

## ANÁLISIS DEL BENEFICIO Y RIESGO POTENCIALES DE LA APLICACIÓN AL SUELO DE VINAZAS CRUDAS Y TRATADAS BIOLÓGICAMENTE

Francisco BAUTISTA-ZÚÑIGA<sup>1,2</sup>, María del Carmen DURÁN-DE-BAZÚA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias, UNAM.

<sup>2</sup>Departamento de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales-Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán. Apdo Postal 28 Cordemex 97110. Mérida Yucatán.

<sup>3</sup>Facultad de Química, UNAM. PIQAYQA, Laboratorio 103, Edificio "E". México D.F.

(Recibido noviembre 1997, aceptado julio 1998)

Palabras clave: vinazas, caña de azúcar, suelo, análisis, tratamiento, riego

### RESUMEN

En México, anualmente se producen aproximadamente 1.5 millones de metros cúbicos de vinazas. Las vinazas son las aguas residuales provenientes de la destilación del alcohol etílico. Con los sistemas de tratamiento convencionales para el tratamiento de aguas residuales, no se alcanza a cumplir con la norma técnica mexicana, principalmente por la gran cantidad y heterogeneidad del material orgánico disuelto. Dado que en muchos sitios las vinazas se aplican directamente en los suelos cañeros se ha planteado el estudio de sus características químicas para evaluar su impacto. El objetivo de este trabajo fue analizar tres tipos de vinazas para conocer los beneficios potenciales y los riesgos de su aplicación al suelo. Se analizaron vinazas crudas sin ningún tratamiento (VC), con tratamiento anaerobio (VA) y con tratamiento anaerobio-aerobio (VAA). Los resultados del análisis indican que las vinazas tratadas biológicamente serán una mejor enmienda que las crudas, principalmente por las formas químicas del carbono, que son moléculas con propiedades coloidales, que mejorarían las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Las VC, VA y VAA presentan una alta conductividad eléctrica (CE), motivo por el cual constituyen un riesgo de salinización del suelo. También parecen indicar que las vinazas deben ser consideradas como enmiendas edáficas y no como agua de riego.

### ABSTRACT

In Mexico, about 1.5 millions cubic meters of vinasses are annually produced. Vinasses are the wastewater from ethanol distillation. With conventional wastewater treatment systems, its not possible to comply with the Mexican laws about water discharges mainly due to the high concentrations and heterogeneity of dissolved organic matter. As vinasses are presently sent to the cane fields in some places, this study is committed to its chemical characterization in order to evaluate its impact. The objective was to chemically characterize three types of vinasses to find the potential benefits or risks associated to its application on soil. Vinasses studied were without treatment (VC), anaerobically treated (VA), and anaerobic-aerobically treated (VAA). Results indicate that VA and VAA will be better ameliorating substances than VC, since vinasses carbon compounds are colloidal molecules that may improve soil physical, chemical and biological properties. All samples have high electrical conductivity values, that indicate a possible risk of soil salinization. Results also indicate that vinasses should be considerate more as a soil ammendment material that as an irrigation source.

### INTRODUCCIÓN

La industria azucarera mexicana cuenta actualmente con 60 ingenios distribuidos en 14 estados. Uno de sus principales problemas ambientales de esta industria se debe a su utilización del agua, que supera el millón de metros cúbicos al día. Esto

hace que esta industria, además de consumir grandes cantidades de agua, que es un recurso limitado en el país, contamine las cuencas, que es donde generalmente arroja sus efluentes (Durán-de-Bazúa *et al.* 1991a).

De las aguas residuales generadas en los ingenios azucareros-alcoholeros, las que más contaminan son las vinazas, que provie-

nen de la destilación del alcohol y que se producen en una proporción de 10 a 15 litros por cada litro de alcohol destilado.

Las vinazas son la cola de la destilación del alcohol etílico proveniente del mosto (Durán-de-Bazúa *et al.* 1991b). Contienen principalmente material orgánico disuelto que, medido como demanda química de oxígeno (DQO), alcanza valores de hasta 150 g/L que comparados con el valor permitido en las descargas domésticas (150 mg/L) es extraordinariamente alto (Durán-de-Bazúa *et al.* 1988, Durán-de-Bazúa *et al.* 1991a). Se considera que la generación nacional de vinazas es de aproximadamente 1.5 millones de metros cúbicos al año (Durán-de-Bazúa *et al.* 1991b).

El tratamiento de estos residuos ha sido motivo de estudio de varias investigaciones, las cuales han llegado a reducir eficientemente la materia orgánica disuelta hasta en un 90%, medida como DQO, vía tratamientos combinados anaerobios y aerobios y anaerobio-aerobio (Durán-de-Bazúa *et al.* 1988, Durán-de-Bazúa *et al.* 1991a, Olvera 1992, Durán-de-Bazúa 1994, Durán-de-Bazúa *et al.* 1994). Sin embargo, el 10% restante es material no biodegradable, por lo que es necesaria la aplicación de un tratamiento terciario o la aplicación al suelo.

Las vinazas crudas en disolución 1:10 se han utilizado como agua de riego; sin embargo la escasez de agua y su alto costo, así como la prohibición de utilizar los ríos para el transporte de las vinazas al campo de cultivo hacen necesaria la búsqueda de opciones para el manejo de estos desechos. Ante esta problemática, una opción es el tratamiento de estas aguas residuales *in situ* y su posterior aplicación al suelo. Por ello es importante conocer y analizar los componentes de las vinazas crudas, tratadas con reactores anaerobios y en un tren anaerobio-aerobio, desde un punto de vista agronómico con el fin de mejorar los suelos en los cuales se produce caña de azúcar. Por tal motivo, el objetivo de este trabajo se enfocó al análisis, desde un punto de vista edáfico, de los componentes de los tres tipos de vinazas con el fin de conocer los riesgos y beneficios de su aplicación al suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En una primera instancia se analizaron las vinazas tal como salen de ingenio.

Se analizaron 10 muestras de las vinazas frescas de acuerdo con la NOM-064-ECOL-1994. Los parámetros medidos fueron: temperatura, pH, conductividad eléctrica, sólidos sedimentables, material flotante, demanda química de oxígeno (DQO), cloruros, sulfatos, fosfatos, sólidos totales (STT), sólidos totales fijos (STF), sólidos totales volátiles (STV), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos fijos (SSF), sólidos suspendidos volátiles (SSV), sólidos disueltos totales (SDT), sólidos disueltos volátiles (SDV), sólidos disueltos fijos (SDF).

Se emplearon tres tipos de vinaza: 1) vinaza cruda almacenada y fría (VC); 2) vinaza con tratamiento anaerobio (VA) producida mediante el tratamiento con un reactor de lecho de lodos de flujo ascendente (Jiménez y Martínez, 1995); y 3) vinaza que ha

recibido tratamiento anaerobio y, secuencialmente, un tratamiento aerobio (VAA) con un reactor de biodiscos (Luna-Pabello *et al.* 1994). A los tres tipos de vinazas se les realizaron los siguientes análisis:

El pH y la conductividad eléctrica (CE) de manera directa con un potenciómetro marca Corning y un conductímetro marca Conductronic (APHA, AWWA, WPCF 1992).

El carbono inorgánico, medido como carbonatos y bicarbonatos, se analizó acidificando las VA y VAA a pH 8.5 y 4.5 con ácido sulfúrico 0.1 M (APHA, AWWA, WPCF 1992).

Para cuantificar el contenido total de los constituyentes inorgánicos de las vinazas, se realizó la digestión ácida con calor y reflujo de 3 mL de vinazas, utilizando ácido nítrico concentrado (10 mL). Los contenidos de Ca, Mg, Zn, Cu y Mn fueron analizados por espectrofotometría de absorción atómica y los de Na y K, por espectrofotometría de flama (APHA, AWWA, WPCF 1992).

El carbono orgánico total (COT), realizando una digestión con dicromato de potasio con aplicación de calor y la cuantificación por espectrofotometría visible a 680 nm (Anderson e Ingram 1994).

La separación de los ácidos húmicos de las vinazas se realizó tratando las vinazas con ácido sulfúrico a pH= 2, centrifugando y decantando. Esta fracción se llevó a sequedad y se pesó (García *et al.* 1991a,b). La fracción precipitada a pH 2 (FP) se redisolvió para analizar las propiedades ópticas (E4/E6) por espectrofotometría visible (Chen *et al.* 1977).

## RESULTADOS

Las características de la vinaza cruda indican: 1) la presencia de grandes cantidades de materia orgánica disuelta; 2) altos riesgos de deterioro del suelo por su aplicación de manera directa ya que presenta temperaturas de 85 °C, pH ácido, conductividad eléctrica de 16,010  $\mu$ S y cloruros 4,094 mg/L (Tabla I). A continuación se analizan los parámetros más importantes.

La vinaza cruda presenta un potencial de hidrógeno muy bajo (4.5) debido a la acidificación del mosto a pH 3.0 con ácido

TABLA I. CARACTERIZACIÓN DE LA VINAZA CRUDA

Parámetro	Unidades	Promedio	Muestra compuesta
Temperatura	°C	85	86
pH		4.5	4.5
Conductividad eléctrica	$\mu$ S	16,010	16,300
Sólidos sedimentables	mg/L	48	47
Material flotante	Ninguno	Ninguno	Ninguno
DQO	mg/L	117,876	120,320
Fosfatos	mg/L	700	700
STT	mg/L	116,197	107,060
STV	mg/L	82,222	80,730
STF	mg/L	26,976	26,330
SST	mg/L	10,683	8,000
SSV	mg/L	9,215	6,850
SSF	mg/L	1,468	1,150
SDT	mg/L	105,514	99,060
SDV	mg/L	81,007	73,880
SDF	mg/L	24,508	25,180

clorhídrico o con ácido sulfúrico, según el proceso presente en cada ingenio. Dicha acidificación se realiza con el fin de favorecer la predominancia de la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) la cual fermenta el mosto y produce alcohol etílico.

El tratamiento anaerobio eleva el pH de las vinazas crudas, debido a la actividad microbiana que al descomponer la materia orgánica disuelta forma bióxido de carbono con lo que se presenta un aumento de iones OH<sup>-</sup>. Otra fuente de iones OH<sup>-</sup> es la reacción de óxido-reducción que se presenta cuando el agua es el aceptor de electrones (Bohn *et al.* 1993, Domenéch 1995):



donde MOS = materia orgánica soluble

Las vinazas pudieran ser una opción para aumentar el pH de los suelos ácidos de uso agrícola y de esta manera evitar el gasto por el encalado.

Los valores de la conductividad eléctrica indican alto riesgo de salinidad (Richards 1985, Aguirre 1993).

Si se considera que:

$$\text{CE} = \text{N} \times 100$$

donde: CE= Conductividad eléctrica en dS/m

N= concentración normal de los iones en disolución (eq/L), la conductividad eléctrica calculada con la suma de los cationes (Ca, Mg, Na y K) para las vinazas es 10.22 dS/m (VC); 6.02 dS/m (VA); y 3.56 dS/m (VAA). Si se calcula la CE con la suma de los aniones, el valor es más alto, 14.4 dS/m para las VC e igual, 3.5 dS/m para las VAA. Estas estimaciones son menores que los valores medidos con el puente de conductividad, debido probablemente a que no se toman en cuenta otros iones presentes en la solución. Las VC, VA y VAA presentan iones en disolución que pueden representar riesgo de salinidad del suelo.

Los contenidos de sodio no constituyen ningún riesgo de sodicidad.

Las diferencias en los contenidos de potasio de las VC, VA y VAA se deben a la incorporación del elemento en la biomasa microbiana de las vinazas tratadas que al final de tratamiento se separa del residuo líquido (Tabla II).

Las vinazas contienen K en grandes cantidades, además de Ca y Mg que beneficiarían a los suelos. Las VC contienen alrededor de 700 mg/L de fosfatos, lo cual constituye una fuente de fósforo para el suelo.

El contenido de Ca disminuye con los tratamientos ya que es incorporado a la biomasa microbiana, pero además pueden precipitarse con los carbonatos formados por el CO<sub>2</sub>. La adición de Ca y Mg favorecería al suelo y a la caña de azúcar. La disminución de Ca en las VA y VAA podría constituirse en un factor limitativo del crecimiento microbiano (Ilangoan y Noyola 1993) y de la mineralización de la materia orgánica soluble.

No es deseable que las concentraciones de magnesio adi-

TABLA II. CONSTITUYENTES INORGÁNICOS EN LAS VINAZAS

Parámetros	Unidades	Vinazas		
		VC	VA	VAA
pH		4.44	8.73	8.93
Conductividad eléctrica	dS/m	29.3	19.5	19.1
Ca <sup>2+</sup>	meq/L	45.7	9.6	1.7
Mg <sup>2+</sup>	meq/L	46.0	46.0	29.5
Na <sup>+</sup>	meq/L	0.44	0.70	0.60
K <sup>+</sup>	meq/L	10.1	3.9	3.8
Cl <sup>-</sup>	meq/L	112.8	nm	27
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	meq/L	31.2	nm	nm
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	meq/L	nd	0.6	0.6
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	meq/L	nd	2.5	7.3

nm = no medido; nd = no detectado

cionadas al suelo sean mayores que las de calcio, pues al largo plazo, podría formarse un suelo magnésico de baja permeabilidad (Szabolcs 1989).

La caña de azúcar requiere grandes cantidades de potasio (0.62 al 2.0% en hojas) por lo que en algunos lugares la fertilización con este elemento es entre 74 y 330 kg/ha (Anderson y Bowen 1994).

Los elementos como el Ca, Mg y K son nutrientes que la caña necesita y que se encuentran en bajas cantidades en la mayoría de los suelos ácidos, como por ejemplo en los acrisoles de la región cañera de Córdoba, Veracruz (Bautista *et al.* 1998), por lo cual la adición de estos elementos puede considerarse como benéfica, siempre y cuando no se salinice.

No se detectaron cantidades importantes de elementos menores como Fe, Mn y Cu (Tabla III). El Zn se encuentra muy por arriba del límite máximo permisible de acuerdo con la normatividad mexicana (CNA 1997) (Tabla III). Los altos contenidos de Zn en los tres tipos de vinazas hacen necesario el estudio de este metal en el suelo y la planta. Este metal podría provenir del efecto corrosivo de los jugos, mieles y vinazas en todo el proceso sobre los materiales de construcción de los equipos y accesorios.

TABLA III. MICRONUTRIMENTOS EN LOS TRES TIPOS DE VINAZAS Y CONTENIDOS (mg/L) MÁXIMOS PERMISIBLES EN AGUAS RESIDUALES

vinaza	Zn	Mn	Cu
VC	60.0	3.4	nd
VA	62.4	nd	nd
VAA	49.6	nd	nd
LMP	10.0		4.0

LMP= límite máximo permisible en agua residual (CNA 1997)  
nd= no detectado

Los contenidos de carbono orgánico total son, lógicamente, mayores en las vinazas crudas que en las tratadas (Tabla IV). Las VAA contienen un poco menos carbono orgánico que las VA debido a la conversión química y a la evaporación durante el tratamiento aerobio; la diferencia entre ambas radica en las formas del carbón que presentan, siendo mayores las cantidades de sustancias húmicas en las VAA.

**TABLA IV. PARÁMETROS ORGÁNICOS MEDIDOS EN LOS TRES TIPOS DE VINAZAS**

Vinaza	COT	FP	E4/E6
	g/L	g/L	
VC	89	8.52	2.5
VA	28	2.04	6.0
VAA	27	8.00	4.6

COT= carbono orgánico total; FP= fracción precipitada a pH 2  
E4/E6= densidad óptica a los 465/665 nm

La tasa E4/E6 es inversamente proporcional al peso molecular de los AH, a la condensación y viscosidad (Chen *et al.* 1977). Los valores de E4/E6 = 6.0 de la fracción precipitada a pH = 2 de las VA indican que los AH son de bajo peso molecular, contrario a lo que ocurre en las VAA en las que la tasa E4/E6 = 4.6 presenta un valor cercano al "ideal" (4.8) para los AH como propone Schnitzer (1978). La densidad óptica (E4/E6), de la fracción precipitada a pH = 2 de las VC indica que las sustancias húmicas son de mayor peso molecular y más condensadas que las de VA y VAA.

Siendo sustancias húmicas la fracción precipitada a pH = 2 y considerando que la VC se diluye (1/10) en agua, se deduce que durante ambos tratamientos se generan cantidades importantes de SH; siendo 2.4 veces más durante el tratamiento anaerobio y 9.4 veces más con el tratamiento anaerobio-aerobio.

Se recomienda analizar el contenido elemental total y realizar análisis de los espectros de infrarrojo y ultravioleta de las sustancias húmicas de las VC, VA y VAA con el fin de conocer su calidad.

## DISCUSIÓN

Los tres tipos de vinaza rebasan los 750 micromohos/cm que son considerados como de alto riesgo de salinidad en agua de riego (Aguirre 1993, Bohn *et al.* 1993).

La salinidad es el mayor riesgo para el suelo por la aplicación de VC, la cual debe reconocerse y dársele un seguimiento, analizando la suma de cationes o aniones debido a que con el puente de conductividad se registran valores más altos por la influencia del H<sup>+</sup> y OH<sup>-</sup>.

En condiciones de baja infiltración y suponiendo que los iones en disolución contenidos en las vinazas fueran retenidos totalmente en el suelo, podría recibir 196 mL de VC; 332 mL de VA; y 562 mL de VAA por kilogramo de suelo alcanzando una concentración de cationes equivalente a 0.02 N y una CE de 2 dS/m. Por ello se recomienda que las vinazas sean aplicadas en concentraciones menores a las mencionadas para evitar problemas de salinidad del suelo. Por ejemplo, para los suelos de las unidades acrisol y fluvisol de la zona cañera de Córdoba, Veracruz, se recomiendan las siguientes cantidades de vinazas: 564 m<sup>3</sup>/ha de VC; 956 m<sup>3</sup>/ha de VA y 1618 m<sup>3</sup>/ha de VAA para el acrisol; y 611 m<sup>3</sup>/ha de VC, 1036 m<sup>3</sup>/ha de VA y 1,753 m<sup>3</sup>/ha de VAA para el fluvisol.

Se recomienda que las cantidades de vinazas calculadas se apliquen en dos partes anuales, con el fin de evitar la formación de compuestos fitotóxicos como los ácidos orgánicos produci-

dos bajo condiciones reductoras. Se recomienda realizar un seguimiento de la CE del suelo que reciba cualquier tipo de vinaza.

En las VC, los aniones más importantes son los cloruros (4,098 mg/L) y sulfatos (1,618 mg/L). Los cationes dominantes son calcio, magnesio y potasio. No existe riesgo de sodificación ni de alcalinización.

Las VA y VAA contienen cantidades menores de nutrientes (K, Ca y Mg) que las VC, así como alta CE y pH. No presentan riesgo de salinización.

El alto contenido de magnesio en las VAA debe monitorearse si se aplican al suelo, con el fin de evitar la dispersión de las arcillas (Szabolcs 1989).

En la búsqueda de fuentes de nutrientes alternos en el cultivo de la caña (Berrocal 1988, Dematté 1992, Arzola *et al.* 1994), la utilización de las VC es una importante fuente de potasio que pudiera ser utilizada en la disminución de las dosis de fertilizantes potásicos aplicadas a los suelos cañeros (Orlando 1985, Orlando 1994).

La presencia de las altas concentraciones de Zn en las vinazas no es una novedad, en ingenios de otras regiones llegan a contener mayores cantidades de Zn y otros metales pesados (Otero y González 1991, Valdés *et al.* 1991a, b). Jiménez y Martínez (1995) reportan concentraciones de 47 mg/L de Cu en vinazas crudas; sin embargo, en este estudio el Cu no fue detectado. Pudiera ser porque el lote evaluado no hubiera solubilizado el cobre de los tubos de intercambiadores de calor o porque usando una metodología con una digestión de la muestra no se tienen interferencias en el análisis. El Cu y Zn pueden llegar a ser tóxicos en condiciones ácidas; sin embargo, el aumento del pH por la aplicación de las vinazas ocasiona que las concentraciones de estos metales disminuyan (Lindsay 1988).

Las VC contienen grandes concentraciones de COT y sustancias húmicas. Las VA y VAA contienen materia orgánica en formas químicas estables de alto peso molecular (humus) difícilmente biodegradable por los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales. Esto indica que, a lo largo del tratamiento de las VC se generan compuestos orgánicos de alto peso molecular que no pueden eliminarse por métodos biológicos, por lo que es necesaria la aplicación de un tratamiento terciario o la disposición en suelos agrícolas o degradados (Fuller y Warrick 1985, Page *et al.* 1986, Bautista *et al.* 1995).

En algunos estudios en los que las vinazas crudas se aplican al suelo, no se han encontrado resultados que demuestren las bondades esperadas (Subirós y Molina 1992), probablemente por el empleo de aplicaciones aisladas que no alcanzan a ejercer efectos favorables. Además dichas investigaciones se han realizado en suelos agrícolas de buena calidad como los vertisoles, los cuales tienen una gran capacidad amortiguadora. Es por ello que se piensa que los suelos degradados son los más adecuados para la aplicación de las vinazas, ya sean crudas o tratadas.

Shindo *et al.* (1984), demostraron los efectos catalíticos de los óxidos de hierro y aluminio en la formación de compuestos orgánicos del tipo de los polímeros fenólicos, lo cual hace suponer que la aplicación de las vinazas en suelos ácidos ricos en

óxidos pudieran funcionar como una buena enmienda.

Se considera que las vinazas tratadas serán una mejor enmienda que las crudas, principalmente por las formas químicas del carbono, que son moléculas de mayor tamaño y peso molecular con propiedades coloidales y por lo tanto más estables.

Las vinazas son un recurso que podría usarse como enmienda en el suelo para aumentar su calidad agrícola, dependiendo de las propiedades del suelo. La aplicación de la VC al suelo debe realizarse en el siguiente orden de prioridad: 1) suelos ácidos, 2) suelos degradados de baja calidad agrícola (erosionados, compactados, etc.) y 3) suelos agrícolas sin problemas. Las VA y VAA no presentan restricciones químicas para su uso como enmienda de suelos.

Durante el tratamiento anaerobio se producen como intermediarios ácidos orgánicos como: propiónico, butírico y acético y, como producto final, metano (Ilangovan y Noyola 1993, Rosas *et al.* 1993, Jiménez y Martínez 1995), lo cual hace necesario el estudio de ensayos con plantas con el fin de conocer el efecto de estos compuestos en los cultivos.

Actualmente las vinazas se analizan y estudian para utilizarse como complemento dietético para animales y se han logrado resultados alentadores aunque no definitivos (Valdés *et al.* 1991a). También existen estudios preliminares sobre la evaluación de los lodos anaerobios producidos a partir del tratamiento de las aguas residuales de las destilerías como «biofertilizantes» (Valdés *et al.* 1991b) encontrando una buena calidad como abono debido al contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio (Otero y González 1991).

El tratamiento de la VC en reactores de tipo anaerobio y tratadas en un tren anaerobio-aerobio aún rebasan los límites permitidos por la normatividad oficial para ser descargados a los ríos y demás cuerpos de agua, quedando dos opciones viables: 1) un tratamiento terciario que a su vez generaría un desecho y constituiría un gasto que debe estimarse, y 2) la aplicación al suelo que no produciría ningún desecho pero que también constituye un gasto de transporte y aplicación que debe estimarse y compararse con los beneficios económicos que la aplicación de la vinaza generaría.

Se sugiere dirigir la normatividad ambiental hacia el establecimiento de los lineamientos para la adecuada aplicación de las VC en los distintos tipos de suelos en los que se cultiva la caña de azúcar, con el fin de proteger tanto el acuífero como los cuerpos de agua y corrientes superficiales (EPA 1990ab, 1993). Algunos puntos podrían ser: lugares planos, lugares alejados de los ríos y canales de riego, lugares alejados de los escurrimientos temporales, lejos de las zonas de recarga de los acuíferos, realización de estudios de dosificación, aplicación preferentemente en suelos ácidos y seguimiento de la calidad del agua de los ríos y del acuífero aledaños a las áreas de aplicación.

## CONCLUSIONES

Se considera que las vinazas tratadas biológicamente serán una mejor enmienda que las crudas, tanto por las formas químicas

del carbono, como por el pH y CE que presentan. Los coloides orgánicos contenidos en las VAA serán una mejor enmienda en los suelos que los de las VA. Las VC contienen sustancias húmicas, K en grandes cantidades y además Ca y Mg que beneficiarían a los suelos; sin embargo existe el riesgo de salinización y destrucción de arcillas por el pH que presentan. Aplicadas en cantidades mucho menores que las tratadas, pueden ser utilizadas como enmienda en los suelos degradados.

Las vinazas crudas, VA y VAA no constituyen un peligro de sodicidad.

Los contenidos de Zn constituyen un riesgo de contaminación del suelo.

La normatividad ambiental se encuentra muy lejos del alcance técnico actual.

## AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece a la UNAM el apoyo académico y económico de la Facultad de Ciencias. La fase analítica se realizó con apoyo del Laboratorio de Análisis del Ambiente del Instituto de Geografía-UNAM coordinado por la M. en C. Margarita Gutiérrez R. Se agradece el apoyo técnico de los Ings. R.M. Jiménez, M. Martínez, M. Ríos y A. Espinoza. Se agradece a los Ings. M. Chávez y M. Ahumada el apoyo en la toma de muestras y por el aprovisionamiento de vinazas. El manuscrito fue revisado por los doctores Bernard Triomphe y Manuel Barceló sin embargo, los errores son imputables únicamente a los autores.

## REFERENCIAS

- Aguirre A. (1993). *Química de los suelos salinos y sódicos*. FES-Cuautitlán, UNAM. D.F. México.
- Anderson J. y Ingram J. (1993). *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods*. CAB International, Wallingford, Reino Unido.
- Anderson D.L. y Bowen J. E. (1994). *Nutrición de la caña de azúcar*. Instituto de la potasa y el fósforo. Quito, Ecuador.
- APHA, AWWA, WPCF. (1992). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 18ª Edición, Washington D.C.
- Arzola N., Pérez H. y Yera B. (1994). Utilization of conventional and non-conventional nutrient source in the sugarcane crop. En: Symposium ID-27. Integrated soil management in sugarcane agroecosystems and its impact in a sustainable agriculture. 15<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, pp. 406-414. Acapulco, México
- Bautista-Zúñiga F., Luna-Pabello V. y Durán-de-Bazúa C. (1995). El suelo, un reactor químico muy interesante. *Educación química* 6 (4), 226-230.
- Bautista-Zúñiga F., Rivas-Solórzano H., Durán-de-Bazúa C. y Palicio G. (1998). Caracterización y clasificación de suelos con fines productivos en Córdoba, Veracruz, México.

- Investigaciones Geográficas: Boletín del Instituto de Geografía. En prensa
- Berrocal M. (1988). Efecto de los residuos de la industria azucarera-alcoholera, bagazo, cachaza y vinaza, en la producción de caña y azúcar en un vertisol de Guanacaste. *Agronomía Costarricense* 12 (2), 147-153.
- Bohn H., Mcneal B. y O'Connor G. (1993). *Química del suelo*. Limusa. D.F, México.
- Chen I., Senesi N. y Schnitzer M. (1977). Information provided on humic substances by E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> ratio. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41, 352-358.
- Chouroulinkov y Jaylet A. (1993). *Aquatic ecotoxicology: fundamental concepts and methodologies*. Volume II. CRC Press. Florida, EEUUA.
- CNA. (1997). Ley federal de derechos en materia de agua. Comisión Nacional del Agua, 96 pp. D.F. México.
- Dematté J. L. (1992). Uso agronómico de residuos y fertilizantes na cultura da cana de acucar. *Anais XX Reuniao Brasil. Fert. Do solo e nutricao de planta*. Piracicaba. 213-251. Brasil.
- Diario Oficial de la Federación. (1993). NOM-CCA-033/1993. Octubre 18, pág 124. D.F. México.
- Domenéch X. (1995). *Química del suelo: el impacto de los contaminantes*. Miraguano, Madrid, España.
- Durán-de-Bazúa C. (1988). Tratamiento biológico de aguas residuales. Deptac, Cuernavaca, México.
- Durán-de-Bazúa C., Medellín P., Noyola A., Poggi-Varaldo H. y Zedillo L. (1988). Caracterización de vinazas y su degradación en un sistema combinado de tres reactores anaerobios y un reactor aerobio de biodiscos. *Tecnología y Ciencia Ed.* 3 (2), 33-43.
- Durán-de-Bazúa C., Zámamo-Pérez A.H. y Zedillo-Ponce-de-León L.E. (1991a). Tratamiento biológico de aguas residuales de la industria alcoholera. Informe Técnico VIN-01-91. Facultad de Química, UNAM.
- Durán-de-Bazúa C., Noyola A., Poggi-Varaldo H. y Zedillo-Ponce-de León L. E. (1991b). Biodegradation of process industry wastewater. Case problem: sugarcane industry. En *Biological process of wastes*. (A. M. Martín, Ed.) Elsevier Appl. Sci. Londres, Inglaterra.
- Durán-de-Bazúa C. (1994). Aplicaciones de la biotecnología en la agroindustria de la caña de azúcar. *Rev. IMIQ*, 35 (9), 18-25.
- Durán-de-Bazúa C., Noyola A., Poggi H. y Zedillo L. (1994). Paquete tecnológico para tratar vinazas de ingenios azucareros-alcoholeros: sistema anaerobio-aerobio. *Rev. IMIQ* 35 (8), 42-47.
- EPA, US. (1990a). The lake and reservoir restoration guidance manual. EPA, Washington D.C., EUA.
- EPA, US. (1990b). Monitoring lake and reservoir restoration. EPA, Washington D.C., EUA.
- EPA, US. (1993). Fish and fisheries management in lakes and reservoirs. EPA, Washington D.C., EUA.
- Francioso O., Ciaviatta C., Tugnoli V., Sánchez-Cortez S. y Gessa C. (1998). Spectroscopic characterization of pyrophosphate incorporation during extraction of peat humic acids. *Soil Science Society of America Journal* 62, 181-187.
- Fuller W. y Warrick A. (1985). *Soils in waste treatment and utilization*. Vol. I y II. CRC Press. Florida, EUA.
- García C., Hernández T. y Costa F. (1991a). The influence of composting on fertilizing value of an aerobic sewage sludge. *Plant and Soil* 136, 269-272.
- García C., Hernández T. y Costa F. (1991b). Changes in carbon fractions during composting and maturation of organic wastes. *Environmental Management* 15 (3), 433-439.
- García C., Hernández T. y Costa F. (1992a). Variation in Some Chemical Parameters and Organic Matter in Soils Regenerated by the Addition of Municipal Solid Waste. *Environmental Management* 16, 63-768.
- García C., Hernández T. y Costa F. (1992b). Cambios en las fracciones de carbono durante el composteo y la maduración de residuos orgánicos. *Environ. Manag.* 15 (3), 433-439.
- Ilangovan K. y Noyola A. (1993). Availability of Micronutrients during Anaerobic Digestion of Molasses Stillage using an Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactor. *Environmental Technology* 14, 795-799.
- Jiménez A. R. y Martínez M. (1995). Instalación y arranque de un reactor anaerobio en un tren anaerobio-aerobio de una planta piloto de tratamiento de vinazas. Tesis de licenciatura en Ingeniería Química. Facultad de Química, UNAM. D.F. México.
- Luna-Pabello V., Aladro A. y Durán-de-Bazúa C. (1994). Efecto del sustrato sobre las poblaciones de ciliados en un reactor de biodiscos. Volumen 3, Serie Química Ambiental del Agua. PIQAYQA. Facultad de Química. UNAM. D. F., México.
- Lindsay W. (1988). *Chemical equilibria in soils*. Wiley and Sons, Nueva York, EUA.
- Mathur S.P., Dinel H., Owen G., Schnitzer M. y Dugan J. (1993). Determination of compost biomaturity. II Optical density of water extracts of composts as a reflection of their maturity. *Biol. Agric. Hort.* 110, 87-108.
- Olvera P. (1992). Tratamiento aerobio de vinazas provenientes de un reactor anaerobio de lecho de lodos en un reactor de biodiscos. Informe técnico de trabajo VIN-01-92. UNAM-UASLP (Huastecas). D.F. México.
- Orlando F. (1985). Potassium nutrition in sugarcane. En *Potassium in agriculture* (R. Munson Ed.), American Society of Agronomy, 1045-1062.
- Orlando F. (1994). Alternatives for an efficient use of mineral fertilizers and sugar factory residues with low soil degradation and environment contamination risks. Symposium ID-27. Integrated soil management in sugarcane agroecosystems and its impact in a sustainable agriculture. 395-405. 15<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Acapulco, México.
- Otero M.A. y González J. (1991). Análisis de la fracción metálica de las mieles del CAI-Guatemala. *ICIDCA* 25, 11-14.
- Page A., Lue-Hing C. y Chang A. (1986). *Utilization, treatment and disposal of waste on land*. Soil Science Society of America Inc. Madison, Wisconsin, EUA.
- Richards A. (1985). *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. Limusa, México.

- Rosas L., Saulés A., Espinosa A., Ilangoan K. y Noyola A. (1993). Efecto de los micronutrientes en la degradación anaerobia de ácidos grasos volátiles en un reactor UASB alimentado con vinazas. *Biotecnología* 3, 59-66.
- Schnitzer M. y Schuppli P. (1989). Method for the sequential extraction of organic matter from soil and soil fractions. *Soil Science Society of America Journal*. 53, 1418-1424.
- Shindo H. y Huang P.M. (1984). Catalytic effects of Mn, Fe, Al and Si oxides on the formation of phenolic polymers. *Soil Science Society and American Journal*. 48, 927-934.
- Stevenson F. J. (1982). *Humus chemistry*. John Wiley & Sons. Nueva York, EUA.
- Subirós J. y Molina E. (1992). Efecto de la aplicación de vinazas en la producción de caña de azúcar en las características químicas de un inceptisol de Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 16 (1), 55-60.
- Sugahara K. y Inoko A. (1981). Composition analysis of humus and characterization of humic acid obtained from city refuse compost. *Soil Sci. Plant Nutr.* 27 (2), 213-224.
- Szabolcs. (1989). *Salt affected soil*. CRC-Press. Florida, EUA.
- Valdés E., González P. y Obaya M. (1991a). Evaluación preliminar de lodos "anaeróbicos" como complemento en la dieta animal. *ICIDCA*, 25, 1-4.
- Valdés E., Obaya M. y León O. (1991b). Evaluación preliminar de lodos "anaeróbicos" como "biofertilizantes". *ICIDCA*. 25, 15-18.