

## PRODUCCION DE ALCOHOL CARBURANTE Y USO DE SUS SUBPRODUCTOS EN AGRICULTURA

Alvaro García O.<sup>1</sup> y Carlos Rojas C.<sup>2</sup>

### INTRODUCCION

Debido a la crisis energética mundial se popularizó la producción de los llamados biocombustibles basados en la transformación de cultivos o sus productos para producirlos. Se trabaja actualmente con dos tipos generales de biocombustibles: alcohol y biodiesel, derivados de dos tipos de productos agrícolas. Unos se destilan de cultivos que rinden poca energía como la remolacha y el grano o el tamo de maíz, otros son derivados de cultivos ricos en energía como la caña de azúcar, la palma de aceite, la jatrofa y la yuca.

Actualmente existe mucha preocupación en el mundo por las consecuencias de la carrera internacional por producir más biocombustibles encareciendo exageradamente los precios de los alimentos, generando inflación y sacrificando la alimentación de millones de personas. Es necesario aclarar también que esto se origina en el uso de los cultivos como el maíz y la remolacha en los países industrializados lo que ha reducido dramáticamente los excedentes mundiales.

En las zonas templadas hay limitada disponibilidad de áreas para ampliar la producción de maíz o remolacha mientras que en los países tropicales hay vastas reservas que se pueden dedicar a ese propósito aunque muchas requieren de infraestructura para el riego y el transporte. En América Latina y en el Caribe la producción de biocombustibles y, especialmente de etanol a partir de la caña de azúcar, puede ser una solución para muchas tierras subutilizadas, lo cual se constituye en una ventaja comparativa que puede rendir beneficios económicos, sociales y ambientales sin impactar los precios de los alimentos (Moreno, L.A., 2008).

La caña de azúcar produce hasta 8 unidades de energía por cada unidad de energía usada en el cultivo y producción de etanol en comparación 1.3 unidades del maíz (Moreno, 2008).

La caña de Azúcar es una gramínea con mecanismo fisiológico  $C_4$ , lo que la hace sumamente eficiente en la utilización del agua y la luz en la asimilación del  $CO_2$  para la producción de azúcares, proceso en el cual absorbe cantidades considerables de potasio. Por ello, este elemento es el más abundante en la composición de la vinaza.

La Vinaza es un material líquido resultante de la producción de Etanol, ya sea por destilación de la melaza fermentada o de la fermentación directa de los jugos de la caña. Su origen son, entonces, las plantas de caña de azúcar por lo que su composición elemental debe reflejar la del material de procedencia. Se trata de un material orgánico líquido que puede contener como impurezas sustancias procedentes del proceso de extracción de los jugos y de la fermentación. En ningún caso elementos extraños, tóxicos o metales pesados; tampoco puede contener elementos en exceso.

Puesto que su origen es la planta de caña, la vinaza está compuesta por materiales orgánicos y nutrientes minerales que hacen parte de compuestos y constituyentes vegetales como aminoácidos, proteínas, lípidos, ácidos diversos, enzimas, bases, ácidos nucleicos, clorofila, lignina, quinonas, ceras, azúcares, hormonas, etc. La naturaleza en forma normal descompone estos materiales en procesos microbiológicos y recicla los elementos minerales, lo que hace lógico pensar que el destino final de la vinaza deba ser su regreso al suelo.

<sup>1</sup> Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D. Vicepresidente Comisión de Fertilidad de Suelos y Nutrición de Plantas de la Unión Internacional de Sociedades de la Ciencia del Suelo (2002-2006) Correo electrónico: [sccsueloagarcia@uniweb.net.co](mailto:sccsueloagarcia@uniweb.net.co)

<sup>2</sup> Ing. Ambiental Sucromiles. Correo electrónico: [crojas@sucromiles.com.co](mailto:crojas@sucromiles.com.co)

### Composición de la vinaza

La composición de la Vinaza depende de las características de la materia prima usada en la producción de alcohol, en este caso melaza, del sustrato empleado en la fermentación, del tipo y eficiencia de la fermentación y destilación y de las variedades y maduración de la caña. La vinaza, resultante de la destilación de melaza fermentada, tiene una composición elemental interesante y contiene todos los componentes del vino que han sido arrastrados por el vapor de agua así como cantidades de azúcar residual y componentes volátiles. De manera general, los constituyentes son los siguientes:

- Sustancias inorgánicas solubles en las cuales predominan los iones K, Ca y SO<sub>4</sub>.
- Células muertas de levadura.
- Sustancias orgánicas resultantes de los procesos metabólicos de levaduras y microorganismos contaminantes.
- Alcohol y azúcar residual.
- Sustancias orgánicas insolubles.
- Sustancias orgánicas volátiles.

### Composición mineral

En la Tabla 1 se relaciona en forma general la composición elemental de la Vinaza del 55 y del 10% y en la Tabla 2 aparece la de la vinaza concentrada de Sucromiles (60 %) en términos de poder fertilizante, con el contenido promedio de los elementos mayores, menores y algunas propiedades.

**Tabla 1.** Composición elemental de las vinazas de 55% y de 10% de sólidos totales.

Característica	Unidades	Vinaza 55% s.t.	Vinaza 10 % s.t.
<b>N</b>	Kg m <sup>-3</sup>	4.30	0.63 – 1.14
<b>P</b>	Kg m <sup>-3</sup>	0.22	0.04 – 0.11
<b>K</b>	Kg m <sup>-3</sup>	34.03	4.05 – 9.01
<b>Ca</b>	Kg m <sup>-3</sup>	5.00	0.74 – 2.2
<b>Mg</b>	Kg m <sup>-3</sup>	5.40	0.80 – 1.36
<b>S</b>	Kg m <sup>-3</sup>	11.55	1.28
<b>pH</b>		4.3 – 4.5	3.5 – 4.3
<b>CE</b>	dS m <sup>-1</sup>	17	11.0

Como ya se anotó la composición de la Vinaza depende de las características de la materia prima usada en la producción de alcohol, melaza, jugos o miel, del sustrato empleado en la fermentación, del tipo y eficiencia de la fermentación y destilación y de las variedades y maduración de la caña.

Estos resultados permiten destacar algunas características fundamentales sobre las cuales pueden recaer las ventajas o desventajas de sus aplicaciones. Son ellas la reacción extremadamente ácida y la elevada concentración electrolítica. En cuanto a su concentración elemental se debe anotar que, con excepción de K y S, los nutrientes se encuentran en cantidades muy bajas lo que implica que su poder fertilizante es bajo y que para suplir las necesidades de los cultivos se deben aplicar cantidades elevadas.

### Compuestos orgánicos

En la Tabla 3 se relacionan los principales compuestos orgánicos presentes en la vinaza según el estudio de Morales (2000). De acuerdo con éste, en ella se encuentra una gama amplia de compuestos orgánicos: alcoholes, aldehídos, cetonas, esterés, ácidos y azúcares. La presencia de estos compuestos en la vinaza tiene diferentes orígenes: provienen de la melaza, del proceso de fermentación del alcohol o se producen por degradación térmica en el proceso de destilación del vino obtenido en la etapa de

fermentación alcohólica. Entre los compuestos identificados, los de mayor concentración fueron el glicerol, el ácido láctico y el sorbitol; debido a su importancia comercial resulta interesante adelantar evaluaciones técnico- económicas para estudiar la ruta de extracción y aprovechamiento de éstos y los restantes compuestos de la vinaza. También se pueden distinguir compuestos volátiles tales como Benzaldehído, Ácido Benzoico, Etil Palmitato, 2 Acetilpirrol, Alcohol 2-feniletílico, Alcohol Furfurílico, Ácido Acético, Ácido Fórmico, 1-3 Butanodiol, Acetona, Etanol, entre otros.

**Tabla 2.** Propiedades químicas de la Vinaza concentrada al 60%.

COMPUESTO	CONCENTRACION	
	% m/m	Kg/m <sup>3</sup>
Sólidos totales	60	-
Materia Orgánica	46	598
Carbono Oxidable	18	234
Nitrógeno	0.95	12.35
Fósforo (como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.04	0.52
Potasio (como K <sub>2</sub> O)	4.88	63.44
Calcio (como CaO)	1.31	17.11
Magnesio (como MgO)	0.67	8.71
Sulfatos (como SO <sub>4</sub> )	2.59	33.67
ELEMENTOS MENORES	mg kg <sup>-1</sup>	
Manganeso (Mn)	43	
Cobre (Cu)	10	
Zinc (Zn)	19	
Boro (B)	6	
Características adicionales		
Densidad (kg m <sup>-3</sup> )	1300	
pH	4.5 - 5	
Conductividad Eléctrica (dS m <sup>-1</sup> )	17	
Viscosidad (cPs)	450	

Fuentes: Laboratorios I & D., Sucromiles S.A. y Agrilab Ltda.

**Tabla 3.** Compuestos orgánicos presentes en la vinaza concentrada al 60%

COMPUESTOS	CONCENTRACION
<i>NO VOLATILES</i>	<i>% m/m</i>
Glicerol	2.70
Acido Aconítico	1.76
Sorbitol	1.39
Fructosa + glucosa	1.30
Acido Láctico	1.28
Acido Cítrico	0.80
Acido 2,4 dihidroxipentanedioico	0.71
Acido Quínico	0.71
Trehalosa	0.31
Acido Málico	0.23
Sucrosa	0.21
2,3 Butanodiol	0.21

Acido Succínico	0.07
Acido Glicólico	0.06
<b>FENOLICOS</b>	<i>Mg kg<sup>-1</sup></i>
Acido Piroglutámico	165
Acido Itacónico	93
Acido Fumárico	93
3-metoxi-4-hidroxifenilglicerol	54
Acido p-hidroxi-benzoico	48
Acido Palmítico	34

\* Para la determinación de éstos compuestos se concentró la Vinaza hasta 64.8 grados Brix, valor aproximadamente equivalente a un porcentaje de sólidos de 67% m/m

### Características contaminantes

Debido a su elevado contenido de materia orgánica, la vinaza se constituye en un material altamente contaminante, si se dispone directamente a un cuerpo de agua, ya que los valores de DQOs y DBO<sub>5</sub> para un contenido de sólidos del 10% m/m son 116 000 y 41 200 ppm respectivamente, lo cual hace necesario su tratamiento antes de ser eliminado. En la Tabla 4 se relacionan algunas de las propiedades tomadas en cuenta para evaluar la capacidad contaminante de la Vinaza.

Según Korndorfer (2004) la Vinaza presenta un pH bajo (3,5-4,5) y la presencia de ácido sulfúrico libre (utilizado para la fermentación) le da propiedades corrosivas al subproducto. La composición es muy variable, pero generalmente es rica en nitrógeno, potasio, calcio, azufre y normalmente es pobre en fósforo. La composición química de la vinaza indica que la materia orgánica es el principal constituyente y, entre los minerales, el potasio en conjunto con el calcio son los más sobresalientes.

Debido a su gran tenor en materia orgánica y elevada flora microbológica, presenta una elevada DBO que la clasifica como un material contaminante cuando se descarta en fuentes de agua. Sin embargo, cuando se aplica al suelo, disminuye su potencial contaminante, debido a la capacidad amortiguadora de este. La D.B.O. es la cantidad de oxígeno que el agua contaminada requiere para oxidar la materia orgánica, transformando las sustancias contaminantes en compuestos estables e inoocuos. Por lo tanto, la vinaza que posee un D.B.O. de 12.000 a 30.000 ppm consume 12.000 a 30.000 mg de oxígeno para la estabilización de las sustancias putrescibles.

La vinaza es uno de los agentes contaminante de cursos de aguas más problemáticos por:

- a) Alta DBO por lo que requiere alta cantidad de oxígeno para oxidarse.
- b) Los tratamientos de residuos tradicionales no dan buen resultado en el caso de este subproducto, debido a sus características químicas.
- c) Volúmenes de producción elevados de hasta 20-22 l/l de alcohol producido.
- d) Alta acidez y corrosividad.
- e) Alto riesgo de daños para la vida y reproducción de fauna y microflora acuáticas.
- f) Olor desagradable altera la calidad del agua.
- g) Su acumulación en lagos y reservorios contribuye para el agravamiento de enfermedades endémicas por aumento, aumentando la población de insectos vectores.

Los desastres ecológicos que podrían ser provocados por el descarte de la vinaza en los cursos de aguas, serian importantes si no fuese utilizada como fertilizante fluido (Korndörfer, 2004).

**Clasificación CRETIP**

De acuerdo a los parámetros establecidos por El Centro Panamericano De Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) y a las características de la vinaza se tiene la Tabla 4 comparativo para establecer esta clasificación.

**Tabla 4.** Comparación de características contaminantes de la vinaza diluida y concentrada al 60%.

CARACTERISTICAS	UNIDADES	CONCENTRACION	
		V10	V60*
DQO	mg/l	116 000	590 000
DBO	mg/l	41 200	240 000
pH	-	4.5	4.5
SST	mg/l	8 990	53 900
SSV	mg/l	7 100	-
Sulfatos (como SO <sub>4</sub> )	mg/l	5 626	33750
Fósforo (como P)	mg/l	97	580

Fuente: Laboratorio Planta De Control Ambiental Sucromiles

**Tabla 5.** Clasificación CRETIP Vinaza concentrada.

CARACTERÍSTICA	PARÁMETRO CEPIS	VINAZA CONCENTRADA
Corrosividad	Acuoso	Acuosa, humedad del 40% m/m
	$2 \leq \text{pH} \leq 12.5$	4.5 – 5.0
	Tasa corrosión del acero > 6.35 mm/año a 55°C	-
Reactividad	Ser inestable	Estable
	Reaccionar de forma violenta sin detonar	No reacciona
	Reaccionar violentamente con agua	No reacciona
Reactividad	Generar gases cuando es mezclado con agua	No
	Poseer cianuros o sulfuros que puedan ser liberados en cantidades perjudiciales para la salud y el ambiente	Trazas de Dimetilsulfuro CH <sub>3</sub> SCH <sub>3</sub>
Explosividad	Explotar bajo la acción de un fuerte estímulo inicial o de calor en ambientes confinados	No
	Explotar fácilmente a 25 °C y 1atm.	No
	Haber sido fabricada para producir una explosión	No
Toxicidad	DL para ratas < 50mg/Kg	-
Inflamabilidad	Ser líquido	Acuosa
	Punto de ignición < 60°C	480°C
Patogenicidad	Contener microorganismos o toxinas capaces de producir enfermedades	No

**Usos actuales y propuestos**

Por tratarse de un subproducto de la obtención de Etanol, la Vinaza se trata como residuo líquido industrial, de ahí que algunos de sus usos tienen su origen como alternativas de disposición final más que como alternativas de aprovechamiento.

Con el paso de los años y debido a las grandes cantidades generadas de este material, se empezó a investigar en nuevas aplicaciones en pro del aprovechamiento de sus propiedades fisicoquímicas por distintas empresas pioneras entre las cuales se puede citar a Maizena (Corn Products), Sulco, Sucromiles, Ingenio Providencia, ICA, Ceniuva y Universidad Nacional y algunos particulares como el Ing. G. Berón, quién trabaja en busca de múltiples alternativas de tipo químico, y Jaime Hincapié, zootecnista dedicado a la nutrición animal. Posteriormente, ad portas de la era del alcohol carburante, Cenicaña y los Ingenios Azucareros iniciaron trabajos en su gran mayoría dirigidos a explorar su uso como fertilizante.

Las investigaciones realizadas en el ICA, la Universidad Nacional y Sucromiles han demostrado la importancia de uso de este subproducto en la recuperación de suelos afectados por una alta saturación de sodio destacándose la rapidez y eficiencia del proceso.

Ceniuva realizó investigaciones sobre el efecto de la aplicación de vinaza como acondicionador para suelos de texturas pesadas en la zona vitícola del Norte del Valle del Cauca, con resultados excelentes (García, Marulanda y Puerto, 2004). En la Tabla 6 se describen algunas de las aplicaciones propuestas.

**Modo de acción de la vinaza en el suelo**

Se fundamenta en los siguientes conceptos:

**Doble capa difusa**

Las cargas se encuentran distribuidas uniformemente sobre la superficie y en los bordes rotos de las laminillas. Estas cargas son neutralizadas por iones de carga contraria presentes en la solución del suelo que las rodea, los cuales son atraídos electrostáticamente hacia la superficie cargada negativamente en cuya proximidad se concentran y a medida que aumenta la distancia a la superficie tienden a estar menos concentradas (Talibudeen, 1981).

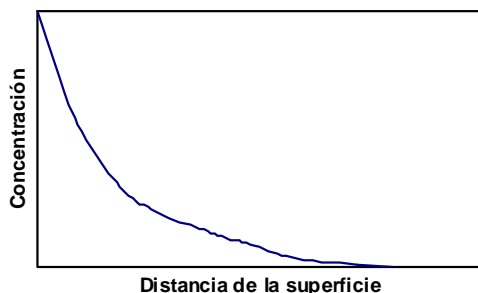
**Tabla 6.** Resumen de usos dados a la Vinaza.

USOS	QUE APORTA	QUE HACE	OBSERVACIONES
Fertilización (Es el uso más ampliamente conocido)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materia orgánica</li> <li>• Potasio</li> <li>• Calcio</li> <li>• Sulfatos</li> <li>• Micronutrientes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fomenta la reproducción de microorganismos en el suelo.</li> <li>• Aporte de nutrientes disponibles</li> </ul>	Se puede aplicar con equipos especiales o directamente con el agua de riego.
Sustrato para compost		Sirve como fuente de energía nutrientes a los microorganismos que compostan el material vegetal residual de las cosechas.	El exceso de V60 en la mezcla da lugar detención del proceso de compostaje debido a que por la DBO elevada interfiere negativamente en la degradación del material vegetal.

Producción de Biogás y Biosólidos		<ul style="list-style-type: none"> <li>Al descomponerse la materia orgánica en un reactor anaerobio, se genera biogás con contenidos utilizables de metano, gas carbónico y ácido sulfhídrico.</li> <li>También se producen biosólidos ricos en Carbono, Nitrógeno y Azufre asimilable por las plantas</li> </ul>	Se deben controlar las concentraciones de ácido sulfhídrico ya que producen malos olores y deteriora las tuberías de recuperación del gas.
Medio de cultivo		Suplementada con Urea y Sacarosa es un excelente sustrato para promover el crecimiento de levaduras, algas del género Chlorella, bacterias como Pseudomonas y Methanomonas y hongos filamentosos.	La proteína unicelular es aquella proveniente de bacterias, algas y hongos y se constituye en una importante fuente de proteínas para la alimentación animal y humana.
Suplemento Alimenticio	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proteína 5.68% m/m</li> <li>Energía Neta 0.88 Mcal/Kg</li> <li>Sales minerales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mezcla con otros elementos para elaborar concentrados para animales.</li> <li>Sustituye parte de la melaza usada en la suplementación de ganado bovino, porcino y conejos.</li> </ul>	En bovinos dosis de Potasio superiores a 1.5 Kg/animal causan efectos laxantes.
Incineración	Poder calorífico <ul style="list-style-type: none"> <li>1871 cal/g Límite Superior</li> <li>1621 cal/g L.Inferior</li> </ul>	Se constituye en un buen combustible para incinerar y generar energía térmica para distintas aplicaciones	Actualmente existen dos calderas en Tailandia operando con este combustible
Otros	Agente plastificante de concretos reforzados. Fabricación de ladrillos. Materia prima para obtener Sulfatos de Cloruro y Potasio, Potasa y Carbonato de Sodio, Ácido Glutámico y Glutamina vía fermentativa.		

El resultado neto de la distribución de cargas es la formación de una doble capa de iones conocida como la Doble Capa Difusa (DCD) compuesta por las cargas de la partícula arcillosa, de algunos materiales complementarios como óxidos e hidróxidos de hierro (Fe) y aluminio (Al), la materia orgánica y por los iones de carga opuesta que las neutralizan lo cual se aprecia en la Figura 1. (Bohn et al., 1979).

a. Distribución de cationes cerca de una superficie cargada negativamente. cationes saturantes



b. Espesor de la capa doble difusa en función de la valencia de los cationes saturantes: a) Ca, b) Na.

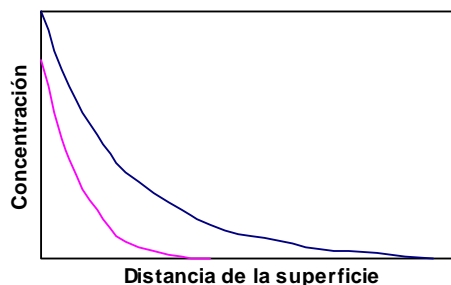


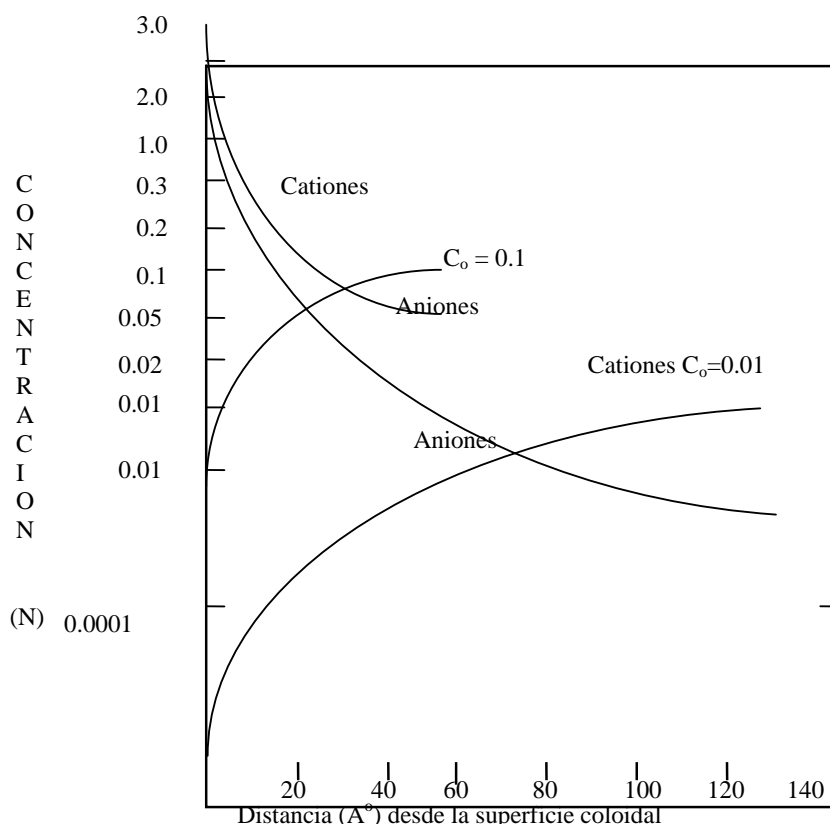
Figura 1. La Doble Capa Difusa.

Las superficies de carga negativa atraen iones de carga opuesta con una fuerza de atracción que depende de la valencia del ión: los iones divalentes son atraídos por una fuerza dos veces mayor que los iones monovalentes por lo que una DCD compuesta por aquellos es más compacta. Cuando aumenta la concentración electrolítica de la solución, disminuye la tendencia de los iones a difundirse más allá de la superficie y la DCD se comprime.

El espesor de la capa doble es variable y disminuye cuando la concentración de la solución del suelo aumenta. En caso de concentraciones iguales, el espesor es más delgado para los cationes polivalentes que para los monovalentes, tal como puede verse en la figura 2. El espesor de la doble capa difusa puede aumentar hasta valores particularmente altos cuando el catión saturante es el Na altamente hidratado, con lo que se originan la ya mencionada dispersión y expansión de las interláminas de las arcillas.

Cuando se aproximan dos laminillas de arcilla sus DCD se sobreponen y se produce una fuerza de repulsión entre los dos sistemas cargados positivamente (la cual es menor a medida que son más compactas las DCD, o sea cuando aumenta la concentración de sales en la solución y la valencia de los iones adsorbidos (Figura 3).

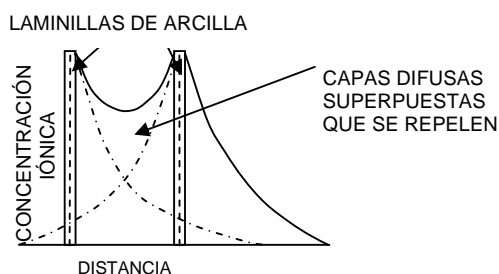
Debido al movimiento Browniano las partículas chocan unas contra otras pero se separan a causa de las fuerzas de repulsión. Si la concentración de sales aumenta, las partículas al chocar pueden pegarse unas a otras y formar grumos que se precipitan o sea que se produce floculación o agregación.



**Figura 2.** Distribución de cationes y aniones monovalentes cerca a la superficie de una partícula de montmorillonita en función de la concentración. (Adaptado por Bohn et al, 1979 de Nielson *et al.*, 1972.).



Cuando dos capas difusas asociadas se encuentran o traslapan tienden a repelerse, debido a que ambas presentan cargas positivas.



**Figura 3.** Dispersión del suelo por efecto del traslape de capas difusas.

### Promoción de la agregación y mantenimiento del nivel crítico de floculación

Puesto que las vinazas poseen una elevada concentración de electrolitos y estos tienen un reconocido efecto floculante, independientemente de su poder fertilizante, se pueden utilizar para promover una mejor agregación de suelos pesados, estructuralmente degradados o con problemas de permeabilidad.

Se conoce como nivel crítico de floculación la cantidad de sales que deben estar presentes en la solución para mantener el suelo o sus arcillas constituyentes agregadas a una condición dada de porcentaje de sodio intercambiable (PSI). Dicho de otra forma, para una arcilla dada existe una concentración mínima de electrolitos, que causa agregación a un determinado valor de saturación de sodio, el cual se conoce como valor de floculación. En general, a mayor PSI (mayor contenido de sodio en la fase sólida del suelo) mayor debe ser la concentración de sales en la solución. Estos efectos se pueden apreciar en los Tabla 7 y 8 (Shainberg y Letey, 1984).

**Tabla 7.** Valor de floculación para dos soluciones salinas.

TIPO DE ARCILLA	VALOR DE FLOCULACION me/L	
	NaCl	CaCl <sub>2</sub>
Montmorillonita	12	0.25
Illita	40-50	0.25

**Tabla 8.** Valor de floculación para diferentes valores de PSI.

TIPO DE ARCILLA	VALOR DE FLOCULACION (me/L de NaCl)		
	5 PSI	10 PSI	20 PSI
Montmorillonita	6	10	18
Illita	3	4	7

**Efecto de la acidez**

En la Tabla 9 se puede apreciar que la mayor proporción de los suelos del Valle del Río Cauca son alcalinos. Esa condición es consecuencia del tipo de materiales parentales que dieron origen a los suelos de dicho valle, a lo que se debe agregar el efecto del riego continuado con aguas duras ricas en bicarbonatos de calcio, Magnesio y sodio.

**Tabla 9.** Distribución porcentual de los suelos de la parte plana del valle del río Cauca según el pH y los contenidos de materia orgánica, fósforo disponible y potasio intercambiable.

pH		MOS		P		K	
rango	suelos (%)	rango	suelos (%)	Rango mg kg <sup>-1</sup>	suelos (%)	Rango Cmol(+)/kg	suelos (%)
< 5.5	6	< 2	32	< 10	21	< 0.20	21
5.5-7.0	70	2 - 4	63	10 - 20	20	0.20 -0.40	53
>7.0	24	>4	5	< 20	55	> 0.40	26

Según González y García (1999) y González, Plá y García (2000), una concentración alta de carbonatos tiene efectos sobre la dinámica de cationes básicos en razón a que provoca la depresión en la concentración de la solución del suelo de iones como el Ca, el cual sale del sistema (fases soluble - intercambiable) por precipitación, estado en el que es inactivo. Los carbonatos que se acumulan en el suelo se alojan en la red porosa en donde se presentan en diferentes formas, desde recubrimientos delgados sobre las paredes de los poros hasta llegar al relleno completo de los mismos, lo que se refleja en las propiedades hidrodinámicas resultantes. La continuidad del espacio poroso se puede afectar en forma variable debido a que aquellos poros que inicialmente constituían canales activos son obturados en segmentos que se convierten en vesículas aisladas o que se ocluyen en forma total.

Paralelamente se producen efectos químicos tales como el aumento en la concentración relativa de iones como Mg y/o Na, fenómeno que es particularmente importante en zonas donde hay presencia de aniones como sulfatos en la solución del suelo, lo que combinado con condiciones mineralógicas de predominancia de arcillas vermiculíticas, caracterizadas por su alta selectividad catiónica por el ion Mg, resulta en dispersión de arcillas, fenómenos de hidromorfismo, sellamiento superficial y altísima retención de humedad a niveles no disponibles para las plantas, y suelos con una alta saturación de Mg (PMgI) en el complejo de cambio.

El uso de aguas duras con alta concentración de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca y Mg condiciona los procesos de solubilización y la concentración de sales y, por tanto, los productos de formación a producirse. Los procesos de humedecimiento y secado, la evapo-transpiración y la absorción de agua por las plantas causan concentración de la solución del suelo y precipitación de sólidos de acuerdo con su producto de solubilidad. Así, se espera que los carbonatos de calcio y magnesio con muy baja solubilidad en agua, sean en su orden los primeros en formarse y el sulfato de Mg debido a su alta solubilidad permanezca

en solución y determine la química de las sales en el perfil, lo que en efecto sucede en los cuatro suelos en estudio.

El efecto de las vinazas aplicadas al suelo, debido a su acidez elevada, es la disolución de las diferentes formas de carbonatos, fosfatos de calcio y otros compuestos precipitados facilitando su lavado vía drenaje, con lo cual se puede lograr una mejor nutrición de las plantas debido a una mayor disponibilidad de nutrientes acompañada de un mejor balance entre ellos.

### **Efecto sobre la actividad microbiana**

Camargo (1960) encontró que la población de bacterias en un suelo incubado con vinaza, creció rápidamente de la primera a la cuarta semana de incubación aún con una dosis tan baja como 150 m<sup>3</sup>/ha de Vinaza diluida (concentración de sólidos de 10 % m/m) existiendo un aumento poblacional del 25.3% con respecto al suelo sin Vinaza.

Los azúcares rápidamente utilizables, como pentosas, son fácilmente descompuestas por los microorganismos del suelo durante los procesos de descomposición de materia orgánica, al tiempo que la nitrificación y denitrificación se ven alterados situación que se puede corregir mediante la adición de vinaza. Por ejemplo, la fijación de Nitrógeno requiere teóricamente 1.7 g de Carbono por cada gramo de Nitrógeno fijado, así que si el suelo tiene bajos contenidos de Carbono, la adición de Vinaza puede mejorar este proceso. O sea, que la vinaza se puede utilizar como promotor de la actividad microbiana en la descomposición de residuos en campo.

Adicional a esto, varios investigadores le han atribuido a la materia orgánica parte de la responsabilidad por mejorar la estructura física del suelo al aumentar su población y actividad microbiana e incrementando la infiltración del agua, atribuyendo éstos efectos a los productos y secreciones de los microorganismos al descomponer la materia orgánica, lo cuales son aptos para unir las partículas del suelo entre si (García, 2005).

### **Vinaza como agente recuperador de suelos afectados por sodio**

Con base en su alto poder electrolítico, su reacción ácida y su acción como activador de la fauna microbiana del suelo es lógico su uso como enmienda efectiva para la recuperación de suelos afectados por una alta saturación de sodio y/o magnesio intercambiables. La Vinaza, como recuperador de suelos afectados por sales con efectos deletéreos como el Na, promueve la agregación fuerte con aumento de la permeabilidad al tiempo que disuelve carbonatos, fosfatos de calcio y otros precipitados liberando el Ca necesario para el desplazamiento del Na del complejo de cambio.

### **Producción de compost**

La producción de compost se ha convertido en una alternativa para la disposición de los excesos de vinaza que resultan de la creciente producción de alcohol carburante en Colombia. La industria alcoholera ha recurrido a su producción masiva para dicho efecto porque evita los problemas de contaminación y significa valor agregado por su efecto fertilizante y acondicionador o mejorador de suelos.

El compost es el material resultante de la descomposición y transformación de materiales orgánicos por acción microbiológica, que los usan como alimento, los degradan y politransforman en productos complejos y estables que aplicados al suelo producen efectos benéficos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo.

El compostaje es un proceso controlado y acelerado de descomposición de materiales orgánicos que da lugar a un producto estable.

Ese proceso tiene varias etapas, así:

- **Mesofílica:** la masa vegetal está a temperatura ambiente y los microorganismos mesófilos se multiplican rápidamente, por lo que subirá la temperatura.
- **Termofílica:** cuando se alcanzan los 40° los microorganismos termófilos transforman el nitrógeno en amoníaco; A los 60° desaparecen.
- **De enfriamiento:** cuando la temperatura es menor de 60°, reaparecen los hongos termófilos y al bajar de 40° los mesófilos también reinician su actividad.
- **De maduración:** periodo que requiere días a temperatura ambiente, durante los cuales se producen la condensación y polimerización del humus.

Para la obtención de un buen compost se requieren las siguientes condiciones.

**Humedad:** Proporcionada por agua o vinaza las cuales facilitan la actividad de los microorganismos. La vinaza es fuente de nutrientes y energía para los mismos especialmente al inicio del proceso.

**Temperatura:** Cambia en función de la actividad microbiana.

**Oxígeno:** Es necesaria la aireación mecánica para favorecer la respiración aeróbica.

**Nutrientes:** Balance entre carbono y nitrógeno como macronutrientes principales que favorecen el crecimiento microbiano.

La relación C:N determina “umbrales” de actividad microbiana:

C:N>20:1 predomina inmovilización de N (retención)

C:N<20:1 predomina mineralización de N (liberación)

Rango ideal inicial para el compostaje 25:1-35:1

- Si la relación es demasiado alta, el proceso de compostaje es más lento como en el caso de material leñoso, raquis de palma.
- Si la relación es demasiado baja, aumenta la pérdida de N en forma de amonio gaseoso como en el caso de residuos animales.

**pH:** El rango tolerado por los microorganismos aeróbicos es amplio, pero es ideal un valor entre 4.5 y 7.5.

En promedio, en el Valle del Cauca, Colombia, una planta de producción de 80.000 litros/día de alcohol dedica 6 a 7 hectáreas de invernaderos con estructura sofisticada para producción de compostes.

### BIBLIOGRAFIA

- Bohn, H.L., McNeal, B.L. and O'Connor, G.A. 1979. Soil Chemistry. New York. Wiley Inter-science. 329 p.
- García, A., Marulanda, E. y Puerto, O. 2004. Experiencias en el uso de vinazas en la agricultura vallecaucana CD Memorias Seminario "Vinazas, potasio y elementos menores para una agricultura sostenible" Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo Palmira, mayo 113 y 14 de 2004. p 57 -85.
- García, A. 2005. Hacia la desmitificación de la Materia Orgánica. Memorias Primera Jornada Científica Académica Internacional y II Festival Agropecuario y Agroindustrial. Universidad de Pamplona Santander. Noviembre 1-4/05.
- González, A., García, A. 1999. Efecto de la aplicación de aguas bicarbonatadas sobre las propiedades físicas de suelos de Colombia. CD Memorias 14 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Pucón, Chile, Noviembre 8 – 13 de 1.999.
- González-Rubio, A., I. Plá- Sentís, and A. García. 2.000. Effect of high bicarbonate waters on the physical conditions of some Colombian soils. In: Book of Abstracts "Remade Lands 2000", International Conference on the remediation and management of Degraded Lands. Fremantle, Western Australia, 30 November-2 December, 2000. pp. 146-147.
- Körndorfer, G., A. Nolla, W.A.R. Lara Cabezas. 2004. impacto ambiental del uso de la vinaza en la agricultura y su influencia en las características químicas y físicas del suelo. Memorias (CD) Simposio "Vinazas, potasio y elementos menores para una agricultura sostenible. Palmira, mayo 13-14. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Morales A., M.A. Godshall y J.E. Larrahondo. 2004. Identificación de compuestos orgánicos en vinaza. C.D. Memorias seminario "Vinazas, Potasio y elementos menores para una agricultura sostenible. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Palmira, mayo 13-14/2004, pp: 5 -10.
- Moreno, L.A. 2008. Por qué el BID apoya los biocombustibles. El Tiempo, julio 27 de 2008 pag.26
- Quintero, R. 2004. Perspectivas acerca del uso y manejo de vinazas aplicadas al suelo. C.D. Memorias seminario "Vinazas, Potasio y elementos menores para una agricultura sostenible. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Palmira, mayo 13-14/2004, pp: 20 -39.
- Shainberg, I. and J. Letey, 1984. Response of soils to sodic and saline conditions. Hilgardia 52: 1-57.
- Talibudeen, O. 1981. Cation exchange in soils. In: The chemistry of soil processes. Edited by D.J.Greenland and M.H.B. Hayes, John Wiley and Sons. pp. 115-117.