

## Los residuos de agave como factor de corrosión del suelo donde se vierte

HOZ-ZAVALA, Ma. Elia Esther\*† y NAVA-DIGUERO, Pedro

*Universidad Tecnológica de Altamira*

Recibido Abril 3, 2017; Aceptado Junio 6, 2017

### Resumen

Los residuos derivados de los procesos con agave en Tamaulipas se vierten directamente en campo para que se biodegraden con el tiempo, observándose alteraciones en el suelo y por ende, daños severos. Por ello, es importante identificar los tipos de suelo en las zonas donde se siembra y maneja el agave y determinar la cantidad generada de residuo, para conocer de forma preliminar el impacto corrosivo que se promueve en los suelos de la entidad y las consecuencias de dichos efectos. La obtención de información fue a través de visitas y entrevistas a empresas. Se usaron los datos de SAGARPA para conocer siembra, cosecha y siniestralidad. Para el suelo, se usaron los datos del prontuario de información geográfica municipal del INEGI y el sistema de clasificación FAO/UNESCO. Se identificaron 24 municipios con suelos geológicos dominantes como el Vertisol y el Leptosol. Otros suelos presentes, pero en menor proporción, son el Calcisol, Phaeozem, Luvisol, Kastañozem y Chernozem. El tipo de suelo geológico predominante fue Aluvial. La gran cantidad de residuos, que aún contienen alcohol y azúcar, provocan daño severo al suelo, promoviendo su alteración y destrucción.

**Agave, residuo, tipos de suelo, Tamaulipas**

### Abstract

The residues derived from the agave processes in Tamaulipas are discharged directly into the field, being observed alterations to the soil and therefore, severe damages. So it is important to identify the types of soil in the areas where planting, using and managing the agave and determining the amount of waste generated, in order to know in a preliminary way the corrosive impact that is promoted in the soils of the entity and the consequences of those effects. The obtaining of information was through visits and interviews to the companies. SAGARPA data were used to know sowing, harvesting and loss. The type of soil was determined from the data of the municipal geographical information book of INEGI and the FAO / UNESCO classification system. We identified 24 municipalities where the types of dominant geological soils are Vertisol, and Leptosol. Other soils present, but in smaller proportion, are Calcisol, Phaeozem, Luvisol, Kastañozem and Chernozem. The predominant soil type was Alluvial. The large amount of residue that still contains alcohol and sugar, causes severe damage to the soil, promoting its alteration and destruction.

**Agave, waste, type of soil, Tamaulipas**

**Citación:** HOZ-ZAVALA, Ma. Elia Esther y NAVA-DIGUERO, Pedro. Los residuos de agave como factor de corrosión del suelo donde se vierte. Revista del Desarrollo Tecnológico 2017, 1-2: 11-24

\* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: mhoz@utaltamira.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

El agave es una de las plantas considerada como materia prima para diversos procesos de los que se obtiene: ixtle en greña, jarabe dulce, tequila, mezcal, pulque, bacanora, sotol, miel de agave, inulina, composta, forraje y fibra para elaborar artesanías. Sin embargo, en cada uno de estos procesos se generan gran cantidad de residuos principalmente los derivados de la producción de destilados, que, en la mayoría de los casos, es transportado y vertido en campos a cielo abierto, en donde se deja que se biodegrade de forma natural. No se busca darle un uso alternativo o reutilización, lo que plantea un severo problema, pues genera un promedio de 71% de residuos orgánicos, según el proceso, derivados de las actividades agroindustriales, mismos que, al abandonarse directamente en campo para que se degraden con el tiempo, en realidad, lo que se provoca es un deterioro en el ecosistema, principalmente: corrosión en los suelos en donde se vierten. Uno de los suelos más afectados es el tipo Vertisol, en la parte sur del estado, que es uno de los suelos en donde se cultiva el Agave. Es de tipo arcilloso y ampliamente utilizado para agricultura en Tamaulipas la cual es una importante actividad económica en el estado, por lo que se considera necesario determinar los tipos y características de suelos existentes en las zonas donde se siembra, cosecha, usa, maneja y dispone el agave e identificar la cantidad de residuos que se genera. Principalmente, del bagazo y partes de la planta que se quedan sin uso y dispersas en el campo, sin aprovechamiento alguno. Asimismo, hay que caracterizar dichos residuos, para ver como promueven la corrosión de los suelos en donde se depositan y los efectos ambientales que esto provoca en el sitio.

## Metodología

Para este trabajo, se realizaron visitas y entrevistas a productores que utilizan al agave como materia prima en sus procesos.

De ellos se obtuvieron los datos sobre la cantidad de agave que se ocupa en el proceso, ya sea para destilados o en la producción de miel e inulina. En aquellos casos en que no se pudo contar con datos directos del productor se recurrió a la información estadística que proporciona la Secretaría de Economía y SAGARPA (2009), para establecer las cantidades producidas y los residuos generados. También se obtuvo de la base estadística de SAGARPA las hectáreas (ha) sembradas y siniestradas, así como lo cosechado (SIAP/SAGARPA). En cuanto al tipo de suelo, se tomó en consideración el Sistema de Clasificación FAO/UNESCO (1988); la clasificación del INEGI (2009) en el Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos del Estado de Tamaulipas; y el Atlas de Suelos de América Latina y el Caribe, de Gardi et al (2014).

En esta primera fase, se hizo una revisión de trabajos que han caracterizado el bagazo de agave. Dichos datos, en esta etapa, son los considerados para conocer algunos componentes químicos del agave y ver cómo inciden en la corrosión del suelo por la cantidad de residuo dispuesto directamente a cielo abierto en el ecosistema. Se tomaron parámetros como pH, materia orgánica, concentración de azúcares y tipo de alcoholes, así como el de las sales y los nutrientes presentes en la planta y el bagazo. En lo referente al suelo, se describen las características de las unidades de los suelos existentes en las zonas de siembra y su uso, según los lineamientos de la FAO/UNESCO (1988) y el INEGI (2009). Se consideran las características propias del suelo y los parámetros físico-químicos para ver cómo impactan los residuos de bagazo en el ambiente edáfico de la entidad.

## Resultados

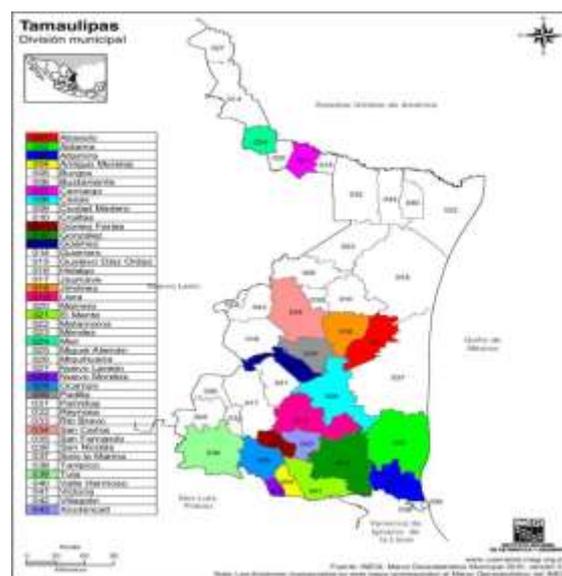
De los 11 Municipios del estado de Tamaulipas, considerados en la Denominación de Origen para producción de tequila, SAGARPA registró que, del año 2004 al 2017, el agave sembrado fluctuó de 800 a 2,000 ha cubiertas en sólo cuatro municipios: González, El Mante, Llera y Xicoténcatl. En Aldama registró siembras que no alcanzaron las 300 ha y en Altamira, Antiguo Morelos, Gómez Farías, Nuevo Morelos, Ocampo y Tula, el agave sembrado varió desde 10 hasta no más de 200 ha. Los municipios considerados para la Denominación de Origen de Mezcal son San Carlos, Tula y Jiménez, donde han sido sembradas cantidades muy pequeñas que oscilan entre 10 hasta no más de 200 ha,

Tipo de Agave	Proceso	Agave usado,%
Agave tequilana Weber variedad azul	Tequila, Destilado de Agave, Inulina, Miel	100
Agave americana	Mezcal, miel	100
Agave americana ssp protoamericana	Mezcal, miel	100
Agave salmiana	Mezcal	100
Agave montium sancticaroli,	Mezcal	100
Agave funkiana	Mezcal	80
Agave univittata lophantha	Mezcal	50
Agave asperrima	Mezcal	20
Agave potatorum	Mezcal	20
Agave lechuguilla Torr.	Ixtle	100
Agave fourcroydes	Henequén	100

**Tabla 1** Tipos de Agaves usados en los diversos procesos, en el estado de Tamaulipas

*Fuente: Propia, elaborada a partir de la información de los productores en Tamaulipas*

Los mezcaleros utilizan otras variedades de agave, que no es el tequilana, y lo colectan de las áreas donde crece en forma silvestre y que, como lo refiere Barrios et al (2015), lo han colectado por siglos para realizar la bebida tradicional alcohólica denominada mezcal, sin recurrir a la siembra del mismo. (tabla 1 y figura 1).



**Figura 1** Municipios que siembran Agave Mezcalero y Tequilero

*Fuente: Propia, elaborada a partir del Marco Geoestadístico del INEGI, 2010*

SAGARPA, por otra parte, también ha registrado siembra de Agave tequilana Weber en los Municipios de Abasolo, Mier, Casas, Güémez y Camargo. Y es en este último municipio en donde se siembran ambos, agave tequilana y mezcalero, aunque no se especifica que variedad de éste último, pero no es mayor a 34 ha, divididas entre los dos variedades de agave sembrados (tabla 2).

Además, los ixtleros de la zona de Bustamante, Jaumave, Miquihuana, Tula, Palmillas y Victoria requieren el agave para generar el ixtle en greña. Este agave crece ahí de forma silvestre. La empresa “Inulina y Miel de agave”, asentada en el municipio de Llera, cultiva el agave tequilana en terrenos aledaños a la misma empresa (entrevista “Lleramex”).

Todas las actividades que involucran siembra, cosecha y procesos rústicos o artesanales, para la obtención de productos derivados del agave, generan gran cantidad de remanentes y residuos en relación con lo cosechado, empezando por las partes de la planta que son abandonadas en el campo sin utilizar. Si se considera que cada hectárea sembrada contiene 2500 plantas con un peso promedio de 60 kg por planta (de lo cual aproximadamente un tercio de este peso corresponde a la piña o cabeza) lo que representa una cosecha prevista de 50 toneladas por hectárea (T/ha) de piñas (entrevista “La Gonzaleña”). Por otra parte, si se considera que 333 plantas cosechadas equivalen a 20 T las que son aprovechadas en el proceso de producción de tequila, entonces se deduce que 130 T/ha son abandonadas en terreno, es decir, si solo es utilizada la piña o cabeza, entonces el resto de la planta que son el cogollo, las hojas y rizoma son abandonados en sitio de siembra como residuo del proceso, por no serles de utilidad.

Municipio	Siembra, ha.	Cosecha, ha.	Reporte siniestralidad, ha.	Remanente, ha.
Abasolo	200	20	180	0
Aldama	2624	226	2123	275
Altamira	790	10	487	293
Antiguo Morelos	1330	0	1147	183
Camargo	540	0	504	36
Casas	580	0	556	24
Gomez Farias	100	0	90	10
Gonzalez	32738	937	28746	3056
Totales:	38,902	1,193 (3%)	33,833 (87%)	3,876 (10%)

**Tabla 2** Municipios con siembra, cosecha y siniestralidad del agave. Periodo (2004-2017)

*Fuente Propia, Elaborada a partir de información de SAGARPA*

La tabla 2 clarifica la dimensión de la situación. De la cantidad sembrada y que se reporta en la columna segunda, se realiza la cosecha con propósitos productivos según el proceso (tequila, mezcal, ixtle, etc.). Lo anterior significa, como ya se comentó, que en campo quedan los residuos de recuperar solo la piña, mismos que quedan expuestos a la degradación ambiental.

La columna cuarta reporta lo siniestrado, es decir, la planta que no es cosechada, pero que si es abandonada completa sin ningún tipo de recuperación o tratamiento posterior. La quinta y última columna reporta un remanente que se dejó en el terreno en espera de ser cosechado posteriormente en cuanto alcance el nivel de madurez necesario para los diferentes procesos de producción mencionados. De la línea de totales se observa que la cantidad siniestrada es altamente significativa (87%), lo que representa la cantidad de área cubierta con plantas que se dejan al proceso de descomposición natural, como abono según la creencia local, y que los suelos son el receptáculo de los productos de descomposición. La siniestralidad en el cultivo de agave puede deberse a diversos factores como son la pérdida de la planta por el picudo mencionado por Terán y Azuara (2013), o por eventos climáticos o por la falta de cuidado de los agaves sembrados. Como sea, se termina con una elevada cantidad de residuos en el campo sin tratamiento alguno lo que provoca impacto severo a los suelos de la entidad. Incluso las comunidades que de manera artesanal colectan las hojas de agave, y en propio campo llevan a cabo el proceso de obtención del Ixtle en greña, también generan residuos, aunque en pequeñas cantidades. No obstante, también quedan en el campo sin uso alternativo alguno

De hecho la tabla 3 muestra los residuos generados por la ruta de producción (no la de abandono explicado desde la tabla 2 en el párrafo previo). Tomando como ejemplo la fila del mezcal, para producir 500 litros de este producto es requerido de 15 T de piña, mismas que son procesadas dejando el bagazo como residuo de producción aproximadamente el 70% de lo procesado, es decir, 10.5 T, mismos que son retirados de la planta mediante camiones de volteo y vertidos en terreno aledaño en forma de conos en áreas de aproximadamente 9 m<sup>2</sup>/pila. Lo mismo ocurre para los procesos de Tequila. Miel de agave e Inulina ya que ocurren en plantas de procesamiento. El proceso de fibra de Ixtle ocurre en sitio de siembra.

Producto	Cantidad requerida de agave por unidad producto	Producción total de producto	Total de Bagazo por producción
Mezcal	20 a 30 kg de piña por litro	500 litros por cada 15 T	10.5 T 70% es residuo
Tequila	8 kg de piña por litro	2600 litros con 20 a 25 T	15 T 75% es residuo
Miel de Agave	4 kg de piña por litro	100 litros con 400 kg	160 kg 40% es residuo
Ixtle	6664 kg de cogollos para 1 T	289 T por cada 1926 T de cogollos	1637 T 85% es residuo
Inulina	6 kg de piña por kg	100 kg por cada 600 kg	500 kg 83% es residuo

**Tabla 3** Agave utilizado por procesos y cantidad de residuo generado

Fuente: Propia, elaborada a partir de información proporcionada por los productores

Fueron identificados 24 municipios que han sido vinculados al cultivo de agave o al uso de agave silvestre existente en sus comunidades. 19 de estos municipios siembran agave mezcalero y agave tequilana Weber variedad azul (figura 1). Los otros 5 municipios que son Bustamente, Jaumave, Miquihuana, Palmillas y Victoria, ocupan el agave silvestre para las actividades de producción del Ixtle en greña, también lo cosechan y lo venden a otras comunidades para la producción de mezcal o para la elaboración de productos artesanales.

Los suelos predominantes en estas 24 entidades son: Leptosol, Chernozem, Vertisol, Regosol, Phaeozem, Kastañozem y Calcisol (tabla 4).

Municipios	Tipos de suelos						
	Leptosol	Chernozem	Vertisol	Regosol	Phaeozem	Kastañozem	Calcisol
Abasolo	*	*	*			*	*
Aldama	*	*	*	*	*	*	*
Altamira	*	*	*	*	*	*	*
Antiguo Morelos	*	*	*	*	*		
Camargo	*	*	*			*	*
Casas	*	*	*	*	*	*	*
El Mante	*	*	*		*	*	*
Gómez Farias	*	*	*	*	*		
González	*	*	*	*	*	*	*
Guémez	*	*	*	*	*	*	*
Jiménez	*	*	*	*	*	*	*
Llera	*	*	*	*	*	*	*
Mier	*	*	*			*	*
Nuevo Morelos	*	*	*	*	*		
Ocampo	*	*	*	*	*		
Padilla	*	*	*	*	*	*	*
San Carlos	*	*	*	*	*	*	*
Tula	*	*	*	*	*	*	*
Xicotencatl	*	*	*	*	*	*	*
Bustamente	*	*		*	*	*	*
Jaumave	*	*		*	*	*	*
Miquihuana	*	*			*	*	*
Palmillas	*	*		*		*	*
Victoria	*	*	*	*	*	*	*

**Tabla 4** Municipios y Tipos de Suelos dominantes

Fuente: Propia, elaborada con datos del Prontuario de información geográfica municipal de Tamaulipas. INEGI 2009

También en dichos municipios se encuentran otros tipos de suelos aunque no son predominantes como los señalados anteriormente. En algunos de ellos crecen muchos de los agaves que se utilizan en los procesos de destilación de mezcal o para la obtención de ixtle en greña, la fabricación de productos artesanales o de miel de agave. Dichos suelos son: Cambisol, Luvisol, Fluvisol, Solonchak, Gleysol, Arenosol, Solonetz y Gypsisol (tabla 5).

Municipios	Tipos de suelos							
	Cambisol	Luvisol	Fluvisol	Solonchak	Gleysol	Arenosol	Solonetz	Gypsisol
Abasolo	*	*						
Aldama	*	*	*	*		*		
Altamira				*	*	*	*	
Antiguo Morelos		*						
Camargo				*				
Casas	*		*					
El Mante								
Gómez Farías	*	*						
González	*				*			
Guímez		*	*					
Jiménez	*							
Llera		*	*					
Mier			*					
Nvo. Morelos								
Ocampo	*	*			*			
Padilla			*					
San Carlos			*					
Tula		*		*				*
Xicoténcatl			*					
Bustamante	*							
Jaumave	*	*	*					
Miquihuana	*							
Palmillas	*	*						
Victoria		*						

**Tabla 5** Municipios y Tipos de Suelos menos dominantes

Fuente: Propia, elaborada con datos del Prontuario de información geográfica municipal de Tamaulipas. INEGI 2009.

Tomando en cuenta los 7 suelos más dominantes de los 24 municipios referidos en este trabajo más 2 de los que no son dominantes pero son lo suficientemente importantes para ser considerados, dado que en ellos crecen diversas variedades de agaves silvestres, es observado entonces que los componentes físicos y químicos de estos tipos de suelos nos dan una visión en cuanto a características y nutrientes presentes en ellos. Esto deberá servir para mostrar cómo la gran cantidad de bagazo que se vierte en esos suelos puede, en vez de ayudar (como es la creencia popular), afectarlos negativamente y provocar impacto de degradación, corrosión, erosión y contaminación general, a causa de los componentes químicos y biológicos que aún contiene.

El bagazo, sin tratamiento alguno, es depositado en terrenos aledaños a las empresas destiladoras, las que consideran que solamente se requiere dejarlos secar, y con ello, es suficiente para que sirva de abono al suelo donde ha sido vertido (entrevista Sr. Guzmán, productor de Tula, Tamaulipas). Sin embargo no es considerado que dichos residuos contienen cierta concentración de azúcares, alcoholes y humedad. En general se sabe que los suelos tienen la capacidad de procesar los residuos e inhibir el impacto de dichos compuestos. Sin embargo, dada la elevada cantidad de biomasa vertida, existe la posibilidad de ocurrencia de fenómenos como la percolación (lixiviados) al subsuelo y saturación de la superficie del suelo. Es de considerarse también que por ende, con el paso del tiempo, eso conduce a cambios de composición y estructura del suelo, lo que resulta en impactos negativos severos sobre el terreno en afectación y como menciona Enríquez, et al (2016), los cambios provocados al suelo afectan las condiciones físicas y químicas del ecosistema, provocando mortalidad de organismos habituales a dicho ecosistema, además de favorecer el desarrollo de otros tipos de especies, no propias del terreno. Es de considerarse que esto se acrecienta en zonas áridas, donde la riqueza de especies es menor que en zonas húmedas.

La tabla 6 muestra las características de los suelos considerados como representativos de los municipios productores con base en el agave. Se examinan los parámetros de drenaje, profundidad de capa, porosidad, capacidad de percolación y cantidad de humedad y de retención de la misma para cada tipo de suelo. Cada característica está relacionada entre sí al considerar el suelo edáfico (capa de suelo de interés) como una membrana con espesor y capacidades características, tal como el contenido de Ca y Mg que promueven la retención de humedad, aunque antes de eso, el agua desde el exterior que se infiltra pasando por la membrana de suelo se drena y percola al cruzarla hacia los estratos inferiores.

Suelos	Drenaje	Profundo	Poroso	Percorrido	Humedad y Retención
Leptosol	Excesivo	Poco profundo <25 cm a somero 10cm	Alta	Bajo	Baja capacidad de retención de agua
Chernozem	Alto	>80 cm	Alta	Alto	Retención del 33%. 95% con Ca y Mg Baja retención y humedad
Vertisol	Pobre	>170cm	Alta	Bajo	Baja en superficie Retención alta profundo.. Alta saturación de bases > 70% de 100% con Ca y Mg
Regosol	Alto	Poco profundo	Baja	Bajo	Baja retención
Phaeozem	Medio	< 50 cm	Alta	Alto	Alta saturación y humedad superficie
Kastañozem	Medio	Profundo	Alta	Alto	Falta periódica mente Baja saturación de bases
Calcisol	Bajo	Poco profundo	Baja	Bajo	Alto índice de evaporación Retención baja Poca humedad
Cambisol	Buena	Poco profundo	Alta	Alto	Alta capacidad de retención y humedad Baja saturación de bases
Solonchak	Bajo	Profundo	Baja	Bajo	Retención > 50%

**Tabla 6** Características físicas de los suelos dominantes en los municipios de producción de bagazo de mezcal y tequila, siembra o uso de agaves para ixtle en greña, productos artesanales o miel de agave

Fuente: Propia, elaborada a partir de información de Gardi et al (2014), FAO-WRB Soil (2006)

Lo anterior significa que al dejar las plantas en proceso de descomposición o al verter el bagazo resultado de los procesos productivos en grandes cantidades, sin considerar tratamiento alguno para ambos casos, se desbalancean las características propias ocasionando daños no solo al suelo, sino a la vida activa presente en dicho ecosistema.

La calidad física es determinante para que se realicen las funciones básicas de un suelo y conserve su capacidad de sostener la productividad biológica y, además, mantener la vitalidad de los micro y macro ecosistemas existentes.

Estos factores al regular en el suelo su capacidad de captación, retención y transporte de agua, a lo largo de su perfil, determina qué constituyentes químicos como materia orgánica, minerales, presencia de sales y pH, cuando están presentes en el suelo, pueden permanecer y ayudar, como nutrimentos, a la vida existente en el mismo suelo (tabla 7). Empero, la cantidad de bagazo altera las condiciones propias del suelo y modifica su estructura, alterando su capacidad para realizar sus funciones vitales. Barrios et al (2015) señalaron que los tipos de suelos en donde normalmente se desarrollan los agaves son de tipo calcáreo conteniendo niveles muy bajos de nitrógeno, fósforo, potasio y materia orgánica, y los suelos de Tamaulipas cumplen con esas características de poca disponibilidad de nutrientes, y además, por ser zona costera de alta salinidad, que ya en sí misma es una condición negativa, ésta es acrecentada al verter tanta cantidad de bagazo.

El análisis combinado de las tablas 6 y 7 permite observar que dada la alta concentración de sales de Ca y Mg los suelos en estudio de manera natural se encuentran en el límite de idoneidad para el cultivo o crecimiento silvestre del agave.

Suelos	M.O.	Mineral	CaCO <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	pH
Leptosol	Alto	Ca	CaCO <sub>3</sub> Alto > 40%	> CaCO <sub>3</sub> alcalino < CaCO <sub>3</sub> Ácido
Chernozem	Alto	P, Ca	Alto CaCO <sub>3</sub>	6.6-8.5
Vertisol	Bajo	P y K deficiente Yeso	CaCO <sub>3</sub> Alto > 15%	Alcalino 6-8 Extremo 9.5
Regosol	Bajo	Poco P asimilable K alto y además Ca, Mg, Na, Ca, I, Yeso	CaCO <sub>3</sub> < al 15%	Muy ácido
Fluozems	Alto	Ca	Acúmulo ligero de carbonatos	Ácido
Kastanozems	Rico en la superficie	Ca Yeso	CaCO <sub>3</sub>	Alcalino
Calcisol	Bajo	Cu alto P escaso Yeso	Alto CaCO <sub>3</sub> rico en carbonatos secundarios	Poco ácido a neutro
Cambisol	Bajo	Presencia de Ca, Mg, K, Na, Bajo contenido de Fe, Al	Pequeña presencia de CaCO <sub>3</sub>	De neutro a ligeramente ácido
Solonchak	Bajo	K alto Mg bajo Cu alto Yeso Suelo salino	Sales solubles CaCO <sub>3</sub>	4.5

**Tabla 7** Características químicas de los suelos de Tamaulipas

Fuente: Propia, elaborada a partir de la información de Espinosa Ramírez et al (2011), Manzano et al (2014). Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas (2013). Gardi et al (2014). FAO-WRB Soil (2006)

En la tabla 8 se expone el análisis realizado a diferentes tipos de bagazo de agaves que muestra los componentes nutricionales que poseen. Se observa que los residuos de bagazo aportan cantidades apreciables de materia orgánica y nutrimentos, como K, Ca, P, N y Fe. También reduce la susceptibilidad a la erosión hídrica y eólica, por su capacidad de retención de humedad, porque favorece la actividad microbiana y permite el mejoramiento de fertilización mineral. Además, porque promueve la corrección de la acidez del suelo, por los efectos quelantes de materia orgánica. Sin embargo, altas concentraciones de bagazo generan relaciones C/N muy altas, con la consecuente inmovilización del nitrógeno.

A pesar de que el bagazo contiene todos los nutrientes requeridos por el suelo para su fertilidad, el verter grandes cantidades de bagazo sin tratamiento alguno, significa reducir la capacidad de retención de nutrientes, asimismo, se sobresatura la superficie del suelo y se percolan o lavan (con las lluvias) los minerales tan necesarios para la salud y la vitalidad del suelo. Por lo que resulta en cierto modo nocivo para la fertilidad del suelo, su recuperación y la conservación de sus propiedades, ya que provee de mayor acidez, su relación de C/N es demasiado alta y provee cantidades adicionales de Ca y Mg a lo que naturalmente ya posee el suelo, tendiendo con ello a la retención de humedad, así como la disminución de la percolación y el drenaje.

Parámetros	Bagazo fresco Tequilero	Bagazo Agave tequilero	Bagazo Agave Tequilero	Bagazo Agave salmiana	Bagazo maguay mezcalero A. saguifolia
pH	4.7	4.72	5.40	4.5	5.32
Materia orgánica %	93	93	91.20	NM	89.76
Carbono %	NM	NM	50.60	NM	49.87
Nitrógeno total %	0.60	0.60	0.53	0.54	0.38
C/N	116	116	95.50	NM	131.24
P %	0.004	0.37	NM	0.03	NM
K %	0.045	0.45	NM	0.43	NM
Ca %	0.02	2.11	NM	3.46	NM
Mg %	0.02	2.30	NM	0.12	NM
Sulfuro (Azufre)	NM	NM	NM	0.21	NM

**Tabla 8** Caracterización de bagazo de agave

Fuente: Propia, elaborada a partir de información de Rodríguez y R. Crespo (2010), Delgadillo et al (2015), Rodríguez et al (2010), Íñiguez et al (2006) y Martínez et al (2013). NM: No medido por los autores

En este momento se hace necesario hacer un recordatorio y reflexión respecto al comentario de “vertido de grandes cantidades de bagazo” hecho en el párrafo previo.

En el caso del remanente que se abandona en sitio de siembra, se hizo mención que una hectárea tiene capacidad para la siembra de 2500 plantas de 60 kg, de agaves, es decir, 150 T, de las cuáles 40 kg son dejadas como residuos en sitio de siembra del 3% cosechado, o sea, 3 T, y lo reportado como siniestrado son 130.5 T (87%) entonces la dimensión de la afectación es de 133.5 T/ha de residuo abandonado en campo en promedio, o en otras palabras, 13.35 kg/m<sup>2</sup>, y basados en la tabla 8 representa en un metro cuadrado: 12 kg de MO, 7.2 kg de C, 0.068 kg de N y 0.27 kg de Ca y Mg correspondientemente. Por otro lado respecto al bagazo que se produce como residual de los procesos de tequila y mezcal, partiendo de lo que se estableció como cosechado en el ejemplo de este párrafo y de la tabla 3, las 3 T se convierten en 100 litros de producto y 2.1 T/ha de bagazo, o sea, que 3 ha llenan un camión de volteo, el cual desparrama en forma de pila en un área de 27 m<sup>2</sup> aproximadamente, es decir, 233 kg/m<sup>2</sup> de bagazo vertido, lo que representa en un metro cuadrado: 217 kg de MO, 130 kg de C, 1.2 kg de N y 4.3 kg de Ca y Mg correspondientemente. Ya sea en un caso o en otro, estas cantidades se sumarían a las que por naturaleza tiene el suelo y sustentarían los comentarios negativos que se han hecho respecto a la afectación que los respectivos suelos tendrían. Esto sería la dimensión de la contaminación del agave residual en el suelo, según sea dejado en sitio de siembra (disperso en campo) o depositado en pilas en terreno aledaño a las plantas de procesamiento.

Aunado a lo anteriormente descrito, como menciona Chavez (2010), el bagazo contiene la impregnación de metanol, etilacetato, etanol, n-propanol, 2-butanol, 2-metilpropanol, ácido acético, 2-metil-1-butanol y alcoholes superiores que impactan negativamente al suelo pues tienden a la conversión de aldehídos, cetonas y ácidos carboxílicos, principalmente, si son grandes cantidades de bagazo húmedo, vertidos directamente al suelo como ya se demostró.

Esto afecta la permeabilidad, así como la capacidad del suelo para realizar adecuadamente sus funciones. Igualmente se afecta la aireación del suelo, hay mayor resistencia a la penetración de sales y repercute en el drenaje del suelo, que se vuelve deficiente. Y así se disminuye el agua disponible en el suelo como lo menciona Espinosa et al (2011). Hay que considerar que los suelos de Tamaulipas, principalmente los cercanos a zonas costeras, son de alta salinidad. En este estado se han hecho estudios sobre sodicidad del suelo, en Jiménez referido por Manzano et al (2014), que muestran la afectación en el drenaje. La alta salinidad del bagazo, que ya de manera natural afecta la disponibilidad de nutrimentos, por el impacto de las altas concentraciones del mismo, conduce a una mayor concentración de sales en la superficie y al consiguiente desbalance en la disponibilidad de nutrientes. Se ocasiona, de este modo, la degradación más rápida del suelo. Por otro lado, dentro de la composición del bagazo vemos, como reporta Li et al (2012), que la piña del agave es rica en polisacáridos/oligosacáridos solubles en agua. Mucho de ello es inulina y oligómeros, además de sucrosa, glucosa, galactosa y fructuosa, las cuales, al estar en el bagazo que se vierte en campo, promueven la proliferación de hongos y bacterias, y nuevamente, se afecta la porosidad del suelo con consecuencias en la resistividad natural del suelo, al aumentar el porcentaje de humedad. Lo anterior hace que el suelo pudiese tener menos de 100 ohm-m, lo que promovería que ese suelo se vuelva agresivo y aumente la velocidad de corrosión de toda instalación enterrada en el mismo. También es conocido que suelos muy ácidos, con pH menor a 5.5, motivan una agresividad marcada sobre todo elemento metálico enterrado. El suelo se vuelve corrosivo, cambiando con ello sus características naturales. Hay que considerar que el bagazo presenta un pH ácido, que es equilibrado por el suelo, al unirse a él. No obstante, en grandes cantidades el pH se mantiene ácido y promueve esa corrosión. Por añadidura, la presencia aunada de alcoholes y azúcares favorecen el proceso.

Los iones sulfatos, presentes de forma natural en los suelos, que son transportados a través del agua, suelen tener un alto grado de agresividad. La intensidad de la reacción depende de la presencia de minerales como Na, Mg, Ca, mismos que también están presentes en el tipo de suelos mencionados en este trabajo. También, esa intensidad depende de la permeabilidad y la temperatura, tanto ambiental como del suelo, que se ven inevitablemente alterados por ese exceso de bagazo. Al estar expuestos a grandes cantidades del multicitado bagazo se promueve la disminución de porosidad, con lo que se disminuye la permeabilidad. Hay que considerar que el suelo de mayor presencia en el sur de la entidad, donde se congregan las fábricas productoras de destilados, es de tipo Vertisol. Este tipo de suelo, con alta concentración de arcilla, promueve que se estanque el agua, con el consabido aumento de sulfatos, generando aguas sulfatadas ACI-201.2R. (1992).

Como es apreciado el bagazo en sí mismo no es un agente agresivo, pero experimenta un conjunto de reacciones químicas que promueven las alteraciones al suelo. Reacciones que se producen, principalmente, por la gran cantidad de residuo vertido. Esto conduce lógicamente, a prestar más atención a la problemática ignorada y buscar alternativas de uso del residuo de bagazo de agave. En principio, hay que eludir el vertido del mismo, en gran escala en los suelos, para evitar la sobresaturación de agua; pues ésta inhibe un buen drenaje, impide la percolación natural y promueve la disminución de porosidad. Actualmente, todo lo anterior está incidiendo en la estructura natural del suelo y, con ello, se está afectando al entorno. Y no de un modo positivo. Por el contrario, se están provocando impactos negativos en el ambiente.

## Conclusiones

Se identificaron 24 municipios, de los 43 existentes en el estado de Tamaulipas, de los que 19 tienen siembra de agave tequilero y mezcalero. En los 5 municipios restantes se desarrollan diversas variedades de agave que son colectados por las comunidades para otras actividades: generación de ixtle en greña, preparación de jarabe de agave y creación de diversos productos artesanales.

Los suelos predominantes en estas 24 entidades son Leptosol, Chernozem, Vertisol, Regosol, Phaeozem, Kastañozem y Calcisol. Hay otros tipos menos dominantes, en los cuales también crecen y se desarrollan muchos de los agaves de la entidad. Estos suelos son el Cambisol, Luvisol, Fluvisol, Solonchak, Gleysol, Arenosol, Solonetz y Gypsisol.

La cantidad de residuos generados por las diversas actividades productivas que utilizan el agave como materia prima es muy elevado. El estimado demostró que la densidad promedio de residuo es de 13.35 kg/m<sup>2</sup> dispersos en campo y 217 kg/m<sup>2</sup> de bagazo apilados en terrenos aledaños a las plantas de procesamiento. Lo que demuestra que si es alta la cantidad de residuos vertidos en el campo sin tratamiento alguno. En cuanto a la calidad física de los suelos, se ven afectados en su drenaje, porosidad, percolado (lixiviado) y capacidad de retención, en lo referente a la humedad propia del suelo.

En lo que respecta a los constituyentes químicos de los suelos, en cuanto a materia orgánica, tipos de sales y minerales y su pH, se encuentra que todos se ven afectados. Al entrar en contacto con los elementos constitutivos del bagazo, en los suelos se reduce la capacidad de retención de nutrientes, se sobresatura la superficie del suelo, se generan lixiviados que pueden impactar al manto freático y se vuelve ineficiente el drenaje propio del suelo.

Además, se altera la aireación del suelo, promoviendo anaerobiosis y, por ende, proliferación de bacterias anaerobias, muchas de ellas causantes de efectos de corrosión en suelo. También hay mayor resistencia a la penetración de sales. Disminuye la porosidad y eso puede incidir en menor resistividad, al aumentar el estancamiento de agua en la superficie; lo que acrecienta, obviamente, el porcentaje de humedad. Con ello, el suelo aumenta su velocidad de corrosión. El pH, además, se mantiene ácido, aumentando así la agresividad corrosiva del suelo. Y los iones sulfatos, presentes de forma normal en el suelo, al estar en suelos saturados, estancados, llevan a la generación de aguas sulfatadas, ya que aumenta la concentración de sulfatos por falta de movilidad.

El bagazo, en cantidades que el suelo sea capaz de procesar de forma equilibrada, permitirá la fertilidad del mismo. Por ahora, eso no está sucediendo. Se están produciendo grandes cantidades de residuos que continuarán impactando negativamente los suelos de la entidad, si no se toman medidas correctivas; que muy bien pudieran ser, también, productivas.

## Referencias

- ACI-201.2R (1992). American Concrete Institute. Guide to Durable Concrete. Reporte del Comité 201. Farmington Hills.
- Barrios, A., Otero, M., Michel A. & Ariza, R. (2015). Quantitative analysis variables Maguey Mezcalero (*A. cupreata*) in four environments. *ECORFAN Journal Ecuador* 2015, 2-3: 160-164. ISSN:1390-9959. ECORFAN.
- Barrios, A., Otero, M., Michel A. & Ariza, R. (2015). Morfológica de *Agave cupreata* y variabilidad de sus Descriptores. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales* 2015. Vol. 1. No. 2. 90-94. ISSN-2444-4936. ECORFAN
- Castillo, D., Martínez, O., Ríos, L., Rodríguez, J., Morales, T., Castillo, F. & Avila, D. (2014). Determinación de Áreas Potenciales para Plantaciones de *Agave lechuguilla* Torr. Para la Producción de Etanol. *Acta Química Mexicana. Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*. Volumen 6, No. 12. Pág 5-11.
- Chávez, L., (2010). Uso de bagazo de la industria mezcalera como materia prima para generar energía. *Ingenierías* Abril-Junio 2010, Vol XIII, No. 47. pág. 8-16
- Delgadillo, L., Bañuelos, R., Esparza, E., Gutiérrez, H., Cabral, F. & Muro, A. (2015). Evaluación del perfil de nutrientes de bagazo de agave como alternativa de alimento para rumiantes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp. Núm. 11* 16 de mayo-29 de Junio, 2015 p. 2099-2103.
- Enríquez, D., Dame, M., Mercado, M. & Blancas, M. (2016). Diversidad y valor de importancia como herramientas para fundamentar un cambio de uso del suelo en Zacatecas, México. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales* 2016, 2-3: 18-27. ISSN-2444-4936. ECORFAN.
- Espinosa, M., Andrade, E., Rivera, P. & Romero, A. (2011). Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. *Papeles de Geografía* (en línea), núm 53-54, 2011, pp 77-88. Universidad de Murcia. España. Recuperado el 8 de octubre de 2013 de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40721572006>. ISSN 0213-1781.
- FAO (2006). World reference base for soil resources 2006. A framework for International classification, correlation and communication. *World Soil Resources Reports* 103. IUSS Working Group WRB. 2006. World reference base for soil resources 2006. *World Soil Resources Reports* No. 103. FAO, Rome. ISBN 92-5-105511-4

FAO-UNESCO (1988). Soil Map of World, Revised Legend. World Soil Resources Report 60. Food and Agriculture Organization of the United Nations. United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. Roma. 119 pp.

Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça, M., Montanarella, L., Muniz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez & M., Vargas, R. (2014). Atlas de suelos de América Latina y el Caribe, Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995 Luxembourg, 176 pp ISBN: 978-92-79-25599-1 e ISSN: 1018-5593.

INEGI. (2009). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Abasolo, Tamaulipas. Clave geoestadística 28001.

INEGI. (2009). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Aldama, Tamaulipas. Clave geoestadística 28002.

INEGI. (2009). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Altamira, Tamaulipas. Clave geoestadística 28003.

INEGI. (2009). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Antiguo Morelos, Tamaulipas. Clave geoestadística 28004

INEGI. (2009). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Camargo, Tamaulipas. Clave geoestadística 28007

INEGI. (2009). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Casas, Tamaulipas. Clave geoestadística 28008

INEGI. (2009). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. El Mante, Tamaulipas. Clave geoestadística 28021.

INEGI. (2009). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Gómez Farías, Tamaulipas. Clave geoestadística 28011.

INEGI. (2009). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. González, Tamaulipas. Clave geoestadística 28012.

INEGI. (2009). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Güémez, Tamaulipas. Clave geoestadística 28013.

INEGI. (2009). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Jiménez, Tamaulipas. Clave geoestadística 28018

INEGI. (2009). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Llera, Tamaulipas. Clave geoestadística 28019

INEGI. (2009). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Mier, Tamaulipas. Clave geoestadística 28024

INEGI. (2009). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Nuevo Morelos, Tamaulipas. Clave geoestadística 28028.

INEGI. (2009). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Ocampo, Tamaulipas. Clave geoestadística 28029

- INEGI. (2009). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Padilla, Tamaulipas. Clave geoestadística 28030.
- INEGI. (2009). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. San Carlos, Tamaulipas. Clave geoestadística 28034
- INEGI. (2009). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tula, Tamaulipas. Clave geoestadística 28039.
- INEGI. (2009). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Xicoténcatl, Tamaulipas. Clave geoestadística 28043.
- INEGI. (2009). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Bustamante, Tamaulipas. Clave geoestadística 28006.
- INEGI. (2009). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Jaumave, Tamaulipas. Clave geoestadística 28017.
- INEGI. (2009). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Miquihuana, Tamaulipas. Clave geoestadística 28026
- INEGI. (2009). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Palmillas, Tamaulipas. Clave geoestadística 28031.
- INEGI. (2009). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Victoria, Tamaulipas. Clave geoestadística 28041.
- Iñiguez, G., Parra, J. & Velasco, P. (2006). Utilización de subproductos de la industria tequilera. Parte 8. Evolución de algunos constituyentes de la mezcla de biosólidos-bagazo de agave durante el compostaje. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 22 (2) 83-93, 2006
- Li, H., Foston, M., Kumar, R., Samuel, R., Gao, X., Hu, F., Ragauskas, A. & Wyman, C. (2012). Chemical composition and characterization of cellulose for Agave as a fast-growing, drought-tolerant biofuels feedstock. *Journal Royal Society of Chemistry Adv.*, 2012, 2, 4951-4958.
- Manzano, J., Rivera, P., Briones, F. & Zamora, C. (2014). Rehabilitación de suelos salino sódicos: Estudio de caso en el distrito de Riego 086, Jiménez, Tamaulipas, México. *Revista Terra Latinoamericana*, vol 32. Núm 3, julio-septiembre, 2014, pp. 211-219. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C. Chapingo, México.
- Martínez, G., Iñiguez, G., Ortiz, Y., López, J. & Bautista, M. (2013). Tiempos de apilado del bagazo del maguey mezcalero y su efecto en las propiedades del Compost para sustrato de tomate. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 29 (3) 209-216, 2013.
- Periódico Oficial. Órgano del Gobierno Constitucional del Estado Libre y Soberano de Tamaulipas (2013). Plan Municipal de Desarrollo 2013-2016, del municipio de Altamira, Tamaulipas. Gobierno del Estado. Poder Ejecutivo. Secretaría General. R. Ayuntamiento Altamira, Tam. Tomo CXXXVIII. Victoria, Tam., martes 31 de diciembre de 2013. Anexo al Número 157. Pág. 1-216.
- Rodríguez, R., Alcantar González, E., Iñiguez, G., Zamora, F., García, P., Ruiz, M. & Salcedo, E. (2010). Caracterización Física y Química de Sustratos Agrícolas a Partir de Bagazo de Agave Tequilero.. *INTERCIENCIA*. Julio 2010. Vol. 35 No. 7. P. 515-520.

Rodríguez, R. & Crespo, M. (2010), Desarrollo de un nuevo sustrato: composta de bagazo de agave tequilero. Primer curso nacional de sustratos. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. 23-30 Julio, 2010. Recuperado de: <http://www.cm.colpos.mx/montecillo/images/SUSTRATOS/013.pdf>

SAGARPA (2009). Estudio orientado a identificar los mercados y canales de comercialización internacionales para la oferta de productos de Ixtle con valor agregado. Presentado por Integradora de Ixtleros de Zacatecas S.A. de C.V. con la Consultoría Responsable: Kalan Kaash S.C. 388 pp.

SIAP/SAGARPA. (2016). Anuario estadístico de la Producción Agrícola. En línea. [infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap/entidad/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap/entidad/index.jsp). Consultado en diciembre de 2016.

Terán, A. & Azuara, A. (2013). El Picudo. *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal y su manejo en el Agave Tequilero (*Agave tequilana* F.A.C. Weber) Variedad Azul. Centro de Investigación Regional del Noreste Campo Experimental Las Huastecas Villa Cuauhtémoc, Tam. Diciembre de 2013 Folleto Técnico No. MX-0-310304-52-03-14-09-35 ISBN: 978-607-37-0181-5.