



Universidad Nacional Autónoma de México

Escuela Nacional de Estudios Profesionales

IZTACALA

**“EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DEL ARSENICO
EN AGUA, SUELO Y PLANTAS EN LA
COMARCA LAGUNERA”**

T E S I S

Que para obtener el título de:

B I O L O G A

P r e s e n t a :

SANDRA GAMEZ ETERNOD

Asesores: Biol. Martha Niño Sulkowska
M.V.Z. Ismael Escamilla Gallegos



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Con cariño

a mi madre y hermanos

A G R A D E C I M I E N T O S

Quiero expresar mi gratitud a la Biol. Martha Niño S. y al M.V.Z. Ismael Escamilla G. por la dirección y la buena disponibilidad que mostraron siempre para la realización de este trabajo.

Al M.V.Z. Roberto Santaella por su ayuda desinteresada.

Al I.Q. Eduardo Villalobos G. por su invaluable colaboración con la realización de los análisis físico-químicos de los suelos.

Al C. Alberto Almaraz, quien tuvo la bondad de acompañarme en los recorridos de campo.

A la Q.F.B. Ma. Antonieta Aguirre, al M. en C. Daniel Muñoz Iniestra y al personal del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica, por sus acertados consejos en el laboratorio.

C O N T E N I D O

	PAGINA
RESUMEN .	1
INTRODUCCION	2
ANTECEDENTES	6
OBJETIVOS	14
MATERIAL Y METODOS	15
RESULTADOS Y DISCUSION	25
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	41
BIBLIOGRAFIA	44
APENDICE	50

RESUMEN

Se determinó el contenido de arsénico en el agua, el suelo y los forrajes sembrados en cinco Municipios de la Sq marca Lagunera (Coahuila y Durango). Paralelamente se realizó una caracterización físico-química del suelo y un análisis químico-proximal de los forrajes.

Las concentraciones de arsénico en el agua fluctuaron de 0.012 a 0.94 ppm y mostraron una alta correlación ($r=0.7$) con respecto al contenido de As en el suelo (extraído por la técnica de Nelson, et.al.). Por su parte el contenido de As en el suelo (de 0.04 a 8.07 ppm) y el forraje mantuvo una correlación muy semejante ($r=0.68$), mostrando que el suelo poseyó una baja capacidad de fijar arsénico, encontrándose elementos estrechamente asociados a él, como el boro ($r=0.52$), el magnesio ($r=-0.45$) y el fierro ($r=-0.42$).

Las cinco especies forrajeras consideradas: zacate balli co (Lolium multiflorum L.), el maíz forrajero (Zea mays L.), la alfalfa (Medicago sativa L.), la avena (Avena sativa L.) y el sorgo forrajero (Sorghum vulgare Pers X S.sudanese) mostraron la misma capacidad de absorber arsénico; además las concentraciones de As acumuladas en sus tejidos (hasta 12.26 ppm) fueron toleradas por los forrajes sin alterar su calidad nutricia.

El cálculo de la cantidad total de arsénico ingerido por el ganado bovino y caprino a partir de las concentraciones de As existentes en el agua y los forrajes indica, que en ninguno de los 5 Municipios se supera el límite máximo permitido - 12 mg de As_2O_3 x kg de peso del animal, por lo que se considera que el agua presentó una calidad aceptable para uso pecuario durante el periodo que abarcó el presente estudio.

INTRODUCCION

Uno de los problemas más graves que enfrenta México en el siglo XX es el deterioro ambiental - provocado por la explotación desenfrenada y agotamiento de los Recursos Naturales.

Como un ejemplo de esto encontramos a la zona denominada Comarca Lagunera, que constituye una de las regiones que aporta mayores beneficios económicos para México (9).

No obstante que en los últimos años el progresivo crecimiento industrial ha llegado a desplazar a la agricultura como actividad económica primordial ésta sigue considerándose como uno de los principales renglones en los que descansa la economía de la región (32).

La producción agrícola de 1984 indica que los campos están dedicados básicamente al cultivo de forrajes, lo cuales constituyeron más del 90% de la producción total a nivel regional en dicho año (14).

La Comarca cuenta con suelos ricos en nutrientes, pero que muestran como factor limitante la escasez de agua, ya que por su ubicación geográfica la región constituye una superficie semidesértica

con una precipitación pluvial escasa y escurrimientos superficiales casi nulos. Por consiguiente el recurso hidráulico ha constituido el factor más determinante para lograr el desarrollo económico de la región, dedicándose un 95% del agua -- disoponible al sector agrícola, lo que permite que existan 97,310 Ha regadas con agua superficial y 64,602 Ha que se riegan con aguas subterráneas - (36).

En su parte meridional la Comarca se encuentra atravesada por las aguas de los Ríos Nazas y Aguanaval, así como un manto subterráneo que cubre a toda la región y que es recargado por las infiltraciones de los cauces de ambos ríos (31).

Dichos depósitos subterráneos constituyeron una fuente de agua de buena calidad que podía ser explotada en el lugar requerido y en el momento -- deseado, no obstante al utilizarlo ampliamente -- sin tomar en cuenta su capacidad real de explotación, se provocó a partir del año de 1930 a la fecha un abatimiento de los niveles freáticos desde 20 m a 120 m (14).

Paralelo a este problema, pero sin que hasta la fecha se haya podido comprobar su relación. la calidad del agua ha disminuido con un incremento

en la concentración de sales, en las áreas más retiradas de la zona de recarga del acuífero (14).

De esta manera, la región ha sido considerada como una zona de conflicto de agua, además de ser una cuenca de primer orden por el grado de contaminación existente (28).

El contaminante más peligroso para consumo humano que se presenta en las aguas subterráneas de la Región, es el arsénico, por su alta toxicidad y su propiedad de ser acumulativo en los seres vivos, causando intoxicaciones que van desde deshidratación y dermatitis hasta cáncer en diversos tejidos (13), por lo que se habla del "hidroarsenicismo" como una enfermedad endémica de las regiones más afectadas (12).

La norma internacional de calidad de agua establece como máximo permitido para consumo humano una concentración de 0.05 mg de arsénico por litro (20), encontrándose que de una gran cantidad de pozos se extrae agua con concentraciones superiores a este límite. Esto ha imposibilitado su uso para consumo humano en buena parte de los Municipios de San Pedro, Fco.I.Madero, Tlahualillo y Mapimí y aún en una área más reducida de estos municipios para uso agrícola (19).

Considerando que las tierras cultivadas en dichos municipios están recibiendo día a día elevadas concentraciones de arsénico y que una gran extensión de dichas tierras está dedicada al cultivo de forrajes, surgió la idea de realizar este estudio para conocer si dichos forrajes resultan afectados por esta contaminación, ya que algunos suelos poseen concentraciones de arsénico dignas de tomarse en consideración (11).

ANTECEDENTES

GENERALIDADES DEL ARSENICO

El arsénico es un metaloide que existe en la Naturaleza, tanto en el agua, como en el suelo y el aire. El elemento por sí mismo no es tóxico, - pero los compuestos que de él se derivan si son - notables por su actividad como venenos, así se -- trate de anhídridos, ácidos o sales inorgánicas u orgánicas. Solamente aquellos insolubles como los sulfuros o arsenopiritas no son tóxicos (10, 18, 20).

No se ha demostrado que el arsénico sea un - elemento esencial para la vida vegetal o animal, más bien está considerado como un peligro para la salud humana, ya que causa intoxicaciones de diver sos grados (4, 34).

La intoxicación aguda es poco común, causan- do alteraciones gastrointestinales, como: dolor - abdominal, disfagia, vómito persistente, diarrea, anuria y tetania muscular. Datos ulteriores son: sed intensa y estado de choque. La dosis mínima - letal es de 0.1 gr (12).

La intoxicación subaguda causa dermatitis ar senical, placas eritomasas con pápulas y ampo-- llas en los muslos, axilas y el escroto, así como

parálisis dolorosa de los extensores con atrofia muscular (20).

En la intoxicación crónica los síntomas son más vagos, consistiendo en dermatosis característica con hiperqueratosis palmoplantar, neuropatía periférica y daño hepático que puede evolucionar a cirrosis hepática. El arsénico es carcinógeno - y el cáncer broncogénico y cutáneo están bien identificados. Personas expuestas a este tipo de intoxicación registran concentraciones elevadas en la sangre, orina, pelo, uñas, hígado y piel (32).

COMPORTAMIENTO DEL ARSENICO EN EL AGUA

En el agua el arsénico puede existir en cuatro estados de oxidación: -3, 3, 0, 5 para formar arsenitos, arsenatos y ácidos, dependiendo del pH del agua y la presencia o ausencia de un oxidante. Dicho elemento forma compuestos tanto orgánicos - como inorgánicos, asumiéndose que en general los segundos son más tóxicos que los primeros, siendo la forma trivalente la más perjudicial para los seres vivos (27). De manera natural el arsénico - puede encontrarse en concentraciones elevadas en aguas termales, las cuales son numerosas en el -- Estado de Coahuila, localizándose en las poblacion

nes de Allende, Gral. Zepeda, Cuatro Ciénegas y Ramos Arizpe (11).

Derivado de las actividades del hombre, el arsénico puede hallarse en concentraciones elevadas en las aguas residuales de fábricas de vidrio, pinturas, papel y metalúrgicas, de hecho, debido a la existencia de éstas últimas en la zona industrial de la Comarca, la Unidad Sanitaria de Torreón-Coahuila, registró en el año de 1962 un brote de intoxicación aguda por arsénico, provocado por la descarga de aguas contaminadas de parte de la Metalúrgica Peñoles en un pozo de abastecimiento de agua potable (12).

COMPORTAMIENTO DEL ARSENICO EN EL SUELO

El arsénico existe de manera natural en el suelo, asociado íntimamente a otros elementos como son: el hierro, el azufre y la plata (18).

Según Allaway, las concentraciones de arsénico total puede variar de 0.1 a 40 ppm, siendo lo más común encontrar valores que no superan la mitad de este intervalo (34).

La Comarca Lagunera cuenta con gran cantidad de yacimientos mineros, de los que cabría suponer que las elevadas concentraciones de arsénico de-

terminadas en algunos suelos (más de 40 ppm) se deban a la presencia de yacimientos mineros, tal como se establece en el estudio realizado en el año de 1979 por el Departamento de Protección Y Ordenación Ecológica de la SARH en Coahuila, en donde se encontró, que el 85% del arsénico que poseen los suelos de la región, llega a través del agua de riego de origen subterráneo, un 10% por humos industriales y el 5 % restante por el empleo de fertilizantes e insecticidas (11).

Con respecto a éstos últimos, cabe mencionar que en los años 40's la Región Lagunera utilizó exhaustivamente arsenicales como el trióxido de arsénico (As_2O_3), el arsenito de sodio ($NaAsO_2$) y el arsenato de plomo ($Pb_3(AsO_4)_2$) que servían como insecticidas, herbicidas y esterilizantes de suelos, pero fueron suprimidos a raíz de su prohibición en el mercado (2,10,32,6,37).

En sí, el destino del arsénico en el suelo no es bien conocido (50), aún cuando se sabe que con el tiempo disminuye su toxicidad (46, 48).

En un principio se creía, que el comportamiento del arsénico era análogo al del fósforo, debido a su isomorfía y similitud química (15,29), no obstante, Johnson y Hiltbold encontraron notables

diferencias en su distribución en las formas químicas y mineralógicas del suelo, pues las sales suaves como el cloruro de amonio que extrae gran parte del arsénico, capta concentraciones ínfimas de fósforo, sugiriendo que el primero tiene una mayor solubilidad en el agua y un menor grado de absorción, precipitación y oclusión (17).

Por otro lado, se sabe que el contenido de arcilla y óxidos de fierro y aluminio, así como en mucho menor grado el calcio, se hallan frecuentemente asociados a la capacidad del suelo de absorber arsénico, pues su toxicidad decrece cuando se incrementa el contenido de aquellos, presumiblemente debido a los bajos niveles de arsénico que se mantienen en la solución del suelo (49,50).

COMPORTAMIENTO DEL ARSENICO EN LAS PLANTAS

Se ha demostrado que el arsénico al estar presente en pequeñas cantidades no produce efectos dañinos, incluso es posible que resulte benéfico para la vida vegetal; no obstante, es difícil hablar de un valor límite de toxicidad sin tomar en cuenta a la especie vegetal, pues para el "chí charo de vaca" concentraciones de 1 ppm disminuyen su crecimiento, el frijol se ve afectado con

7 ppm, en tanto que se tienen reportes de no haber daño en la cebada y alfalfa cuando las concentraciones están arriba de 6 ppm de arsenico soluble (17, 50). Así mismo se ha observado que el trigo y el centeno crecen mejor en suelos que sostengan hasta 1200 ppm de arsénico (6).

Johnson y Hiltbold (17), encontraron que -- los contenidos de arsénico en los cultivos dife- rían entre las especies de plantas, cantidades -- aplicadas y fuentes de arsénico adicionados al sue- lo. De este modo el algodón y la soya presentaron - las mayores concentraciones de arsénico, mientras que el trébol rojo, la avena y la arveja fueron - los más bajos de las cosechas probadas. El sorgo y el maíz forrajero fueron intermedios. Las concen- traciones variaban de 5 a 1.5 ppm de arsénico. Los rendimientos de los cultivos no se vieron afecta- dos por los tratamientos de arsénico.

Los daños macroscópicos en las plantas debi- dos a intoxicación por arsénico, consisten en plas- mólisis en la raíz y secado de las hojas, precedi- dos de una decoloración y necrosis, lo cual denota una limitación en el movimiento del agua por capi- laridad dentro de la planta, que culmina en la muer- te del vegetal (49).

COMPORTAMIENTO DEL ARSENICO EN LOS ANIMALES

Algunos arsenicales orgánicos son utilizados como coocidiostáticos y promotores del crecimiento para aves y cerdos. Su mecanismo de acción no es bien conocido, pero se cree que semeja al de los antibióticos, esto es, actúa modificando la población bacteriana con lo que evita la desaminación de las proteínas, lo que se traduce en un incremento de peso para el animal (4).

Así mismo, el arsénico puede afectar a los animales que lo ingieran cuando es suministrado en grandes cantidades. En la Comarca Lagunera existe el antecedente de un brote de intoxicación arsenical en el ganado bovino, que se presentó el mes de mayo de 1976, afectando a un total de 5,886 vacas lecheras, de las cuales murieron 1464 debido a la ingestión de un concentrado mineral que fue preparado con arsenato de calcio como suplemento fosfórico en lugar de emplear roca fosfórica. Al ser analizado dicho complemento alimenticio mostró tener un 8% de arsénico, lo que equivale a 80,000 ppm (43).

La cantidad de arsénico que se considera tolerable en el caso de ingestión por consumidores del reino animal está en el intervalo de 1 a 12 mg de

arsénico por kilogramo de peso vivo, variando la toxicidad del compuesto ingerido en función de su fórmula química, solubilidad, vía y tiempo de exposición y resistencia particular del organismo - (41, 42).

Los efectos toxicológicos se relacionan con el estado de oxidación del arsénico, así la forma trivalente tiene la capacidad de asociarse fuertemente a los grupos sulfhidrilos de las células, - afectando los tejidos ricos en sistemas oxidativos como el tubo digestivo, el riñón, el hígado, el pulmón y la piel. A su vez, la forma pentavalente actúa como desacoplante de la fosforilación oxidativa (27, 47).

Los síntomas y signos de intoxicación por arsénico en los animales son muy parecidos a los -- descritos para el hombre (33).

OBJETIVOS

El presente trabajo tiene por objeto evaluar el efecto de las concentraciones de arsénico contenidas en el agua de riego sobre los forrajes -- sembrados en la Comarca Lagunera. Para lo cual se plantean las siguientes metas:

- I. Determinar las concentraciones de arsénico en el agua, el suelo y los forrajes sembrados en los Municipios de: Torreón, Fco.I.Madero, Tlahualillo, San Pedro y Matamoros.
- II. Determinar las propiedades fisico-químicas del suelo más relevantes en la fijación y fitotoxicidad del arsénico.
- III. Determinar la calidad nutricia de los forrajes através de un análisis químico-proximal.

MATERIAL Y METODOS

I. CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

Ubicación Geográfica

La Comarca Lagunera se encuentra comprendida entre los Meridianos $101^{\circ}41'$ y los $105^{\circ}01'$ al Oeste de Greenwich y los Paralelos $24^{\circ}59'$ y $26^{\circ}53'$ de latitud Norte, abarcando una extensión de -- 5,251,908 Ha.

Comprende municipios del Estado de Durango y Coahuila, siendo para el primero: Lerdo, Gómez Palacio, Tlahualillo, Mapimí y Nazas; y para el segundo: Matamoros, San Pedro, Torreón, Viesca, Fco. I. Madero y su zona de influencia, que se extiende a los Municipios de Rodeo, Simón Bolívar, San Luis Cordero, San Pedro el Gallo y San Juan de Guadalupe (Fig. 1) (30, 35).

Orografía

La mayor parte de la Comarca la constituye -- una planicie con una altura promedio de 1,139mts, interrumpida en ocasiones por pequeñas elevaciones. Rodeando a esta planicie se encuentra una extensión montañosa formada por el Macizo de la Sierra Madre Oriental y Sierras Transversas hacia el Sur y Suroeste y las Sierras de Tlahualillo, Alamitos y Deli-

cias nacia el Norte (31).

Hidrografía

Los ríos más importantes son el Nazas y Aguanaval, los cuales han dejado sus huellas en la región, conformando un abanico aluvial con corrientes que arrastran materia vegetal en descomposición proporcionando alta fertilidad a la zona y favoreciendo la formación del valle agrícola.

El río Nazas que va de Suroeste a Oeste de la Comarca se forma a partir de las confluencias del Río Sextín y el Ramos, captándose sus aguas en la Presa Lázaro Cárdenas, que funciona como un vaso regulador, de tal modo que el agua que llega a la casi desecada Laguna de Mayrán es mínima (30, 31).

En cuanto al Río Aguanaval, su cauce es aprovechado por el Estado de Zacatecas, por lo que los arroyos que llegan a la zona son temporales y no controlados, desembocando en la Laguna de Viesca.

Las aguas subterráneas son tan importantes como las superficiales. existiendo 2386 pozos a un nivel promedio de 60 m, que se conservan mediante la clausura de algunos de ellos por lapsos bienuales (36).

Clima

El clima de la Comarca es de el tipo caliente desértico (Bwkw, según García E. 1964), con -- precipitación pluvial escasa y aleatoria, alcanzando en promedio entre los 200 y 300 mm anuales. La temperatura media anual es de 20^oC, con 2 períodos bien definidos, el primero de abril a octubre con una temperatura media mensual que va desde los 25 a los 27^oC, y el segundo que abarca de noviembre a marzo, en donde la media oscila entre 13 y 19^oC.

Geología

El subsuelo de la Comarca Lagunera está constituido por una profunda depresión integrada de -- sedimentos marinos en la parte meridional. La parte central y septentrional contienen los mismos -- sedimentos, pero apoyándose directamente en el antiguo continente, conformando un subsuelo macizo y profundo.

El relleno detrítico de dicha depresión lo -- constituyen conglomerados cálcicos, arena de grano desigual y lentes de arcilla margosa (31).

Edafología

Los suelos de la Laguna entran en el grupo -

de los Zierozem (del Sistema de Clasificación de la F.A.O., 1949), los cuales en términos generales son suelos de color café grisáceo, de bajo contenido de materia orgánica (2% en promedio) y que presentan horizontes de acumulación de yeso y calcerca de la superficie así como tendencias a acumular sales de sodio.

En general estos suelos presentan texturas medias y buen drenaje y permeabilidad.

Vegetación

En las áreas no transformadas por las actividades agrícolas y mineras, la vegetación existente es la típica de climas desérticos, con matorrales halófitos y micrófilos entre los que destacan, como plantas útiles al hombre: la candelilla (Euphorbia antisiphilita), la lechuguilla (Agave lechuguilla), la palma samandoca (Yuca carnesoran) y el nopal (Opuntia sp.). La escasa vegetación arbórea al igual que los pastizales se localiza en los lugares húmedos como las vegas de los ríos (30).

Actividades Económicas

En las zonas urbanas la actividad industrial constituye el renglón económico más importante, exis

tiendo fábricas de aceites, de elaboración de productos químicos, metalúrgicas, fabricación de vinos y licores, automotrices, hilados y tejidos. La ganadería es también un fuerte renglón para la economía de la región, el censo pecuario indica que en 1984 se contaba con: 18,222,030 aves, 583,213 caprinos, 303,302 bovinos, 202,126 porcinos y 23,600 equinos.

El segundo renglón en la economía lo constituye la agricultura, existiendo 97,310 Ha con riego superficial y 64,602 Ha que se riegan con aguas subterráneas.

La productividad en el año de 1984, se muestra en el cuadro 1.

CUADRO 1 "CULTIVOS SEMBRADOS EN LA COMARCA LAGUNERA EN EL
AÑO DE 1984"

CULTIVO	% DE LA PRODUCTIVIDAD TOTAL	CANTIDAD (MILES DE PACAS)
SORGO ESCOBERO	1.15	35
ZACATE BALLICO	3.94	120
TOMATE	0.48	14.7
SEMILLA ALGODONERA	2.89	88
SORGO GRAND	0.95	29
ALGODON	no incluido	270*
FRIJOL	0.23	7.2
VID	2.52	76.8
TRIGO	0.44	13.6
SANDIA	0.55	16.8
NOGAL	0.09	3
ALFALFA	85.45	2600
MAIZ GRAND	1.15	35.2

* miles de pacas

Extraído de "Alternativas de Manejo de Agua en la Comarca
Lagunera", Informe ISCYTAC-SEDUE (14).

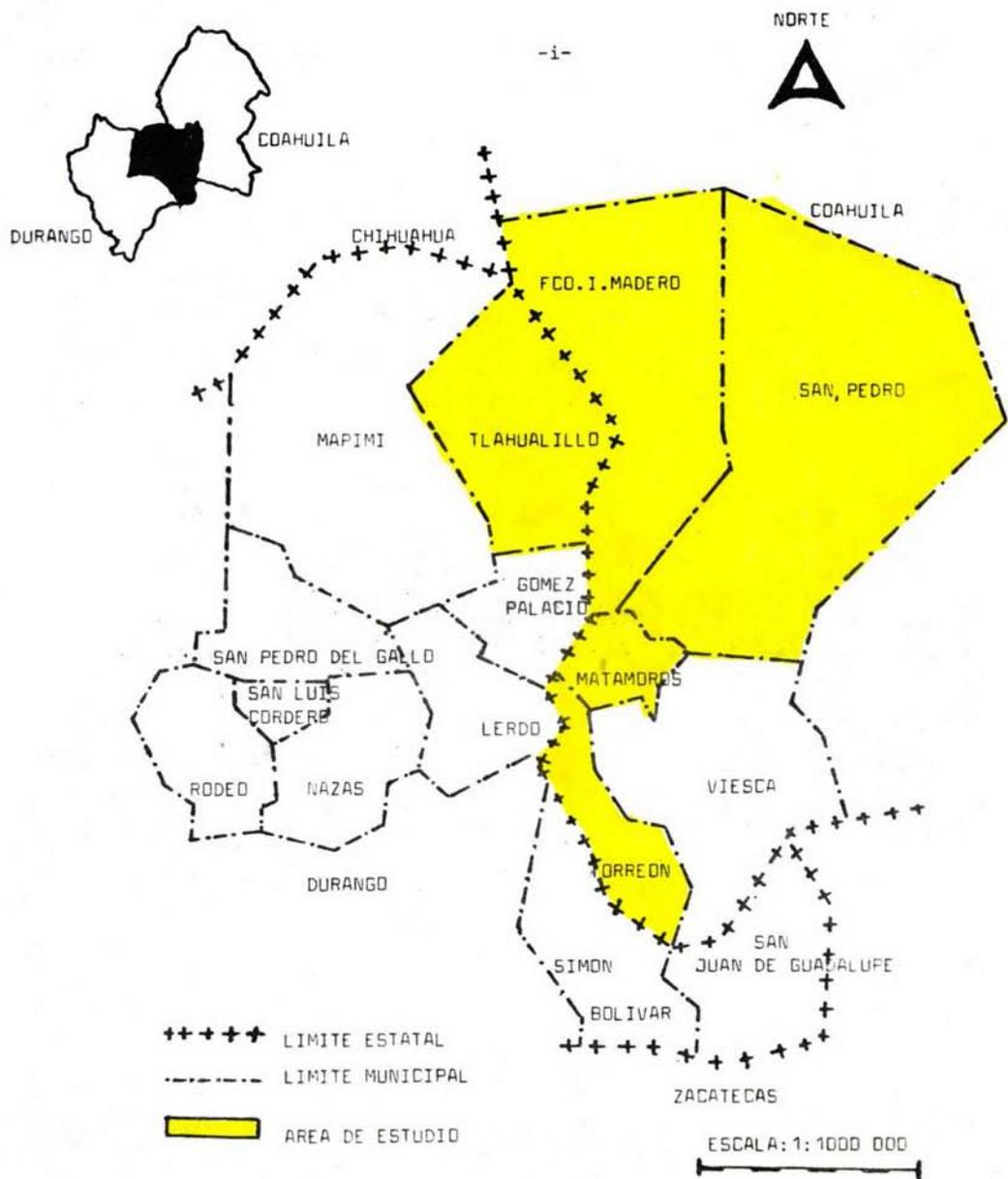


FIG. 1. DIVISION POLITICA DE LA COMARCA LAGUNERA Y UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO.
 Extraído del Boletín Agropecuario Lagunero. SARH, 1981 (32).

II. SELECCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio comprendió un total de cinco Municipios: el de Fco. I. Madero, Ilahualillo, San Pedro y Matamoros, por ser los que se reportan como los más afectados por la contaminación por arsénico, y el Municipio de Torreón, que por el contrario cuenta con agua de buena calidad para que fuera manejado como una especie de testigo (12).

III. COLECTA DEL MATERIAL

La fecha de colecta abarcó el ciclo otoño - invierno del 84 y primavera- verano del 85.

Los sitios de muestreo fueron escogidos en base al cultivo sembrado, de tal modo, que se colectaron ejemplares de: zacate ballico, (Lolium multiflorum L.), de maíz forrajero (Zea mays L.) alfalfa (Medicago sativa L.), avena (Avena sativa L.) y sorgo forrajero (Sorghum vulgare Pers X S. sudanese); además de muestras de suelo y agua de pozo en cada una de las localidades correspondientes.

Se trazó un transecto a todo lo largo del campo de cultivo, sobre el cual se marcaron 5 puntos al azar, de cada punto se extrajeron muestras de suelo a dos profundidades (de 0 a 15 cm y de -

15 a 30 cm), así como un ejemplar del forraje - sembrado, conservándose en bolsas de plástico para su traslado al laboratorio.

Las muestras de agua fueron tomadas en frascos de plástico de 250 ml y conservadas mediante la adición de 15 ml de ácido nítrico.

IV. PROCESAMIENTO DEL MATERIAL

Una vez transportado al laboratorio, el material fue sometido a los siguientes análisis:

Para el caso de los suelos:

- Textura por el Método de Bouyoucos
- Conductividad eléctrica
- Porcentaje de materia orgánica por el Método de Walkey- Blacker
- Fósforo y Potasio disponibles por el Método de Bray u Olsen, dependiendo del pH del suelo
- Calcio y Magnesio intercambiables (extraídos con nitrato de sodio al 23%).
- pH
- Capacidad de intercambio catiónico (extracción con cloruro de sodio y titulación con E.D.T.A)
- Azufre, Hierro, Manganeso, Cobre, Zinc y Boro (extraíbles con acetato de amonio pH 4.8 0.73 N(16)).

Todos los análisis fueron realizados en los -

laboratorios de Fertimex.

La extracción de arsénico en el suelo se realizó de acuerdo a la técnica de Nelson et.al(16,49) que consistió en colocar 5 gr de suelo (seco y pasado por una malla de 2 mm) en un matraz Erlenmeyer. Se añadieron 20 ml de solución extractora (0.5 N de HCL y 0.025 N de H_2SO_4), agitándose por 15 minutos tras lo cual la solución fue filtrada con un papel filtro Whatman No. 42 para aforarse a 50 ml con la misma solución extractora.

Una vez extraído el arsénico se tomo una alícuota de 5 ml y se procedió a leer en el espectrofotómetro de absorción atómica, empleando el generador de hidruros, conforme lo especifica el manual de procedimientos (ver Apéndice A).

Las muestras de los forrajes fueron sometidas a un análisis químico - proximal, realizado de acuerdo a la metodología de la AOAC (26,39), en el cual se determinaron los siguientes parámetros:

- Porcentaje de Humedad
- Porcentaje de Cenizas
- Porcentaje de Proteína por el Método de Kjeldhal
- Porcentaje de Fibra Cruda por el Método de Kenedy
- Porcentaje de Grasa por el Método de Soxhlet Modificado.

La extracción de arsénico en los forrajes se realizó de la manera siguiente (13):

Se colocó un gramo de muestra seca y molida - en un matraz Microkjeldhal, se le agregaron 10 ml de ácido nítrico concentrado y se calentó en un digestor hasta que quedara aproximadamente 1 ml de - la muestra, tras lo cual se le añadieron 5 ml de - ácido perclórico, calentándose hasta que el ácido perclórico se hubiera consumido casi por completo, momento en el cual se agregó agua destilada filtrando y aforando a 25 ml.

Una vez extraído el arsénico, se tomó una alícuota de 5 ml y se procedió a leer en el espectofotómetro de absorción atómica, empleando el generador de hidruros.

Las muestras de agua se leyeron directamente en el espectrofotómetro de absorción atómica, con ayuda del generador de hidruros.

Todos estos análisis se efectuaron en la Facultad de Medicina, Veterinaria y Zootecnia de la UNAM, tanto en el laboratorio de Bromatología y - Nutrición Animal, como en el de Toxicología.

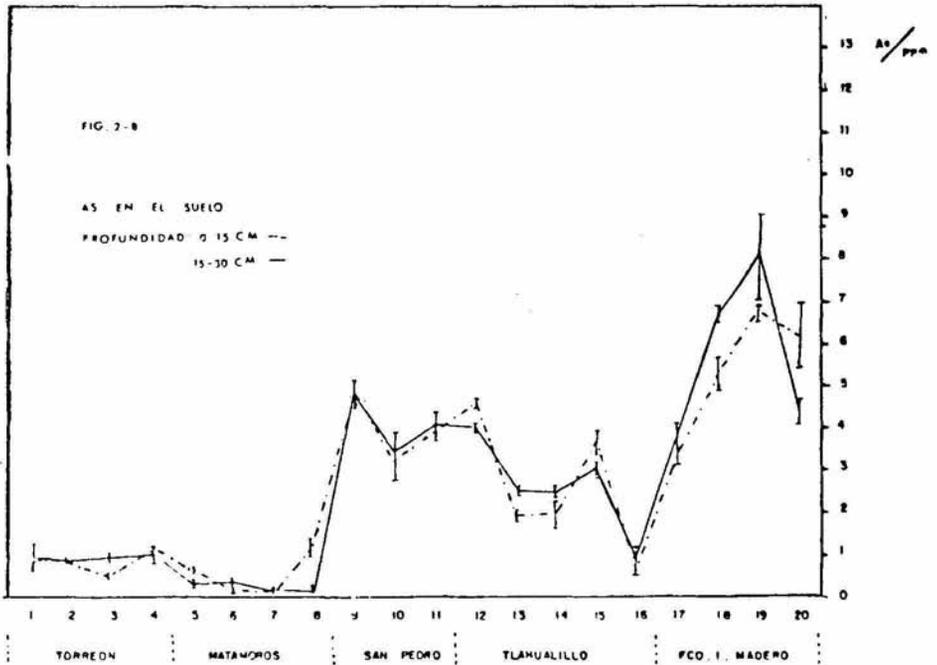
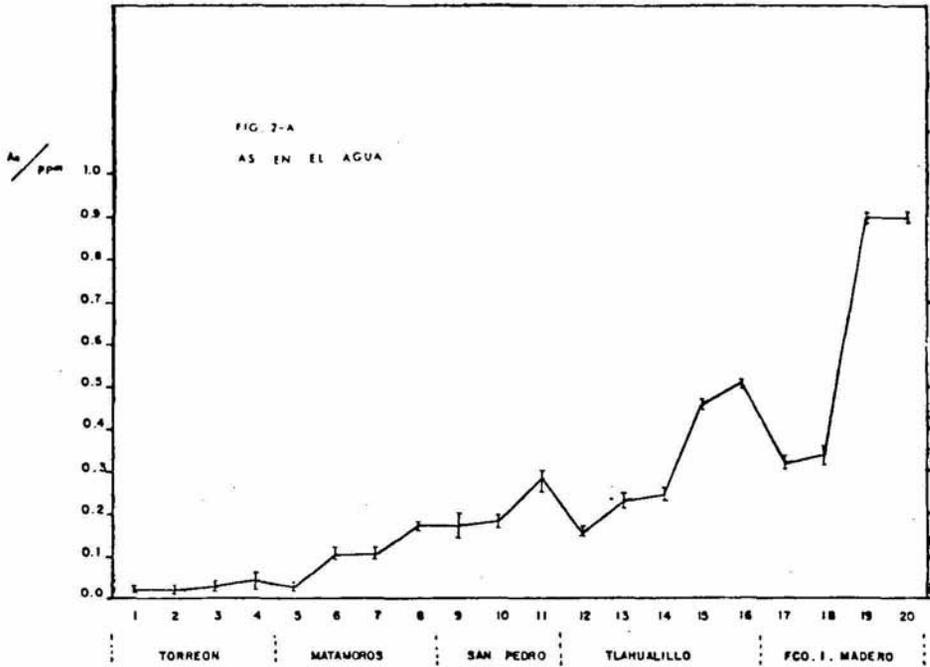
RESULTADOS Y DISCUSION

1) DETERMINACION DE ARSENICO EN EL AGUA

Los resultados de las determinaciones de arsénico contenidas en el agua (Fig. 2-A) muestran que los 4 pozos del Municipio de Torreón, así como el pozo No. 760 del Municipio de Matamoros, contuvieron concentraciones de arsénico inferiores a 0.05 ppm, por lo que se considera que contienen agua con una calidad aceptable para consumo humano.

En los Municipios restantes, los pozos registraron concentraciones de arsénico que superan en varias veces el límite permisible. Dichos resultados coinciden con la clasificación reportada en trabajos recientes (Informe ISCVIAC-SEDUE, 1984), sobre la calidad del agua que muestran los pozos existentes en la Comarca Lagunera. Si se promedian las concentraciones de arsénico a nivel Municipal, se tiene que en el Municipio de Torreón se presentaron las concentraciones de arsénico más bajas, con una $\bar{x} = 0.01$ ppm. Para los Municipios restantes las concentraciones se incrementaron de la siguiente manera: Matamoros con una $\bar{x} = 0.09$ ppm, San Pedro $\bar{x} = 0.2$ ppm, Tlahualillo con una $\bar{x} = 0.31$ ppm, hasta llegar al Municipio de Fco.I.Madero con una $\bar{x} = 0.61$ ppm.

Resulta interesante señalar que los pozos ubi



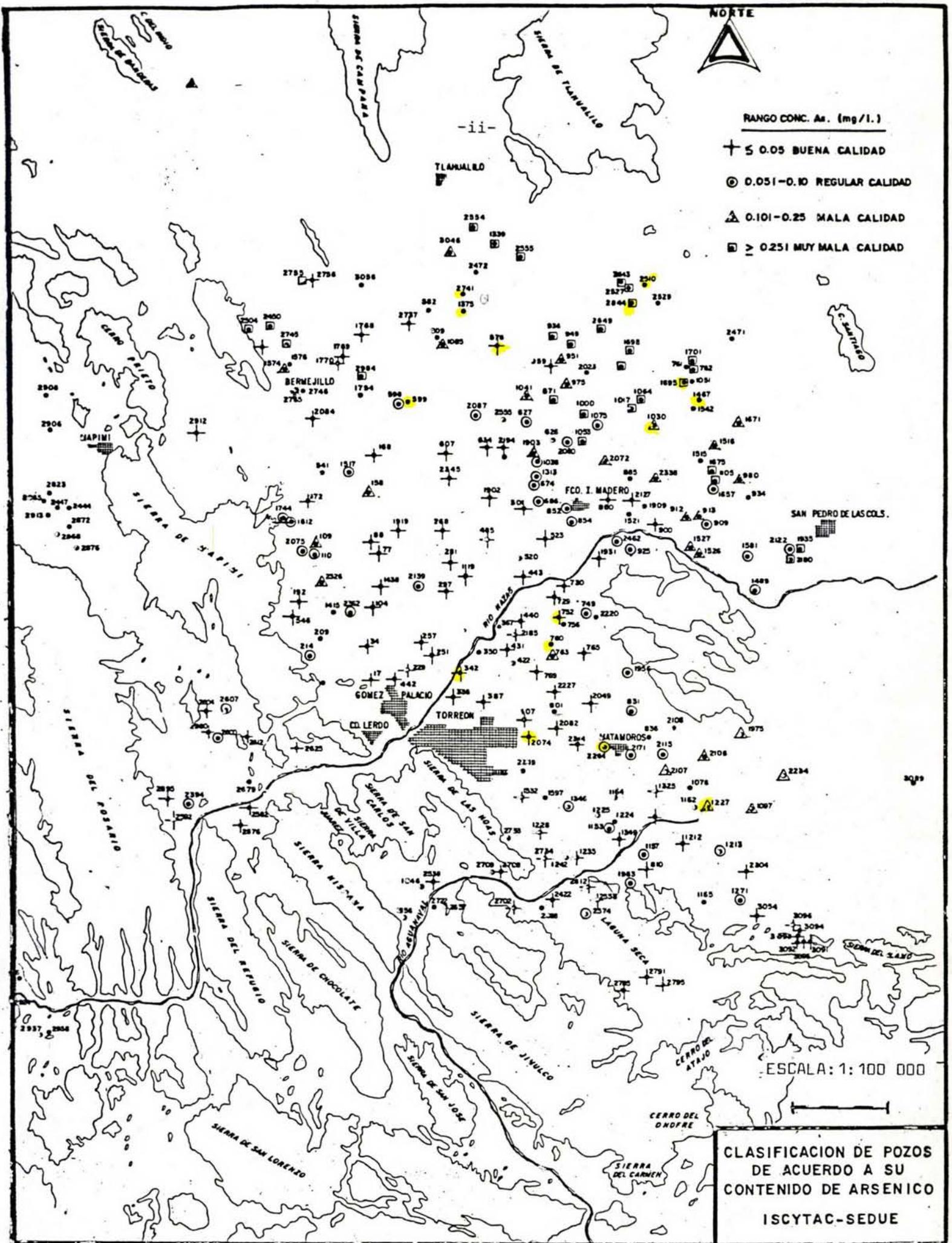


FIG 3. UBICACION Y CLASIFICACION DE LOS POZOS DE LA COMARCA LAGUNERA DE ACUERDO A SU CONTENIDO DE ARSENICO

Extraído de Alternativas de Manejo de Agua en la Comarca Lagunera. Informe ISCYTAC-SEDUE, 1985 (14).

cados hacia el Norte del área de estudio (Fig.3) fueron los que registraron las concentraciones de arsénico más elevadas, a este respecto, la literatura consultada (14), señala que es precisamente en la zona Norte donde proliferan los pozos que cuentan con los niveles freáticos más profundos, por lo que los resultados obtenidos apoyan la hipótesis de que la contaminación del agua guarda cierta relación con la geomorfología de la Región y proviene de fuentes naturales.

2) DETERMINACION DE ARSENICO EN EL SUELO

Las determinaciones de arsénico en el suelo mostraron que éste se distribuyó indistintamente a los dos niveles de profundidad (de 0 a 15 cm y de 15 a 30 cm) alcanzando concentraciones que oscilaron entre 0.04 ppm y 8,07 ppm de arsénico disponible.

En la Fig 2-B, se puede observar que el Municipio de Matamoros fue el que registró las concentraciones de arsénico más bajas ($\bar{x} = 0.31$), seguido por el Municipio de Torreón ($\bar{x} = 0.79$), luego Tlahualillo ($\bar{x} = 2.52$) y San Pedro ($\bar{x} = 3.99$) por último el Municipio de Fco.I.Madero fue el que registró las concentraciones de arsénico mas elevadas.

Allaway en el año de 1963, reportó que las --

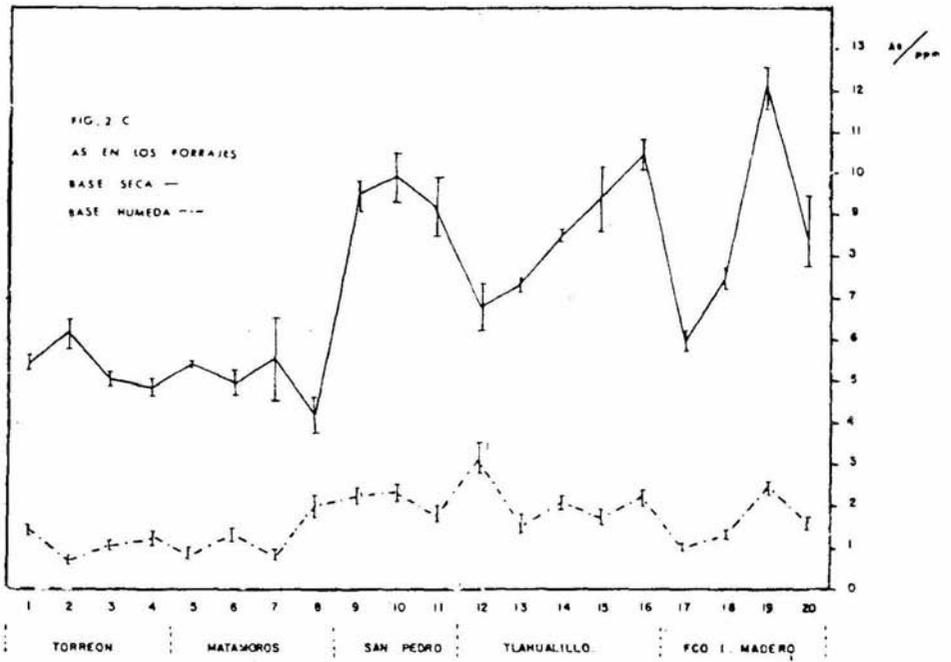


FIG.2. CONCENTRACION DE ARSENICO EN AGUA, SUELO Y FORRAJES EN 5 MUNICIPIOS DE LA COMARCA LAGUNERA.

concentraciones de arsénico en suelos no contaminados oscilan de 0.1 a 20 ppm. Los resultados obtenidos en el presente estudio no superan tales concentraciones, aún cuando es importante señalar que en este caso se determinó el arsénico disponible, en tanto que Allaway reporta el arsénico total.

3) DETERMINACION DE ARSENICO EN LOS FORRAJES

El arsénico contenido en el forraje fresco varió de acuerdo a la especie de la siguiente manera: para el sorgo de 1.58 a 3.34 ppm, para la alfalfa de 0.88 a 2.15 ppm, el zacate ballico registró de 0.9 a 1.17 ppm de As, el maíz forrajero de 1.14 a 1.3 ppm y la avena de 1.69 a 2.32 ppm.

Tales resultados fueron sometidos a un ANDEVA de 2 factores (8, 38) con objeto de comparar las concentraciones de arsénico acumuladas por cada forraje a 3 niveles de concentración de arsénico en el agua (cuadro 2).

Los resultados del ANDEVA indican que no existen diferencias significativas ($\alpha=0.05$) en el contenido de arsénico de los forrajes para los dos factores mencionados, lo cual difiere de lo reportado por Jhonson y Hiltbold en el año de 1979, ya que dichos autores encontraron que al aplicar do-

CUADRO 2

ANDEVA (Para el forraje en base seca)				
FUENTE DE VARIACION	gl	SS	MS	F _s
Entre las 5 especies forrajeras	4	22.35	5.59	2.23
Entre las diferentes concentraciones de As en el agua	2	26.26	13.13	5.23*
Error	7	17.56	2.51	
	<u>13</u>	<u>66.17</u>		
$F_{.05}(4,7) = 4.12$			$F_{.05}(2,7) = 4.74$	

Las concentraciones de arsénico en el forraje desecado no difieren significativamente entre las 5 especies consideradas .

ANDEVA (Para el forraje en base húmeda)				
FUENTE DE VARIACION	gl	SS	MS	F _s
Entre las 5 especies forrajeras	4	2.34	0.59	3.28
Entre las diferentes concentraciones de As en el agua	2	0.51	0.26	1.44
Error	7	1.26	0.18	
	<u>13</u>	<u>4.11</u>		
$F_{.05}(4,7) = 4.12$			$F_{.05}(2,7) = 4.75$	

Las concentraciones de arsénico en el forraje en base húmeda no difieren significativamente ni entre las 5 especies forrajeras, ni para las diferentes concentraciones de As en el agua.

sis similares de arsénico en el suelo, la avena - acumulaba en sus tejidos menores concentraciones de arsénico (de 1.66 a 1.88 ppm) que el sorgo (de 2.87 a 4.35 ppm) y el maíz forrajero (de 1.87 a 3.22 ppm).

Entre los factores que pudieron haber provocado variaciones en los resultados, se encuentran: el estadio de desarrollo de la planta, ya que al ser colectados algunos forrajes no se hallaban completamente maduros y por otro lado la fuente de arsénico aplicada al suelo, difirió en ambos experimentos pues mientras Jhonson y Hiltbold usaron un herbicida orgánico, el MSMA, el arsénico existente en los suelos de la Comarca Lagunera fue de origen inorgánico.

Por otro lado se ha considerado importante determinar el contenido de arsénico en el forraje de secado, ya que de este modo la concentración de arsénico se incrementa, y es precisamente esta la forma en que el ganado lo ingiere la mayor parte del año.

Las concentraciones de arsénico en el forraje desecado se incrementaron de la manera siguiente: para el sorgo de 4.23 a 12.26 ppm, la alfalfa de - 5.42 a 9.29 ppm, la avena de 8.57 a 10.62 ppm, el zacate ballico de 5.15 a 9.5 ppm y el maíz forraje-

ro de 4.96 a 6.0 ppm.

Nuevamente estos valores fueron sometidos a un ANDEVA de dos factores (cuadro 3) encontrándose que no existen diferencias significativas en el contenido de arsénico acumulado por cada especie forrajera en particular, pero si existen diferencias en función del contenido de arsénico existente en el agua de riego.

Las diferencias entre los resultados del ANDEVA para el forraje fresco y el forraje desecado se hacen evidentes en la Fig. 2 C, donde se observa que el contenido de arsénico en el forraje desecado se va incrementando desde el Municipio de Torreón, hasta el de Fco.I. Madero, en contraste con los valores registrados en el forraje húmedo donde las concentraciones de arsénico presentan oscilaciones mínimas entre los 5 Municipios.

4) PROPIEADES FISICO-QUIMICAS DEL SUELO Y SU EFECTO EN LA ACUMULACION DE ARSENICO

En el Apéndice C se muestran los resultados obtenidos en los análisis físico-químicos de los suelos, los cuales fueron compulsados con los intervalos aceptados por los laboratorios de Fertimex (ver apéndice D).

La interpretación de tales resultados indica -

que si bien la Comarca cuenta con suelos arcillosos, la región en su mayoría presenta suelos de textura media (migajones y suelos francos).

Los contenidos de materia orgánica, nitrógeno y fierro son bajos en general, aún cuando los suelos presentan elevadas concentraciones de elementos básicos como el calcio, el potasio y el magnesio.

A raíz de lo anterior, los suelos mostraron un pH básico y en algunos casos, como en las localidades de Deceda, CIANE y Pequeño Laredo, los valores de conductividad eléctrica son elevados, por lo que podrían existir problemas de salinidad, propicados en gran medida por los altos contenidos de sales que contiene en estas zonas el agua utilizada para riego (14).

Por su parte las concentraciones de fósforo alcanzaron valores medios y altos, pero dentro de los intervalos que se consideran aceptables.

Las concentraciones de azufre excedieron el límite máximo en mas de la mitad de los suelos.

Dentro de los elementos menores se obtuvo que los contenidos de cobre, zinc y manganeso se hallaron a niveles medios, en tanto que el boro se encontró en exceso en el 90% de los suelos.

Estas propiedades fisico-químicas fueron aso-

ciadas al contenido de arsénico existente en el suelo a través de coeficientes de correlación, los cuales son mostrados en el cuadro 3.

Los parámetros que obtuvieron los valores más altos de correlación negativa fueron: el porcentaje de materia orgánica, el contenido de fierro y el contenido de magnesio. Tales resultados coinciden con lo reportado por otros autores como: Jhonson en 1979, Von endt, et al. en 1968 y Woolson en 1970, quienes han encontrado que precisamente el fierro, el aluminio (no cuantificado en este experimento) y el porcentaje de materia orgánica son los elementos que se hallan más estrechamente ligados al arsénico contenido en el suelo.

No obstante, resulta interesante hacer notar, que en la bibliografía consultada no exista referencia alguna sobre la capacidad del magnesio de fijar arsénico en el suelo, ya que en este experimento fue el parámetro que alcanzó el valor de correlación más alto, superando incluso el obtenido por el fierro y siendo el único parámetro que mantuvo una correla-ción inversa significativa con respecto al contenido de arsénico en el forraje, lo cual confirma que fue el elemento con mayor capacidad de fijar arsénico en el suelo.

Considerando que el contenido de fierro existen

CUADRO 3 RELACION ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE ARSENICO EN EL SUELO Y LOS FORRAJES Y LAS PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL SUELO.

PROPIEDAD DEL SUELO	INTERVALO "	COEFICIENTES DE CORRELACION	
		SUELO (AS DISPONIBLE)	FORRAJE (AS TOTAL)
C.I.C.T. +	18-37 meq/100gr	-0.29	-0.26
ARCILLA	12-60%	-0.27	-0.12
MATERIA ORGANICA	0.6-2.6%	-0.39	-0.18
pH	7.9-9.3	+0.39	+0.20
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	1.14-9.3	-0.05	-0.32
POTASIO DISPONIBLE	1505-4158 kg/ha	+0.24	+0.02
FOSFORO DISPONIBLE	15-115 "	+0.40	+0.02
CALCIO INTERCAMBIABLE	2660-9840 "	+0.19	+0.05
MAGNESIO "	163-965 "	-0.45**	-0.59*
AZUFRE	84-1572 "	+0.14	-0.26
BORO	2.3-24.2 "	+0.52**	+0.25
COBRE	0.7-4.4 "	-0.12	-0.23
FIERRO	17-56 "	-0.42	-0.23
MANGANESO	49-126 "	-0.04	-0.17
ZINC	2.6-12.4 "	-0.25	-0.08

r= Coeficiente de correlación

*= Nivel de significancia ** (0.05), * (0.01) n=20

+ = C.I.C.T. (Capacidad de Intercambio Catiónico)

" = Intervalos obtenidos a partir de los datos del Apéndice E

te en los suelos alcanzó niveles inferiores a los límites aceptables, en tanto que el magnesio se encontró en concentraciones medias y altas, puede suponerse que los resultados obtenidos se vieron influenciados por la concentración que mostró cada elemento en el suelo.

Por otro lado el fósforo y el boro mostraron los valores más altos de correlación positiva con respecto al arsénico contenido en el suelo.

En lo que respecta al fósforo, la literatura señala que comparte características comunes con el arsénico, por poseer la misma configuración molecular, desplazándolo de los sitios activos que ocupa en los coloides del suelo, de tal modo que un incremento en la concentración de aquel, se podría traducir en un incremento en el contenido de arsénico existente en la solución del suelo, de ahí la correlación obtenida.

En cuanto al boro, se sabe que al igual que el arsénico puede ser lavado de las rocas y los suelos al ponerse en contacto con aguas subterráneas ricas en compuestos sulfurosos (1). Debido a que en la Comarca existen varios pozos que presentan también exceso de sulfatos (14), cabría la posibilidad de que el boro contenido en el suelo tuviera orígenes semejantes a los del arsénico y de ahí que

mostrara un coeficiente de correlación elevado.

5) CORRELACION ENTRE EL CONTENIDO DE ARSENICO EXISTENTE EN EL AGUA, EL SUELO Y LOS FORRAJES.

Las concentraciones de arsénico contenidas en el agua de pozo mostraron una alta correlación con respecto al contenido de arsénico existente en el suelo ($r=0.7$) y el forraje desecado ($r=0.7$), dicha correlación decreció notablemente para el forraje en base húmeda ($r=0.34$).

Por otro lado la correlación existente entre el arsénico contenido en el suelo (valor promedio de las 2 profundidades) y el forraje desecado mostró ser casi tan alta como la mostrada por los parámetros anteriores ($r=0.68$), indicando que los suelos existentes en el área de estudio poseen una baja capacidad de fijar arsénico, de tal modo que los elementos que influyen en su fijación y los que contribuyen a incrementar su solubilidad, lo cuales han sido mencionados en el inciso anterior se hayan equilibrados.

Nuevamente la correlación entre el contenido de arsénico en el suelo y el forraje hidratado volvió a ser baja ($r=0.48$), lo que permite suponer que la concentración de arsénico contenida en los forrajes se halla influenciada de manera particular por

el contenido de humedad propio de cada especie forrajera, así como su estadio de madurez, lo cual se pudo traducir en un decremento en el coeficiente de correlación.

6) DETERMINACION DEL ARSENICO INGERIDO POR EL GANADO

Con base a los resultados obtenidos de las concentraciones de arsénico existentes en el agua y en el forraje, se ha calculado (cuadro 4) la cantidad total de arsénico que está expuesta a ingerir el ganado considerando sus requerimientos diarios de alimento y agua (ver apéndice E).

En dicho cuadro se han considerado 3 localidades: la de Matamoros, en donde el sorgo registró los contenidos de arsénico más bajos (4.23 ppm en el forraje y 0.161 ppm en el agua), la localidad intermedia de Ceceda con 0.148 ppm de As en el agua y 6.87 ppm en forraje) y por último la localidad más afectada, Providencia del Norte, con una concentración de As de 0.904 pp en agua y 12.26 ppm en el forraje.

Si se comparan los valores obtenidos con el límite máximo permitido que va de 1 a 12 mg de As_2O_3 por kilogramo de peso del animal, se observa que ni aún en la localidad más contaminada se supera el valor inferior de dicho límite, o sea, 1 ppm de As_2O_3 .

CUADRO 4. ARSENICO TOTAL INGERIDO POR EL GANADO CAPRINO Y BOVINO
A PARTIR DE SUS NECESIDADES NUTRICIAS E HIDRICAS PARA
3 LOCALIDADES DE LA COMARCA LAGUNERA.

TIPO DE ANIMAL (Peso)		LOCALIDAD		
		MATAMUROS	CECEDA	PVDA. DEL NORTE
		As (ppm)		
PRODUCTORES DE LECHE				
VAQUILLA (350kg)	verano	44.9	66.41	156.13
	invierno	39.58	61.43	125.76
VACA (600 kg)	verano	106.68	153.53	385.32
	invierno	95.09	142.87	320.23
TORO (1100 kg)	verano	80.77	119.27	280.04
	invierno	71.16	110.43	226.07
PRODUCTORES DE CARNE				
VAQUILLA (300kg)	verano	35.71	54.76	132.53
	invierno	32.04	49.72	101.80
VACA (500kg)	verano	54.07	78.92	191.01
	invierno	46.18	71.67	146.71
TORO (1000 kg)	verano	68.37	99.86	241.69
	invierno	58.43	90.68	185.64
PRODUCTORES DE LECHE				
CABRA (40 kg)	35°C	5.41	9.61	20.75
PRODUCTORES DE CARNE				
CABRA (40 kg)	38°C	6.47	9.41	23.07

por kilogramo de peso del animal, por lo que se puede decir, que la calidad del agua es aceptable para uso pecuario, con respecto a los niveles de arsénico.

7) RESULTADOS DE LOS ANALISIS QUIMICO-PROXIMALES DE LOS FORRAJES

Los resultados de los análisis químico-proximales de los forrajes (Apéndice F) fueron comparados con lo reportado en la literatura (22), encontrándose valores muy similares en cuanto a la densidad de nutrimentos, por lo que se considera que la calidad nutricia de los forrajes no se vió modificada por los niveles de arsénico acumulados.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos se puede llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- 1) A excepción de los cuatro pozos del Municipio de Torreón, así como el pozo No. 760 de Matamoros, los pozos de los Municipios restantes (Matamoros, San Pedro, Tlahualillo y Fco.I.Madero) poseen agua de mala calidad con respecto a los niveles de arsénico, por lo que se recomienda que se restrinja su uso doméstico y el agua proveniente de dichos pozos se avoque al uso agrícola y pecuario.
- 2) La zona más afectada de la Comarca Lagunera se halla ubicada en la parte Norte, ya que es en ella donde se encontraron los pozos más contaminados (el No. 2510, 2741, 1375, 2644, 961).
- 3) Los suelos existentes en el área de estudio mostraron una baja capacidad de fijar arsénico, por lo que las concentraciones de arsénico en los forrajes desecados estuvieron directamente relacionadas con el contenido de arsénico en el agua.
- 4) Debido a que el magnesio fue el elemento que mostró la mayor capacidad de fijar arsénico en el suelo, se sugiere evaluar la posibilidad de emple-

arlo como coagulante para eliminar el arsénico del agua.

- 5) Las cinco especies forrajeras consideradas (alfalfa, avena, sorgo, maíz forrajero y zacate ba llico) mostraron igual capacidad de acumular ar sénico en sus tejidos.
- 6) No se encontró alteración en la calidad nutri- cia de los forrajes para las concentraciones de arsénico acumuladas (hasta 12.25 ppm de As para el forraje desecado).
- 7) La cantidad total de arsénico que está expuesto a ingerir el ganado proveniente del agua de pozo y el contenido de arsénico en los forrajes de las zonas más contaminadas, no llegó a superar el lí mite máximo permitido para consumo animal, por lo cual se considera que el agua presentó una - calidad aceptable para uso pecuario durante el - periodo que abarcó el presente estudio.
- g) Se recomienda verificar periódicamente la calidad del agua, no solo con respecto a los niveles de arsénico, sino para otros elementos como el boro y sulfatos, ya que si bien de momento no se han detectado problemas de intoxicación severa, los suelos registraron altas concentraciones de es- tos elementos, lo que a la larga podría afectar:

el rendimiento de los cultivos.

- 9) Dado el grave problema de sobreexplotación del agua subterránea que se presenta en la Región Lagunera se recomienda realizar acciones que - tengan por objeto economizar este recurso, tales como:
- La sustitución de las áreas sembradas con alfalfa que ocupan la mayor extensión de los campos de cultivo, por especies forrajeras con menores requerimientos hídricos, como por ejemplo el zacate ballico, mismo que produce más materia seca.
 - Dirigir la actividad pecuaria a la producción de carne en lugar de leche, lo que se traduciría en un menor consumo de agua por parte del ganado.

BIBLIOGRAFIA

- 1) AGR. RSCH. SERVC.1977. Boron Injury to Plants. Dept. --
Agr. of U.S.A. Bol. 211.
- 2) BARBERA, C.L.1974. Pesticidas Agrícolas, 2a ed. Ed. Orea-
ga. Barcelona, España, p.p. 54-61.
- 3) BENSON, N.R. 1953. Effect of Season, Phosphate and Acidity
on Plant Growth in Arsenic Toxic Soils. Soil. Sci. 76:
215-244.
- 4) BRITISH FOOD J.1984. El Arsénico en los Alimentos. INFO-
TEC 86: 130-134.
- 5) BRUCE, R.C. y T.SURLES. 1975. Interference of Molecular
Spectra Due to Alkali Holides in Non Flame Atomic Spec-
trometri. Analytical Chemistry 47(6); 920-921.
- 6) CRAFTS, A.S.1935. The Toxicity of Sodium Arsenite and So-
dium Chlorate in Four California Soils. Hilgardia 9: --
461-498.
- 7) CHAPMAN, H.D. y P.P. PRATT.1981. Métodos de análisis pa-
ra Suelos, Aguas y Plantas. 1a. ed. Ed. Trillas. D.F. Mé-
xico.
- 8) DANIEL, W.W. 1983. Bioestadística. 1a ed. Ed. Limusa. -
D.F. México.
- 9) DAVID, G.A. y G.L. RODRIGUEZ.1982. Tratamiento de Aguas
Residuales en la Comarca Lagunera y su Aprovechamiento -

- en la Agricultura. Memorias del II Congreso de Ingeniería Ambiental. Acapulco, Guerrero.
- 10) DETROUX, L. y J. GOSTINCHAR. 1966. Los Herbicidas y Su Empleo. 1a. ed. Ed. Dikos-Tau. Barcelona, España.
 - 11) DOMINGUEZ, G.C. 1979. Tratamiento de Aguas Contaminadas por Arsénico en la Comarca Lagunera. Tesis de Licenciatura. ESQUIE. IPN. D.F. México.
 - 12) ESCOBAR, M. et al. 1964. Estudios de una Comunidad con Arsenicismo Crónico Endémico. Salud Pública de México. Epoca V 6: 375-442.
 - 13) HERNANDEZ, A. M. 1985. Comunicación Personal. Laboratorio de Nutrición Animal y Bioquímica Fac. de Med. Vet. y Zoo. UNAM.
 - 14) ISCYTAC-SEDUE. 1985. Alternativas de Manejo de Agua en la Comarca Lagunera. Informe.
 - 15) JACOBS, C.W., J.K. SYERES y D.R. KEENEY. 1970. Arsenic Sorption by Soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34: 750-754.
 - 16) JACKSON, M.L. 1970. Análisis Químico de Suelos. 2a ed. Ed. Omega. Barcelona, España.
 - 17) JOHNSON, L.R. y A. E. HILTBOLD. 1979. Arsenic Content of Soils and Crop Following Use of Methenearsonate Herbicides. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 33:279-282.

- 18) KIRK, R.E. et al. 1961. Arsénico. In Enciclopedia de -
Tecnología Química. Vol. 2, 1a ed. Ed. Hispano-Ameri-
cana. D.F. México.
- 19) MENDOZA, G.G. y S.D. GOMEZ. 1979. Remoción de Arsénico
de las Aguas Naturales. Informe SARH.
- 20) MONROY, S.J. 1983. Toxicología Ambiental. 1a ed. Univ.
Aut. de Baja California.
- 21) NRC.1980. Mineral Tolerance of Domestic Animals. 1a ed.
Nat. Ac. of Sci. Washington D.C.
- 22) ---. 1971. Atlas de Nutritional Data on United States
and Canadian Feeds. Nat. Ac. of Sci. Washington D.C.
- 23) ---. 1976. Nutrient Requirements of Beef Cattle. -
Ac. of Sci. Washington D.C.
- 24) ---.1977.Nutrient Requirements of Dairy Cattle. --
Nat. Ac. of Sci. Washington D.C.
- 25) ---.1978. Nutrient Requirements of Dairy Goat. Ac. of
Sci. Washington D.C.
- 26) AOAC. 1975. Official Methods of Analyses. Washington -
D.C. U.S.A.
- 27) O'BRIEN, R.D. 1967. Insecticides: Action y Metabolism.
1a ed. Ed. Acad. Press. N.Y. USA.
- 28) S.P.P.1983. Plan Nacional de Desarrollo. Nacional Fi--
nanciera. Suplemento al Mercado de Valores Vol. 24, D.F.

México.

- 29) SACHS, R.M. y J.L. MICHAEL. 1971. Comparative Phytotoxicity among Four Arsenical Herbicides. *Weed Sci.* 19: 558-564.
- 30) SARH. 1980. Desarrollo Agroindustrial en la Comarca Lagunera. Informe.
- 31) ----. 1969. Boletín Hidrológico No. 35. Región Hidrológica No. 36: Zonas de los Ríos Nazas y Aguanaval. Tomo I y II.
- 32) ----. 1981. Boletín Agropecuario Lagunero. Enero y Febrero.
- 33) ----. 1979. Comportamiento del Arsénico en los Productos Agropecuarios en la Comarca Lagunera. Informe.
- 34) ----. 1978. La Degradación de la Tierra. D.F. México.
- 35) SAHOP. 1982. Ecoplán del Estado de Coahuila. Dir. Gral. de Desarrollo Ecológico.
- 36) SRH. 1976. Manejo Racional de las Aguas Residuales en la Región Lagunera. Dir. Gral. de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación. Informe.
- 37) SCKERL, M.N. y R.E. FRANS. 1969. Translocation y Metabolism of MAA-¹⁴C in Johnsongrass and Cotton. *Weed Sci.* 17: 421-427.
- 38) SOKAL, R.S. y F.J. ROHLF. 1979. Biometría. 1a ed. Ed. Blume. Barcelona, España. p.p. 331-404.

- 39) SOSA, M.E. 1981. Manual de Procedimientos Analíticos Para Consumo Animal. Univ. Aut. de Chapingo, México.
- 40) STAWINSKI, T.W. et al. 1981. Manual de Tratamiento de Muestras de Absorción Atómica. ENCB. IPN. México.
- 41) SWAIN, R.E. y W.D. HARKINS. 1908. Arsenic in Vegetation Exposed to Smelter Smoke. Jour. Am. Chem. Soc. 30 (6): 928-946.
- 42) -----, 1908 b. The Chronic Poisoning of Herbivorous Animals. Jour. Am. Chem. Soc. 30(6) 946-961.
- 43) TORRES, N. E. 1976. Intoxicación Arsenical en el Ganado Vacuno. Salud Pública de México 18(6): 1037-1044.
- 44) VILLALOBOS G. E. 1985. Comunicación Personal. Jefe del Laboratorio de Fertimex. Cuautiltán, Edo. de México.
- 45) VIZCAINO, M.F. 1966. La Contaminación en México. 1a ed. Ed. Fondo de Cultura Económica, Barcelona, España.
- 46) VON ENDT, D.W., P.C. KEARNEY y D.D. KAUFMAN. 1968. Degradation of Monosodium Methanearsonic Acid by Soil Microorganisms. J. Agr. Food Chem. 16: 17-20.
- 47) WEBB, J.L. 1966. Enzyme and Metabolic Inhibitors. Vol. 3. Ac. Press N.Y. USA.
- 48) WILKINSON, R.E. y W.S. HARDCASTLE. 1969. Plant and Soil Arsenic Analyses. Weed Sci. 17: 536-537.

- 49) WOODLSON, E.A., J.H. AXLEY y P.C. KEARNEY. 1970. Correlation between Available Soil Arsenic, Estimated by Six Methods and Responses of Corn (Zea mays L.). Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 23: 101-105.
- 50) -----, 1971. The Chemistry and Phytotoxicity of Arsenic in Soils: Contaminated Soils. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 35:838-943.

A P E N D I C E

APENDICE A

METODO PARA DETERMINACION DE ARSENICO BASADO EN EL EMPLEO DEL GENERADOR DE HIDRUROS EN EL ESPECTOFOTOMETRO DE ABSORCION ATOMICA (5, 40).

Se requiere de la utilización de la lámpara de cátodo hueco para arsénico, así como las siguientes condiciones del espectrofotómetro:

Poner a calentar el aparato por 20 minutos con las siguientes condiciones:

Longitud de onda:	193,7 nm
Ancho de la banda espectral:	1,0 nm
Corriente de HCl:	7 mA
Potencia de la lámpara de descarga:	7 watts
Campo de corrección:	si
Modo de medir:	
a) a bajas concentraciones:	altura de pico 15 sec
b) a altas concentraciones:	área del pico 20 sec
Accesorio:	.
Gas purgante:	nitrógeno
Angulo de flujo:	posición normal

La preparación de las muestras se realiza de la siguiente manera:

Alícuota para análisis:	
Sol. patrón o muestra problema:	10 ml
20% (P/V) de yoduro de potasio:	1 ml
Acido clorhídrico concentrado:	5 ml
Agua destilada desionizada:	4 ml
Volumen final:	<u>20 ml</u>

Para una generación óptima de hidruro de arsénico, todas las soluciones patrón y muestras problema deben ser hechas al 25% (v/v) con respecto al HCl. Por otro lado, el arsénico debe estar presente en estado trivalente para asegurar cuantitativamente su reducción por el borohidruro de sodio.

La reducción del As^V a As^{III} por el yoduro de potasio se completa después de 50 minutos a temperatura ambiente o después de 4 minutos de calentamiento a $50^{\circ}C$.

NO.	MUNICIPIO	LOCALIDAD	NO. DE POZO	As (ppm)*			FORRAJE		
				AGUA	SUELO	15-30 cm	BASE SECA	BASE HUMEDA	
1	TURREON	LA UNION	0342	0.012	0.89	0.89	SORGO	5.48	1.58
2	"	LA UNION	0342	0.012	0.67	0.75	ALFALFA	6.27	0.86
3	"	LA PARTIDA	0752	0.014	0.46	0.76	ZACATE BALLICO	5.15	1.17
4	"	LA JOYA	2074	0.035	1.01	0.92	MAIZ	4.96	1.30
5	MATAMOROS	MONTE ALEGRE	0760	0.021	0.58	0.23	ALFALFA	5.42	1.08
6	"	C.I.A.N.E.	2264	0.098	0.07	0.28	MAIZ	5.03	1.38
7	"	C.I.A.N.E.	2264	0.098	0.04	0.14	ZACATE BALLICO	5.62	0.90
8	"	MATAMOROS	1227	0.161	1.13	0.04	SORGO	4.23	2.10
9	SAN PEDRO	SAN LUIS	1030	0.161	4.76	4.75	AVENA	9.63	2.29
10	"	RANCHO ALEGRE	1695	0.173	3.13	3.31	SORGO	9.96	2.42
11	"	SAN ALBERTO	1467	0.272	3.89	4.09	ALFALFA	9.29	1.95
12	TLAHUALILLO	CECEDA	2554	0.148	4.55	3.97	SORGO	6.87	3.34
13	"	PEQUERO LAHEDO	0575	0.224	1.89	2.47	ALFALFA	7.40	1.70
14	"	LAS LUISAS	0599	0.236	1.95	2.42	ALFALFA	8.58	2.15
15	"	EL PILAR	1375	0.451	3.58	3.00	ZACATE BALLICO	9.50	1.81
16	"	HORIZONTE	2741	0.501	0.58	0.78	AVENA	10.62	2.32
17	FDO. I. MAJERO	EL MIÑO	0961	0.312	3.25	3.97	MAIZ	6.00	1.14
18	"	LA ESPERANZA	2644	0.337	5.24	6.58	ALFALFA	7.71	1.39
19	"	PROVIDENCIA DEL NORTE	2510	0.904	6.74	8.07	SORGO	12.26	2.53
20	"	PROVIDENCIA DEL NORTE	2510	0.904	6.14	4.22	AVENA	8.57	1.69

APENDICE B. CONCENTRACION DE ARSEMICO EN AGUA, SUELO Y FORRAJES EN 5 MUNICIPIOS DE LA COMARCA LAGUNERA

NO	MUNICIPIO	LABORATORIO	Comp. (ppm)	Agua (ppm)	Ag. (ppm)	Cl. (ppm)	pH	mmhos/cm	C.E. (mmhos/cm)	%	H ₂ O ₂ (ppm)	N (ppm)	P (ppm)	K ₂ O (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	S (ppm)	B (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Ag (ppm)	Observaciones
1	TOREQUE	L.F. USUDA	0-15	30	46	24	8.3	2.01	2.01	1.1	29	27	64	3179	2650	480	681	6.1	1.0	26	100	7.6	8.09	
2	"	LA UNION	0-15	41	46	24	8.0	2.53	2.53	1.1	28	24	58	3736	2900	497	966	6.1	1.0	29	113	5.3	0.69	
3	"	S.B. PARRILLA	0-15	34	42	24	8.0	1.14	1.14	2.6	65	32	87	2970	6100	867	90	2.5	2.2	33	116	12.4	0.67	
4	"	S.B. JAYAN	0-15	40	42	30	8.0	2.01	2.01	1.1	33	35	49	2667	2920	774	326	2.6	2.6	20	82	15.7	0.58	
5	MALACOROS	ATZEL ALEGRE	0-15	20	31	41	8.2	3.04	3.04	1.5	38	31	29	2029	7190	719	120	4.8	2.5	17	65	4.8	0.76	
6	"	C.I. S.A.T.E.	0-15	32	32	31	8.1	1.52	1.52	1.8	45	25	29	2521	7260	855	576	6.0	1.7	26	95	5.6	0.92	
7	"	C.I. S.A.T.E.	0-15	44	46	46	8.3	1.87	1.87	1.4	35	29	44	2284	6480	683	950	6.1	1.6	55	121	4.7	0.07	
8	"	MATAGOROS	0-15	12	26	48	8.2	5.79	5.79	0.8	20	20	28	3013	5740	408	135	2.3	2.1	34	104	3.8	0.04	
9	JAYAN	SEP. 11/20	0-15	20	19	62	8.3	0.32	0.32	1.5	38	31	58	1198	6810	912	695	16.5	1.7	47	121	6.7	1.13	
10	"	ARROCHO ALEGRE	0-15	43	39	18	8.4	2.01	2.01	1.5	38	22	44	2792	5600	398	852	15.0	1.8	47	116	4.6	0.04	
11	"	JAYAN ALBERTO	0-15	47	25	28	8.0	1.14	1.14	1.5	35	35	26	2581	6470	530	242	7.3	1.5	46	91	6.2	4.75	
12	ALVARADO	CECEDA	0-15	43	32	15	8.4	2.01	2.01	1.1	28	29	13	2614	6460	510	357	5.4	1.2	46	85	5.8	3.31	
13	"	PECUEJON LAHEDO	0-15	50	30	22	8.3	6.32	6.32	1.2	30	29	15	1622	6480	280	156	8.3	3.1	29	113	5.9	4.09	
14	"	LAG LUISAS	0-15	74	14	12	8.1	3.04	3.04	1.7	43	22	29	3670	4930	504	592	4.3	2.8	23	120	5.1	1.89	
15	"	EL PILAR	0-15	34	24	42	8.3	3.56	3.56	1.1	28	29	18	1584	4310	163	84	3.0	3.4	24	59	8.0	1.95	
16	"	ARRIPIPIPI	0-15	43	17	40	8.2	3.04	3.04	2.1	53	31	44	2884	7210	441	323	11.4	2.7	25	93	5.2	3.58	
17	FED. LAGUNAS	EL MITAL	0-15	45	29	26	8.5	1.14	1.14	1.4	35	36	38	2323	8840	474	184	9.1	2.5	44	96	3.0	0.58	
18	"	LA ESPERANZA	0-15	50	31	19	8.5	1.14	1.14	1.0	25	26	26	3168	5630	476	534	5.4	2.7	33	93	6.0	0.83	
19	"	ARRIPIPIPI DEL NORTE	0-15	45	34	23	8.4	1.52	1.52	0.8	20	24	44	2076	6590	353	441	9.5	2.6	23	110	2.9	3.97	
20	"	COMUNIDAD DEL NORTE	0-15	20	46	34	8.9	2.01	2.01	1.0	25	26	44	2406	4790	317	126	8.6	1.7	22	103	3.0	6.58	

APENDICE C. PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL SUELO EN CINCO MUNICIPIOS DE LA ZONA DE LAGUNAS

APENDICE D

A continuación se presentan los intervalos que se pueden considerar como aceptables de acuerdo a la metodología que se observa en los laboratorios de Fertimex (44).

C.E.	De 0.5 a 6.0 mmhos/ cm (nos indica salinidad)
% de M.O.	De 1.0% -a 5.0%
Nitrógeno aprovechable	De 25 kg/ha a 125 kg/ha
P ₂ O ₅	De 20 kg/ha a 100 kg/ha (fósforo disponible)
K ₂ O	De 365 kg/ha a 1200 kg/ha (potasio disponible)
Ca	De 1500 kg/ha a 5500 kg/ha (calcio intercambiable)
Mg	De 150 kg/ha a 800 kg/ha (magnesio intercambiable)
S	De 40 kg/ha a 250 kg/ha (azufre extraído con acetato de amonio pH 4.8 0.73 N)
	Microelementos (son los extraíbles con acetato de amonio pH 4.8 0.73N)
Fe	De 30 kg/ha a 150 kg/ha
Mn	De 20 kg/ha a 125 kg/ha
Cu	De 1.0 kg/ha a 5.0 kg/ha
Zn	De 3.0 kg/ha a 15.0 kg/ha
B	De 1.0 kg/ha a 4.0 kg/ha
C.I.C.T. (Capacidad de Intercambio Catiónico)	De 15 a 60 meq/100gr

APENDICE E

NECESIDADES NUTRICIAS E HIDRICAS PARA BOVINOS Y CAPRINOS
PRODUCTORES DE LECHE Y CARNE

TIPO DE ANIMAL (PESO)	PRODUCCION	AGUA lt/día	MATERIA SECA kg
GANADO PRODUCTOR DE LECHE			
VAQUILLA (350kg)	Gest.	verano 58.8	8.4
		invierno 25.2	
VACA (600kg)	20 lt	verano 174	18.6
		invierno 102	
TORO (1100kg)		verano 105	15.1
		invierno 45.3	
GANADO PRODUCTOR DE CARNE			
VAQUILLA (300kg)		verano 54.4	6.8
		invierno 20.4	
VACA (500kg)		verano 78.4	9.8
		invierno 29.4	
TORO (1000kg)		verano 99.2	12.4
		invierno 37.2	
GANADO PRODUCTOR DE LECHE			
CABRA (40 kg)	1.2	35°C 5.6	1.28
GANADO PRODUCTOR DE CARNE			
CABRA (40 kg)		38°C 9.8	1.16

Extraído del "Nutrient Requirements of Dairy Cattle" NRC 1976

"Nutrient Requirements of Beef Goat" NRC 1978

NO.	MUNICIPIO	LOCALIDAD	FORRAJE *	MATERIA SECA(%)	ENIZAS	FIBRA CRUDA	EXTRACTO ETEREO	PROTEINA CRUDA	ELN	TND	ED	As (ppm)	
									100% de MATERIA SECA				
1	TORREON	LA UNION	SORGO (2)	28.85	6.52	22.85	5.37	6.45	54.80	70.29	3092	5.48	
2	"	LA UNION	ALFALFA (1)	14.00	13.86	19.64	4.86	31.14	30.50	65.93	2901	6.27	
3	"	LA PARTIDA	ZACATE BALLICO (3)	22.70	11.18	23.70	4.71	14.93	45.46	66.65	2932	5.15	
4	"	LA JOYA	MAIZ FORRAJERO (3)	26.16	7.91	21.79	5.81	9.52	54.97	71.06	3125	4.96	
5	MATANROS	MONTE ALEGRE	ALFALFA (2)	20.00	8.15	19.20	3.65	27.70	41.30	68.70	3021	5.42	
6	"	C.I.A.N.E.	MAIZ FORRAJERO (3)	27.38	7.56	22.79	4.78	7.74	57.12	69.72	3067	5.03	
7	"	C.I.A.N.E.	ZACATE BALLICO (3)	16.00	12.97	19.09	5.65	18.80	43.50	67.56	2972	5.62	
8	"	MATANROS	SORGO (3)	49.55	7.95	17.70	4.38	6.58	63.45	70.03	3081	4.23	
9	SAN PEDRO	SAN LUIS	AVENA (3)	23.79	12.74	20.13	5.29	12.40	48.38	66.33	2918	9.63	
10	"	"	RANCHO ALEGRE	SORGO (2)	24.33	9.62	25.98	3.70	8.63	52.08	66.09	2904	9.96
11	"	"	SAN ALBERTO	ALFALFA (2)	20.98	13.31	17.45	2.76	24.31	41.86	64.05	2818	9.29
12	TLAHUALILLO	CECEDA	SORGO (3)	48.56	7.10	18.08	4.67	9.39	58.53	70.57	3105	6.87	
13	"	PEQUEÑO LAREDO	ALFALFA (3)	23.00	11.70	20.83	7.96	14.17	43.35	71.22	3133	7.40	
14	"	LAS LUISAS	ALFALFA (3)	25.00	8.44	22.60	7.09	14.88	48.40	70.32	3094	8.58	
15	"	EL PILAR	ZACATE BALLICO (3)	19.00	11.79	22.26	6.84	14.32	44.79	69.32	3049	9.50	
16	"	HORIZONTE	AVENA (3)	21.82	10.17	24.61	6.46	10.13	48.63	62.57	3058	10.62	
17	FCO.I.MADERO	EL MIÑO	MAIZ FORRAJERO (2)	18.92	8.09	20.59	4.70	12.16	54.44	69.82	3072	6.08	
18	"	"	LA ESPERANZA	ALFALFA (1)	18.00	10.33	15.44	4.05	31.38	38.78	68.50	3014	7.71
19	"	"	PROVIDENCIA DEL NORTE	SORGO (2)	20.61	10.67	26.89	4.38	11.26	46.87	65.89	2899	12.26
20	"	"	PROVIDENCIA DEL NORTE	AVENA (3)	19.65	10.68	24.30	2.73	12.81	47.24	67.23	2985	8.57

ANEXICO F. ANALISIS QUIMICO-PROXIMALES DE CINCO ESPECIES FORRAJERAS CULTIVADAS EN LA COMARCA LAGUNERA
 * Estado de Madurez: 1) Forraje inmaduro 2) Forraje casi maduro 3) Forraje completamente maduro