-NO_3$ L^{-1}) en época de Lluvias; y la mínima, durante la época de nortes en el punto ubicado sobre la rivera del río Chico (0.72 mg $N-NO_3$ L^{-1}) (Figura 18). Estas diferencias entre épocas, pueden ser atribuidas al efecto del clima sobre la concentración, arrastre o dilución del nitrógeno en aguas superficiales (CNA, 2009). De tal forma que, en época de estiaje al no haber suficiente precipitación, la concentración de nitratos se mantiene baja; pero al iniciar las lluvias, los fertilizantes aplicados sobre la superficie de los campos agrícolas se lavan y escurren hasta aguas superficiales y cuencas hidrológicas. Otro de los factores que promueve el

escurrimiento de nitratos hacia esta fuente de abastecimiento de agua son los sistemas de riego deficiente, y el tipo de suelo (Cepuder y Kumar, 2002).

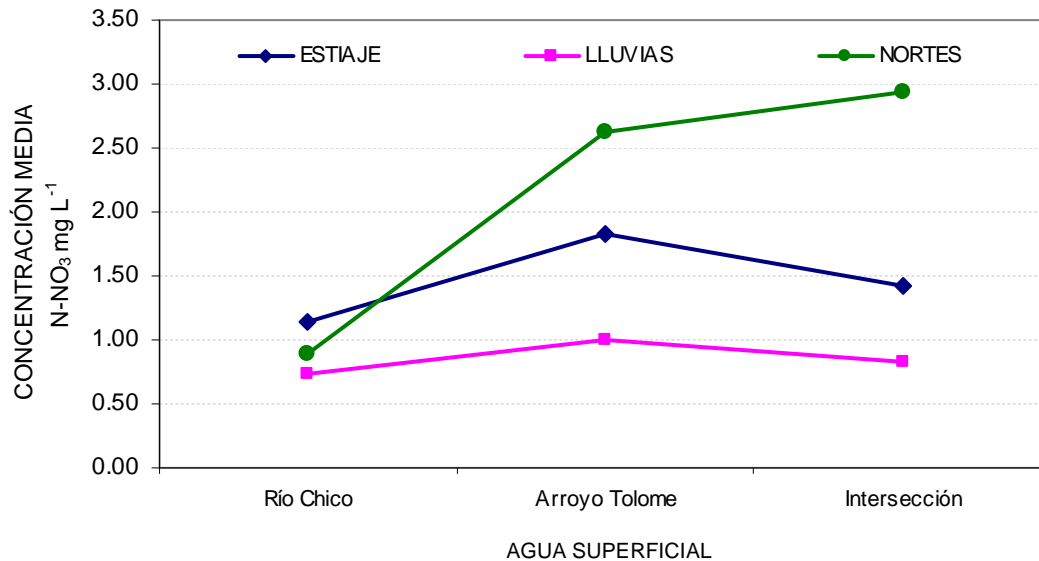


Figura 18. Concentración media de nitratos ($\text{N-NO}_3 \text{ mg L}^{-1}$) por punto y por época en agua superficial.

La concentración de nitritos en aguas superficiales, mostró diferencias significativas entre la época de lluvias y estiaje, no así entre estiaje y nortes ($p < 0.05$). El nivel máximo se determinó en $0.012 \text{ mg N-NO}_2 \text{ L}^{-1}$ (Figura 19).

De acuerdo con Larios (2008), la contaminación de las aguas superficiales por nitratos se deriva, principalmente, del vertido de residuos domésticos e industriales y del escurrimiento directo, desde áreas agrícolas, de las aguas pluviales que arrastran fertilizantes nitrogenados. En consecuencia, la concentración de nitratos en aguas superficiales y subterráneas se ha incrementado, y la calidad del agua potable se ha deteriorado; tal como sucede en aguas superficiales del Módulo de Riego (I-1) La Antigua, Ver.

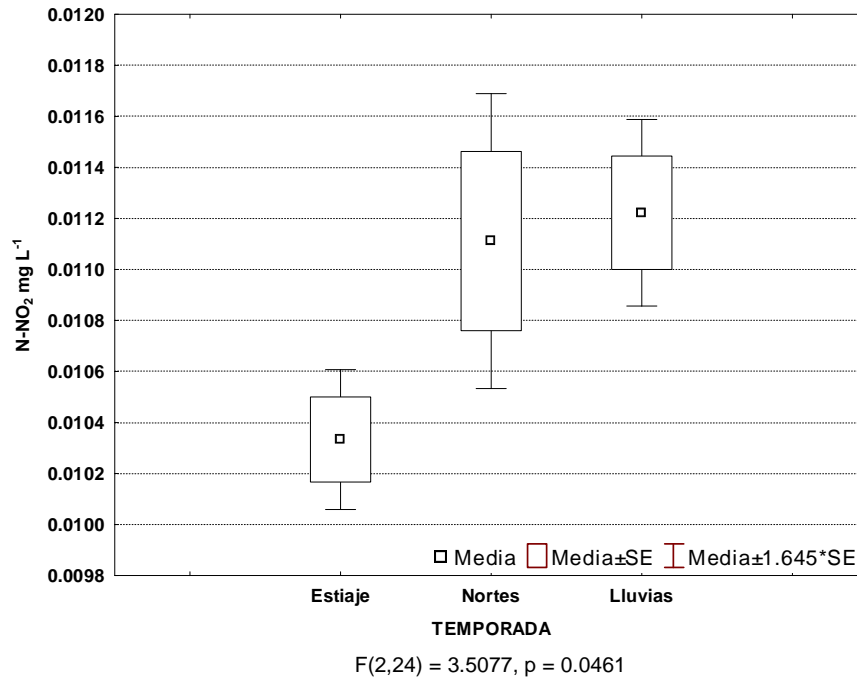


Figura 19. Análisis de varianza ($p < 0.05$) de las concentraciones de nitritos ($\text{N-NO}_2 \text{ mg L}^{-1}$) por época, en agua superficial.

8.4.3 Agua Envasada

Las concentraciones de nitratos en las diferentes marcas de agua envasada se encuentran dentro de los límites máximos permisibles (10 mgL^{-1} de nitrógeno). No se encontraron diferencias significativas (ANOVA, $p < 0.05$) entre marcas, ni entre épocas. Las marcas locales Ártico, Isabel y Santa Catalina contienen una mayor concentración de nitratos con valores de 7.5 , 6.65 y 5.99 mgL^{-1} (N-NO_3), respectivamente (Figura 20). De las marcas comerciales, Xallapan posee la mayor concentración de nitratos (5.46 mgL^{-1}), seguida de Ciel (4.91 mgL^{-1}), Santorini (2.0 mg L^{-1}) y Bonafont (1.05 mgL^{-1}). De acuerdo con el Consejo para la Defensa de los Recursos Naturales, el agua embotellada no es necesariamente más limpia, ni más segura para beber, que la mayoría de las aguas de la llave. Algunas marcas comercializan agua contaminada con algún químico orgánico sintético, bacterias, y arsénico. Algunas de ellas, incluso, excede el límite permitido en la reglamentación oficial, o de la industria del agua embotellada (NRDC, 2007).

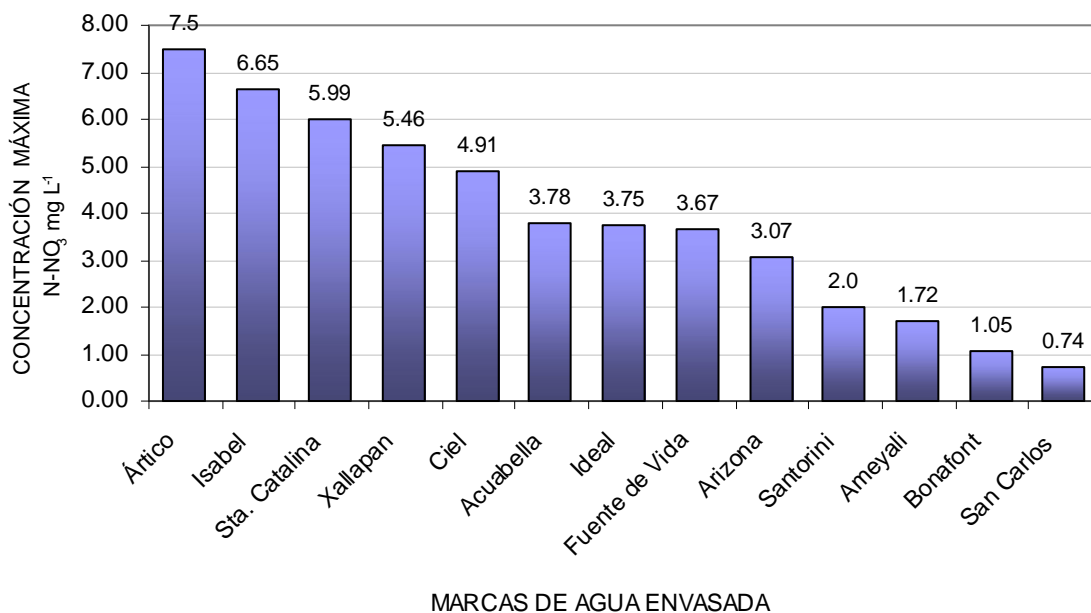


Figura 20. Concentraciones máximas de nitratos (N-NO₃ mgL⁻¹) en diferentes marcas de agua envasada distribuidas en la zona de estudio.

Aún cuando las concentraciones de nitratos y nitritos en agua para consumo humano se encuentran por debajo del límite máximo permisible nacional e internacional, estudios recientes señalan que concentraciones entre 0.1 y 870 mg L⁻¹ de nitratos en agua subterránea se deben a la fertilización de tierras agrícolas principalmente. Estos niveles de nitratos en agua de consumo humano son causa frecuente de metahemoglobinemia e infecciones agudas recurrentes en vías respiratorias, no sólo en niños menores de un año sino en habitantes de cualquier edad (Subramaniyan, 2004; Mondal *et al.*, 2008).

Con base en los resultados anteriores, y al encontrar niveles de nitratos y nitritos en aguas subterráneas, superficiales y envasadas, por debajo del límite permisible establecido en la legislación oficial; se RECHAZA la segunda hipótesis que establece que: “La concentración de nitratos y nitritos en la zona de estudio excede los límites máximos permisibles en agua destinada al uso y consumo humano”.

8.5 Correlación Estadística: Nitratos y Casos de Cáncer

De acuerdo a la tercera y última hipótesis y el objetivo número tres, se obtuvieron los siguientes resultados:

Al realizar un análisis de varianza ($p < 0.05$) entre la concentración de nitratos encontrada en las diferentes marcas de agua envasada y los tumores malignos de estómago (TME) y esófago (TMESF) identificados en las diferentes localidades; no se observaron diferencias estadísticas significativas que muestren relación alguna entre la concentración de $N-NO_3$ y el tipo de cáncer en particular (Figura 21).

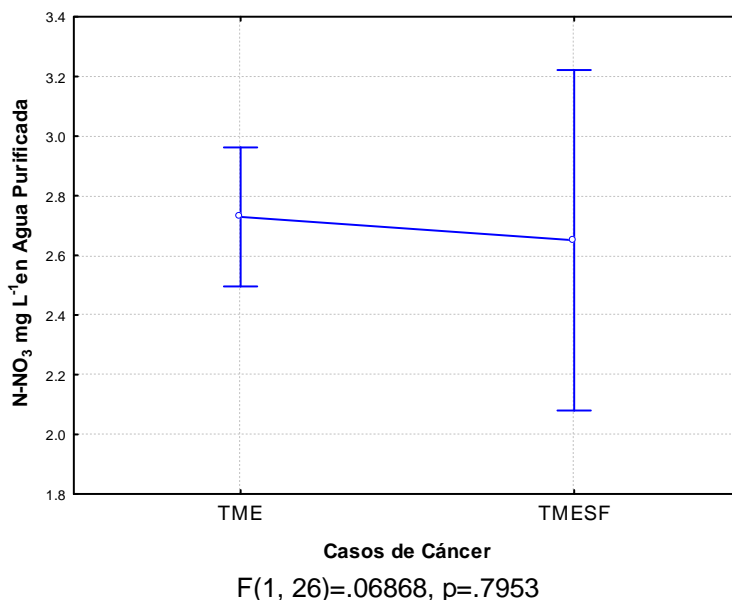


Figura 21. Análisis de varianza entre tipos de cáncer y concentración de nitratos en agua envasada.

Con la información obtenida de las concentraciones de nitratos en agua envasada y en función del nivel de aplicación de nitrógeno que realizan los productores, se establecieron eurísticamente los estratos: Alto, Medio y Bajo. Los cuales fueron correlacionados con el número de casos (28 en total) de TMESF y TME, detectados en habitantes de las localidades de estudio (Cuadro 8). Los resultados muestran que no existe evidencia suficiente para demostrar que existe una relación estadística entre ambas variables, al menos para el periodo comprendido entre 2004 y 2009.

Cuadro 8. Frecuencias de casos de cáncer y número de productores por estrato de aplicación de nitrógeno.

MUNICIPIOS	CASOS DE CÁNCER (TME Y TMESF)*	ESTRATO (NO. DE PRODUCTORES)		
		BAJO	MEDIO	ALTO
Paso de Ovejas	9	16	41	13
La Antigua	13	2	35	3
Puente Nacional	6	3	9	8
Total	28	21	85	24

*TME: Tumor maligno de estómago, TMES: Tumor maligno de esófago.

Sin embargo, para descartar todas las posibilidades de relación entre el nitrógeno y el cáncer, se realizó una nueva correlación entre el factor Uso Racional de Nitrógeno (URN) en el cultivo de caña de azúcar en la superficie de estudio y el número de casos registrados de tumores malignos de esófago (TMESF) y estómago (TME) en las localidades adyacentes (Cuadro 9). El resultado fue una correlación de $r=0.46$ ($p<0.05$) que, si bien no evidencia, tampoco descarta la existente relación estadística entre ambas variables durante el periodo comprendido entre 2004 y 2009, en la superficie del Módulo de Riego I-1, La Antigua, Ver. Los casos de cáncer de esófago y estómago se presentan indistintamente en zonas donde se realiza un uso racional alto o bajo, lo cual puede ser atribuido a que todo el territorio está abastecido por el mismo acuífero (CNA, 2009).

Aun cuando las concentraciones de nitratos y nitritos en agua de consumo humano, obtenidas en 2009, no se relacionen estadísticamente con los casos de cáncer detectados durante el periodo de 2004 a 2009, existe una asociación entre el manejo de los fertilizantes nitrogenados y la incidencia de esta enfermedad en la población de estudio (28 casos de cáncer de esófago y estómago). En Chile, Zaldívar y Robinson (1973) realizaron una investigación epidemiológica sobre la asociación entre el cáncer de estómago y los fertilizantes nitrogenados, encontrando que el 49.4% de las personas expuestas a nitrato de sodio fallecieron por ese padecimiento.

Cuadro 9. Frecuencias de casos de cáncer de acuerdo al Factor de Uso Racional de Nitrógeno (URN) por estratos.

URN	CASOS DE CÁNCER	
	TME*	TMESF*
BAJO	7	1
ALTO	17	3
TOTAL	24	4

*TME: Tumor maligno de estómago,

*TMESF: Tumor maligno de esófago.

Estudios realizados en Inglaterra demostraron que los nitratos no pueden ser excluidos como factores etiológicos del desarrollo del cáncer gástrico y de la mortalidad por este padecimiento (Peter y Clough, 1983), encontrándose una relación estadísticamente significativa ($r = 0.67$) entre este tipo de cáncer y la ingestión de agua contaminada con nitratos (Sandor *et al.*, 2001).

En una investigación realizada en 258 municipios de la provincia de Valencia, España, se encontró que la exposición creciente al consumo de agua potable contaminada con nitratos eleva el índice de mortalidad, en ambos sexos, por cáncer de estómago y próstata (Morales *et al.*, 1995).

De acuerdo con los resultados anteriores, SE RECHAZA la tercera y última hipótesis de esta investigación al no obtenerse evidencias suficientes que comprueben estadísticamente que durante el año 2009, la incidencia de cáncer de esófago y estómago en la población de influencia del Módulo de Riego I-1 La Antigua, se relaciona con las concentraciones de nitratos y nitritos presentes en el agua de consumo humano.

9. CONCLUSIONES

De acuerdo a las hipótesis planteadas, se concluye lo siguiente:

1. El paquete tecnológico que proporciona el ingenio (dosis de fertilizantes N, P y K), no está diseñado con base en los diferentes tipos de suelo. Lo que junto con la falta de transferencia y capacitación tecnológica ha obstaculizado la realización de un buen manejo del fertilizante nitrogenado en el cultivo de caña de azúcar. La aceptación de este paquete tecnológico por los productores, no es consecuencia del rechazo a una conciencia ecológica, sino se debe a la falta de información sobre los efectos a largo plazo del uso de una tecnología que no ha sido diseñada de acuerdo a sus características culturales, sociales y productivas. Esto ha resultado en el empobrecimiento de los suelos, bajos rendimientos, contaminación del agua subterránea con nitratos y problemas de salud de la población vecina.
2. La concentración de nitrógeno en agua destinada al uso y consumo humano en el periodo y área de estudio de esta investigación, no excede los límites máximos permisibles (10 mgL^{-1}); sin embargo estos niveles representan un riesgo potencial a la salud no sólo en niños menores de un año, sino en personas de cualquier edad.
3. Por el alcance de este estudio, no se encontró evidencia suficiente para atribuir o descartar que la incidencia de cáncer de esófago y estómago en la población aledaña al Módulo de riego I-1 La Antigua, Ver., se debe al uso excesivo y manejo deficiente del fertilizante nitrogenado en el cultivo de caña de azúcar y a su impacto contaminante en el agua de uso y consumo humano.

10. LITERATURA CITADA

- Ambientum. 2001. Bacteriología de aguas minerales. [En línea] URL:<http://www.ambientum.com/revista/2001> (Consulta 28.12.2006)
- ANPDAPAC. 2007. Asociación Nacional de Productores y Distribuidores de Agua Purificada, A.C. [En línea]. <http://www.anpdapac.com.mx/html/proveedores-oficiales.html> (Consulta 7.06.2007)
- Aquaker. 2010. Plantas purificadoras de agua, osmosis inversa, agua destilada y mas. En línea. Disponible: http://www.living-water.org/agua_purificada.html (Consulta 06.01.10)
- Arauzo, M., Díez, J. A., Hernáiz, P. 2003. Estimación de balances hídricos y lixiviación de nitratos en sistemas agrícolas. En: Estudios de la zona no saturada del suelo. Eds. J. Álvarez-Benedí y P. Marinero. Vol. VI ZNS03, 39-44 pp.
- Ascanio, G. M. O., Hernández, J. A. 2008. Factores limitantes que afectan la productividad cañera en el estado de Veracruz, México. [En línea] URL: http://atamexico.com.mx/ponencias_atam2008/Jueves%2011%20en%20el%20Ulua%203/MIGUEL_OSVALDO_ASCANIO/2.%20Factores%20Limitantes%20Agrproductivos%20%28ATAM%202008%29.pdf (Consulta 17.03.10)
- Asociación Mundial del Agua. 2002. En busca de la gobernabilidad. Confluencias. Noticias de la Asociación Mundial del Agua (GWP)/SUDAMERICA, Marzo 2: 1-4.
- Barkin, D. 1999. Superando el paradigma neoliberal: desarrollo popular sustentable. Cuadernos de Desarrollo Rural (43): 11-31.
- Beltrami, C. 2001. La contaminación. Ed. Longseller, 112 p.
- Bertollo, P. 1998. Assessing Ecosystem Health in Governed Landscapes: A Framework for Developing Core Indicators. J. Ecosystem Health 4 (1): 33-51.
- Borja, C. E., Carrillo, D. I., López, D. V. 1995. Sector agropecuario y forestal. Tomo I. En: Aguilera Mejía M.L. Veracruz: cifras y perfiles. 1970-1990. IIESES-UV. México.
- Calatayud, L., Jácome, S. 2007. El CEVIM* suma fuerzas para diversificar la industria cañera. Centro Virtual de Investigación Multidisciplinaria. [En línea] URL: <http://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol16num1/articulos/cevim/cevim.htm> (Consulta 20.10.07)
- Castro, E. M. L. 2010. Uso de Cloro para la Desinfección de Agua para Consumo: Efectos en la Salud Humana. CEPIS/OPS. [En línea] URL:<http://www.ambiente-ecologico.com/revist57/cloro57.htm> (Consulta 10.05.10)

- Celis, H. B. 2009. Contaminación de aguas subterráneas por hidrocarburos líquidos livianos en fase no acuosa. *Ciencia Ahora* 22 (11): 20-29.
- Cepuder, P., Kumar, S. M. 2002. Groundwater nitrate in Austria: a case study in Tullnerfeld. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 64 (3): 301-315.
- Chávez, C. P. 2004. Historia de las doctrinas filosóficas. 3ª ed. Pearson Educación, México. 352 pp.
- Civeira, G., Faure, E., Lavado, R. S., Rubio, G. 2003. Lixiviación de nitratos en suelos destinados a céspedes. *Ciencia del Suelo* 21 (2): 71-73.
- CNA. 2002. Comisión Nacional de Agua. Determinación de la disponibilidad de agua en el Acuífero Costera de Veracruz. Gerencia de Aguas Subterráneas. [En línea] URL: www.csva.gob.mx/diagnosticos/.../3006-costera_veracruz.pdf (Consulta 10.06.10)
- CNA. 2009. Comisión Nacional de Agua. Plan Director para la modernización Integral del Riego del Distrito de Riego 035, La Antigua, Veracruz. 142 p.
- Conway, R.G. 1985. Agroecosystem Analysis. *J. Agricultural Administration* 20: 31-55.
- Clough, P. W. L. 1985. Nitrates and gastric carcinogenesis. *J. Minerals and Environ.* 5: 91-95.
- CULCyT. 2008. La escasez de agua, asunto de seguridad nacional: experto. *Cultura Científica y Tecnológica* 5 (24): 47-48.
- Davison, K. L., Hansel, W. M., Krook, L., McEntee, K., Wright, M. J. 1964. Nitrate toxicity in dairy heifers. I. Effects on reproduction, growth, lactation, and vitamin a nutrition. *J. Dairy Science* 47: 1065-1073
- De Miguel, F. C., Vásquez, T. M. 2006. Origen de los nitratos y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas. *Minería y Geología* 22 (3): 1-9.
- Del Puerto, R. A., Sardiñas, P. O., Romero, P. M. 2008. Nitritos y nitratos: afectación a la salud. La Habana. [En línea] URL:<http://www.inhem.sld.cu> (Consulta 28.01.08)
- Directiva 91/676/CEE, 1991. Directiva del Consejo Comunidad Económica Europea. Relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura. DOCE 375/L, 31-12-91.
- Dukes, M. D., Evans, R. O. 2006. Impact of agriculture on water quality in the North Carolina Middle Coastal Plain. *J. Irrigation and Drainage Engineering* 132 (3): 250-262.

- EAAOC. 2004. Recomendaciones para la fertilización de la caña de azúcar. Gacetilla Agroindustrial de la EAAOC N° 61 – Noviembre 2004. [En línea] URL: http://www.eeaoc.org.ar/cania/gacet_fertilizacion.pdf (Consulta 20.03.10)
- El Financiero. 2008. Agua casi regalada para una industria casi regalada. [En línea] URL: <http://www.elfinanciero.com.mx>. (Consulta 22.07.08)
- EPA. 2004. Salud Ambiental Infantil. Séptimo Informe de la Junta Ambiental del Buen Vecino. EPA 130-R-04-001. www.epa.gov/ocem/gneb.htm.
- Estrada-Botello Ma., Nikolskii, G. I., Mendoza, P. J., Cristóbal, A. D., De La Cruz, L. E., Brito, M. N., Gómez, V. A., Bakhlaeva, E. O. 2007. Lixiviación de nitrógeno inorgánico en un suelo agrícola bajo diferentes tipos de drenaje en el trópico húmedo. *Universidad y Ciencia* 23 (1):1-14.
- FAO. 2000. Calidad del agua y sociedad rural, riesgos potenciales de salud en la cuenca baja del río Colorado: el caso de Valle de Mexicali, México. *Relaciones Tierra-Agua en cuencas hidrográficas rurales. Estudio de Caso 27*.
- FAO. 2002. El agua y la agricultura. Cumbre Mundial sobre la Alimentación. [En línea] URL: <http://www.fao.org/WorldFoodSummit/sideevents/papers/Y6899S.htm> (Consulta 15.07.09)
- FAO/CEPAL. 2007. Temas Prioritarios de Política Agroalimentaria y de Desarrollo Rural en México. Grupo Interagencial de Desarrollo Rural – México. México. LC/MEX/L.783.
- FAO/OMS. 2002. FAO procedural guidelines for the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, Roma. [En línea] URL: http://ftp.fao.org/es/esn/jecfa/2002-09-24_Vet_Drugs_Proc_Guidelinesb.pdf (Consulta 15.07.09)
- Farías, S. J. A. 1991. Ecology, culture and utilization of the mussel *Brachiodontes recurvus* (Rafinesque), in the context of an integrated management approach to Boca del Río-Mandinga estuarine system, Veracruz, México. Tesis doctoral. Universidad de Stirling Escocia. 234 p.
- Feigenbaum, S., Bielorai, H., Erner, Y., Dasberg, S. 1987. The fate of N labeled nitrogen applied to mature citrus trees. *J. Plant and Soil* 97: 179-187.
- Freitas, M. B., Brilhante, O. M., Almeida, L. M. 2001. The importance of water testing for public health in two regions in Rio de Janeiro: a focus on fecal coliformes, nitrates, and aluminum. *Cad Saude Publica. Rev.* 17 (3): 651-660.
- Gallardo, L. M., Vallejos, O. S. 1999. Indicadores de desarrollo sustentable. Aplicación de una metodología propuesta por la Organización de las Naciones Unidas. *Salud Pública de México* 41(2): S155-S156.

- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, adaptado para las condiciones de la República Mexicana. 3ª Ed. Offset., Lario Ed. S.A. 252 p.
- García, F. O. 1996. El ciclo del nitrógeno en ecosistemas agrícolas. Adaptación del Boletín Técnico No. 140. 0522-0548. EEA INTA Balcarce.
- García R. 1986. Conceptos Básicos para el Estudio de Sistemas Complejos, en E. Leff (Coord.), Los Problemas del Conocimiento y la Perspectiva Ambiental del Desarrollo. Siglo XXI. México.
- GEV. 2002. Gobierno del Estado de Veracruz. Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Cardel. [En línea] URL: http://informacion.sedesmaver.gob.mx/transparencia/FraccionVII/Regionales/021_ProgOrdUrbCardel.pdf (Consulta 28.03.10)
- Gharajedaghi, J. 2005. Prólogo En: Pensamiento Sistémico. Caminar el cambio o cambiar el camino. Ed. Granica México S.A. de C.V. México D.F. 266 pp.
- Granel, C. E., Gález, H. L. 2002. Deterioro de la calidad del agua subterránea por el desarrollo poblacional: Cancún, Q.Roo. Ingeniería Rev. 6 (003): 41-53.
- Gross, A. 1986. Abonos. Guía práctica de la fertilización Edición Mundi-Prensa. Madrid, España. 560 p.
- Gupta, S. K., Gupta, R. C., Gupta, A. B., Seth, A. K., Bassin, J. K., Gupta, A. 2000. Recurrent acute respiratory tract infections in areas with high nitrate concentrations in drinking water. J. Environmental Health Perspectives 108 (4): 363-366.
- Gurrola, G. 1995. Agua purificada. México: Trillas
- Hernández, M. A. 2009. Automatización del sistema de extracción y distribución de agua de Distribuidora Reyma S.A. de C.V. Tesina. Esc. Sup. de Ingeniería Mecánica y Eléctrica U. Culhuacan. Instituto Politécnico Nacional. 9-11 pp.
- Herrscher, G. E. 2005. Pensamiento Sistémico. Caminar el cambio o cambiar el camino. Ed. Granica México S.A. de C.V. México D.F. 266 pp.
- Hill, A. R. 1996. Nitrate removal in stream riparian zones. J. Environmental Quality 25:743–755.
- Hoffmann, O., Velásquez, E. 1993. Sistema de Producción e Historia: Una Propuesta para el análisis regional (Centro Veracruz, México). Navarro H, Colin J P (Eds)

- En: Sistemas de producción y desarrollo agrícola. Orstom-Conacyt-CP. México. 11-129.
- Hunter, K. S., Wang, Y., VanCappellen, P. 1998. Kinetic modeling of microbially-driven redox chemistry of subsurface environments: coupling transport, microbial metabolism and geochemistry. *J. Hydrology* 209: 53-80.
- Hurtado, de B. J. 2000. Metodología de la Investigación Holística. Sypal, Caracas.
- IMTA. 2010. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Aguas subterráneas. [En línea] URL:http://www.imta.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=181:agua-subterranea&catid=52:enciclopedia-del-agua&Itemid=80 (Consulta 16.01.10)
- INEGI. 2006. "Estadísticas a propósito del día mundial del agua", datos nacionales. <http://www.inegi.gob.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/default.asp?c=269&e=>
- INEGI. 2009. "Estadísticas a propósito del día mundial contra el cáncer". [En línea] URL:<http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/default.asp?c=269&e=> (Consulta 16.01.10)
- Jiménez, S. L. s/f. Filosofía y principios de operación de programas para el aumento de rendimientos en zonas de minifundio. Mimeografiado en el Centro de Enseñanza, Investigación y Capacitación para el Desarrollo Agrícola Rural. Puebla, México. 71-77.
- Johansen, O. 1982. Introducción a la teoría general de sistemas. Ed Limusa. México D.F. 51 p.
- Landeros, S. C., Hernández, R. S. L., López, V. M. C., Ortega, L. A. 2000. Pérdidas de nitrógeno (N-NO₃) proveniente de fertilizantes en los ingenios la gloria y el modelo del estado de Veracruz. Avances de Investigación del Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. Tepetates, Veracruz, México.
- Larios, O. L. 2008. Contaminación del agua con nitratos. Significación sanitaria. Artículo de revisión. Centro Provincial de Higiene y Epidemiología. Camagüey, Cuba. [En línea] URL: <http://www.amc.sld.cu/amc/2009/v13n2/amc17132.htm> (Consulta 10.07.09).
- Larios, O. L., Cañas, P. R., Sánchez, A. O., Capote, F. A. 2004. La contaminación del agua de pozo como causa de metahemoglobinemia en niños. Camagüey 1985-2001. *Archivo medico de Camagüey* 8(2).
- Lenntech agua residual & purificación del aire Holding B. V. 2005. Nitrógeno. URL: <http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/N.htm#Efectos> del Nitrógeno sobre la salud (Consulta 23.08.07).

- Lilienfeld, R. 1984. Teoría de Sistemas, Editorial Trillas, México.
- Lucey, K. J., Goolsby, E. 1993. Effect of climatic variations over 11 years on nitrate-nitrogen concentrations in the fertili river, Iowa. *J. Environmental Quality* 22: 38-46.
- Maseda, A. 2007. Satisfacción del cliente. México: TrillasArauzo M, Díez JA, Hernáiz P (2003). Estimación de balances hídricos y lixiviación de nitratos en sistemas agrícolas. En: Estudios de la zona no saturada del suelo Vol. VI. J.Álvarez-Benedí y P. Marinero. 39-44 pp.
- Martínez, 1997. Lectura recomendada como parte del curso Metodología de Análisis de Agroecosistemas. El cual forma parte del programa en Agroecosistemas Tropicales. Colegio de Posgraduados, Campus Veracruz.
- Martínez, D. J. P., Gallardo, L. F., Bustillo, G. L., Pérez, V. A. 2010. El agroecosistema, unidad de estudio y transformación de la diversidad agrícola en Veracruz. CONABIO. Cap. 8.1. 1071-1080 p.
- Martinez, J., Velásquez, O. R. 1998. Intoxicación por sustancias metahemoglobizantes. *Rev. Cubana Med.* 37 (2): 77-82.
- Medina, M. C., Cano, P. R. 2001. Contaminación por nitratos en agua, suelo y cultivos de la Comarca Lagunera. *Rev. Chapingo Serie Zonas Áridas* 2 (1): 9-14.
- Miñana, V. 2004. Agua de bebida en el lactante. *Anales de Pediatría (Barc)* 60:161-9.
- Morales, S. V., Llopis, G. A., Tejerizo, P. M. 1995. Impact of nitrates in drinking water on cancer mortality in Valencia, Spain. *European Epidemiology J.* 11(1):15-21.
- Morin, E. 1988. Introducción al pensamiento complejo. Por Edgar Morin. [En línea] URL:http://www.geomundos.com/salud/psicosocial/introduccion-al-pensamiento-complejo---por-edgar--morin_doc_11487.html (Consultada 20/07/10)
- Moreno, S. J. C. 2010. Evaluación del manejo del nitrógeno en el agroecosistema caña de azúcar. Tesis de Doctorado. Colegio de Posgraduados Campus Veracruz. México. 114 p.
- Narea, G., Valdivieso, C. 2002. Agricultura orgánica. Situación actual, desafíos y técnicas de producción. Servicio Agrícola y Ganadero, Departamento de Protección Recursos Naturales Renovables. Chile. 150 p.
- NAS. 2008. National Academy of Sciences. El agua potable segura es esencial. Copyright © 2008. Academia Nacional de Ciencias. Todos los derechos reservados. [En línea] URL:<http://www.drinking->

water.org/html/es/Treatment/Filtration-Systems-technologies.html#top (Consulta 10.04.10)

- Navarro, B. S., Navarro, G. G. 2003. Química agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. 2ª Ed. Mundi-Prensa. ISBN 9788484761556.
- Nolan, B. T. 1999. Nitrate behaviour in ground Waters of the southeaster USA, Reston. J. Environmental Quality 28: 1518-1527.
- NRDC. 2007. Recursos Naturales. Consejo Para la Defensa de los Recursos Naturales
- Pacheco, A. J., Sauri, R. M., Cabrera, S. A. 1997. Impacto de la porcicultura en el medio ambiente. Ingeniería. Rev. Ingeniería. Rev. Académica de la Facultad de Ingeniería, UADY 1 (3): 53 – 59.
- Pacheco, A. J., Pat, C. R., Cabrera, S. A. 2002. Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. Ingeniería Rev. 6 (3): 73-81.
- Pacheco, J., Cabrera, A., Pérez, R. 2004. Diagnostico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el Estado de Yucatán, México. Ingeniería Rev. 8 (2): 165-179.
- Palomo, R. M., Martínez, R. G., Figueroa, V. U. 2007. Desarrollo sustentable de los recursos naturales al disminuir el riesgo de contaminación en actividades agropecuarias. CUICYT/Sustentabilidad (4) 20:4-14.
- Parra, V. M. R., Perales, R. M., Inzunza, M. F., Solano, S. C., Hernández, X. E., Santos, O. A. 1984. La regionalización socioeconómica. Una perspectiva agronómica. Geografía Agrícola 5-6: 24-34.
- Perdomo, C. H., Casanova, O. N., Ciganda, V. S. 2001. Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el litoral sudoeste del Uruguay. Agrociencia Rev. 5 (1): 10-22.
- Pérez-Tamayo, R. 2008. Existe el método científico?: Historia y Realidad. Fondo De Cultura Economica USA. 301 pp.
- Peter, W., Clough, L. 1983. Nitrates and gastric carcinogenesis. Environmental Geochemistry and Health. 5 (2-3): 91- 95.
- Pita, F. S., Pértegas D. S. 2002. Investigación cualitativa y cuantitativa. CAD ATEN PRIMARIA, 9: 6-78.

- PRONAC. 2009a. "Digitalización del campo cañero en México para alcanzar la agricultura de precisión de la caña de azúcar", Desarrollo de un modelo integral de sistema de información geográfica y edáfica como fundamento de la agricultura de precisión en la caña de azúcar en México. Etapa I. Ingenio El Modelo S.A. [En línea] URL:http://siazucar.siap.gob.mx/materiales/suelos/09_Ingenio_Central_Progreso.pdf (Consulta 09.04.10)
- PRONAC. 2009b. "Digitalización del campo cañero en México para alcanzar la agricultura de precisión de la caña de azúcar", Desarrollo de un modelo integral de sistema de información geográfica y edáfica como fundamento de la agricultura de precisión en la caña de azúcar en México. Etapa I. Ingenio La Gloria S.A. [En línea] URL: <http://siazucar.siap.gob.mx/materiales/diagnostico.pdf> (Consulta 09.04.10)
- Richards, R. P., Baker, D.B., Creameer, N. L., Kramer, J. W., Ewing, D. E., Merryfield, B. J., Wallrabenstein, K. L. 1996. Well water quality, well vulnerability, and agricultural contamination in the fertilizer United States. *J. Environmental Quality* 25: 384-402.
- Romero, H. G., Saldaña, S. M., Romero, H. R. 2008. Producción de caña de azúcar en el ingenio La Gloria, Veracruz. [En línea] URL: http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/congresos/BAJA%20CALIFORNIA%20NORTE%202002/TECNOLOGIA%20AMBIENTAL/TAO41.doc. (Consulta 10.04.10)
- Sala de Prensa Gobierno Federal. 2010. Agua, asunto de seguridad nacional: FCH. Cd. de México. [En línea] URL: <http://www.presidencia.gob.mx/index.php?DNA=85&page=1&Prensa=15154&Contenido=54756> (Consulta 10.02.10)
- Sandor, J., Kiss, I., Farkas, O., Ember, I. 2001. Association between gastric cancer mortality and nitrate content of drink water: Ecological study on small area inequalities. *European J. of Epidemiology* 17 (5): 443-447.
- Sasson, A. 1993. La alimentación del hombre del mañana. UNESCO. Reverté S.A.
- Sevilla, E. 2006. De la sociología rural a la agroecología. Ed. Icaria. Barcelona, España. 92.
- SIAP. 2010. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Monografía Agrícola. Cultivo de Caña de Azúcar. [En línea] URL: <http://w4.siap.gob.mx/AppEstado/Monografias/agricola.html> (Consulta 02.04.10)

- Siller, C. J., Báez, S. M., Saduño, B. A., Báez, S. R. 2002. Manual de Buenas Practicas Agrícolas. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. SENASICA. 1ª Ed. México D.F. ISBN 970-18-7941-4
- Smith, J. U., Bradbury, N. J., Adiscott, T. M. 1996. SUNDIAL: A PC-based system for simulating nitrogen dynamics in arable land. *J. Agronomy* 88: 38-43.
- SSA. 1994. Secretaría de Salud. NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a los que debe someterse el agua para su potabilización.
- Sociedad Americana de Agronomía. 1989. Decisions researched on sustainable agriculture. *Agronomy News*, Enero. EU, 26-29.
- American Society of Agronomy. 1989. Decisions researched on sustainable agriculture. *Agronomy News*, Enero. EU, 26-29.
- Standard Methods. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. Nitrates. Centennial Edition.
- Stigter, T. Y., Ribeiro, L., Carvalho, H. A. 2005. Evaluation of an intrinsic and specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater salinisation and nitrate contamination levels in two agricultural regions in the south of Portugal. *J. Hydrogeology* 14:79-99.
- Subirós, R. F. 2000. El cultivo de la caña de azúcar. 2ª Reimpresión. Ed. Universidad Estatal a Distancia, San José Costa Rica. 55 p.
- Treuil G. 1990. Principles and steps of the method of diagnosis on agrarian systems: A case study from Sathing Phra area Southern Thailand. Part 1. Agroecosystem analysis / diagnosis on agrarian system. En *Farming systems research and development in Thailand*. Prince of Songkla University. Tailandia. pp. 29-64.
- Tulupov, V. P., Prikhod'ko, E. I., Fomichenko, E. I. 2001. Toxicological and hygienic assessment of nitrates in food products. *Vopr Pitan.* 70 (2): 4-32.
- UNC. 2010. Estadísticas de la Agroindustria de la Caña de Azúcar 2000-2009. Unión Nacional de Cañeros, A.C.-CNPR Comité Ejecutivo Nacional 2007-2010. [En línea] URL: <http://www.caneros.org.mx/estadisticas.htm> (Consulta 10.03.10)
- Vitoria, M. I., Brines, S. J., Morales, S. V., Llopis, G. A. 1991. Nitrates in drinking water in the Valencia community. *An Esp. Pediatr.* 34 (1): 43-50.

WHO. 2007. Nitrate and nitrite in drinking water. Background document for development of World Health Organization Guidelines for drinking-water Quality. WHO/SDE/WSH/07.01/16.

Zaldívar, R., Robinson, H. 1973. Epidemiological investigation on stomach cancer mortality in Chileans: Association with nitrate fertiliser. *J. Cancer Research and Clinical Oncology* 80 (4): 289-295.