

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

MAESTRÍA EN GERENCIA DE LA AGRICULTURA SOSTENIBLE Y LOS RECURSOS NATURALES

SOSTENIBILIDAD EN LA APLICACIÓN DE VINAZA
COMO FERTIRRIEGO EN LA PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR
TESIS DE GRADO

BRAULIO RAMIRO VILLATORO VILLATORO
CARNET 21694-13

QUETZALTENANGO, SEPTIEMBRE DE 2015
CAMPUS DE QUETZALTENANGO

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

MAESTRÍA EN GERENCIA DE LA AGRICULTURA SOSTENIBLE Y LOS RECURSOS NATURALES

SOSTENIBILIDAD EN LA APLICACIÓN DE VINAZA
COMO FERTIRRIEGO EN LA PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR
TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR

BRAULIO RAMIRO VILLATORO VILLATORO

PREVIO A CONFERÍRSELE

EL GRADO ACADÉMICO DE MAGÍSTER EN GERENCIA DE LA AGRICULTURA SOSTENIBLE Y LOS
RECURSOS NATURALES

QUETZALTENANGO, SEPTIEMBRE DE 2015

CAMPUS DE QUETZALTENANGO

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. EDUARDO VALDES BARRIA, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANO: DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS
VICEDECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIA: ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
MGTR. FREDY UBER ROSALES LONGO

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN
MGTR. ADÁN OBISPO RODAS CIFUENTES
MGTR. JERSON ELIZARDO QUEVEDO CORADO
MGTR. RODOLFO ESTUARDO VÉLIZ ZEPEDA

AUTORIDADES DEL CAMPUS DE QUETZALTENANGO

DIRECTOR DE CAMPUS: P. MYNOR RODOLFO PINTO SOLIS, S.J.

SUBDIRECTOR DE INTEGRACIÓN
UNIVERSITARIA: P. JOSÉ MARÍA FERRERO MUÑIZ, S.J.

SUBDIRECTOR ACADÉMICO: ING. JORGE DERIK LIMA PAR

SUBDIRECTOR ADMINISTRATIVO: MGTR. ALBERTO AXT RODRÍGUEZ

SUBDIRECTOR DE GESTIÓN
GENERAL: MGTR. CÉSAR RICARDO BARRERA LÓPEZ

Santa Lucía Cotzumalguapa, 4 de Septiembre de 2015.

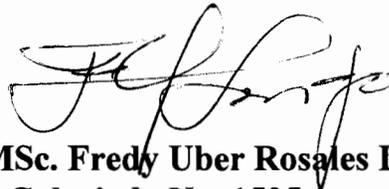
**Señores del Honorable Consejo,
Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas
Presente.**

Distinguidos Integrantes del Consejo:

Por este medio me dirijo a ustedes para informarles que he concluido con la asesoría del trabajo de tesis titulado “SOSTENIBILIDAD EN LA APLICACIÓN DE VINAZA COMO FERTIRRIEGO EN LA PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR”, mismo que fuera realizado por el Ingeniero Agrónomo Braulio Ramiro Villatoro Villatoro, quien se identifica con carné 2169413. Lo anterior, como requisito para optar al grado académico de Maestría en Gerencia de la Agricultura Sostenible y los Recursos Naturales.

El trabajo realizado por el Ing. Villatoro, cumple con los requisitos exigidos por la Universidad, asimismo constituye un aporte importante para la Agroindustria Azucarera de Guatemala; por lo que recomiendo, pase a la etapa final de revisión y publicación.

Atentamente,



Ing. Agr. MSc. Fredy Uber Rosales Longo
Colegiado No. 1505
ASESOR DE TESIS

Fredy Rosales Longo
INGENIERO AGRONOMO
COLEGIADO 1,505



**Universidad
Rafael Landívar**
Tradición Jesuita en Guatemala

**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
No. 06354-2015**

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante BRAULIO RAMIRO VILLATORO VILLATORO, Carnet 21694-13 en la carrera MAESTRÍA EN GERENCIA DE LA AGRICULTURA SOSTENIBLE Y LOS RECURSOS NATURALES, del Campus de Quetzaltenango, que consta en el Acta No. 06123-2015 de fecha 28 de septiembre de 2015, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

**SOSTENIBILIDAD EN LA APLICACIÓN DE VINAZA
COMO FERTIRRIEGO EN LA PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR**

Previo a conferírsele el grado académico de MAGÍSTER EN GERENCIA DE LA AGRICULTURA SOSTENIBLE Y LOS RECURSOS NATURALES.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 30 días del mes de septiembre del año 2015.



ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES, SECRETARIA
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar



Agradecimientos

A mi familia por sacrificar los fines de semana invertidos durante el período de estudio.

A Ing. Fredy Longo:

Por su amistad y asesoría brindada en la elaboración de la tesis.

A Ingenio Tuluá:

Por el apoyo brindado en permitir que se utilizaran sus áreas de producción para la realización del trabajo de investigación.

Al personal de campo del ingenio Tuluá:

Principalmente a los ingenieros Felipe Sandoval, Pablo Lembcke y Erick Aragón por el apoyo brindado en la elaboración del trabajo de investigación. También a Juan Carlos Celis por el apoyo brindado en el muestro de suelo.

Al personal del Laboratorio Agronómico de CENGICAÑA:

Licda. Wendy de Cano y su equipo de trabajo por el apoyo para el análisis de las muestras de este trabajo.

A mis amigos dela promoción de la maestría 2013-2014, por el tiempo compartido, las amenas discusiones y nuevas formas de amistad y cariño.

Dedicatoria

A Dios, fuente poderosa de sabiduría y realizador de todo lo posible e imposible.

A mi esposa, Alejandra Sarti, gracias por el apoyo y el sacrificio puesto de tu parte para lograr este nuevo triunfo en nuestra vida. Tengo tanto por decirte que este espacio no me alcanzaría. Lo resumo, TE AMO.

A mis hijos, Braulio Alejandro, Diego Ramiro, Marcelo Sebastian y Roiler Sarti, si no los tuviera mi vida sería distinta, cada vez que los veo me doy cuenta que estoy frente al retrato del amor de su madre y mío, al mismo tiempo siento más ganas de trabajar fuertemente y seguir con el objetivo de alcanzar cada una de mis metas, ustedes son mi principal motivación y motor que impulsa mi vida, todos los días le pido a Dios me de la sabiduría para poder guiarlos por el buen camino con ejemplos de amor, cariño y responsabilidad para que logren las metas que se tracen a lo largo de su vida, los amo.

A mis padres, Ramiro Alfonso Villatoro Jiménez y Mayra Leticia Villatoro Barrios, gracias por su apoyo y estar ahí siempre que los necesito, los amo.

A mis hermanos, Mayra Lucía, Francisco Ricardo y Bárbara Eloísa, los quiero mucho.

A mis abuelos, Braulio Chij (Q.E.P.D.), María de los Ángeles Barrios Franco (Q.E.P.D.), Lucila Jiménez (Q.E.P.D.) y Ricardo Villatoro; a los ausentes se que son mis ángeles de la guarda y donde quiera que estén se que se sienten orgullosos de ver cumplidas sus enseñanzas.

A mis sobrinos, Joaquín Ignacio, Julián Alfonso y Melanee Julissa con aprecio y cariño.

A la familia Sarti de León, don Roiler, doña Sonia, Amandita y Georgi, simplemente muchas gracias por su apoyo para alcanzar este objetivo, los quiero mucho.

A mis tíos, primos, y demás familia gracias por su apoyo.

A Retalhuleu, bendita tierra donde nací

A Instituto Adolfo V. Hall del sur, cuna de los hijos del Honor y la Ciencia por las enseñanzas que me han servido a lo largo de mi vida personal y profesional.

A Universidad de San Carlos de Guatemala, mi querida alma mater donde aprendí los conocimientos agrícolas que han permitido superarme en todos los aspectos de mi vida.

A Universidad Rafael Landívar, por los conocimientos en esta nueva etapa.

A CENGICAÑA, por permitir desarrollarme profesionalmente en la agroindustria azucarera.

ÍNDICE

Página

RESUMEN.....	i
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo General	3
2.2. Objetivos Específicos.....	3
3. MARCO TEÓRICO.....	4
3.1. Marco referencial	4
3.1.1. Historia y actualidad del ingenio Tululá.....	4
3.1.2. Producción de alcohol en Guatemala	4
3.1.3. Fincas analizadas	5
3.1.4. Tipo de suelo	6
3.2. Marco Conceptual	6
3.2.1. Vinaza.....	6
3.2.2. Composición química de la vinaza.....	7
3.2.3. Aplicación de vinaza en el ingenio Tululá	7
3.2.4. Estudios relacionados al tema	7
3.2.5. Segunda Aproximación de los mapas temáticos de fertilidad y texturas de la zona de producción de caña de azúcar en la costa sur de Guatemala	9
4. METODOLOGÍA.....	10
4.1. Fase de campo	10
4.2. Generación de mapas temáticos sobre los atributos químicos de los suelos de las fincas objeto de estudio, con muestras realizadas durante el período octubre-noviembre 2014.....	11
4.2.1. Muestreo de suelos.....	11
4.2.2. Análisis de las muestras	12
4.2.3. Geo-referenciación de las muestras	12
4.2.4. Análisis espacial	12
4.2.5. Edición de mapas	13
4.3. Comparación geo-estadística entre la Segunda Aproximación (Villatoro et al., 2009) y los mapas generados durante el año 2014	13
4.3.1. Reclasificación de mapas	13

4.3.2.	Álgebra de mapas.....	13
4.3.3.	Cuantificación de áreas de cambio positivo y negativo.....	14
4.3.4.	Elaboración de mapas donde se presentan las diferencias de cada atributo analizado.....	14
4.4.	Elaboración de la propuesta de gestión sostenible para uso de la vinaza	14
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
5.1.	Generación de mapas temáticos de atributos químicos de suelos de las fincas objeto de estudio con muestras realizadas durante el período octubre-noviembre 2014.....	15
5.2.	Comparación geo-estadística entre la Segunda Aproximación (Villatoro et al., 2009) y los mapas generados durante el año 2014 de los mapas de fertilidad.....	16
5.2.1.	Cuantificación de áreas de cambio positivo y negativo.....	16
5.3.	Propuesta de gestión sostenible de la vinaza como fertilizante.....	25
6.	CONCLUSIONES.....	26
7.	RECOMENDACIONES.....	27
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	28
9.	ANEXOS.....	30

PROPUESTA DE GESTIÓN SOSTENIBLE EN LA APLICACIÓN DE VINAZA COMO FERTIRRIEGO EN LA PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR..... 33

1.	Metodología propuesta para el monitoreo de los contenidos de vinaza en el suelo ...	33
2.	Metodología propuesta para la elaboración de mapas de atributos químicos	34
3.	Mapas con propuesta de aplicación de forma sectorizada y por cada período de zafra de caña, para la aplicación de la vinaza.....	37
4.	Opciones para el tratamiento de la vinaza antes de su aplicación	40

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Producción de etanol en Guatemala.....	5
Cuadro 2. Tipos de suelo de las fincas analizadas según el ESS de CENGICAÑA.....	6
Cuadro 3. Saturación de potasio.	17
Cuadro 4. Potasio intercambiable.....	18
Cuadro 5. Materia orgánica.	19
Cuadro 6. Fósforo disponible.....	20
Cuadro 7. Valores de pH para los años 2008 y 2014.	21
Cuadro 8. Calcio disponible.....	22
Cuadro 9. Magnesio disponible.	23
Cuadro 1A. Composición química de la vinaza	30
Cuadro 2A. Variables del análisis químico de las muestras de suelo.....	32
Cuadro 3A. Matriz de ubicación geográfica de los lotes del ingenio Tzululá. 2014	32
Cuadro 4A. Categorías de agrupación de los atributos químicos de suelos	32
Cuadro 5A. Presupuesto anual para realizar el muestreo de suelos propuesto	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. a.- Ubicación de las fincas. b.- Tipo de suelo según el Estudio Semidetallado de Suelos de CENGICAÑA.	5
Figura 2. Ubicación de muestras de suelos en el área de estudio, año 2014.	11
Figura 3. a.- Saturación de potasio. b.- Potasio intercambiable. c.- Materia orgánica....	15
Figura 4. a.- Fósforo disponible. b.- pH. c.- Calcio disponible.	15
Figura 5. Magnesio disponible.....	16
Figura 6. a.- Saturación de potasio–2008. b.- Saturación de potasio–2014.	17
Figura 7. a.- Potasio intercambiable–2008. b.- Potasio intercambiable–2014.....	18
Figura 8. a.- Materia orgánica–2008. b.- Materia orgánica–2014.....	19
Figura 9. a.- Fósforo disponible–2008. b.- Fósforo disponible–2014.....	20
Figura 10. a.- pH–2008. b.- pH–2014.....	21
Figura 11. a.- Calcio disponible–2008. b.- Calcio disponible–2014.....	23
Figura 12. a.- Magnesio disponible–2008. b.- Magnesio disponible–2014.....	24
Figura 1A. Esquema del proceso de aplicación de vinaza en suelos productivos de caña de azúcar.....	30
Figura 2A. a.- Mapa de ubicación de muestras. b.- Mapa de porcentaje de materia orgánica.....	31
Figura 3A. a.- Mapa de fósforo disponible (ppm). b.- Mapa de potasio intercambiable (ppm).	31
Figura 4A. Caracterización general de la concentración de los diferentes atributos químicos evaluados.	37
Figura 5A. a.- División propuesta norte-sur considerando valores actuales de atributos. b.- División propuesta por mes de cosecha.....	39
Figura 6A. Propuesta de aplicación de vinaza.	40
Figura 7A. Compostaje en crudo con cachaza y cenizas de chimenea.....	41
Figura 8A. Concentración natural + compostaje con cachaza y cenizas de chimenea.	42
Figura 9A. Concentración natural forzada + compostaje con cachaza y cenizas de chimenea.	43
Figura 10A. Concentración térmica y uso como fertilizante orgánico	44
Figura 11A. Concentración térmica + quema en caldera en mezclas con bagazo	45
Figura 12A. Concentración térmica + quema en caldera + recuperación de sales de potasio.....	46

Sostenibilidad en la aplicación de vinaza como fertirriego en la producción de caña de azúcar

RESUMEN

El objetivo del estudio fue, contribuir con la gestión sostenible de la aplicación de vinaza como fertirriego en la producción de caña de azúcar. El trabajo se realizó en las fincas Tululá, Santa Ana, Santa Margarita, Santa Julia y Santa Teresa del ingenio Tululá en el municipio de San Andrés Villa Seca, Retalhuleu. Se realizó un muestreo de suelo de 80 puntos en las fincas bajo estudio; se analizaron atributos químicos del suelo; con un sistema de información geográfica se editaron mapas de saturación de potasio; potasio intercambiable, fósforo disponible, materia orgánica, pH, calcio y magnesio disponible. Se utilizaron mapas elaborados en 2009 para comparar las diferencias de las condiciones de los suelos mediante el análisis espacial y temporal de los atributos de fertilidad. Se determinó que durante el período 2009-2014 hay un incremento de las concentraciones de potasio. En materia orgánica y fósforo no existieron cambios considerables. Se estableció disminución de las concentraciones de calcio y magnesio. Se elaboró la propuesta de gestión sostenible de vinaza. Los componentes de la propuesta son: metodologías para monitoreo de los contenidos de vinaza en el suelo, metodologías para elaboración de mapas de atributos químicos, mapas con propuestas de aplicación sectorizada de la vinaza y opciones de tratamiento de la vinaza.

1. INTRODUCCIÓN

El ingenio Tzulá fue adquirido por Industrias Licoreras de Guatemala en el año 2005. A partir de ese momento la producción de caña de azúcar se destinó para la producción de etanol, el que se utiliza como materia prima en la destilación de alcohol con el fin de obtener rones finos que son el producto final del proceso. Como un subproducto de la destilación del jugo de caña de azúcar se obtiene la vinaza, de la cual según el proceso utilizado en cada destilería se pueden obtener de 10 a 15 litros (Larrahondo, 2009). La vinaza es un subproducto que contiene cantidades altas de nutrientes, por lo que se puede utilizar como una fuente de fertilizante orgánico, mediante su aplicación en fertirriego en campos donde se produce caña de azúcar.

A partir del año 2008 se están realizando aplicaciones de vinaza en los campos de producción de caña de azúcar del área bajo estudio. En la práctica actual se realizan muestreos de suelos en el mes de octubre, al final de la época de lluvias, para monitorear la fracción química del suelo y saber si el año siguiente se puede volver a aplicar o no vinaza en el lote. Estudios anteriores (Alfaro y Ocampo 2012; Subiros y Molina, 1992) del uso de vinaza reportan que la aplicación continuada de vinaza provoca cambios en la fertilidad del suelo; principalmente aumenta el contenido de potasio. Al aumentar la cantidad de potasio, se desequilibra la relación de bases en el suelo, lo que puede provocar cambios importantes en la producción de los campos agrícolas.

Luego de varios ciclos de aplicación de vinaza en los suelos de las fincas Tzulá, Santa Margarita, Santa Teresa, Santa Julia y Santa Ana; bajo la administración del ingenio Tzulá, se desconoce qué cambios ha provocado en la constitución química de los suelos y cómo estos cambios se distribuyen en el espacio y el tiempo, además de que se desconoce las implicaciones de estos cambios en términos de fertilidad y saturación. La falta de esta información no permite establecer los efectos positivos o negativos de la ejecución de esta práctica hasta ahora; en consecuencia, se limita el desarrollo de estrategias tendientes a mejorar la práctica, ampliarla a otras áreas o modificar los

protocolos de ejecución de la misma. La producción de etanol en el ingenio Tulumá es una prioridad para los próximos años; motivo por el cual cada año existirán volúmenes disponibles de vinaza a los cuales hay que darle la gestión más apropiada posible.

Para procurar la mejor gestión de la vinaza, como parte de este trabajo de investigación se elaboró una propuesta de gestión sostenible de la práctica de la aplicación de vinaza como fertirriego en los suelos de las fincas bajo estudio. Para lo cual se analizó de forma espacial y temporal los cambios que ha provocado la aplicación de vinaza de forma continuada entre los años 2008 y 2014, en algunos de los atributos químicos de los suelos de las fincas Tulumá, Santa Margarita, Santa Ana, Santa Teresa y Santa Julia; en base a los resultados hacer la propuesta para aportar información que contribuya a mejorar o modificar los protocolos de aplicación y gestión de la vinaza en los suelos.

Como parte de este trabajo se realizó un muestreo de suelos en las áreas donde se ha aplicado la vinaza; con la utilización de un sistema de información geográfica se realizó un análisis de la distribución espacial y temporal de las variables químicas del suelo, para ello se utilizaron como elementos de comparación los mapas de la segunda aproximación de mapas temáticos de fertilidad del año 2009 de CENGICAÑA (Villatoro, Pérez, Suárez, De Cano y Del Cid, 2009).

Se presentan los resultados de los análisis espaciales y temporales de los cambios químicos encontrados, así como una propuesta para la gestión sostenible de la práctica de aplicación de vinaza como fertirriego en la producción de caña de azúcar; la propuesta tiene componentes temporales y espaciales para la gestión de la vinaza. Por otro lado, los protocolos de trabajo y propuesta de gestión pueden ser repetibles en otras empresas que tengan como subproducto la vinaza, así también, otros cultivos extensivos podrían adaptar esta metodología para realizar investigaciones de su interés que pueda derivar en el uso de vinaza como fertilizante en dichos cultivos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Contribuir con la gestión sostenible de la aplicación de vinaza como fertirriego en la producción de caña de azúcar.

2.2. Objetivos Específicos

- Elaborar un muestreo de campo en los lotes que han tenido aplicaciones de vinaza del año 2008 hasta el año 2014.
- Elaborar mapas temáticos sobre atributos químicos de los suelos con los resultados de los análisis de laboratorio realizados en los años 2009 y 2014 en las fincas objeto de estudio.
- Establecer las diferencias de las condiciones de los suelos, mediante el análisis espacial y temporal de los atributos de fertilidad en un sistema de información geográfica, para el período 2009-2014.
- Realizar una propuesta de gestión sostenible de la práctica de la aplicación de vinaza como fertilizante en los suelos, de las fincas bajo la administración del ingenio Tululá.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Marco referencial

3.1.1. Historia y actualidad del ingenio Tzulú

El ingenio Tzulú fue fundado en el año 1904 para la producción de azúcar cruda y blanca, y miel final o melaza. En el año 2000 se empezó con la cogeneración de energía eléctrica, se utiliza para tal fin el bagazo de la caña. En el año 2005 cambió de administración, pasando a ser parte de Industrias Licoreras de Guatemala (M. Sánchez, comunicación personal, 29 de julio de 2014). En el ingenio Tzulú como resultado de la molienda de caña de azúcar se obtiene la materia prima para la elaboración de los productos de Industrias Licoreras de Guatemala. El portafolio de productos se ha registrado bajo un proceso de denominación de origen conocido como: “Ron de Guatemala” (ANFAL, s.f.). El área productiva de la denominación de origen “Ron de Guatemala”, se localiza en la costa sur de Guatemala, específicamente en los departamentos de Retalhuleu y Suchitepéquez. Para acreditar la denominación de origen, se hizo una delimitación geográfica del área de producción de caña de azúcar. En la delimitación geográfica se encuentran: 1.- Las fincas, donde tiene lugar el cultivo de la caña de azúcar. 2.- El ingenio azucarero: en el que ocurre la molienda y la producción de la miel virgen de caña de azúcar. 3.- La planta destiladora: en la que se llevan a cabo los procesos de fermentación y destilación (ANFAL, s.f.).

3.1.2. Producción de alcohol en Guatemala

El sector azucarero de Guatemala está en la capacidad de suministrar alcohol a nivel local, generado a partir de la caña de azúcar y, potencialmente, es capaz de suministrar a toda la región centroamericana el etanol suficiente para realizar una mezcla de 10 por ciento con la gasolina. Actualmente son cinco empresas las productoras de alcohol: Alcoholes MAG (Ingenio Magdalena), Bio-etanol (Ingenio Pantaleón), Palo Gordo (Ingenio Palo Gordo), Servicios Manufactureros (Ingenios Magdalena y Madre Tierra) y **Destiladora de Alcoholes y Rones DARSA (Ingenio Tzulú)** (Superintendencia de Bancos de Guatemala, 2011) El detalle de las destilerías se presenta en el cuadro 1.

Cuadro 1. Producción de etanol en Guatemala

Destilería	Capacidad instalada L/día	Días de operación	Producción anual (L)
Palo Gordo	120,000	150	18,000,000
Servicios manufactureros	20,000	330	39,600,000
Bioetanol	200,000	150	30,000,000
Darsa	250,000	310	77,500,000
Alcoholes MAG	300,000	150	45,000,000

(Superintendencia de Bancos de Guatemala, 2011).

3.1.3. Fincas analizadas

Se analizaron las fincas que forman parte de la denominación de origen “Ron de Guatemala” (ANFAL, s.f.). Las fincas son: Tululá, Santa Julia, Santa Teresa, Santa Margarita y Santa Ana; administradas por el ingenio Tululá. El bloque de fincas se encuentra entre las coordenadas: norte: 1605355 m; sur: 1593911 m; este: 652924 m; y oeste: 645183 m. Todas las coordenadas expresadas en el sistema de coordenadas UTM zona 15 norte. La parte norte de la finca Tululá se encuentra ubicada a 268 msnm; el área sur de la finca Santa Ana se encuentra ubicada a 117 msnm. El área de estudio se presenta en la figura 1a.

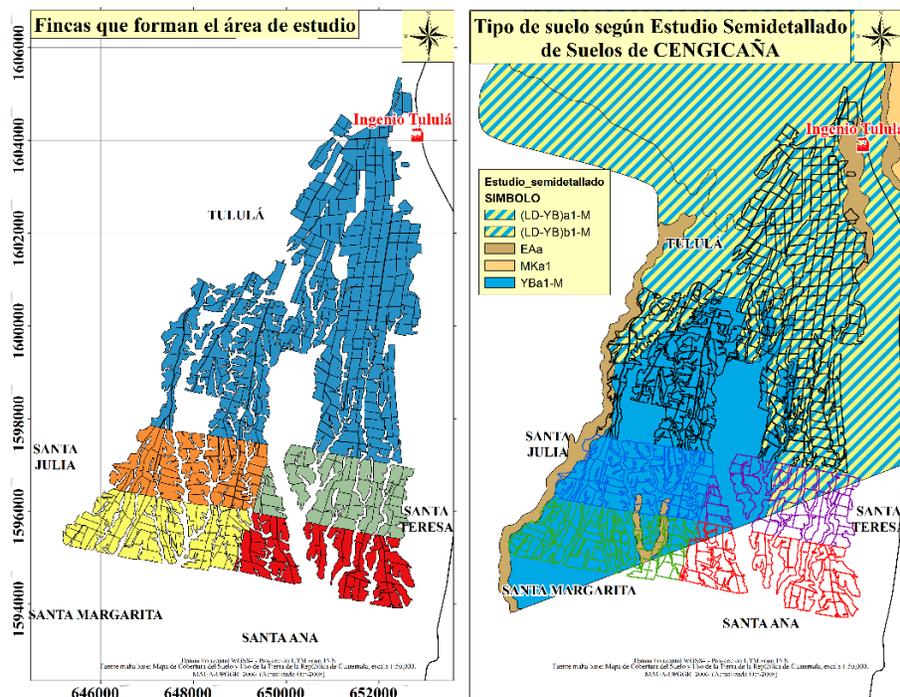


Figura 1. a.- Ubicación de las fincas. b.- Tipo de suelo según el Estudio Semidetallado de Suelos de CENGICAÑA (CENGICAÑA, 1996).

3.1.4. Tipo de suelo

Las fincas objeto de estudio, con base en el Estudio Semidetallado de Suelos (ESS) elaborado por CENGICAÑA (CENGICAÑA, 1996), tienen los tipos de suelo que se observan en la Figura 1b y están descritos en el cuadro 2.

Cuadro 2. Tipos de suelo de las fincas analizadas según el ESS de CENGICAÑA.

Símbolo	Orden de suelo	Familia textural
(LD-YB)a1-M	Inceptisol-Vertisol	Typic Dystropepts Franca Fina/Arcillosa y Typic Pelluderts Arcillosa
(LD-YB)b1-M	Inceptisol-Vertisol	Typic Dystropepts Franca Fina/Arcillosa y Typic Pelluderts Arcillosa
Eaa	Entisol	Typic Tropofluvents Franca Gruesa
MKa1	Inceptisol-Vertisol	Andic Humitropepts Franca Fina/Arcillosa
YBa1-M	Vertisol	Typic Pelluderts Arcillosa

(CENGICAÑA, 1996)

En el cuadro 2 se observa que la mayoría de los suelos de las fincas son del orden Vertisol de acuerdo al Soil Taxonomy de USDA (CENGICAÑA, 1996), utilizado en el ESS de CENGICAÑA. En segundo grado de importancia están los suelos Inceptisol y una fracción pequeña de suelos Entisol (CENGICAÑA, 1996).

3.2. Marco Conceptual

3.2.1. Vinaza

Según Korndorfer (2009a), la vinaza puede ser definida como una suspensión marrón, de naturaleza ácida, subproducto de la fermentación del alcohol o del aguardiente, generada a una temperatura aproximada de 107 °C. La vinaza es también conocida como restilo o grapa. Una tonelada de caña produce aproximadamente 800 litros de vinaza. Por cada litro de alcohol se producen alrededor de 10-15 litros de vinaza, dependiendo de la operación de la destilería. La vinaza es alta en cenizas, bajo pH (4.4 – 5.4). Cuando es colectada en los alambiques de descarga, presenta un color pardo claro y en la medida que está expuesta al aire se oxida y se oscurece. La presencia de ácido sulfúrico libre (utilizado para la fermentación) da propiedades corrosivas al subproducto. La composición es muy variable, pero generalmente es rica en potasio,

nitrógeno, calcio, azufre y normalmente pobre en fósforo (Larrahondo, 2009; Mornadini y Quaia, 2013; Espinoza y Ovando, 2012).

3.2.2. Composición química de la vinaza

La materia orgánica es el principal constituyente, y entre los minerales el potasio y el calcio son los más sobresalientes. Aplicada al suelo disminuye su potencial contaminante, debido al poder “buffer” del suelo (Korndorfer, 2009a). La composición química de la vinaza se presenta en el cuadro 1A del Anexo.

3.2.3. Aplicación de vinaza en el ingenio Tululá

En los campos productivos de caña de azúcar se revisa cada año el contenido de potasio, para tomar la decisión respecto a que si se vuelve a aplicar al mismo lote. Cuando llega al límite de 8 por ciento de saturación de potasio, se toma la decisión de no aplicar ese lote y se hace una aplicación de cal para nivelar la saturación de potasio y reestablecer el balance calcio/potasio. Se establece un año de descanso para la aplicación de vinaza. En la figura 1A del anexo se presenta un esquema general del proceso de aplicación de vinaza en campos de producción de caña de azúcar (Mornadini y Quaia, 2013).

3.2.4. Estudios relacionados al tema

En Costa Rica se realizó un estudio en condiciones de suelo similares a los suelos del ingenio Tululá (Alfaro y Ocampo, 2012). Estos autores reportan que los suelos mayoritariamente aplicados con vinaza son también suelos del orden de los Vertisoles, los cuales son arcillosos, agrietables y muy duros en la época seca, pero en la época lluviosa son pegajosos, con una alta plasticidad y baja infiltración, lo que dificulta enormemente su manejo. Por los problemas físicos que presentan los suelos Vertisoles, la vinaza se presenta como una forma de mitigar dichos problemas al presentar una elevada concentración de electrolitos, con un reconocido efecto floculante, lo que promueve una mayor agregación, disminuyendo con esto los problemas de permeabilidad existente. En las fincas de Central Azucarera Tempisque CATSA los suelos Vertisoles representan el 70 por ciento del área cultivada con caña de azúcar,

una proporción similar a la de los suelos del ingenio Tululá. La vinaza se aplica por gravedad como fertirriego, distribuyéndose en el campo por medio de canales y donde se ha encontrado una respuesta de incremento en la producción de caña (t de caña ha⁻¹) de un 10 a un 15 por ciento comparado con lotes donde no se ha adicionado vinaza. Concluyeron que la vinaza definitivamente es un mejorador de suelos, tanto en la parte física y química, lo que hace factible su uso como un fertilizante orgánico en suelos Vertisoles. Los micronutrientes que incrementaron su contenido en el suelo por la vinaza fueron el zinc y el manganeso, a pesar de que estos elementos no se encuentran en cantidades importantes en la vinaza. El aporte de sales solubles en el tiempo, por parte de la vinaza, provocó una acelerada salinización del suelo y con ello posibles deficiencias en el desarrollo inicial del cultivo. La cantidad de materia orgánica no se ve incrementada significativamente con las altas aplicaciones de vinaza en el suelo. La densidad aparente disminuyó en los tratamientos con vinaza, producto de una mayor porosidad del suelo, provocada por una mayor floculación de las arcillas y la presencia del potasio entre las capas de arcilla.

Subirós y Molina (1992) comentan el efecto de cuatro dosis de vinaza en las propiedades químicas de un Inceptisol y en la producción y variables industriales de la caña de azúcar durante dos zafras. En el primer año se empleó vinaza obtenida de jugo de caña y en el segundo obtenida de melaza. Los análisis de la vinaza confirmaron su naturaleza ácida, así como altos niveles de materia orgánica y K. La vinaza obtenida a partir de miel final aportó casi el doble de nutrimentos que la proveniente de jugo de caña, en tanto que los contenidos de P y N fueron bajos. Durante el primer año no se encontró ninguna variación significativa (evaluados al uno y al cinco por ciento de probabilidad; a los dos, cuatro, seis y ocho meses después de la aplicación; los atributos químicos evaluados fueron: pH, MO, N, Al, Ca, Mg, K, P, Zn, Mn, Cu y Fe) en el contenido de elementos en el suelo; en el segundo año hubo aumentos en el contenido de K a los dos y cuatro meses después de aplicado el producto; los demás elementos no variaron. El pH del suelo se mantuvo estable durante los muestreos y fue similar al del testigo. En cuanto a la producción de caña y variables industriales, no hubo ningún efecto; tampoco ejercieron desequilibrio en las bases ni demás elementos.

3.2.5. Segunda Aproximación de los mapas temáticos de fertilidad y texturas de la zona de producción de caña de azúcar en la costa sur de Guatemala

En el año 2009 CENGICAÑA elaboró mapas temáticos de fertilidad y texturas (Villatoro *et al.*, 2009). Se realizaron mapas de la zona que ocupa la agroindustria azucarera de Guatemala, de los atributos: materia orgánica, fósforo disponible, potasio intercambiable, pH, calcio disponible, magnesio disponible. Además se realizaron mapas de indicadores físicos: arena, limo, arcilla, clases texturales. Estos mapas son el resultado de muestreos de suelos realizados entre los años 2005 y 2008, período en el cual no se hacía aplicación de vinaza en las fincas bajo la administración del ingenio Tzulá.

Estos mapas se utilizaron como referencia para analizar los cambios en las propiedades químicas que ha sufrido el subsistema suelo, como resultado de la aplicación continuada de vinaza. Se obtuvieron 403 muestras de suelos, a las que se les realizó análisis químico. El total de lotes de las fincas analizadas es de 535, distribuidos en cinco fincas: Tzulá, Santa Margarita, Santa Ana, Santa Julia y Santa Teresa. El mapa con la ubicación de las muestras que se utilizaron para generar los mapas de la segunda aproximación y el mapa de materia orgánica se presentan en la figura 2A del anexo. El mapa de fósforo disponible y el mapa de potasio intercambiable se presentan en la figura 3A del anexo.

4. METODOLOGÍA

El estudio se dividió en cuatro etapas, a saber:

- a.- Fase de campo, en la cual se realizó el muestreo de suelos y se observaron las características de la zona, tales como: presencia de malezas, relieve para posible escorrentía.
- b.- Generación de mapas temáticos de atributos químicos de suelos de las fincas objeto de estudio, con muestras realizadas durante el período octubre-noviembre 2014.
- c.- Comparación geo-estadística entre la Segunda Aproximación (Villatoro *et al.*, 2009) y los mapas generados durante el año 2014.
- d.- Elaboración de la propuesta de gestión sostenible de la práctica de aplicación de la vinaza como fertilizante.

4.1. Fase de campo

Se realizaron cuatro visitas a la sede del ingenio. En la primera se presentó el anteproyecto ante el personal encargado de la vinaza del ingenio para compartir ideas y discutir la metodología final que se utilizaría. En las visitas dos, tres y cuatro se realizaron los muestreos de suelos. Al momento de realizar el muestreo de suelos se observaron las características de los vinazoductos y las condiciones generales de ubicación y relieve de los lotes donde actualmente se realiza la práctica de aplicación de la vinaza.

4.2. Generación de mapas temáticos sobre los atributos químicos de los suelos de las fincas objeto de estudio, con muestras realizadas durante el período octubre-noviembre 2014

Estos mapas se generaron con 80 muestras de suelo realizadas como parte del trabajo de campo de esta investigación. El ingenio Tululá realizó muestras de suelos durante el período comprendido entre los años 2009 y 2014. Los resultados de estos análisis no se emplearon, debido a que éstos se realizaron en distintos laboratorios y los métodos de extracción de cada laboratorio son diferentes, lo que no permitió realizar una comparación en los mismos términos.

El proceso de elaboración de los mapas del año 2014 se realizó en cinco etapas:

4.2.1. Muestreo de suelos

Se colectaron 80 muestras de suelo, en las fincas bajo estudio, en lotes a los que se les ha aplicado vinaza. Se utilizó una rejilla con un distanciamiento de una muestra cada 50 hectáreas. El muestreo fue realizado con una profundidad de 0–0.3 m. La ubicación de las muestras de suelo realizadas como parte de este trabajo se presenta en la figura 2.

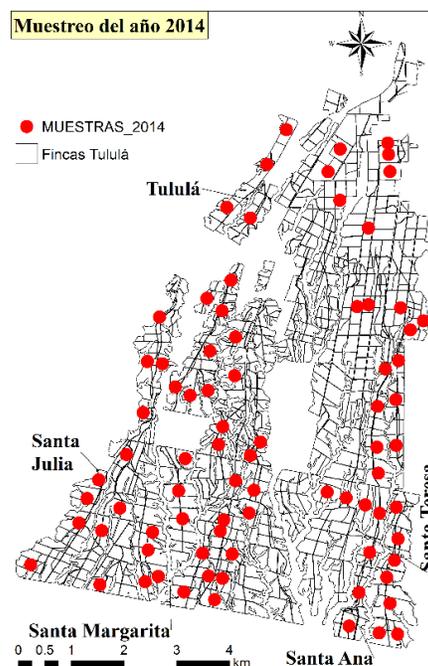


Figura 2. Ubicación de muestras de suelos en el área de estudio, año 2014.

4.2.2. Análisis de las muestras

Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio Agronómico de CENGICAÑA. Se analizaron los atributos químicos de suelo: saturación de potasio (%), potasio intercambiable (ppm), materia orgánica (%), fósforo disponible (ppm), pH, calcio disponible (meq/100 g de suelo) y magnesio disponible (meq/100 g de suelo). Se utilizaron los mismos métodos de extracción de los atributos químicos de suelo que los utilizados para la elaboración de los mapas de referencia del año 2008. Los resultados de los análisis de suelos se almacenaron en un archivo electrónico, los cuales se compilaron en una base de datos; el archivo electrónico contiene el origen de la muestra -lote y finca- y los resultados de los análisis del suelo. La matriz que muestra las variables de clasificación y caracterización de suelos que se utilizaron en esta fase del estudio se presentan en el cuadro 2A del anexo.

4.2.3. Geo-referenciación de las muestras

Con base al archivo de la ubicación de las muestras se asignaron las coordenadas de los puntos de muestreo. La matriz que contienen las variables utilizadas para el ejercicio de georreferenciación se presenta en el cuadro 3A del anexo. El procedimiento para georreferenciar las muestras de suelo fue:

- a. Se generó un archivo de centroides de los lotes de cada finca a través de la herramienta de geo-procesamiento "*Feature to point*".
- b. Se añadió la tabla de atributos químicos a la tabla de atributos del archivo de centroides en el SIG, para lo cual se utilizó la herramienta de geo-procesamiento "*join*" de los campos correspondientes a código de lote.

4.2.4. Análisis espacial

La distribución espacial se determinó mediante la utilización del método de interpolación de la extensión "Spatial Analyst" del software ArcView® de ArcGIS® versión 10.2. De los tres métodos existentes (Spline, IDW o Kriging). Suárez y Pérez (2006) indican que el método IDW (Distancia Inversa Ponderada, por sus siglas en inglés) es el más adecuado para interpolación de los atributos de fertilidad (ESRI, 2010).

4.2.5. Edición de mapas

Para editar los mapas se reclasificaron las capas “Grid” elaboradas en la fase de análisis espacial. Los criterios de agrupación fueron los mismos a los utilizados en la Segunda Aproximación de mapas de fertilidad y texturas de la zona de producción de caña de azúcar en Guatemala (Villatoro *et al.*, 2009). Las categorías de valores que se utilizaron para este procedimiento se detallan en el cuadro 4A del anexo. Luego de haber desarrollado la reclasificación de las variables en estudio se editó un mapa para cada atributo, totalizando un juego de siete mapas que fueron: saturación de potasio (%), potasio intercambiable (ppm), materia orgánica (%), fósforo disponible (ppm), pH, calcio disponible (meq/100 g de suelo) y magnesio disponible (meq/100 g de suelo). Estos mapas se elaboraron en formato *raster* (*grid* de ArcGIS versión 10.2) con un tamaño de píxel de 25 x 25 metros, equivalentes a 0.0625 hectáreas de superficie.

4.3. Comparación geo-estadística entre la Segunda Aproximación (Villatoro *et al.*, 2009) y los mapas generados durante el año 2014

La comparación se realizó en cuatro etapas:

4.3.1. Reclasificación de mapas

Se utilizó la herramienta de geoprocésamiento “*Reclassify*” para generar nuevos rangos de las variables en estudio, que permitieron hacer la comparación entre las dos versiones de los mapas. Se utilizaron números primos para obtener valores únicos al realizar el siguiente paso.

4.3.2. Álgebra de mapas

Se utilizó álgebra de mapas; lo cual consiste en realizar operaciones matemáticas entre dos archivos tipo *raster* de interés, para este procedimiento se utilizó la herramienta de geoprocésamiento “*Raster calculator*” para realizar la comparación. Se utilizaron las capas de información de forma reclasificada, lo cual permitió conocer espacialmente donde ocurrió un cambio de forma temporal y permitió cuantificar el valor del cambio.

4.3.3. Cuantificación de áreas de cambio positivo y negativo

Se realizó la cuantificación de las áreas con cambio positivo, sin cambio y con cambio negativo.

4.3.4. Elaboración de mapas donde se presentan las diferencias de cada atributo analizado

Para facilitar el análisis visual de las zonas de cambio se elaboraron mapas con los valores de cambio entre las dos versiones de mapa que se analizaron; a estos mapas en la presentación de resultados se les denomina propuesta.

4.4. Elaboración de la propuesta de gestión sostenible para uso de la vinaza

La propuesta se realizó como un documento que se ubicó en el anexo para que los interesados la puedan ubicar con facilidad y se convierta en una guía para la aplicación de vinaza.

La propuesta se realizó considerando los factores temporal, espacial y metodología de aplicación de vinaza. La idea fue diseñar el marco general y donde sea posible, el marco específico, de un protocolo de uso de la vinaza como fertilizante en los suelos en estudio. Se estableció una metodología fundamentada de manejo que permita el uso razonable de esta práctica y brindar opciones de manejo con beneficios tanto para la producción, como para los complejos ambientales implicados en la producción de caña de azúcar en las fincas en estudio y en otras con problemas similares a los aquí trabajados.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Generación de mapas temáticos de atributos químicos de suelos de las fincas objeto de estudio con muestras realizadas durante el período octubre-noviembre 2014

Los mapas generados con el muestreo realizado en el año 2014 se presentan en las figuras 3, 4 y 5.

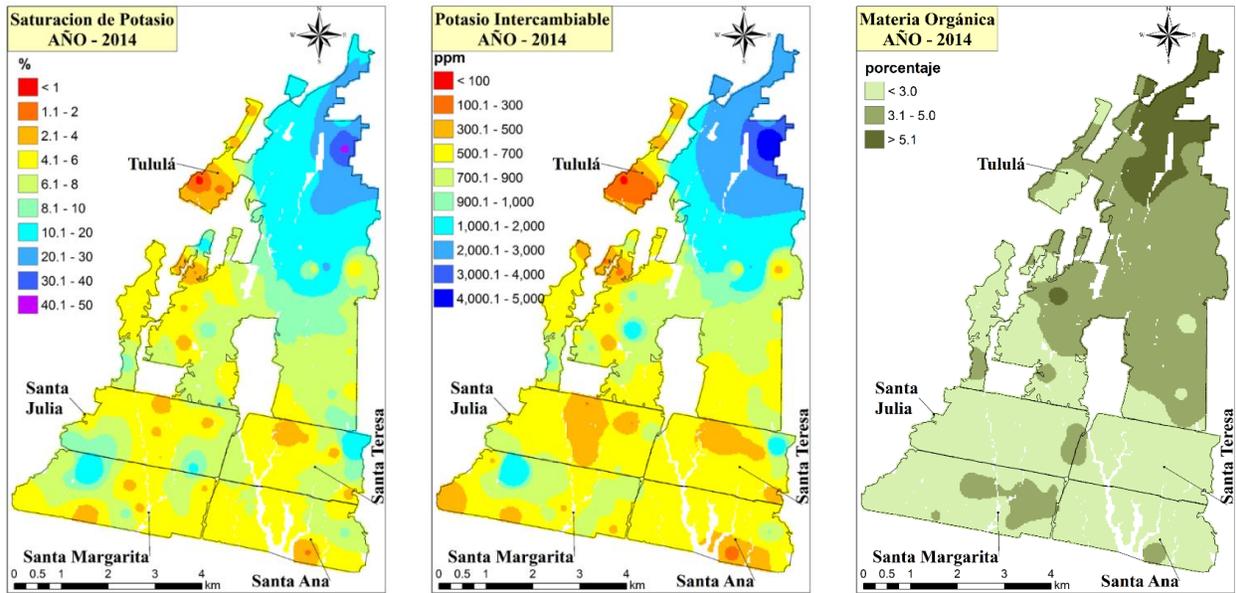


Figura 3. a.- Saturación de potasio. b.- Potasio intercambiable. c.- Materia orgánica

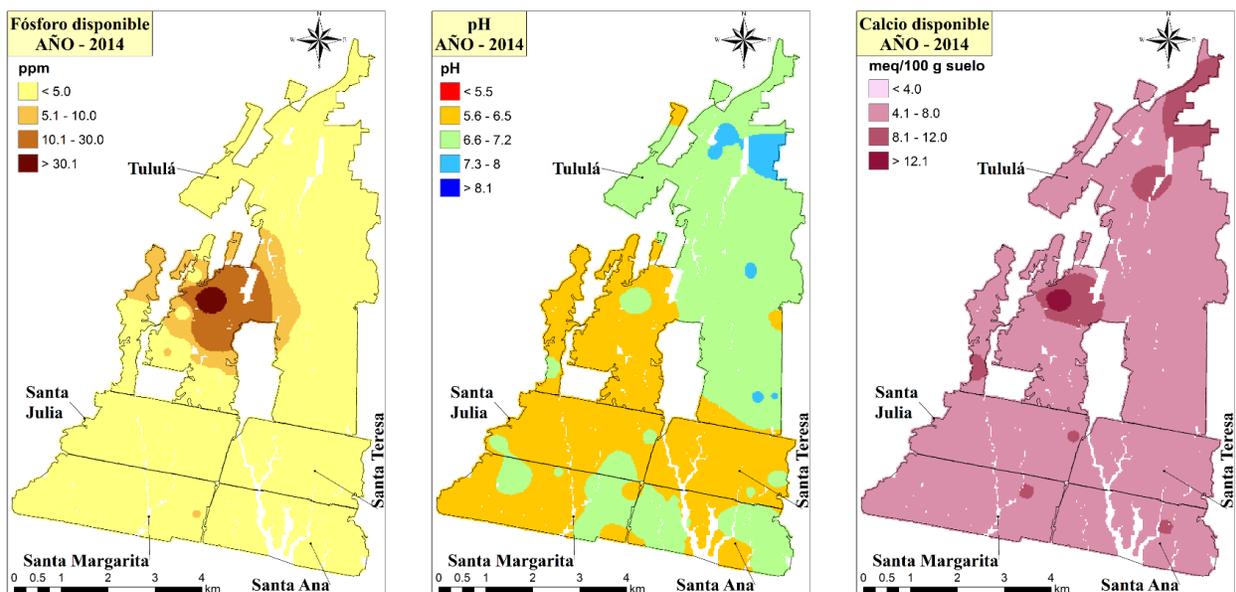


Figura 4. a.- Fósforo disponible. b.- pH. c.- Calcio disponible.

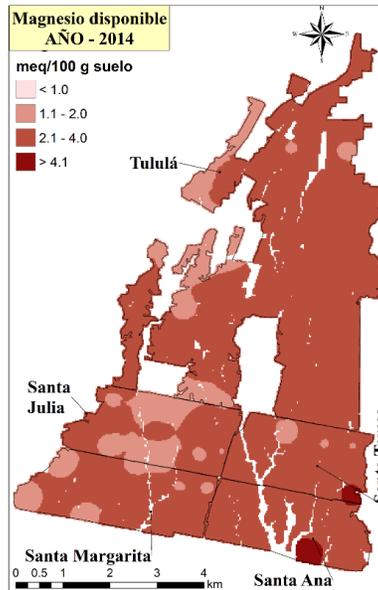


Figura 5. Magnesio disponible

5.2. Comparación geo-estadística entre la Segunda Aproximación (Villatoro *et al.*, 2009) y los mapas generados durante el año 2014 de los mapas de fertilidad

5.2.1. Cuantificación de áreas de cambio positivo y negativo

A continuación se presentan las comparaciones realizadas entre los mapas del año 2008 y los del año 2014.

- **Saturación de potasio**

Los mapas de porcentaje saturación de potasio para los años 2008 y 2014 se presentan en la figura 6 y los porcentajes de área de los criterios de agrupación, según nueve categorías de saturación, se presentan en el cuadro 3.

De acuerdo al cuadro 3, el 99.4 por ciento del área en el año 2008 tenía entre el 0 y el 6 por ciento de saturación de potasio; para el año 2014 el 88.8 por ciento del área se ubica entre el 4 y el 20 por ciento, lo cual representa un aumento considerable. En la figura 6b se observa que el área norte es la que tiene los valores más altos, debido a que en esas zonas es donde empezó la aplicación de la vinaza, por ser las más cercanas a la ubicación del ingenio.

Cuadro 3. Saturación de potasio.

Saturación de potasio (porcentaje)	2008 (% de área)	2014 (% de área)
< 1	13.3	0.1
1.1 – 2	20.4	0.5
2.1 – 4	49.1	5.1
4.1 – 6	16.6	33.6
6.1 – 8	0.5	28.8
8.1- 10	0.0	10.4
10.1 – 20	0.0	16.0
20.1 – 30	0.0	4.8
30.1 – 50	0.0	0.8

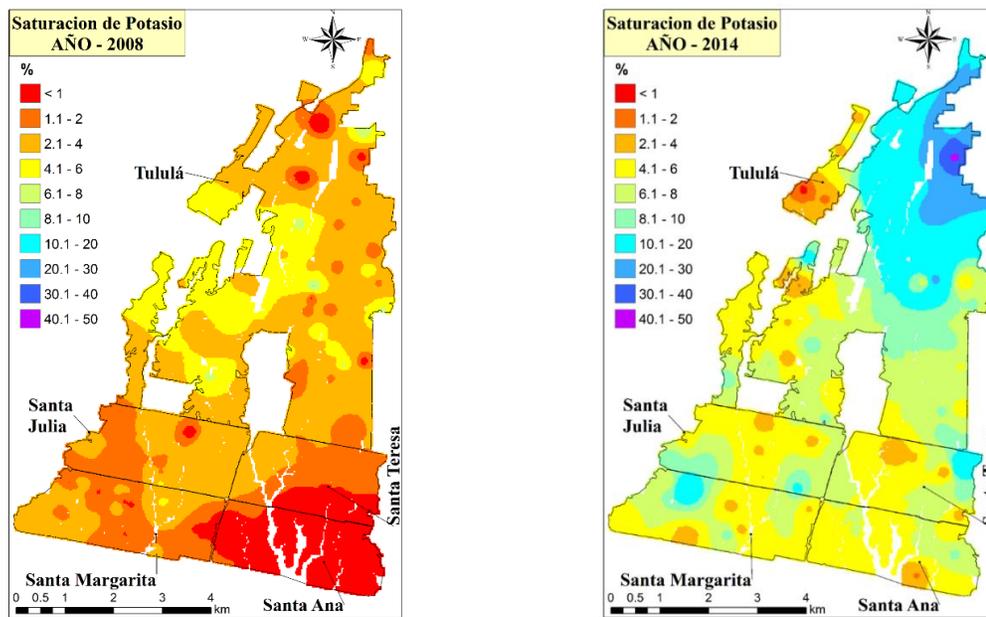


Figura 6. a.- Saturación de potasio–2008. b.- Saturación de potasio–2014.

- **Potasio intercambiable**

Los mapas de ppm de potasio intercambiable para los años 2008 y 2014 se presentan en la figura 7 y los porcentajes de área de los criterios de agrupación para nueve categorías de potasio intercambiable en el cuadro 4.

Cuadro 4. Potasio intercambiable.

Potasio intercambiable (ppm)	2008 (% de área)	2014 (% de área)
< 100	13.5	0.1
100.1 – 300	52.0	1.6
300.1 – 500	31.4	10.2
500.1 – 700	3.1	41.5
700.1 – 900	0.1	22.3
900.1 - 1,000	0.0	3.4
1,000.1 - 2,000	0.0	9.7
2,000.1 - 3,000	0.0	9.2
3,000.1 - 5,000	0.0	2.1

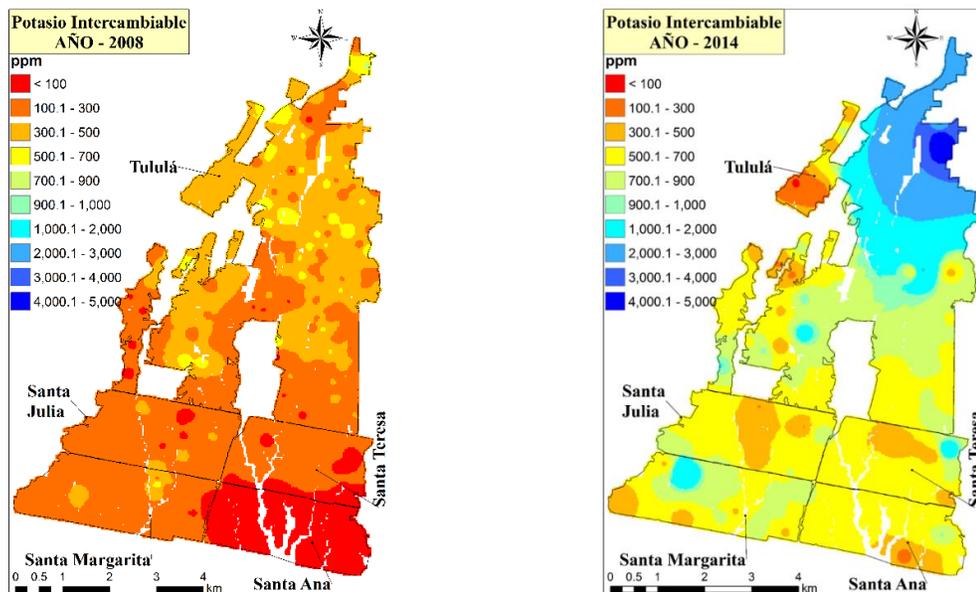


Figura 7. a.- Potasio intercambiable–2008. b.- Potasio intercambiable–2014.

De acuerdo al cuadro 4, el 96.9 por ciento del área en el año 2008 tenía entre 0 y 500 ppm; para el año 2014 el 74 por ciento del área se ubica entre el 300 y 900 ppm de potasio intercambiable. El 18.9 por ciento del área se ubica entre 1,000 y 3,000 ppm; valores a los cuales el suelo está saturado de potasio. La causa del aumento del potasio intercambiable en la zona norte, es la misma que la saturación de potasio.

Según Henríquez y Bertsh (1997), el K tiene efecto directo positivo sobre el rendimiento y el crecimiento vegetal total; el K al favorecer un mejor crecimiento de las plantas, también favorece la producción de mayor biomasa y una mayor absorción de Ca y Mg.

Chaves (2012) menciona que al aumentar el contenido de K en el suelo, la absorción de Ca por la planta se reducía, manifestando su deficiencia. También indica que la adición de cualquier catión en concentraciones elevadas induce efectos interactivos en el complejo de cambio y la solución del suelo. Menciona que se tiene comprobado que la adición de una alta concentración de K puede reducir la absorción de Ca y Mg.

- **Materia orgánica (MO)**

Los mapas de porcentaje de materia orgánica de los años 2008 y 2014 se presentan en la figura 8 y los porcentajes de área de los criterios de agrupación para tres categorías de proporciones (%) de la MO en el cuadro 5.

Cuadro 5. Materia orgánica.

Materia Orgánica (porcentaje)	2008 (% de área)	2014 (% de área)
< 3.0	47.4	53.1
3.1 - 5.0	45.8	39.3
> 5.1	6.8	7.6

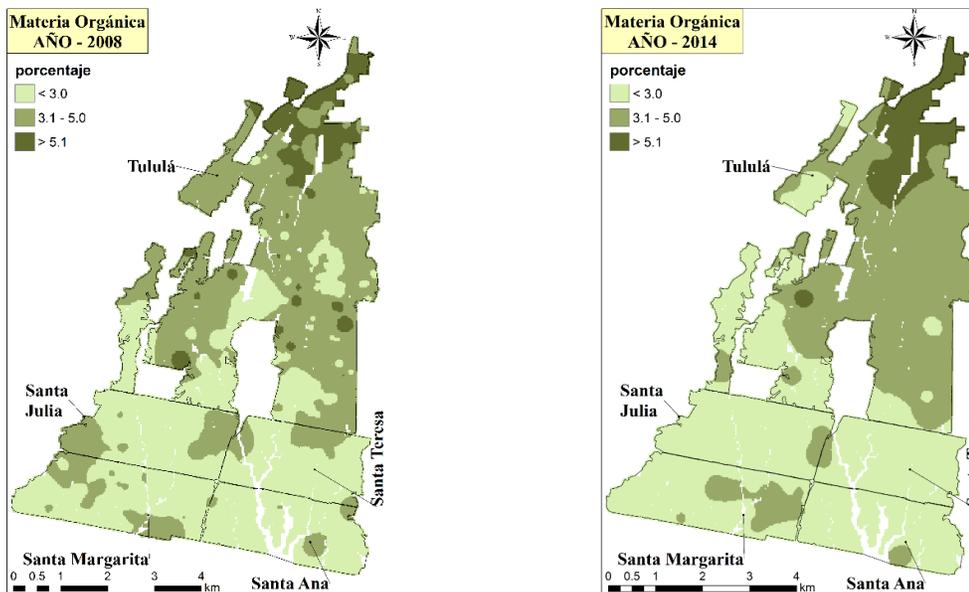


Figura 8. a.- Materia orgánica–2008. b.- Materia orgánica–2014.

El componente materia orgánica no ha sufrido variaciones considerables entre los años 2008 y 2014, de acuerdo a la figura 8. La cantidad que se adiciona de materia orgánica

dentro de la vinaza no es considerable de acuerdo a los valores del cuadro 1A del anexo. Debido al incremento de otros minerales, una adición de MO mediante la aplicación de cachaza u otro tipo de compost puede ser de utilidad.

- **Fósforo disponible**

Los mapas de fósforo disponible en partes por millón (ppm) para los años 2008 y 2014 se presentan en la figura 9 y los porcentajes de área de los criterios de agrupación de cuatro categorías de fósforo disponible en ppm se presentan en el cuadro 6.

Cuadro 6. Fósforo disponible.

Fósforo (ppm)	2008 (% de área)	2014 (% de área)
< 5.0	78.7	87.5
5.1 - 10.0	17.1	7.1
10.1 - 30.0	4.1	4.7
> 30.1	0.1	0.7

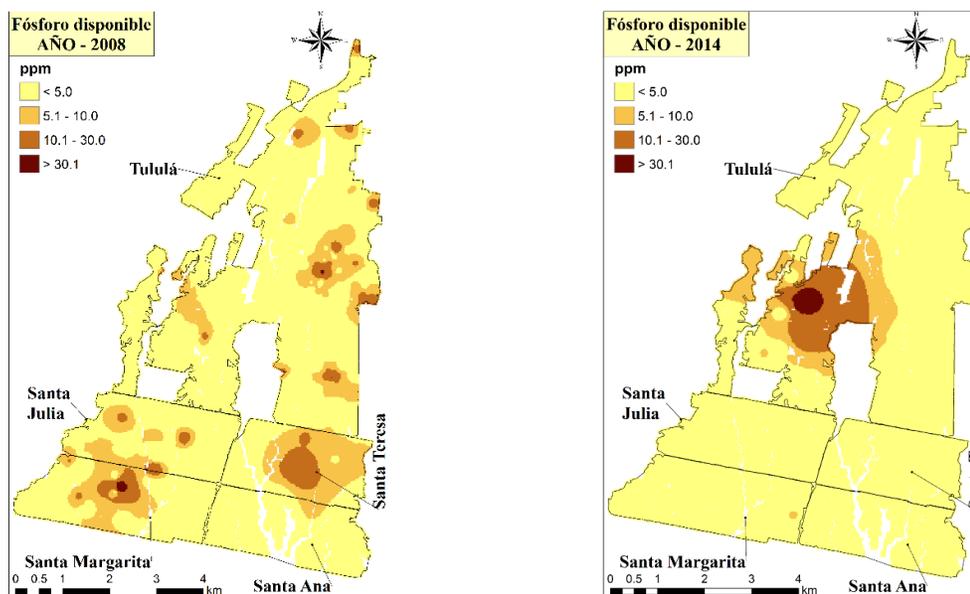


Figura 9. a.- Fósforo disponible–2008. b.- Fósforo disponible–2014.

Se aprecia una variación en la distribución espacial del elemento dentro de este período de tiempo, particularmente en la categoría de fósforo disponible que va de 5.1 a 10 ppm. Esta tendencia parece más una situación de muestreo que el atributo como tal, así que no puede considerarse como una consecuencia de la aplicación de la vinaza. En el

cuadro 6 se observa una disminución en 10 por ciento en la categoría de 5.1 a 10 ppm en el período en estudio. El fósforo es un elemento del cual se agrega una cantidad baja cuando se aplica vinaza de acuerdo al cuadro 1A del anexo.

- pH

Los mapas de pH de los años 2008 y 2014 se presentan en la figura 10 y los porcentajes de área de los criterios de agrupación en cinco categorías de pH se presentan en el cuadro 7.

Cuadro 7. Valores de pH para los años 2008 y 2014.

pH	2008 (% de área)	2014 (% de área)
< 5.5	30.4	0.0
5.6 - 6.5	67.4	48.4
6.6 - 7.2	1.3	49.1
7.3 - 8.0	0.8	2.5
> 8.1	0.2	0.0

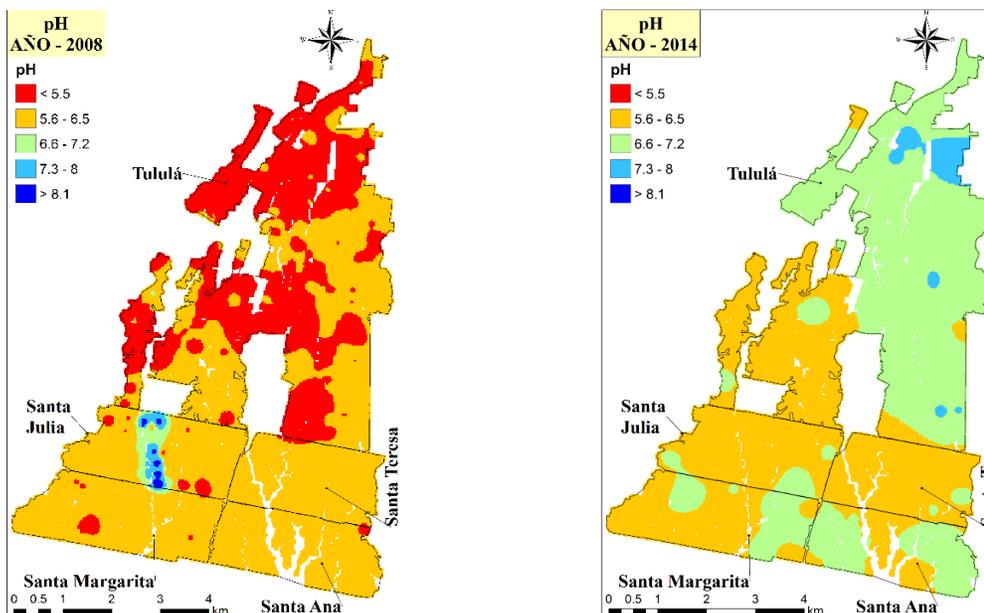


Figura 10. a.- pH-2008. b.- pH-2014.

El pH ha sufrido un cambio como resultado de las reacciones químicas que se efectúan en el suelo por la acción de los diferentes componentes de la vinaza. La categoría que va de 6.6 a 7.2 es la que más aumentó durante el período de tiempo analizado en una proporción de casi 48 por ciento.

Estos resultados son similares a los obtenidos por Bautista, Durán y Lozano (2000); el cambio de pH puede deberse a las siguientes causas: oxidación de la materia orgánica en condiciones reductoras, debido a la actividad microbiana, que al descomponer la materia orgánica forma dióxido de carbono, metano y aumento de los iones OH⁻. Es posible que la complejación de las fuentes de acidez del suelo (oxo-hidróxidos de Fe y Al activos) por la materia orgánica, contenida en las vinazas, ocasionó el aumento del pH.

- **Calcio disponible**

Los mapas de calcio disponible (meq/100 g de suelo) para los años 2008 y 2014 se presentan en la figura 11 y los porcentajes de área de los criterios de agrupación en cuatro categorías, se presentan en el cuadro 8.

Cuadro 8. Calcio disponible.

Calcio (meq/100 g suelo)	2008 (% de área)	2014 (% de área)
< 4.0	0.2	0.0
4.1 - 8.0	64.6	92.6
8.1 - 12.0	35.0	7.0
> 12.1	0.2	0.5

El contenido de calcio disponible (meq/100 g suelo) disminuyó en el suelo, principalmente en las áreas de la categoría entre 8.1 y 12 (meq/100 g suelo), donde disminuyó en un 28 por ciento; por otro lado, coincidentemente, en la categoría de 4.1 a 8 (meq/100 g suelo), aumentó un 28 por ciento. Los bajos niveles de detección de calcio pueden deberse al aumento del contenido de potasio, que puede estar creando un cambio en la relación de bases del suelo.

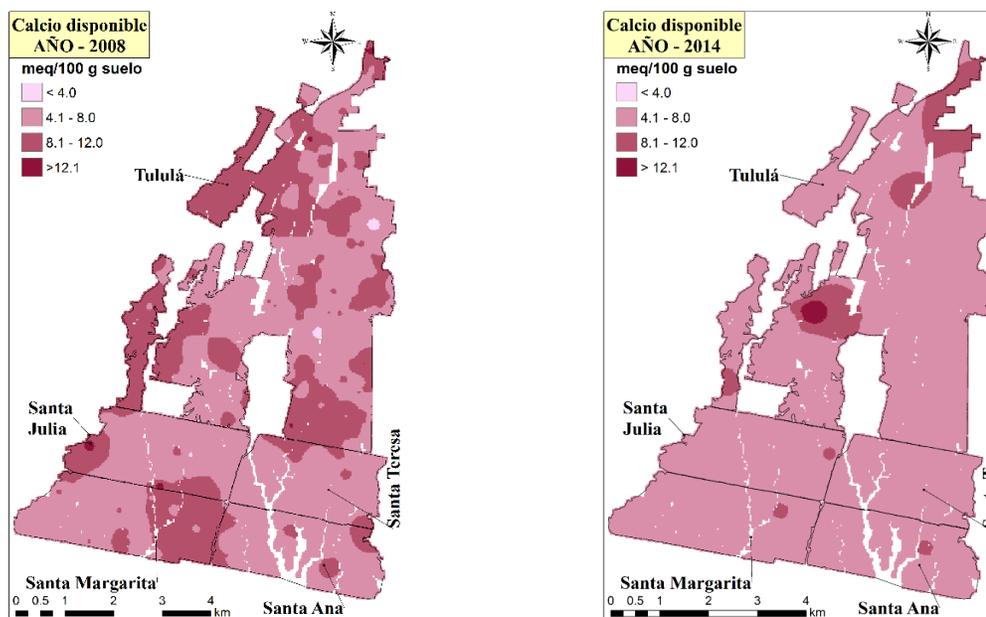


Figura 11. a.- Calcio disponible–2008. b.- Calcio disponible–2014.

- **Magnesio disponible**

Los mapas de magnesio disponible (meq/100 g de suelo) para los años 2008 y 2014 se presentan en la figura 12 y los porcentajes de área de los criterios de agrupación de cuatro categorías se presentan en el cuadro 9.

Cuadro 9. Magnesio disponible.

Magnesio (meq/100 g suelo)	2008 (% de área)	2014 (% de área)
< 1.0	0.0	0.0
1.1 - 2.0	4.4	14.8
2.1 - 4.0	94.4	84.2
> 4.1	1.2	1.0

Si bien para la categoría de magnesio disponible de 1.1 a 2 (meq/100 g suelo) se registró un aumento del área (10.8 por ciento), para la categoría 2.1 a 4 (meq/100 g suelo) se registró una disminución del 10.2 por ciento de las áreas ocupadas por esta categoría. Es decir, las áreas con menor concentración de magnesio disponible aumentaron como consecuencia de la reducción de áreas con mayor concentración de magnesio disponible. Lo anterior puede también ser una consecuencia del aumento del potasio, que establece un desequilibrio en las relación K:Ca + Mg.

Los resultados son similares a los obtenidos por Alfaro y Ocampo (2012). El macronutriente que aumentó en el suelo fue el potasio, el cual generó desbalances catiónicos con el calcio y el magnesio a pesar de estar estos atributos en cantidades adecuadas en el suelo.

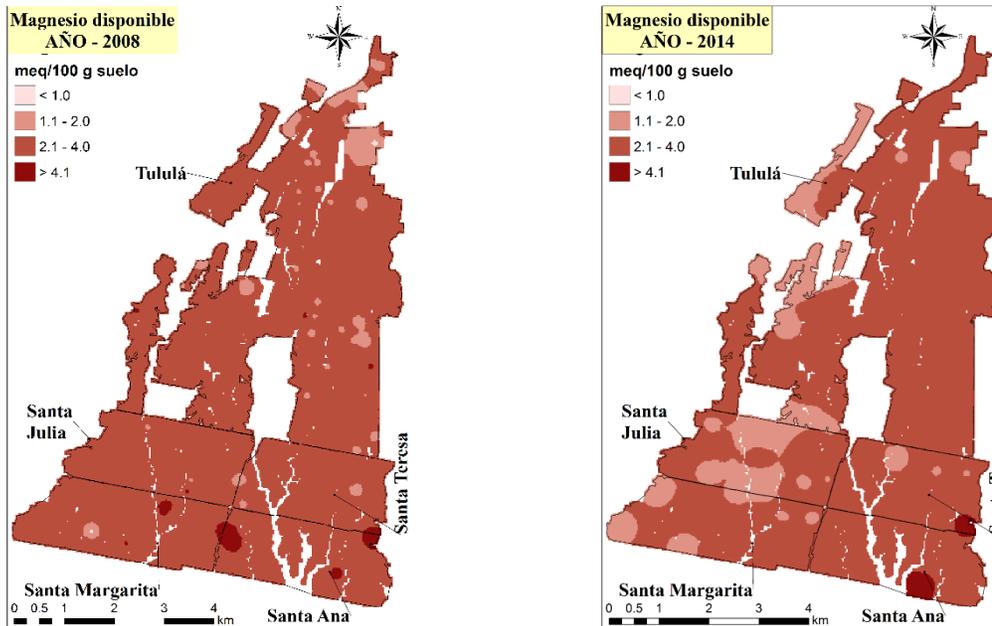


Figura 12. a.- Magnesio disponible–2008. b.- Magnesio disponible–2014.

- **Discusión general**

De todos los factores evaluados, es claro que el potasio y el pH son los que variaron en forma importante en el suelo. Las principales consecuencias químicas de estos cambios son la reducción de la disponibilidad del calcio y del magnesio. Lo anterior es particularmente importante, puesto que la dinámica química y física del suelo es alterada y esto deriva necesariamente, en inconvenientes que están relacionados con la asimilación por parte de las plantas de los elementos descritos aquí y otros macro y micronutrientes que pueden ser afectados en general. La alcalinización de los suelos es una manifestación del incremento de bases como el potasio y que también es una consecuencia de la alteración de la capacidad de intercambio catiónico en el suelo y en consecuencia de la fertilidad del mismo. La amplia acumulación del potasio conllevará a alteraciones en el suelo que será necesario manejar con prácticas que permitan

continuar con la rutina de la aplicación de la vinaza. Por lo anterior, es muy importante revisar la propuesta de la gestión sostenible de la aplicación de la vinaza como fertilizante que se presenta en el anexo.

5.3. Propuesta de gestión sostenible de la vinaza como fertilizante

Se elaboró la propuesta de gestión sostenible de vinaza, la cual es el resultado más importante de este trabajo. Se presenta en el anexo, para que sea fácil la ubicación de parte de los usuarios de este documento, poderla tomar y ponerla en práctica.

El análisis de los factores evaluados y de los resultados obtenidos, permitieron hacer la propuesta que se presenta, como un aporte al manejo de la vinaza de los ingenios azucareros.

Como se planteó al inicio del trabajo, la propuesta de gestión se compone de metodologías para poder realizar el monitoreo de los suelos; y de propuestas probadas en otras partes del mundo para el tratamiento de la vinaza antes de su uso en los campos de producción de caña de azúcar, para que el ingenio Tululá las evalúe y pueda incorporar alguna a su proceso de producción; dependiendo de la factibilidad social, técnica y económica de cada propuesta.

6. CONCLUSIONES

- El uso de procedimientos de muestreo de suelos, análisis de muestras de suelos y sistemas de información geográfica, fueron decisivos en la determinación de la circunstancia actual de los suelos sujetos de aplicación de vinaza como fertilizante. Así mismo, demostraron ser herramientas significativas que permiten el diseño de mejoras importantes o propuestas de cambios en los protocolos de aplicación de la vinaza como fertilizante en los campos de producción agrícola.
- Considerando los porcentajes de área obtenidos de las interpolaciones realizadas en el estudio, se determinó que: durante el período 2008-2014 ha existido un incremento significativo de las concentraciones de potasio (saturación de potasio y potasio disponible). Para los atributos materia orgánica y fósforo disponible no existieron cambios considerables en el área de estudio. Se estableció disminución de las concentraciones de calcio y magnesio, en al menos una de las categorías estudiadas, consecuentemente se alteró de manera importante las relaciones Ca:Mg y K:Ca+Mg, lo que deriva en una alteración en la condición “tampón” del suelo y en consecuencia en la fertilidad del mismo.
- Para un uso sostenible de la vinaza en el suelo es necesario considerar las acciones a implementar de una manera integral, por lo cual se elaboró una propuesta que considera como proceso necesario para obtener mejores resultados: realizar un muestreo de suelos sistemático y anual; elaborar mapas de atributos químicos de fertilidad de forma anual para el monitoreo del suelo; con base en los resultados obtenidos cada año, revisar la propuesta de aplicación acá planteada y llevar a cabo alguna de las propuestas de tratamiento de la vinaza antes de su aplicación en los campos como fertirriego.

7. RECOMENDACIONES

- Mejorar los procedimientos de gestión de la aplicación de la vinaza mediante las siguientes actividades técnicas:
 - a. Se sugiere realizar monitorización constante de los suelos mediante un muestreo de suelos que incluya realizar una muestra cada 25 hectáreas, en forma de cuadrícula, entre los lotes aplicados con vinaza.
 - b. Emplear el método de interpolación IDW (Distancia inversa ponderada, por sus siglas en inglés) para realizar mapas de atributos de fertilidad de suelos, lo que hará el proceso de monitorización preciso y confiable.
 - c. Efectuar mapas anualmente para el monitoreo de los atributos químicos del suelo.
 - d. Realizar un ordenamiento de la cosecha y planeamiento varietal, de manera que permita programar la aplicación de vinaza.

- Realizar las aplicaciones de vinaza según los criterios que aporten las técnicas propuestas en la primera recomendación, así mismo, es importante ejecutar las aplicaciones de vinaza en el campo de producción en forma alternada para evitar elevar desproporcionadamente las concentraciones de potasio, especialmente, en los suelos donde se aplica vinaza.

- Evaluar diligentemente las opciones para el uso de la vinaza planteadas e implementar alguna o varias de ellas, independientemente o combinadas, particularmente aquellas que incluyen el compostaje, dentro del proceso de producción del ingenio Tululá.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, R. & Ocampo, R. (2012). Cambios Físico-Químicos provocados por la Vinaza en un suelo Vertisol en Costa Rica. 13. Costa Rica. Recuperado el 20 de julio de 2014
- ANFAL. (s.f.). *Ron de Guatemala. Denominación de Origen Protegida*. Recuperado el 26 de julio de 2014, de <http://rondeguatemala.com/>
- Bautista, F.; Durán, C. & Lozano, R. (2000). Cambios químicos en el suelo por aplicación de materia orgánica soluble tipo vinazas. *Contaminación ambiental* 16(3) 89-101. México.
- CENGICAÑA. (1996). Estudio Semidetallado de de Suelos de la zona cañera del sur de Guatemala. Guatemala.
- Chaves, M. (2012). Relaciones catiónicas y su importancia para la agricultura. *Fertilización*. 18(6). 10-20. Costa Rica.
- Espinoza, R. & Ovando, C. (2012). Diversificación de la Agroindustria Azucarera. Producción de etanol. En CENGICAÑA, M. Melgar, A. Meneses, H. Orozco, O. Pérez, & R. Espinoza (Edits.), *El Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala* (pág. 512). Guatemala: Artemis Edinter. Recuperado el 28 de julio de 2014
- ESRI (2010). Los mapas presentados en este trabajo fueron credos utilizando el software ArcGIS de Esri. ArcGIS® y ArcMap™ son propiedad intelectual de Esri y se utilizan en este documento bajo licencia. Copyright © Esri. Reservados todos los derechos. Para obtener más información sobre el software ESRI®, visite www.esri.com. <http://blogs.esri.com/esri/arcgis/2010/12/03/using-and-citing-esri-data/>
- Henríquez, C. & Bertsh, F. (1997). Comportamiento de Ca, Mg y K en respuesta a la aplicación de fertilizante potásico y de cal dolomítica en un andisol de la zona sur de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 21 (2): 239-248. Costa Rica. Recuperado el 12 enero de 2015.
- Korndorfer, G. (2009a). Impacto ambiental del uso de la vinaza en la agricultura y su influencia en las características químicas y físicas del suelo. *Memorias: Seminario Internacional de Fertilización y Nutrición de la Caña de Azúcar*, 115 - 122. Cali, Colombia: TECNICAÑA. Recuperado el 27 de julio de 2014
- Korndorfer, G. (2009b). Manejo, aplicación y valor fertilizante de la vinaza para la caña de azúcar y otros cultivos. *Memoria: Seminario Internacional de Fertilización y Nutrición de la Caña de Azúcar*, 106-114. Cali, Colombia: TECNICAÑA. Recuperado el 22 de julio de 2014

- Larrahondo, J. (2009). La vinaza. Caracterización de la vinaza. Usos y aprovechamientos potenciales. *Memoria: Seminario Internacional de Fertilización y Nutrición de la Caña de Azúcar*, 69-90. Cali, Colombia: TECNICAÑA. Recuperado el 25 de julio de 2014
- Mornadini, M. & Quaia, E. (2013). *Alternativas para el aprovechamiento de la vinaza como subproducto de la actividad sucroalcoholera*. Recuperado el 28 de julio de 2014, de Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres: www.eeaoc.org.ar
- Suárez, J. & Pérez, O. (2006). Primera aproximación de mapas temáticos de fertilidad y texturas: Herramientas para la planificación. *Memoria de presentación de resultados de investigación zafra 2005-2006*, 224 - 229. Guatemala: CENGICAÑA. Recuperado el 25 de junio de 2014
- Subirós, J. & Molina, E. (1992). Efecto de la aplicación de vinazas en la producción de caña de azúcar y en las características químicas de un Inceptisol de Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 16(1), 55- 60. Recuperado el 23 de julio de 2014
- Superintendencia de Bancos de Guatemala. (2011). *SECTOR AZUCARERO. Análisis de Sectores Económicos*. Departamento de Análisis Económico y Estándares de Supervisión. Área de Análisis Económico y Financiero, Guatemala. Recuperado el 25 de julio de 2014
- Villatoro, B.; Pérez, O.; Suárez, A.; De Cano, W. & Del Cid, J. (2009). Segunda aproximación de mapas temáticos de fertilidad y texturas: Herramienta de apoyo para la Agroindustria Azucarera de Guatemala. *Memoria de presentación de resultados de investigación zafra 2008-2009*, 240 - 248. Guatemala: CENGICAÑA. Recuperado el 1 de julio de 2014

9. ANEXOS

Cuadro 1A. Composición química de la vinaza.

Elementos	Calda mezclada
	----- kg/m ³ -----
Nitrógeno (N)	0.33 - 0.48
Fósforo (P ₂ O ₅)	0.09 - 0.61
Potasio (K ₂ O)	2.10 - 3.40
Calcio (CaO)	0.57 - 1.46
Magnesio (MgO)	0.33 - 0.58
Materia orgánica (MO)	19.1 - 45.1
	----- ppm -----
Cobre (Cu)	2 - 57
Zinc (Zn)	3 - 57
Ph	3.5
Relación carbono/nitrógeno (C/N)	15

(Korndorfer, 2009b)

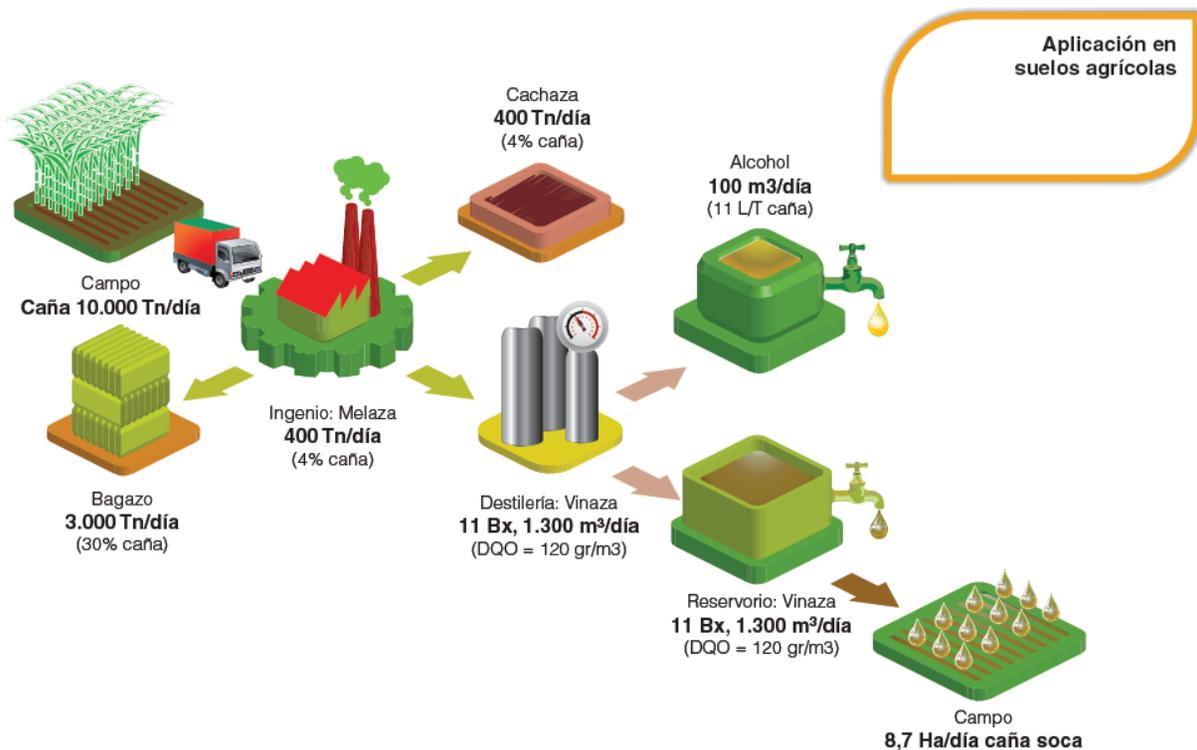


Figura 1A. Esquema del proceso de aplicación de vinaza en suelos productivos de caña de azúcar (Mornadini y Quaia, 2013).

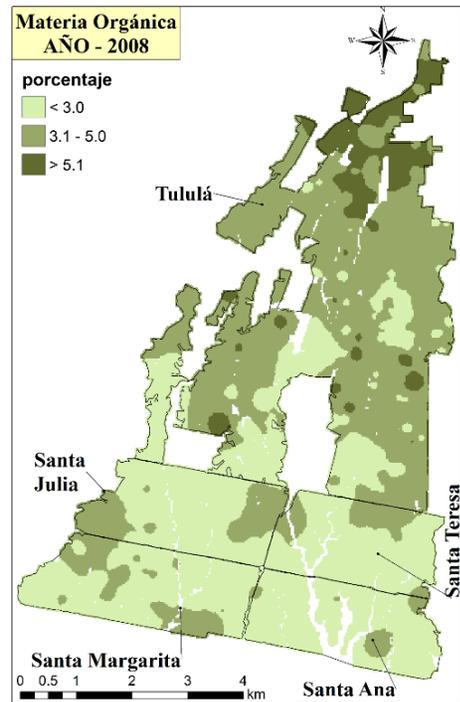
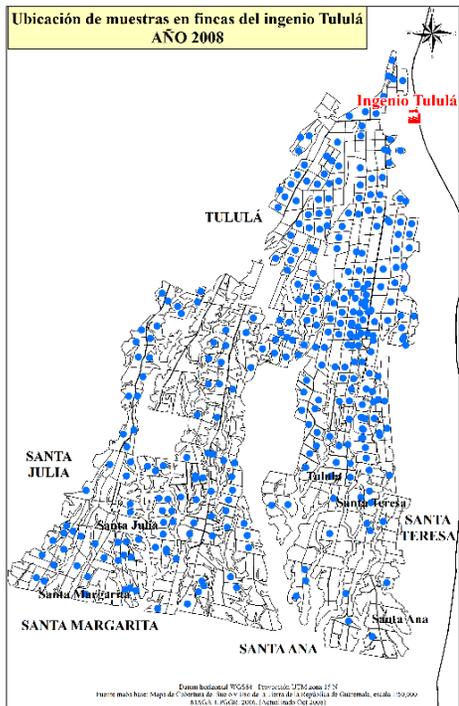


Figura 2A. a.- Mapa de ubicación de muestras. b.- Mapa de porcentaje de materia orgánica (Villatoro *et al.*, 2009).

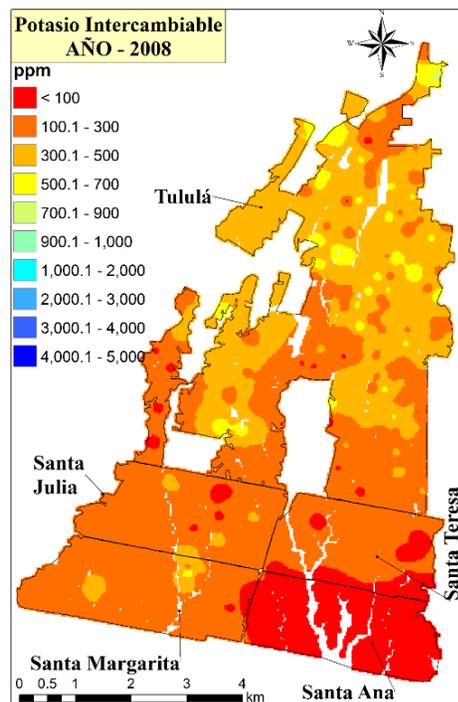
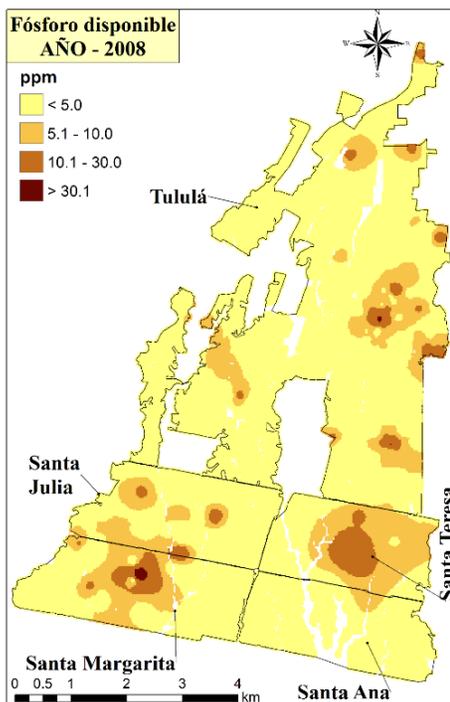


Figura 3A. a.- Mapa de fósforo disponible (ppm). b.- Mapa de potasio intercambiable (ppm) (Villatoro *et al.*, 2009).

Cuadro 2A. Variables del análisis químico de las muestras de suelo

Fecha	Identificación	Finca	Lote	Estrato	No. Lab.	
Fecha de muestreo	Única	Nombre de finca	Número de lote	cm	Número de laboratorio	
Ca	Mg	K	Na	ClCe	pH 1:2.5	
meq/100 g de suelo	meq/100 g de suelo	meq/100 g de suelo	meq/100 g de suelo	meq/100 g de suelo	valor de pH	
Materia orgánica		P	Cu	Zn	Fe	Mn
Porcentaje		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm

(Elaboración propia, 2015)

Cuadro 3A. Matriz de ubicación geográfica de los lotes del ingenio Tuluá. 2014

FID	Geometry	Cod_Lote	Zona	Nom_finca	X_UTM	Y_UTM
0	polygon	08-XXXYYZZ	N	nombre de la finca	000000.0	0000000.0

(Elaboración propia, 2015)

Cuadro 4A. Categorías de agrupación de los atributos químicos de suelos

pH		Materia Orgánica	
Categoría	Valor de pH	Categoría	% de M.O.
1	< 5.50	1	< 3.00
2	5.51 – 6.50	2	3.01 – 5.00
3	6.51 – 7.20	3	> 5.01
4	7.21 – 8.00		
5	> 8.01		
Potasio (K)		Fósforo (P)	
Categoría	ppm	Categoría	ppm
1	< 50	1	< 5.0
2	50 – 100	2	5.0 – 10
3	100 – 150	3	10 – 30
4	150 – 200	4	> 30
5	200 – 350		
6	> 350		
Calcio (Ca)		Magnesio (Mg)	
Categoría	meq/100 g de suelo	Categoría	meq/100 g de suelo
1	< 4.00	1	< 1.00
2	4.01 – 8.00	2	1.01 – 2.00
3	8.01 – 12.00	3	2.01 – 4.00
4	> 12.01	4	> 4.01

(Villatoro *et al.*, 2009)

PROPUESTA DE GESTIÓN SOSTENIBLE EN LA APLICACIÓN DE VINAZA COMO FERTIRRIEGO EN LA PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR

Los componentes de la propuesta de gestión sostenible son:

- a. Metodología para el monitoreo de los contenidos de vinaza en el suelo.
- b. Metodología para la elaboración de mapas de atributos químicos, para cuando sea necesario replicar estos procedimientos en el ingenio o en otras instancias agro-productivas, interesadas en el uso de la vinaza como fuente de fertilizante.
- c. Mapas con propuestas de aplicación sectorizada de la vinaza, por cada período de zafra en el cultivo de la caña de azúcar del área bajo estudio, que se puede empezar a implementar inmediatamente.
- d. Opciones de tratamiento de la vinaza previo a su aplicación en el campo.

1. Metodología propuesta para el monitoreo de los contenidos de vinaza en el suelo

Muestreo de suelos

El muestreo de suelos se debe realizar con un distanciamiento de una muestra por cada 25 hectáreas, para obtener una adecuada distribución espacial de los atributos químicos más importantes de la fertilidad de los suelos. Lo anterior implica no hacerlo en el nivel de lote (como se hace actualmente), se debe de realizar mediante la utilización de una cuadrícula o rejilla donde se ubiquen los puntos de muestreo.

Si se analizan 2,500 hectáreas por año, se deben realizar 100 muestras por año. Las muestras se deben geo-referenciar, para lo cual debe utilizarse un dispositivo receptor de GPS. Se deben de realizar 15 sub-muestras por cada punto de muestreo y después realizar una muestra compuesta, para lo cual se utilizará una cubeta para poder homogeneizar la muestra; de donde se obtendrá 1 kilogramo de suelo, lo cual es suficiente para el análisis en el laboratorio. El presupuesto del muestreo de suelos por año se presenta en el cuadro 5A.

Cuadro 5A. Presupuesto anual para realizar el muestreo de suelos propuesto

Cantidad	Variable	Costo unitario	Costo total
100	Análisis de muestras de suelo	Q 300.00	Q 30,000.00
1	Receptor GPS	Q 4,000.00	*Q 1,000.00
Costo del muestreo de suelos por año			Q 31,000.00

* Considerando un tiempo de vida útil del GPS de 4 años

2. Metodología propuesta para la elaboración de mapas de atributos químicos

La elaboración de mapas de atributos químicos de fertilidad de suelos se realiza a través de cinco etapas, las cuales son las siguientes:

- Análisis de la información
- Georreferenciación de las muestras
- Análisis espacial
- Edición de mapas
- Distribución de los atributos de fertilidad

• Análisis de la información

Con herramientas de hojas electrónicas se revisa la consistencia de los resultados de las muestras de laboratorio.

• Georreferenciación de las muestras

1. Generar un archivo shapefile, de la ubicación de las muestras, a través de los puntos obtenidos con el dispositivo GPS en la toma de las muestras.
 - a). Click en botón *Add Data*, se debe seleccionar el archivo que se descargó del dispositivo GPS.
 - b). En el nombre del archivo presionar click derecho del mouse y utilizar la herramienta *Display XY Data*.
 - c). Asignar el sistema de coordenadas que se utilizará (se recomienda utilizar el sistema de coordenadas UTM zona 15 norte con el datum WGS84)

- d). Presionar click derecho del mouse sobre el archivo generado y utilizar la herramienta *Data > Export Data*
 - e). El archivo generado es un archivo tipo puntos que se utilizará para la generación de los mapas.
2. Añadir la tabla de atributos con los resultados del análisis de las muestras de suelo obtenidas del laboratorio
 - a). Click en botón *Add Data*, se debe seleccionar el archivo tipo tabla que contienen los resultados del laboratorio.
 - b). En el archivo de los puntos de muestreo presionar click derecho del mouse y utilizar la herramienta *Joins and relates > Join > Join attributes from a table*. Los dos archivos deben de tener un campo que sirva para hacer el amarre. Se sugiere utilizar un número correlativo de muestreo.

- **Análisis espacial**

Se realiza a través de una interpolación. Se recomienda utilizar el método de interpolación IDW (Distancia inversa ponderada, por sus siglas en inglés).

Condiciones

- a.) Debe utilizarse el archivo de puntos que se obtuvo según se describe en el procedimiento anterior.
- b.) Los campos de los atributos de fertilidad deben estar en formato número para que se pueda realizar la interpolación
- c.) Es recomendable tener un shapefile de los lotes que se utiliza como referencia, hasta donde se debe de extender la interpolación (máscara).

Procedimiento

- a.) Dar click izquierdo en *Arc Toolbox > Spatial Analyst Tools > Interpolation > IDW*
- b.) En *Input Point features* se selecciona el archivo de puntos generado en el procedimiento anterior.

- c.) En *Z Value field* se selecciona el campo del cual se quiere realizar la interpolación; debe de ir variando cada atributo que se vaya realizando.
- d.) En *Output raster* se direcciona a la carpeta donde se quiere guardar la información
- e.) En *Output cell size* se establece el tamaño del pixel que tendrá el raster resultante. Al utilizar el sistema de coordenadas UTM zona 15 norte; el tamaño que se determine será en metros. Se debe de considerar el tamaño del área que se está interpolando para establecer el tamaño adecuado de pixel.
- f.) En *Power* que es una variable que tiene disponibilidad entre 0.5 y 3; se recomienda utilizar el valor 2.
- g.) En *Search radius* se recomienda utilizar el tipo Variable.
- h.) En *Search radius settings > number of points = 12* y *Maximum distance* se debe de dejar en blanco.
- i.) Se debe de dar un click izquierdo en el botón *Environments*.
- j.) Se debe de dar un click izquierdo del mouse en la herramienta *Processing Extent > Extent* se debe de seleccionar el archivo que se utilizará como máscara. (Se recomienda que sea el shapefile de los lotes tipo polígono de donde se extrajeron las muestras).
- k.) Se debe de dar un click izquierdo del mouse en la herramienta *Raster analysis > mask*; acá también se selecciona el archivo de máscara.
- l.) Se debe de dar un click izquierdo del mouse en los botones *Ok*, hasta obtener el archivo tipo raster como resultado de la interpolación.

- **Edición de mapas**

Para editar los mapas se deben de reclasificar las capas GRID elaboradas en la fase de análisis espacial. Como criterios de agrupación se recomienda utilizar los del cuadro 6A del anexo. Los mapas se deben de elaborar en formato *raster (grid)* con un tamaño de píxel de 5 x 5 metros.

- **Distribución de los atributos de fertilidad**

La información generada en los mapas temáticos de fertilidad deben cuantificarse en cada uno de los niveles de los criterios que se muestran en el cuadro 7A del anexo, con base en las fincas, esto con el fin de estimar la distribución espacial de saturación de potasio, potasio, pH, materia orgánica, fósforo, calcio y magnesio en cada una de ellos. La información debe presentarse como porcentaje del área de cada finca de acuerdo a los rangos de clasificación de cada atributo.

3. Mapas con propuesta de aplicación de forma sectorizada y por cada período de zafra de caña, para la aplicación de la vinaza

Los mapas se presentan en la figura 4A.

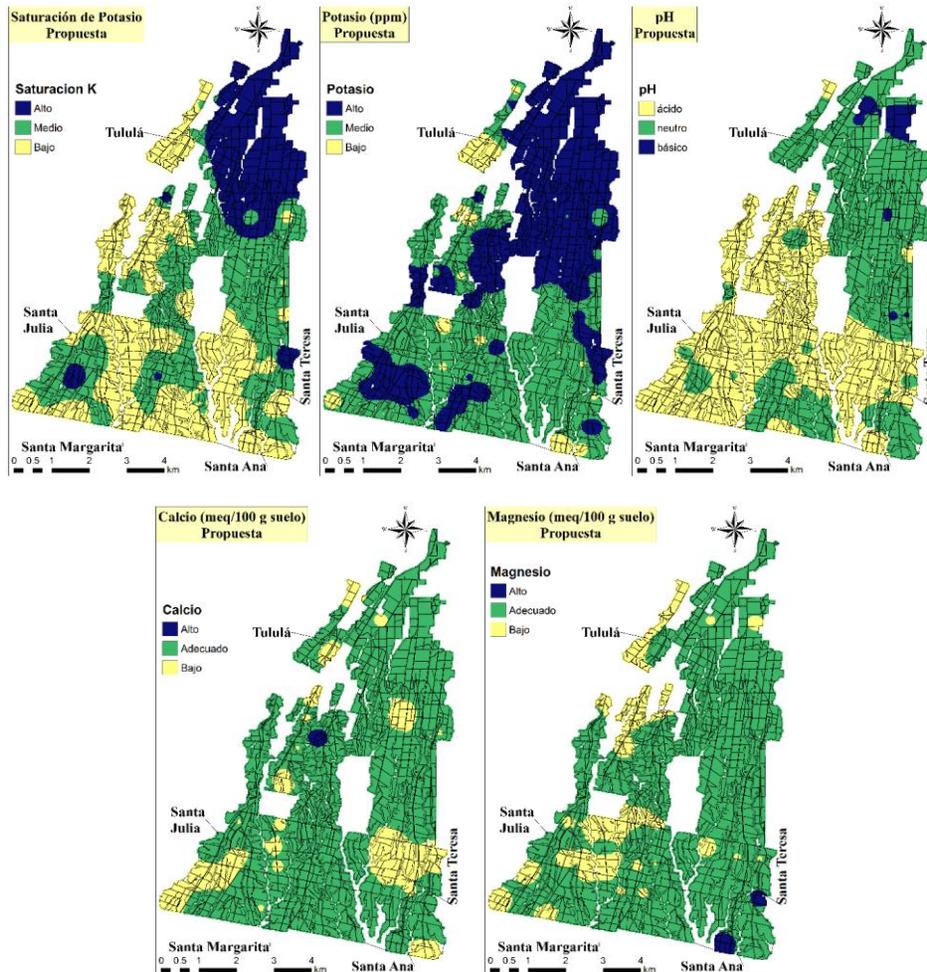


Figura 4A. Caracterización general de la concentración de los diferentes atributos químicos evaluados.

Al analizar los atributos que sufrieron un cambio en su distribución espacial y temporal (saturación de potasio, potasio, pH, calcio y magnesio) durante el período analizado, se elaboraron mapas con una distribución donde se consideran niveles alto, adecuado y bajo. En la figura 4A, se observa que en la parte norte de la finca Tululá para los atributos saturación de potasio y potasio; son las regiones que presentan mayores niveles de los atributos, debido a que es la zona donde iniciaron las aplicaciones de la vinaza, por lo anterior, es necesario dentro de esta propuesta dejar estas zonas sin hacer aplicaciones nuevas de vinaza, al menos hasta que se determine por evaluaciones específicas, que ya es posible nuevamente aplicar el producto.

- **Propuesta de división de áreas comerciales**

Para la aplicación de la vinaza se recomienda realizar la siguiente metodología:

- Dividir en dos secciones el área para aplicación de vinaza, basado en las condiciones actuales de los atributos químicos. Se propone la división norte y sur como la que se presenta en la figura 5Aa.
- Plan de ordenamiento de los meses de cosecha; se deben de realizar bloques para que se pueda aplicar vinaza durante todo el tiempo de la zafra, que es cuando se obtiene la misma, para este efecto deben tomarse en cuenta los vinazoductos existentes. Se propone la división de la figura 5Ab.
- Plan de ordenamiento varietal; se deben de ubicar las variedades adecuadas para cortar en el mes ideal de cosecha para cada una de ellas, tomando como base el reordenamiento varietal propuesto de los meses de cosecha.

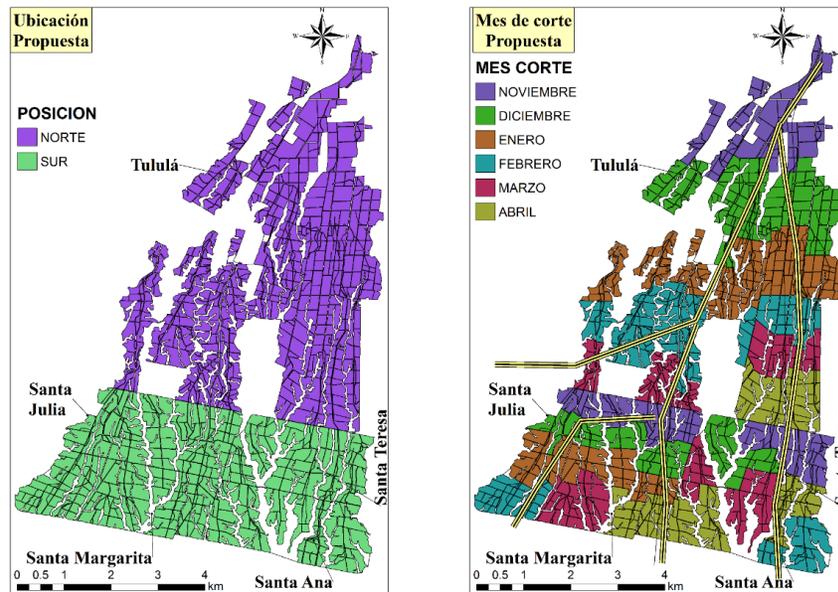


Figura 5A. a.- División propuesta norte-sur considerando valores actuales de atributos. b.- División propuesta por mes de cosecha.

- **Propuesta de aplicación de vinaza**

Considerando que el ingenio tiene un área de 5,500 ha sembradas con caña de azúcar; el área bajo estudio es de 3,318 ha y es donde se tienen instalados los vinazoductos. Si se consideran 150 días de zafra por año, se tendrían 22 hectáreas por día para aplicar vinaza. El ingenio tiene una molienda diaria de aproximadamente 5,000 TM. Con base a la figura 1A del Anexo, se necesitan 5 has día⁻¹ para poder aplicar la vinaza sin ningún tratamiento.

Con los datos anteriores se puede realizar una programación de aplicación de vinaza de 4 bloques para el área de estudio. Lo que resulta en un sistema de aplicación de un intervalo de 4 años, para regresar al mismo lote; con lo cual se estará dando un descanso de 4 años a los lotes aplicados, para evitar problemas que algunos atributos sigan aumentando y provoquen daño al cultivo de caña de azúcar.

Lo más importante del período de descanso de cuatro años que se propone es permitirle a los componentes del recurso suelo, tales como factores bióticos que en él habitan al ser el suelo un recurso natural no renovable, un descanso de aplicación de

vinaza. Se espera que las lluvias que ocurran dentro del período de descanso permitan que los niveles de vinaza bajen y considerando que el mejor filtro que existe es el suelo, no se ponen en peligro los mantos freáticos. También el aplicar con menor frecuencia los campos con vinaza, permite darle mantenimiento a las estructuras de contingencia con que cuenta el ingenio para evitar que en algún accidente pudiera ocurrir alguna contaminación no deseada en los predios continuos a los lotes del ingenio.

La propuesta general de aplicación de vinaza se presenta en la figura 6A. Esta propuesta considera ubicación de vinazoductos, dividir las cargas de la presión para que funcionen los vinazoductos, se plantea cortar caña durante todo el período de la zafra en cada uno de los bloques.

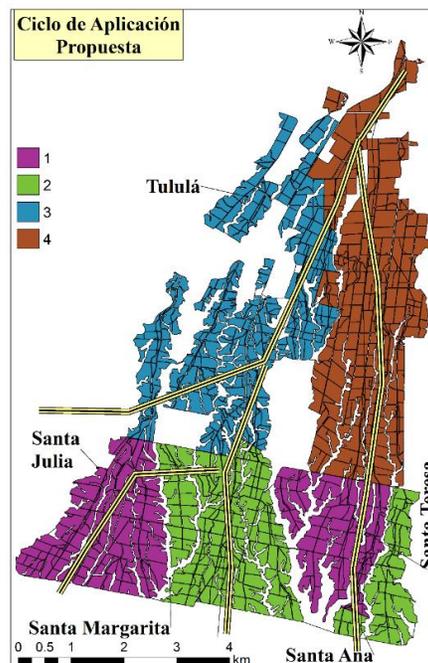


Figura 6A. Propuesta de aplicación de vinaza.

4. Opciones para el tratamiento de la vinaza antes de su aplicación

Se realizó una revisión bibliográfica para buscar opciones para darle un tratamiento a la vinaza antes de su aplicación en los campos de producción. Las que acá se presentan son las que el autor considera como factibles para el área de trabajo del ingenio Tululá. Sin embargo el personal del ingenio a todo nivel (inversionistas, personal de fábrica, personal de campo, asesores, etc.) deberán determinar la factibilidad de cada

- **Concentración natural + compostaje con cachaza y cenizas de chimenea**

La concentración natural consiste en la eliminación de gran parte del agua, distribuyendo la vinaza en extensiones de tierra, a razón de 2,000 m³ por ha y aprovechando la evaporación natural. Se llega a concentraciones que pueden superar los 30 brix según las condiciones climáticas. Luego esa vinaza se utiliza para refrigerar, humedecer y enriquecer un compost realizado con cachaza y ceniza de chimenea. No se consume energía adicional, salvo la utilizada para el transporte del efluente. Se puede resolver la disposición de toda la vinaza si se logra concentraciones adecuadas, pero el alto contenido de sales compromete la calidad del producto final. Los costos operativos son relativamente bajos comparados con otras tecnologías y, si se dispone de la tierra, la inversión también es baja; esta forma de disposición provoca la ocupación de gran superficie de tierra. Es necesaria una importante logística para traslado de los insumos, preparado del compost y distribución del producto. Un ingenio del norte de Argentina resuelve parcialmente el tema de esta manera desde hace unos años (Mornadini y Quaia, 2013). El esquema de trabajo se presenta en la figura 8A.

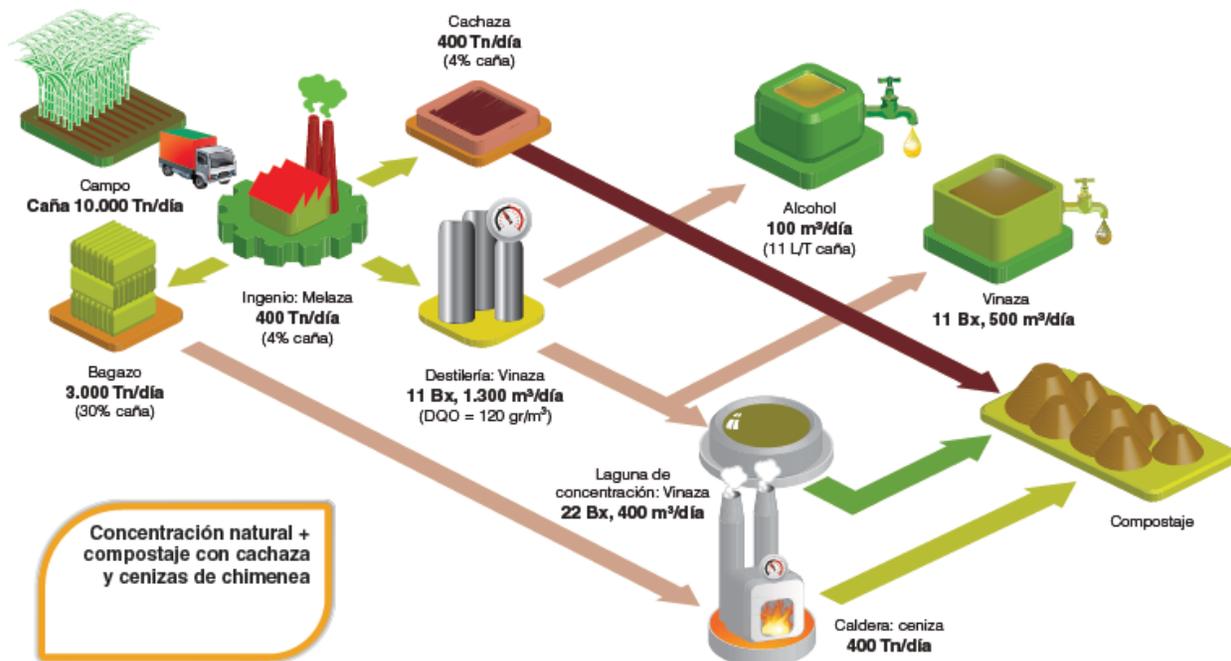


Figura 8A. Concentración natural + compostaje con cachaza y cenizas de chimenea (Mornadini y Quaia, 2013).

- **Concentración natural forzada + compostaje con cachaza y cenizas de chimenea**

En este caso la evaporación natural es ayudada por una aspersión a una determinada altura sobre el suelo, lo que permite una mayor eliminación del agua, lográndose mayores concentraciones en menos tiempo y disminuyendo la necesidad de tierra para la operación. Se necesita menos tierra que en la evaporación natural y consumo de energía para aspersión. Un ingenio del norte de Argentina cuenta con un campo destinado a esta tecnología y un ingenio de la Provincia de Tucumán, Argentina; ha realizado durante el año pasado ensayos de esta alternativa, con el fin de reducir la superficie de tierra necesaria para la concentración por evaporación natural, logrando resultados positivos, se encontró el producto final en etapa de análisis para determinar su calidad (Mornadini y Quaia, 2013). El esquema se presenta en la figura 9A.

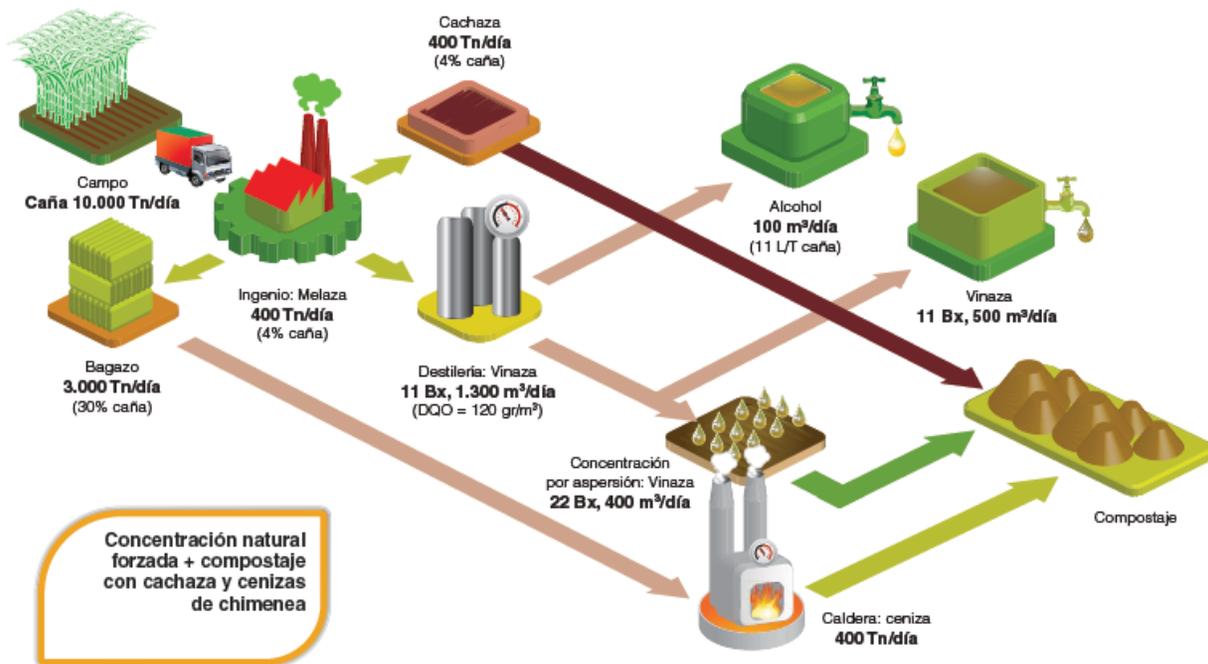


Figura 9A. Concentración natural forzada + compostaje con cachaza y cenizas de chimenea (Mornadini y Quaia, 2013).

- **Concentración térmica y uso como fertilizante orgánico**

La disposición de vinaza concentrada en campos permite una mejor dosificación y control de la dosis en la aplicación. Si bien los costos de distribución son menores las inversiones son importantes y se necesita establecer la logística para distribución del producto. Se conoce la aplicación en campos cañeros de vinazas concentradas

térmicamente en destilerías de etanol en San Pablo Brasil, la normativa ambiental de este estado prohíbe el traslado de vinaza sin concentrar a más de 50 km del punto de origen. En la República Argentina, una empresa dedicada a la producción de levadura, concentra hasta 60 brix sus efluentes en un evaporador de múltiple efecto y lo comercializa como fertilizante orgánico; el efluente de estas fábricas son de características similares a las vinazas de las destilerías de etanol (Mornadini y Quaia, 2013). El esquema de trabajo se presenta en la figura 10A.

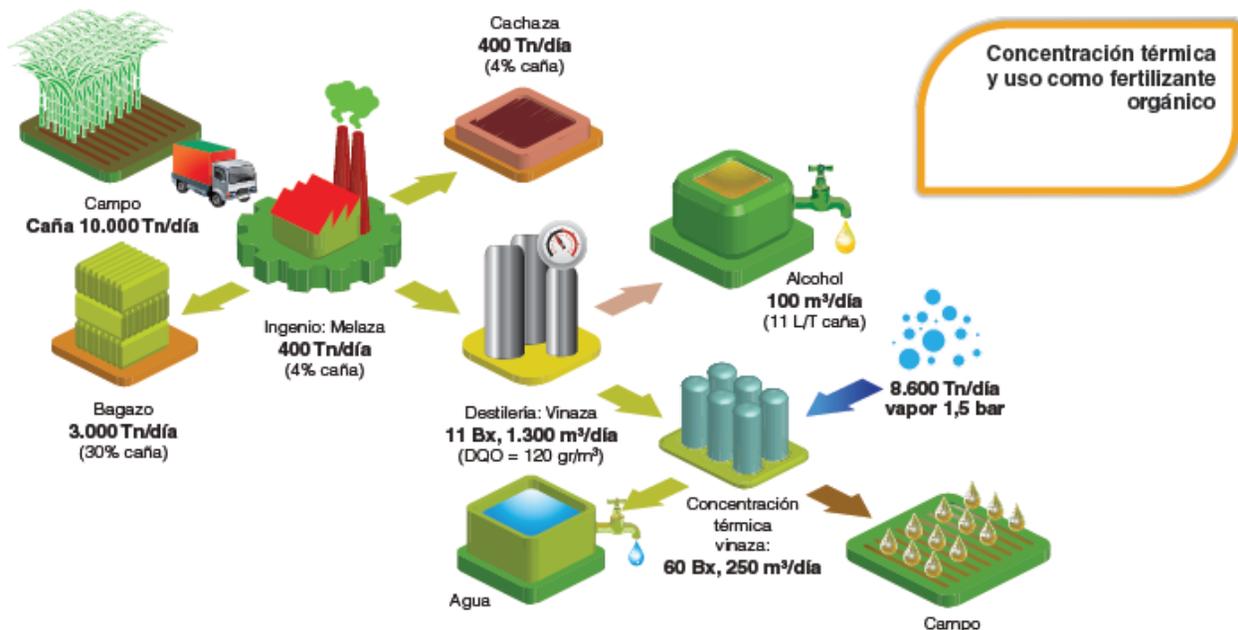


Figura 10A. Concentración térmica y uso como fertilizante orgánico (Mornadini y Quaia, 2013)

- **Concentración térmica + quema en caldera en mezclas con bagazo**

La idea de concentrar la vinaza cruda, y en consecuencia reducir el volumen a utilizar, es bastante antigua. Los problemas que se presentan para su concentración térmica son la corrosión del equipo y la formación de incrustaciones. El porcentaje de sólidos se eleva desde 5-8 por ciento hasta 60 por ciento. La vinaza concentrada es un jarabe que puede transportarse con más facilidad. La operación en un evaporador de múltiple efecto minimiza el consumo de energía, ya que el vapor extraído en el primer efecto se utiliza como medio de calentamiento del efecto siguiente y así sucesivamente, hasta que el vapor generado en el último efecto se envía al condensador. Los productos de

esta alternativa son vinaza concentrada y agua. El paso posterior, en este caso, consiste en agregar la vinaza de unos 60 brix, al bagazo combustible de calderas. El balance energético debería ser positivo aunque no se conocen ensayos en el nivel piloto o aplicación industrial que corroboren esta teoría, sino solo alguna prueba aislada realizada con la presencia de técnicos de la EEAOC (Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres), Argentina. Se resuelve el problema de la disposición total de la vinaza, pero pueden aparecer problemas de corrosión en la caldera y emisiones de partículas de origen mineral por la chimenea. La inversión es importante y no se aprecia retorno, salvo en el saldo positivo energético. La vinaza concentrada puede quemarse en caldera en mezclas con bagazo y también con RAC (Mornadini y Quaia, 2013). El esquema se presenta en la figura 11A.

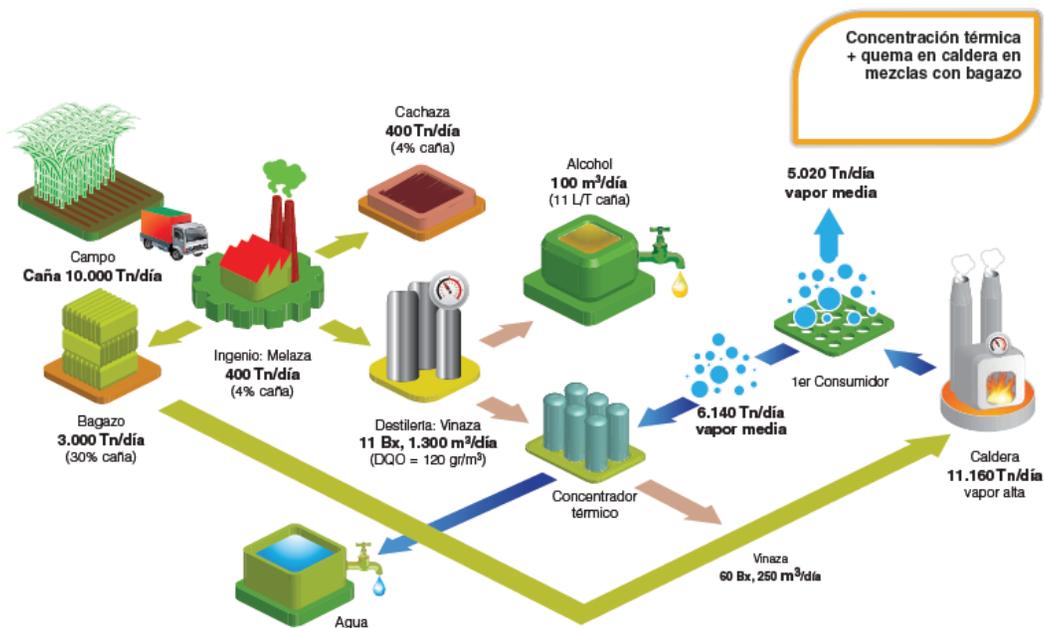


Figura 11A. Concentración térmica + quema en caldera en mezclas con bagazo (Mornadini y Quaia, 2013)

- **Concentración térmica + quema en caldera + recuperación de sales de potasio**

La vinaza ya concentrada (aproximadamente hasta 60 brix) es susceptible de ser quemada como un fluido líquido de bajo poder calorífico, generando vapor vivo y recuperándose las cenizas con alto contenido potásico que puede aprovecharse como fertilizantes. Para la combustión se necesitan sistemas de quemadores especializados.

Existe un proyecto provincial llamado “Concentración y combustión de vinazas”, ampliamente difundido, que promete un importante retorno económico en la región de Tucumán, Argentina (Mornadini y Quaia, 2013). El esquema se presenta en la figura 12A.

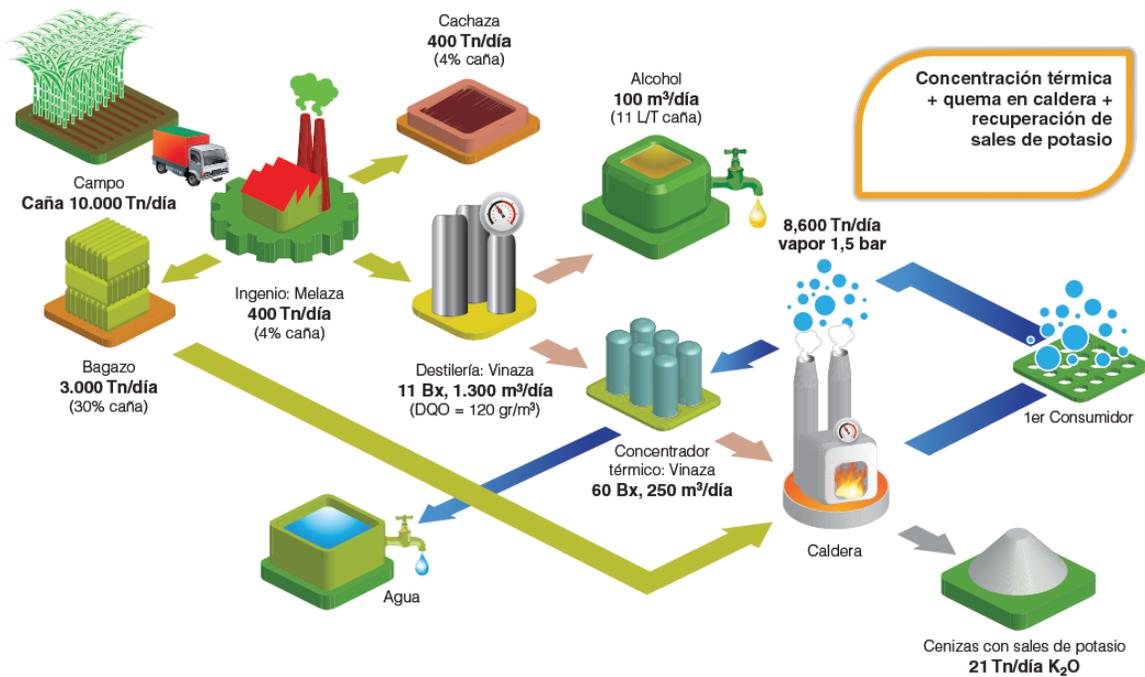


Figura 12A. Concentración térmica + quema en caldera + recuperación de sales de potasio (Mornadini y Quaia, 2013).