



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

INGENIERIA QUIMICA

MONOGRAFIA

**“IMPACTO AMBIENTAL DE LA ACTIVIDAD
AZUCARERA Y ESTRATEGIAS DE MITIGACION”**

PRESENTA
MORALES TRUJILLO JAVIER

DIRECTOR DE TRABAJO RECEPCIONAL
DR. ERIC HOUBRON PASCAL

ORIZABA, VER.

2011



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

APARTADO POSTAL 215
POSTAL 94340
PROL. OTE. 6 NO. 1009
ORIZABA, VER.

CÓDIGO
TELS.: (272) 7240120, 7241779

DICIEMBRE 2011

AL C.
JAVIER MORALES TRUJILLO
Alumno de la carrera de:
INGENIERIA QUIMICA
P R E S E N T E

Habiendo sido debidamente revisado y aceptado el Trabajo Recepcional en la modalidad de **MONOGRAFÍA** presentada por usted denominada **“IMPACTO AMBIENTAL DE LA ACTIVIDAD AZUCARERA Y ESTRATÉGIAS DE MITIGACIÓN”** y estando de acuerdo con el Comité Revisor que es satisfactorio su contenido como prueba escrita para sustentar el Examen Profesional, **AUTORIZO** a usted a que proceda a la impresión del citado Trabajo.

I. Q. D. ISMAEL ROSALDO MARTÍNEZ
SECRETARIO

Vo Bo
DIRECTOR

M. EN C. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ BAZÁN



ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii
INTRODUCCIÓN.....	viii
JUSTIFICACIÓN.....	ix
OBJETIVOS.....	x
I GENERALIDADES	1
I.1 INGENIO AZUCARERO.....	2
I.2 LA CAÑA DE AZUCAR	
I.2.1 PLANTAS TIPO C4.....	3
I.2 LA CAÑA DE AZÚCAR	2
I.3 CULTIVO DE LA CAÑA	4
I.4 COSECHA DE LA CAÑA	5
I.4.1 Ventajas de la cosecha en verde	7
I.4.2. Desventajas de la cosecha en verde.....	8
I.5 INGENIOS AZUCAREROS ZONA CENTRO DE VERACRUZ	9
I.6 DISCUSIÓN	10
II ÁREAS CONTAMINADAS.....	11
II.1 CONTAMINACIÓN DEL AIRE	12
II.1.1 QUEMA DE LA CAÑA.....	12
II.1.2 EFECTOS DE LA QUEMA DE CAÑA	13
II.1.2 EFECTOS DE LA QUEMA DE CAÑA	
II.1.2.1 Consecuencias ambientales de la quema de caña.....	14
II.1.2.2 Consecuencias a la salud por la quema de caña y emisiones a la atmósfera en el proceso	15
II.1.3 EMISIONES A LA ATMÓSFERA DEL PROCESO AZUCARERO.....	19
II.1.4 DISCUSIÓN	21
II.2 CONTAMINACIÓN DEL AGUA.....	22
II.2.1 USO DEL AGUA	22
II.2.2 PRINCIPALES PARÁMETROS AMBIENTALES DEL AGUA DE DESECHO....	22

II.2.3 ÁREAS DONDE SE UTILIZA EL AGUA.....	24
II.2.4 DESECHOS Y AGUAS RESIDUALES.....	25
II.2.4.1 Agua de lavados	25
II.2.4.2 Agua residual en la evaporación	25
II.2.4.3 Aguas de condensadores	26
II.2.5 DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES	26
II.2.6 TIPOS DE LAGUNAS	27
II.2.7 DISCUSIÓN	29
II.3 CONTAMINACIÓN DEL SUELO.....	30
II.3.1 FACTORES QUE PROPICIAN LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO.....	30
II.3.2 DESECHOS Y ACTIVIDADES QUE PROPICIAN LA CONTAMINACIÓN	30
II.3.2.1 La quema de caña.....	30
II.3.2.2 Vinazas	30
II.3.2.3 Cachazas.....	31
II.3.3 DISCUSIÓN	31
III ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN.....	33
III.1 CONTROL DE EMISIONES.....	34
III.1.1 Cosecha de caña en verde	34
III.1.2 Aprovechamiento de la quema de biomasa para generación de energía	35
III.1.1 TÉCNICAS DE CONTROL	37
III.1.1.1 Técnicas de control no agregado para emisiones contaminantes	39
III.1.1.2 Técnicas de control agregado para emisiones contaminantes.....	40
III.1.2 UTILIZACIÓN DE BIOMASA COMO COMBUSTIBLE EN CALDERAS	43
III.1.2.1 Estadísticas de emisiones utilizando biomasa (bagazo) como combustible	45
III.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	47
III.2.1 USO EFICIENTE DEL AGUA EN INGENIOS AZUCAREROS.....	48
III.2.2 SISTEMA PARA TRATAMIENTO DE AGUA DE CENIZA DE LAVADO DE GASES DE CALDERAS	53
III.3 REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN EL SUELO.....	55
III.3.1 USO DE CACHAZA Y BAGAZO DE CAÑA EN LA REMOCIÓN DE HIDROCARBUROS EN SUELO CONTAMINADO.....	55

III.3.2 SISTEMA LAGUNAR DE TRATAMIENTO DE VINAZAS DE ALCOHOL DE CAÑA	58
III.4 ESTRATEGIAS QUE SE PUEDEN IMPLEMENTAR PARA LA MITIGACION DE CONTAMINANTES EN UN INGENIO AZUCARERO	64
III.4.1 PIROLISIS	64
III.4.2 PRODUCCIÓN DE CARBON ACTIVO A PARTIR DE BIOMASA	65
III.4.3 PRODUCTOS FABRICADOS A PARTIR DE LOS RESIDUOS	67
III.4.4 DISCUSIÓN	69
CONCLUSIÓN	70
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	71
REFERENCIAS ELECTRONICAS	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

1.1	Siembra de la caña de azúcar.....	4
1.2	Cosecha mecanizada.....	6
1.3	Cosecha manual.....	7
1.4	Mapa y localización de los ingenios zona centro	9
2.1	Quema de la caña.....	12
2.2	Concentración de MP en los 3 puntos de muestreo.....	17
2.3	Incidencia de enfermedades respiratorias con relación a las partículas	18
2.4	Emisiones de humo a la atmósfera	20
3.1	Diagrama de control de emisiones contaminantes	38
3.2	Seis posibles circuitos de uso racional de agua	49
3.3	Distribución espacial y orden de almacenamiento del sistema	59
3.3	Diagrama de flujo cosecha en verde.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Página

1.1 Identificación de Ingenios	10
2.1 Niveles de DBO ₅	23
3.1 Bagazo consumido.....	45
3.2 Medidas tomadas por los ingenios	46
3.3 Composición de las vinazas.....	61
3.4 Composición de nutrientes en vinazas brutas.....	61
3.5 Análisis de la influencia de la composición química del precursor sobre los rendimientos de la pirolisis.....	66
3.6 Dependencia entre el rendimiento y la temperatura durante 60 min de pirolisis	66

INTRODUCCIÓN

El impacto ambiental en nuestros días es sinónimo de contaminación al suelo, agua y aire, existiendo de maneras exorbitantes afectando de esta manera a los seres humanos y demás biosfera que habita alrededor de las industrias que lo provocan. Este trabajo está relacionado al impacto ofrecido por los ingenios azucareros en la zona centro del estado de Veracruz; se evaluarán cada una de las afectaciones que los mismos provocan al medio ambiente y se propondrán vías alternas a las ya existentes para mitigar el problema que propicia la mortandad de seres vivos por sus diversas emisiones de contaminantes.

Una afirmación trascendental de la OMS ha sido de que “el goce del grado máximo de salud que se pueda lograr es uno de los derechos fundamentales de todo ser humano sin distinción de raza, religión, ideología, política o condición económica y social”. Para la OMS la salud es un “estado de completo bienestar físico, mental y social”, quedando fijado el nivel de salud por el grado de armonía que exista entre el hombre y el medio que sirve de escenario o de recurso a su vida.

La agroindustria azucarera veracruzana se compone de 22 ingenios que representan al 36 por ciento de la planta azucarera nacional, los cuales se abastecen de una superficie industrializable de 233,011.0 hectáreas de caña de azúcar y dan ocupación directa e indirecta a 145,000.0 personas en campo y 22,000.0 en fábrica, lo que hace un total de 167,000.0 empleos. En Veracruz, una población de un millón de personas depende de esta actividad económica.

Es una realidad que en los 57 Ingenios ubicados en 15 estados del país, sus maquinarias son obsoletas, equipos de más de 50 y 70 años, con calderas adaptadas que utilizan a discreción el mismo combustóleo, bagazo lleno de humedad que provoca una pesada contaminación del aire, como claro ejemplo el ingenio Emiliano Zapata en Morelos, se estima que la producción de azúcar de este ingenio y muchos otros del país utilizan más de un 60 % el bagazo como combustible y el 40 % de combustóleo, se sigue quemando en campos la caña sin invertir en tecnologías que disminuya el daño ecológico (R. Mazari. 2009)

México ha firmado protocolos internacionales de reducciones de emisiones contaminantes que debe cumplir por el cambio climático, el régimen jurídico de los ingenios jamás impide obligar y modernizar la industria con apoyo de la federación, los ingenios tienen una base histórica, económica y productiva por encima de la temporalidad de sus propietarios. Los productores y sus organizaciones saben de esta necesidad de inversión inmediata y puedan transformar la vida industrial de sus ingenios haciéndolos más productivos y con menor contaminación para sus familias.

Analizando todas las fallas y decadencias de los ingenios en el país, nos daríamos cuenta de la gran necesidad y carencia que existe, así como de los cambios que hacen falta para mitigar cada uno de ellos, empezando por el cuidado del medio ambiente; ya que sin este, no habría materia prima (caña de azúcar) por lo tanto no existiría la industria azucarera.

JUSTIFICACIÓN

Este trabajo pretende investigar las diferentes formas de mitigación de contaminantes, para aplicarlas en ingenios azucareros y disminuir el impacto ambiental.

Según un análisis efectuado por el Comité de la Agroindustria Azucarera, la principal problemática del sector consiste en:

- a. Rezago tecnológico, tanto en el proceso industrial como en las técnicas de cultivo de la caña de azúcar, provocadas en buena medida por la desorganización del trabajo en el campo, deficiencias en la aplicación de paquetes tecnológicos y falta de maquinaria agrícola.
- b. Serios problemas para obtener financiamiento, el cual requiere de múltiples gestiones y se otorga insuficiente, fuera de tiempo y sobre regulado. Adicionalmente priva el evento de la falta de garantías, pues las plantas se mantienen integralmente comprometidas con FINASA o el Gobierno Federal, dado que no han concluido la liquidación de los procesos de venta.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar los diferentes métodos de mitigación para compensar el impacto ambiental de la actividad azucarera.

OBJETIVO PARTICULAR

- * Investigar los métodos utilizados por los ingenios azucareros para mitigar el impacto ambiental de sus cargas contaminantes.

- * Proponer un método factible para la mitigación de las cargas contaminantes de los ingenios azucareros.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

I.1 INGENIO AZUCARERO

Se denomina así o simplemente ingenio a una antigua hacienda colonial americana (con precedentes a las islas canarias) con instalaciones para procesar caña de azúcar con el objeto de obtener sacarosa, ron, alcohol y otros productos. Tiene su antecedente en el trapiche, cuya escala de producción era más pequeña y a su vez, el ingenio vino a ser sustituido por grandes centrales azucareras modernas que se desarrollaron en el siglo XX. Aunque dicha materia prima no es un producto autóctono americano, fue introducido en América por los españoles, portugueses y otros europeos. Se adaptó rápidamente a las tierras intertropicales americanas, hasta el punto de que los mayores productores mundiales se encuentran en este continente.

I.2 LA CAÑA DE AZÚCAR

Como se sabe, la materia prima de un ingenio en general, es la caña de azúcar ya que de ella se hace autosuficiente, desde que entra y sale como producto terminado.

Es una planta proveniente del sureste asiático. Fue llevada al mediterráneo por los árabes, donde se cultivaba principalmente en las tierras costeras. Posteriormente los europeos llevaron la planta, primero a las islas canarias, y luego a América, en muchas de cuyas zonas el clima era más favorable que en la península ibérica, por lo que casi se abandonó el cultivo en esta. Con el descubrimiento de América se llevó a Latinoamérica, donde todavía hoy en día se industrializa y se fabrica azúcar para el consumo mundial, ubicando a países como Brasil, México, Colombia y Venezuela entre los mayores productores del mundo.

La caña de azúcar es un cultivo de grandes potencialidades por su producción de biomasa y su contenido azucarero, ya que tiene muy evolucionado sus mecanismos fisiológicos favorecidos por ser una planta de ciclo del carbono C4 lo que la sitúa en una posición muy ventajosa en competencia con otros cultivos agrícolas, ya que son mejores captadoras de C aprovechándolo para su rápido crecimiento. Es un cultivo duradero según variedad y condiciones locales la planta forma entre 4 y 12 tallos que pueden crecer hasta 3-5 m de altura. El contenido de azúcar (sacarosa) oscila entre 11 y 16 %. (AN, 2000).

I.2.1 PLANTAS TIPO C4

Las plantas C4 son buenos indicadores de calentamiento y efecto invernadero, una mayor presencia de plantas C4 indicara que las temperaturas y la concentración de CO₂ en el ambiente están aumentando.

El proceso consiste en la captación del dióxido de carbono en las células del mesófilo de la planta, pero en vez de llevarlo inmediatamente al ciclo de Calvin, las moléculas reaccionan con la PEP (Fosfoenolpiruvato), siendo estimulados por una enzima homónima (PEP Carboxilasa).

El producto final entre el PEP y el CO₂ es el ácido oxalacético, el cual posteriormente es convertido en ácido málico, o también llamado *malato*. El malato es llevado a las células de la vaina, en donde es descarboxilado, produciendo el CO₂ necesario para el ciclo de Calvin, además de ácido pirúvico. Este último es enviado nuevamente al mesófilo en donde es transformado por medio de ATP en fosfoenolpiruvato (PEP), para quedar nuevamente disponible para el ciclo.

La ventaja de este proceso radica en el hecho de que al tener a la RuBisCO encerrada en las células de la vaina se le impide la posibilidad de que reaccione con oxígeno en situaciones en las cuales la concentración de CO₂ sea muy baja, por lo cual el CO₂ perdido a través de la fotorespiración se reduce considerablemente. Incluso las moléculas de dióxido de carbono expulsadas por la fotorespiración son nuevamente reutilizadas a través del PEP, el cual lo captura en el mesófilo para ser ingresados al ciclo de Calvin.

Las plantas que usan esta vía para la fijación del carbono son el maíz, la caña de azúcar, el sorgo y el amaranto.

I.3 CULTIVO DE LA CAÑA

El cultivo de la caña requiere agua y suelos adecuados para crecer bien. Es una planta que asimila muy bien la radiación solar, teniendo una eficiencia cercana a 2 % de conversión de la energía incidente en biomasa. Un cultivo eficiente puede producir 150 toneladas de caña por hectárea por año (con 14 % de sacarosa, 14 % de fibra y de 2 % de otros productos solubles). Diferentes microorganismos asociados a sus raíces pueden fijar el nitrógeno atmosférico, lo que permite su cultivo en muchas zonas sin aporte de abonos nitrogenados.

Se propaga mediante la siembra de trozos de caña, de cada nudo sale una planta nueva idéntica de la original; una vez sembrada, crece y acumula azúcar en su tallo, el cual se corta cuando está maduro. Este retoña varias veces y puede seguir siendo cosechada. Estos cortes sucesivos se les llaman “zafras”. (Fig. 1.1)

Este se deteriora con el tiempo y el uso de la maquina cosechadora que pisa las raíces, así que debe ser replantada cada siete a diez años. La caña requiere de abundante agua. Su periodo de crecimiento varía entre 11 y 17 meses, dependiendo de la variedad de la caña y de la zona. Requiere de nitrógeno, potasio y elementos menores para su fertilización. En zonas salinas se adiciona azufre para controlar el sodio.



Figura 1.1 Siembra de la Caña de Azúcar [1].

I.4 COSECHA DE LA CAÑA

Su cosecha es a mano o con maquina. La manual se hace con personas, más concretamente con machetes que cortan los tallos (generalmente después de ser quemada la planta para hacer más eficiente el labor) y los organizan en carros para su transporte. Una vez cortada, debe transportarse rápidamente al ingenio para evitar su deterioro por levaduras y microbios. En promedio una persona puede cortar entre 5 o 7 toneladas por día de caña quemada y 40 % menos de materia prima sin quemar.

Inicialmente a nivel mundial la caña de azúcar se cortaba a mano limpiando cuidadosamente las cañas, las puntas o cogollos eran atados en manojos para su uso como forraje y los tallos de caña eran cargados a mano para ser transportados a la fábrica. Conforme avanza la expansión del cultivo y el desarrollo tecnológico, se cambió al corte y alce mecanizado con cosechadoras combinadas de caña de azúcar. Este avance tecnológico ocasionó un aumento de la materia extraña a nivel de las fábricas, lo que causó problemas en la extracción de la sacarosa, por lo que se adoptó como práctica rutinaria la quema de los campos de caña antes de su cosecha (Humbert, 1976).

La cosecha de caña de azúcar, que al comienzo se realizaba por métodos simples, se cosecha actualmente por procesos tecnológicos más complejos donde la caña sufre una transformación física y química, razón por la cual se debe prestar atención a la hora de la utilización de estas nuevas técnicas (Cárdenas, 1995).

Gómez (1983), indica que la caña de azúcar se puede cosechar de dos formas: una quemando la caña y otra sin quemarla o cruda, agrega además que la gran mayoría de las zonas donde se cultiva la caña de azúcar, queman los campos antes de proceder a su cosecha con la finalidad de reducir la cantidad de materia extraña que va a las centrales y facilitar el trabajo de los corteros y de las cosechadoras.

De igual forma Cárdenas (1995) señala que la caña de azúcar se puede cosechar en verde o realizando una quema previa a su cosecha, además indica que existen dos tipos de corte el manual y el mecanizado con cosechadora.

En relación al corte manual en verde, Viveros (1999) describe dos tipos: el corte convencional y el corte limpio.

El corte convencional es aquel en el cual, el cortador corta el tallo de la caña de azúcar por la base, lo despunta eliminando el cogollo y lo coloca en forma perpendicular a los surcos formando un motón, para que más tarde sea cargado a la unidad de transporte por una alzadora. (Fig. 1.2)



Figura 1.2 Cosecha mecanizada [2]

En el corte manual verde limpio el cortador remueve las hojas adheridas al tallo, corta el tallo en la base, descogolla y coloca la caña en el motón; adicionalmente realiza una completa limpieza de la zona lateral entre los motones de caña para evitar que los residuos sean cargados junto con los tallos de caña de azúcar. (Fig. 1.3)



Figura 1.3 Cosecha manual. [3]

En México la cosecha de la caña no carece de tecnología para hacer una cosecha mecanizada, pero si influye el factor económico del agricultor como también influyen los terrenos accidentados con relieves o colinas, que por su estado tienen rocas o piedras evitando el paso de la cosechadora, por tal razón la mayoría de los agricultores lo hacen manualmente aplicando la técnica de la quema de la caña para facilitar su corte y prevenir accidentes como picaduras de víboras. Actualmente el Gobierno Federal como el Gobierno Estatal han implementado proyectos para la adquisición de estos equipos.

I.4.1 Ventajas de la cosecha en verde

En este sentido Molina (1998) afirma que la cosecha en verde de la caña de azúcar es una práctica que ha sido bien aceptada en muchos países debido a los beneficios que presenta, aunque implica nuevos retos tecnológicos. La implementación de la cosecha en verde traería beneficios como la disminución de la contaminación ambiental, mejora en la estructura y fertilidad de los suelos y menores requerimientos hídricos, entre otros.

La cosecha en verde de la caña de azúcar, contribuye favorablemente al mejoramiento de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, principalmente por el aporte de materia orgánica conformada por la hojarasca.

Esta hojarasca u otros residuos vegetales que quedan sobre el suelo, cuando no se queman en las labores pre y pos cosecha, constituyen una de las principales formas de transferir materiales y energía para el sostenimiento de los procesos que se desarrollan en el suelo, forma parte del alimento y de la energía utilizada por los organismos responsables de la descomposición de estos compuestos. Este aporte de biomasa se convierte en una reserva de materia orgánica y de minerales que van a realizar un aporte muy importante en el sistema de producción sostenible del cultivo de la caña de azúcar.

Al promover el reciclaje de nutrientes, como consecuencia las necesidades de fertilización pueden ser menores en especial la de nitrógeno, Molina, (1998). Igualmente estos residuos protegen al suelo al tener un efecto amortiguador al paso de la maquinaria, además de proteger a las cepas de caña sobre todo durante la cosecha y en especial en períodos húmedos; esto alarga la vida útil del cultivo y distancia los ciclos de renovación del mismo.

I.4.2. Desventajas de la cosecha en verde

Una agricultura productiva con altos rendimientos, generalmente produce también abundante cantidad de residuos agrícolas. El manejo de estos residuos es un verdadero arte y está relacionado con el éxito en la conservación del suelo y una producción agrícola rentable. Existe un rechazo por parte de los agricultores a la presencia de esta gran cantidad de residuos sobre el suelo, principalmente por la dificultad en las labores pos cosecha. Esta situación lleva a los agricultores a eliminar estos residuos bien sea por extracción o por medio de la quema (Crovetto, 1992).

Torres (1997) y Crovetto (1992) comparten opinión, al mencionar que existe un período crítico de 2 a 3 semanas después de la cosecha en verde de la caña de azúcar, especialmente si está cerca la época de lluvias, en el cual se debe evitar que los residuos de cosecha entren en contacto directo con las cepas de la caña, ya que el agua lixiviada por los residuos de cosecha tiene un efecto alelopático sobre las yemas que se encuentran en las cepas de la caña de azúcar. En la época seca los residuos pueden permanecer cerca de las cepas aunque es necesario encalle (reubicarlos en los surcos) para facilitar las labores poscosecha.

Tabla 1.1 Localización y nombre de cada Ingenio (Google Maps).

	UBICACIÓN	INGENIO
A	CORDOBA	SAN MIGUELITO
B	AMATLAN	SAN NICOLAS
C	CUAUTLAPAN	EL CARMEN
D	POTRERO NUEVO MPO ATOYAC	EL POTRERO
E	PASO DEL MACHO	CENTRAL PROGRESO
F	LOC.IGNACIO VALLARTA,MPO CUITLAHUAC	SAN JOSE DE ABAJO
G	LA PROVIDENCIA	PROVIDENCIA
H	MOTZORONGO	CENTRAL MOTZORONGO
I	TEZONAPA	CONSTANCIA

I.6 DISCUSIÓN

La gran producción y siembra de caña en el estado a llevado a colocarnos en el mayor estado en producción y cosecha de caña de azúcar, siendo también el 36% de la planta azucarera a nivel nacional.

La mayor ubicación de ingenios azucareros está situada en la zona centro del estado siendo 9 de los 22 ingenios en el estado, de estos se obtienen grandes producciones de azúcar y grandes cosechas de caña que es muy bien aprovechada ya que de cada hectárea aproximadamente se obtienen de 70 a 100 toneladas de caña, dependiendo del cuidado y mantenimiento del cañal siendo esta quemada y posteriormente para su corte.

La mayoría de la cosecha en Veracruz es una cosecha manual ya que una cosecha mecanizada es muy escasa por falta de maquinaria.

CAPÍTULO II

ÁREAS CONTAMINADAS

II.1 CONTAMINACIÓN DEL AIRE

II.1.1 QUEMA DE LA CAÑA

La quema de los campos cultivados cuando van a ser recolectados, es una práctica utilizada para facilitar la visibilidad, a la hora de cortar la caña, ya que se eliminan las hojas secas y la paja, evitando el deshoje manual y por tanto reduciendo la mano de obra campesina. De igual manera se reducen los accidentes por picaduras de víboras o alacranes (Fig. 1.5).

Estas prácticas están teniendo graves consecuencias tanto ambientales como para la salud y la economía de las personas. Desde el punto de vista medio ambiental, esta actividad provoca la pérdida de nitrógeno en la tierra, disminuyendo la población de microorganismos y el material orgánico del suelo.



Imagen 2.1 Quema de la caña [5]

Se puede observar en la figura anterior la gran cantidad de humo y cenizas que ocasionan la quema de la caña, teniendo grandes repercusiones en el medio ambiente así como problemas de salud para la humanidad.

Cabe mencionar que los humos en la quema de caña provoca contaminación, ya que emite al aire, monóxido de carbono, hidrocarburos y óxido de azufre, gases que inciden directamente en el aumento de enfermedades como bronquitis crónica, enfisema pulmonar y asma bronquial, entre otras, que afectan a la población colindante y en especial, a los menores (Revista ONG, 2008).

En lo que respecta a la contaminación atmosférica, Molina (1998) menciona que la quema de la caña de azúcar antes y después de la cosecha, se encuentra junto a otros factores como causa del deterioro de la calidad del aire. La adopción de la quema antes de la cosecha para facilitar este trabajo y de la requema de los residuos para facilitar las labores pos cosecha, generan un impacto ambiental negativo sobre todo en las poblaciones asentadas alrededor de las áreas de cultivo de la caña de azúcar.

II.1.2 EFECTOS DE LA QUEMA DE CAÑA

Los resultados de la práctica de quemas son de diversa naturaleza y merecen a la vez opiniones diferentes. Así mismo se destruye la superficie donde se encuentra la lombriz de tierra, la que es beneficiosa pues ventila la tierra facilitando la penetración del agua evitando inundaciones este hecho puede ser malo para los campos ya que la lombriz de tierra juega un papel muy importante en la preservación de la tierra en la que se va a cultivar la caña de azúcar.

Además las quemas provocan la huída de pájaros, los que colaboran con el equilibrio mediante el control de los insectos.

Esta práctica implica una gran desestabilidad para la flora y la fauna teniendo en cuenta que existen ciclos de vida que se ven interrumpidos por la quema de caña poniendo en peligro a nuestro ecosistema.

II.1.2.1 Consecuencias ambientales de la quema de caña

Ripoli (2000) indica que al quemar la caña de azúcar, como actividad previa a la cosecha, se presentan una serie de problemas ambientales como es la contaminación del aire aumentando los índices de emisiones de gases a la atmósfera provocando efecto invernadero, pero no tan sólo el aire es afectado a la hora de la quema de la caña si no también el suelo y a la salud de los que viven cerca de estos lugares.

La quema de la caña de azúcar altera de varias maneras el ambiente provocando en los mismos cambios que si bien no son muy notables, con el paso de los años generan daños considerables. De ahí la importancia de poder tener un vasto conocimiento de los mismos con el fin de comprender mejor la magnitud de dicha actividad.

Dentro de los elementos más afectados es el aire pero también se encuentra el suelo por la pérdida de fertilidad, ya que la quema hace que se pierda materia orgánica lo que provoca su esterilización. Además se promueve su erosión debido a que el fuego al eliminar la materia extraña acaba con la cubierta vegetal, provocando la erosión.

De igual manera la ceniza y el humo generado afecta a los animales, a la vez que contamina ríos y lagos cercanos a la quema. Dicha ceniza y humo producen dificultades en la visibilidad, lo que se torna sumamente peligroso en el caso de carreteras o aeropuertos cercanos al lugar de la quema.

Esta ceniza es conocida como tizne y se desplaza según la velocidad del viento. Mientras mayor sea la variabilidad de la dirección del viento, menor es la distancia frontal que recorre el tizne desde el sitio de la quema. (Chaves S. 2003)

Definiendo contaminación es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire y contaminantes como fenómenos físicos, o sustancias, o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente y sobre la salud humana, que solo o en combinación, o como subproductos de

reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de éstas (Sáenz A, 1997).

II.1.2.2 Consecuencias a la salud por la quema de caña y emisiones a la atmósfera en el proceso

Existe el problema con las personas que cortan la caña ya que por estar expuestas a altas temperaturas sufren además de quemaduras deshidratación, lo que a la postre les provoca infecciones urinarias.

La inhalación de partículas irritantes puede interferir principalmente el funcionamiento pulmonar, agravando la bronquitis crónica, la enfermedad constrictiva ventilatoria crónica, el enfisema pulmonar y el asma bronquial. (Timonen KI, 2002; Ostro D. B.1998; Contraloría del Departamento del Valle del Cauca, 1994 y 1995).

El factor determinante en el efecto en salud es el tamaño de las partículas (SESMA, 2002). Afectando a la población colindante y en especial, a los menores.

A continuación se presenta un ejemplo de las consecuencias que trae consigo la quema de caña hacia la salud de las personas de la localidad de Izúcar de Matamoros, Puebla:

En el esfuerzo por tratar de medir de alguna manera el impacto de las quemas en la caña de azúcar sobre la salud humana, se realizó un estudio sobre la contaminación atmosférica por partículas PM10 y la incidencia de enfermedades como estimación de una función dosis-respuesta en el Municipio de Izúcar de Matamoros del estado de Puebla, partiendo de la hipótesis de que esta práctica agrícola sí agrava las enfermedades respiratorias.

Este estudio es el primero en su tipo en llevarse a cabo en la región de Izúcar de Matamoros, por lo que los datos obtenidos en el monitoreo son valores de línea base de las concentraciones de material particulado en la época de zafra y no zafra de esta zona.

Mediante el monitoreo y la información proporcionada por el Campo Experimental e Ingenio de Atencingo, se obtuvieron los valores de los rangos de concentraciones promedio

mensuales del material particulado en el ambiente. Utilizando un modelo de dispersión para estimar la distribución relativa de las concentraciones de partículas por las principales fuentes emisoras, se determinaron las concentraciones típicas y la zona con las más altas concentraciones.

Se localizó las áreas homogéneas en donde la variación de las concentraciones fueron pequeñas y los efectos de fuentes individuales mínimas, se establecieron los siguientes puntos de monitoreo: Universidad de Izúcar de Matamoros (UTIM), Centro del Municipio de Izúcar de Matamoros y Campo experimental.

Los dos primeros nos ayudarán a conocer las condiciones respecto al material particulado en el ambiente del municipio de Izúcar de Matamoros, el último punto de monitoreo nos proporcionará información referente a la concentración de fondo. Posteriormente se procedió a estimar los niveles diarios de partículas en suspensión mediante un monitor de partículas AEROCET 531. Se generó una base de datos secundaria a partir de los promedios diarios de los puntos de monitoreo considerados para cada una de las variables.

El análisis inicial de los datos obtenidos en el monitoreo consiste en una exploración mensual de las mediciones, para evaluar el comportamiento del material particulado a lo largo del período de muestreo.

La frecuencia de incidencia de enfermedades respiratorias fue proporcionada por los principales centros de salud en Izúcar de Matamoros (IMSS Unidad: 22080120211, Subsección UMF/H No.24 I. de Matamoros, Puebla, SSA Unidad: 21070850001, Sc. Hosp. Gral. SSA de I. de Matamoros, Puebla). Se tomó en cuenta el número total de consultas de primera vez y subsecuentes por alguna enfermedad respiratoria de la población total, durante el periodo comprendido entre el 1 abril de 2001 y 1 abril de 2002. Para cada caso se obtuvo en que se solicitó la consulta, información sobre tipo de consulta, edad del paciente y diagnóstico principal.

Se realizó un análisis comparativo entre los meses enero-mayo (con zafra) y junio-julio (sin zafra) para determinar la correspondencia entre la frecuencia de enfermedades respiratorias en la población y los niveles del material particulado respirable. En función de las curvas de

tendencia de ambas variables, se determinó si el material particulado es un factor coadyuvante del aumento de enfermedades respiratorias.

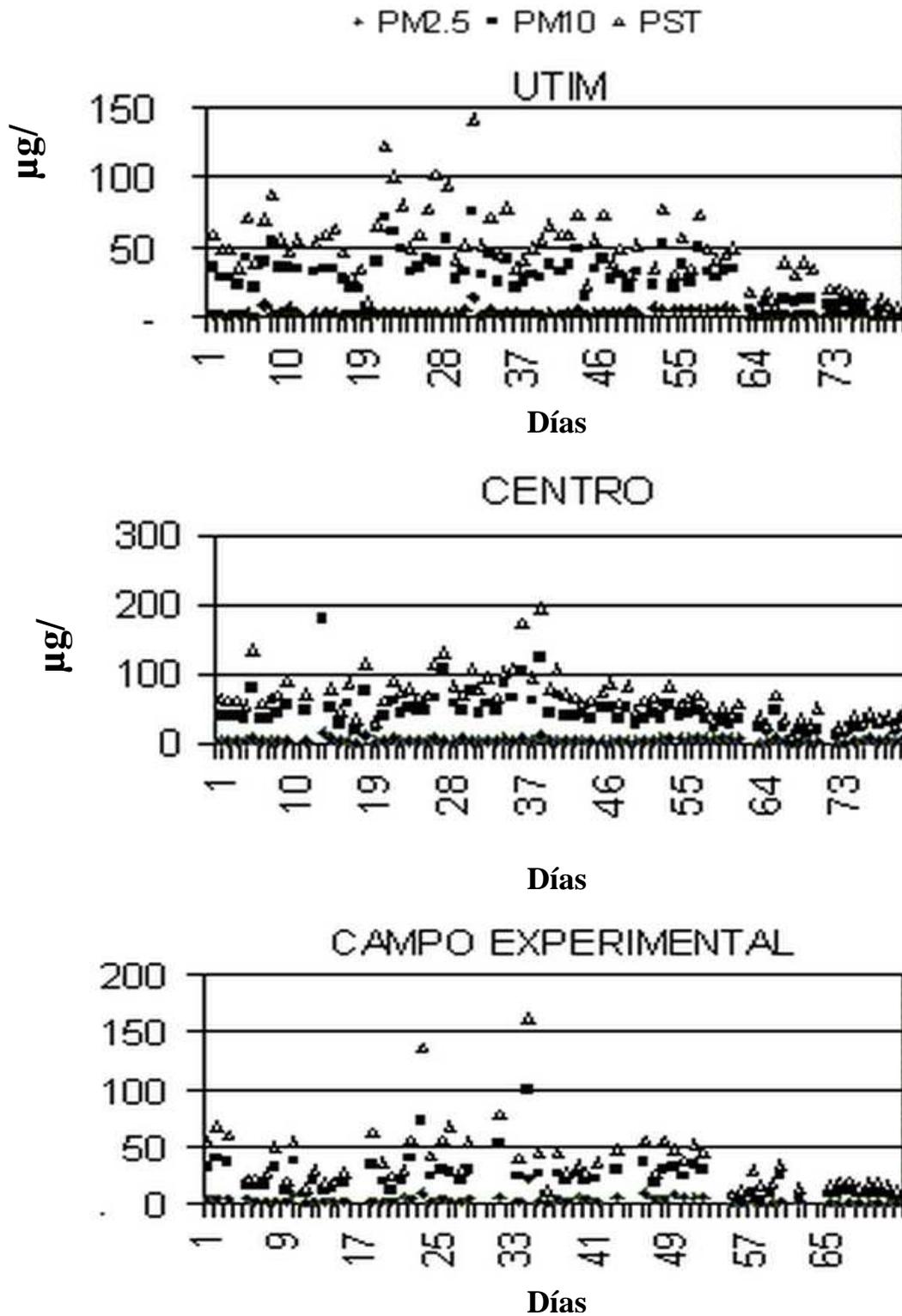


Figura 2.2 Concentración de MP en los 3 puntos de muestreo (Ruiz M., Arroyo O. 2002).

El monitoreo de material particulado en los meses posteriores a la época de zafra muestra que en el Centro de Izúcar de Matamoros, las concentraciones son aproximadamente 50% menor al obtenido durante la época de zafra, presentándose en los tres puntos de monitoreo una diferencia que 20-27 en los dos periodos.

Debido a las condiciones climatológicas y las características aerodinámicas de las partículas emitidas por la quema de caña, estas logran viajar largas distancias, por lo que sus concentraciones pueden afectar no sólo regiones aledañas a la zona cañera. De acuerdo al modelo de dispersión las concentraciones puede permanecen altas hasta distancias de aproximadamente 50 km.

En la siguiente figura se muestra simultáneamente el número de pacientes por mes con enfermedades respiratorias y las concentraciones de PM10, notándose que al disminuir PM10 de mayo a junio decrece también el número de pacientes, sin embargo en los meses más fríos hay otros factores que influyen sobre las enfermedades respiratorias, pareciera ser que la elevación del nivel de PM10 en marzo tuviera relación con este tipo de enfermedades.

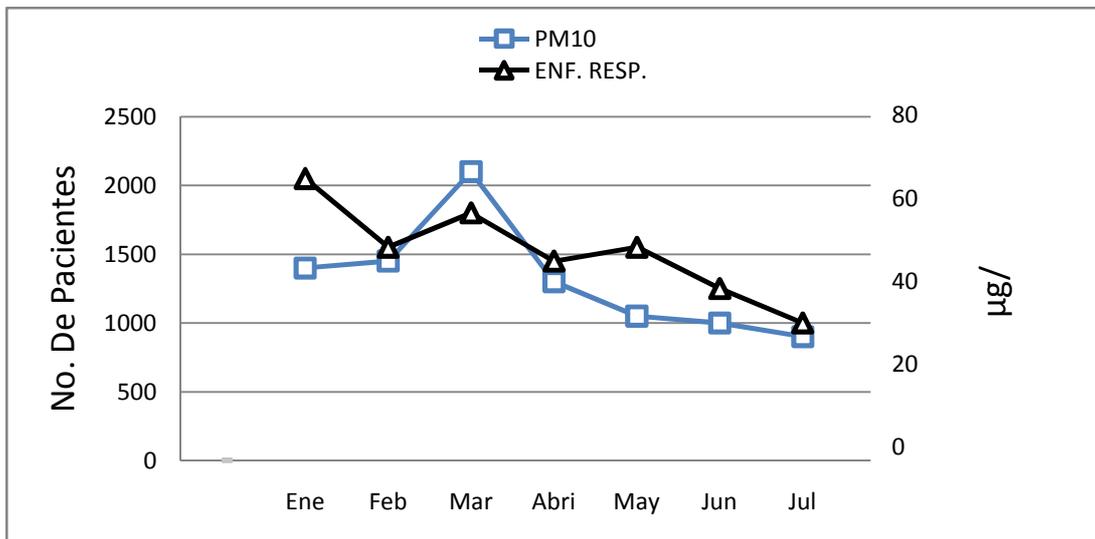


Figura 2.3 Incidencia de enfermedades respiratorias en el 2003 con relación a las partículas PM10 (Ruiz M., Arroyo O. 2002).

Los resultados del trabajo confirman los hallazgos de otros estudios (Molina D.2002; Hernández Y. 1995) que demuestran el efecto negativo sobre la salud que pueden tener niveles de contaminación que suelen considerarse seguros.

La frecuencia de incidencia de enfermedades respiratorias de la población de Izúcar de Matamoros se incrementa durante el periodo de zafra. La máxima concentración de partículas PM10 coinciden con los periodos de incremento de enfermedades respiratorias.

II.1.3 EMISIONES A LA ATMÓSFERA DEL PROCESO AZUCARERO

Las emisiones a la atmósfera en la etapa de molienda corresponden a humo, los gases de combustión en las calderas, partículas de carbón y las partículas de bagazo.

Los gases de combustión contienen principalmente CO₂ y otros gases que contribuyen de manera activa al efecto invernadero, por consiguiente al calentamiento global y a otros fenómenos como la lluvia ácida.

Las partículas de carbón y cenizas también generan importantes daños, como la contaminación de cuerpos de agua, contaminación de suelo e intoxicación de flora y fauna. También pueden ocasionar patologías en la sociedad, principalmente las de índole respiratorio y ocular.

Las partículas de bagazo también pueden generar un impacto negativo en la salud humana, ocasionando un padecimiento llamado neumonitis por hipersensibilidad, mejor conocido como “bagazosis” y que pertenece al grupo de enfermedades bronco-respiratorias.



Figura 2.4 Emisiones de humo a la atmosfera. [6]

Como se ha mencionado al igual que la quema de caña, las emisiones de gases a la atmósfera en el proceso, también contribuye a un gran impacto ambiental ofrecido por la quema de combustibles fósiles como es el petróleo y gas natural, también cabe mencionar que la quema de bagazo en las calderas produce una gran contaminación por todo el tizne emitido y por el CO ya que es quemado con una gran humedad. A diferencia de estos combustibles el gas natural es el que menos problemas de contaminación crea ya que se quema en su totalidad al utilizarse.

La figura 1.8 muestra el claro ejemplo de la contaminación en el proceso de fabricación de azúcar, teniendo por primera vista las chimeneas del ingenio, observando la gran cantidad de humo y cenizas que este brinda al medio ambiente.

II.1.4 DISCUSIÓN

Las emisiones en el proceso y la quema de caña son temas de gran importancia ya que son de los mayores contaminantes al aire provocando enfermedades respiratorias y ocasionando un gran impacto al medio ambiente, estas prácticas que tienen gran tiempo utilizándose deben de ser modificadas para la mitigación o reducción de las emisiones contaminantes, ya que si se sigue así las afectaciones hacia nuestro ambiente y nuestra salud serán aún mayores.

II.2 CONTAMINACIÓN DEL AGUA

II.2.1 USO DEL AGUA

La industria azucarera utiliza grandes cantidades de agua, sobre todo en el lavado de la caña y la condensación de vapor, también incluye el lavado del carbón animal y carbón activo, suministro de agua a las calderas, soluciones del proceso, lavado de los filtros, para el intercambio de iones en el enfriamiento sin contacto, agua para compensar las pérdidas en la alimentación de la caldera, agua para la ceniza volante y agua para el lavado de los pisos.

Estas grandes cantidades de agua utilizada son muy pocas veces tratadas para su descontaminación siendo vertidas en los ríos o arroyos cercanos a la industria provocando un gran efecto de contaminación para las comunidades cercanas a esta.

Según la OMS (Organización Mundial de la Salud), el agua está contaminada cuando su composición se haya alterado de modo que no reúna las condiciones necesarias para el uso al que se la hubiera destinado, en su estado natural.

II.2.2 PRINCIPALES PARÁMETROS AMBIENTALES DEL AGUA DE DESECHO

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Es un parámetro donde se mide la capacidad de consumo de oxígeno de la materia orgánica (prueba de 5 días). Durante la descomposición, los efluentes orgánicos ejercen una DBO₅ que puede agotar el suministro de oxígeno.

Los niveles de DBO₅ en la industria azucarera son los siguientes:

Tabla 2.1 Niveles de DBO₅ (Chen, J. P. (1991))

	Fibra de crudos (mg/l)	Refinerías (mg/l)
Agua del lavado de la caña	260-700	---
Agua del condensador	30-150	4-21
Suspensión del lodo del filtro	2900-11,000	730
Desechos del carbón animal	---	750-1200
Agua de lavado de vagones y camiones	---	15,000-18,000

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Se utiliza ampliamente para medir la cantidad total de oxígeno necesaria para la oxidación de la materia orgánica. Esta prueba se lleva a cabo en un periodo corto, a diferencia de la prueba de la DBO₅.

El Oxígeno Disuelto (OD)

Constituye un componente de la calidad de agua. Cuando su concentración es la adecuada, los organismos vivientes se mantienen en un estado vigoroso y la reproducción y la población se mantienen.

En el caso de los cuerpos de agua con baja capacidad asimilativa, el OD es un indicador del agotamiento de oxígeno.

II.2.3 AREAS DONDE SE UTILIZA EL AGUA

MOLIENDA

El proceso de molienda se divide en dos partes: preparación de la caña y la verdadera molienda de la caña. La preparación de la caña inicia pesándola, posteriormente viene el rompimiento de sus estructuras duras, esto se realiza mediante cuchillas giratorias que cortan la caña en trozos pero no extraen el jugo. Después pasan a la desfibradora que reduce la caña a tiras, sin extraer el jugo.

La molienda de la caña se realiza en unidades múltiples llamadas tándem de molinos, a través de las cuales pasa sucesivamente la caña exprimida o bagazo. El número de molinos que se utilizan para esta operación es de cinco en la mayoría de los ingenios.

Para ayudar a la extracción del jugo se aplican aspersiones de agua o jugo diluido sobre la capa de bagazo después de que sale de las unidades de molienda. Este proceso es conocido como imbibición.

EVAPORACIÓN

El objetivo de la evaporación es concentrar el jugo eliminando agua. La concentración o evaporación es realizada en vasos o evaporadores (por lo regular cuatro) colocados en serie y son conocidos como de múltiple efecto, porque el vapor que sale de un evaporador sirve para calentar el siguiente.

En la concentración del jugo, se elimina una cantidad de agua equivalente al 75 o 78 % del peso del jugo y se obtiene una meladura con una concentración de 65 a 70 ° Brix.

CRISTALIZACIÓN

La finalidad de la etapa de cristalización es producir cristales de azúcar satisfactoriamente a partir del jarabe o las mieles, mediante operaciones cíclicas. En esta etapa se utilizan los equipos denominados “tachos al vacío”, con estos equipos son concentradas por evaporación al vacío (24 in Hg) las soluciones azucaradas que se van a cristalizar. El vacío al que se someten

esos equipos tiene por objeto hacer la cocción a una temperatura más baja, es decir, que el agua contenida en los materiales en vez de hervir a 100 ° C lo hace a 60 ° C, evitando con esto la pérdida de sacarosa por caramelización y el oscurecimiento del producto.

II.2.4 DESECHOS Y AGUAS RESIDUALES

El término agua residual define un tipo de agua que está contaminada, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación.

II.2.4.1 Agua de lavados

En la molienda el agua de lavado de caña muy importante por su volumen aunque su contenido de materia orgánica e inorgánica no sea alto. En la molienda también se generan aguas que vienen de las chumaceras de los molinos, contaminadas con grasa y aceites, que son usados para la lubricación y entran en la clasificación de residuos peligrosos de acuerdo a la NOM-052-ECOL-93. También se utilizan esos contaminantes en distintos equipos de toda la planta.

Al ser vertidos en cuerpos de agua o al suelo, las aguas de lavado generan alteraciones importantes en el equilibrio del ecosistema correspondiente, como puede ser la intoxicación de flora y fauna debido a la presencia de compuestos químicos, grasas, aceites, o el crecimiento excesivo de ciertas “algas” (en los cuerpos de agua) debido a la gran cantidad de nutrientes que las aguas residuales de este proceso contienen y cuyo problema principal es que acaban con el oxígeno disuelto provocando así la muerte de otros organismos. También pueden ocasionar la esterilidad del suelo.

II.2.4.2 Agua residual en la evaporación

En la evaporación se elimina agua en forma de vapor y posteriormente esta se condensa, dichos condensados en ocasiones llevan consigo arrastres de azúcar, lo que representa una contaminación, por la demanda bioquímica de oxígeno.

Además de los condensados, también se desechan aguas de lavados de los evaporadores y calentadores, en los cuales se utilizan ácido clorhídrico y sosa cáustica para su limpieza.

II.2.4.3 Aguas de condensadores

Otro desecho de la etapa de cristalización son las aguas de los condensados del vapor que se genera al evaporar el jarabe en los tachos. Este generalmente tiene un bajo contenido de DBO y representa un volumen elevado, mientras que los residuos concentrados son generalmente de pequeño volumen pero un elevado contenido de materia orgánica.

Parashar (1969). Ha dividido los efluentes de las fábricas de azúcar en dos categorías, denominadas cargas de alta contaminación y cargas sin contaminación. Los efluentes de alta carga tiene un DBO de 2,000.0 a 3,000.0 ppm.

Estas aguas pueden alcanzar grandes temperaturas, por lo que al ser vertidas en otros cuerpos de agua o al suelo ocasionan infertilidad, muerte de microorganismos benéficos y en el caso del agua reducción en la cantidad de oxígeno disuelto.

II.2.5 DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES

La descarga de aguas residuales en la industria azucarera se puede efectuar de dos formas: una es a lagunas o verter las a los ríos aledaños al ingenio azucarero.

El término laguna indica un sistema de retención de aguas, de construcción humana, con cualquier propósito; el propósito suele estar indicado por el término a continuación de laguna. Se encuentran lagunas para regadío, para alimentación de centrales hidroeléctricas, de tratamiento de aguas servidas y muchas otras.

Las Lagunas de Tratamiento de Aguas Servidas, algunas veces llamadas de estabilización, tienen como propósito explícito conseguir que las aguas acumuladas en ellas lleguen a cumplir un conjunto de parámetros cuantitativos, fijados por ley, que permitan su descarga al ambiente receptor sin ocasionar problemas ambientales ulteriores. Los parámetros suelen estar relacionados con el potencial de riesgo a la salud pública, la cantidad de orgánicos

disueltos, los sólidos suspendidos, las materias grasas, el contenido de nitrógeno orgánico, el contenido de fosfatos, la ausencia de olor y la ausencia de color.

II.2.6 TIPOS DE LAGUNAS

El sistema de tratamiento por lagunas ha tenido diversas adaptaciones tecnológicas, según el grado de tratamiento deseado

Las posibles variaciones en lagunas de tratamiento de aguas servidas se pueden clasificar de distintas maneras, pero una de las más habituales las clasifica según la participación del oxígeno disuelto en el sistema:

LAGUNAS ANAEROBIAS

Las lagunas anaerobias son aquellas que tienen una gran carga orgánica por unidad de área. La carga orgánica en este tipo de lagunas es de 220 a 550 Kg DBO/día por hectárea de terreno. El tiempo de retención promedio del agua en la laguna es de 20 a 50 días y la profundidad varía de 2.5 a 5 metros. En este tipo de lagunas ocasionalmente, se tienen condiciones aerobias en la superficie de la laguna, pero la mayor parte del tiempo las condiciones anaerobias persisten en toda la laguna.

En este tipo de lagunas, el material orgánico suspendido sedimenta en el fondo del recipiente y se descompone anaeróbicamente formando inicialmente ácidos orgánicos y posteriormente la digestión en condiciones de anaerobiosis conduce a la descomposición de dichos ácidos volátiles orgánicos a bióxido de carbono y metano principalmente.

LAGUNAS FACULTATIVAS

Las lagunas facultativas, son la variación más importante en la depuración de aguas residuales en este tipo de tratamiento. Una laguna facultativa típicamente maneja cargas orgánicas de entre 55 y 200 Kg DBO/día por hectárea de terreno, con un tiempo de retención de entre 5 y 30 días. La profundidad de la laguna es de 1.2 a 2.5 m.

En este tipo de lagunas facultativas se tienen varias capas o zonas en las cuales se tienen condiciones aerobias, facultativas y anaerobias.

LAGUNA FACULTATIVA AEROBIA

Las condiciones aerobias que existen en la parte superior de una laguna facultativa aerobia se deben a la acción conjunta del viento y de la actividad fotosintética que se presenta en el cuerpo de agua.

Los nutrientes que se hallan presentes en las aguas residuales, principalmente nitrógeno y fósforo, favorecen la eutrofización del acuífero. Las algas formadas en la superficie al efectuar el proceso de fotosíntesis y producir más biomasa, requieren de bióxido de carbono del aire o del medio circundante para la síntesis de carbohidratos y proteínas y al mismo tiempo liberan oxígeno. La reacción simple del proceso de fotosíntesis es:



El oxígeno producido en este proceso de fotosíntesis que se efectúa en la capa superficial, así como el que se integra desde la atmósfera hacia el agua a través del viento, es consumido por los microorganismos que degradan aeróbicamente el material orgánico, y eventualmente una parte de este oxígeno se transfiere a la capa mas interna que es la capa facultativa.

LAGUNA FACULTATIVA AIREADA

Una laguna facultativa aireada es similar a una laguna facultativa aerobia. Su diferencia con la facultativa aerobia es en la forma de tener una capa superficial aerobia. En la laguna facultativa aireada la oxigenación se lleva a efecto por medio de aireadores mecánicos superficiales.

Una de las ventajas en esta variación del proceso es que no se forma la biomasa autotrófica de algas y microorganismos que crecen y se desarrollan por efecto de la energía solar.

LAGUNAS COMPLETAMENTE AIREADAS O DE MEZCLA TOTAL

Las lagunas completamente aireadas o de mezcla total, son aquellas en las cuales por agitación mecánica los sólidos suspendidos no se encuentran depositados en el fondo del estanque, sino

que están completamente mezclados, en forma similar a como ocurre en un digestor biológico de lodos activados.

Al tener mayor contacto los lodos con el agua a depurar, el proceso es más eficiente y se requiere de menor tiempo de residencia para lograr una disminución significativa de la demanda bioquímica de oxígeno.

LAGUNAS AEROBIAS DE MADURACIÓN

Las lagunas de maduración es una forma de depurar las aguas residuales tratadas, así como de desinfectar dichas aguas tratadas.

Una laguna de maduración se emplea cuando se tiene un agua que previamente ha recibido un tratamiento para disminuir su DBO y se pretende incrementar la calidad del agua. Por ejemplo: si un agua con alto contenido de material orgánico se trata inicialmente en una laguna facultativa y el efluente de esta laguna facultativa se pasa a una segunda laguna, ésta será de maduración.

En la laguna de maduración se forma una capa aerobia, en la cual se desarrolla una biomasa de algas y microorganismos fotosintéticos que proporcionan el oxígeno necesario para la degradación aerobia del sustrato residual.

II.2.7 DISCUSIÓN

La contaminación de las aguas es uno de los factores importantes que rompe esa armonía entre el hombre y su medio ambiente, precisándose en consecuencia luchar contra ella para recuperar el equilibrio necesario.

El uso del agua en un Ingenio Azucarero es sinónimo de contaminación ya que muy pocos ingenios tratan sus aguas, solamente la almacenan y posteriormente la depositan en los ríos cercanos a este, provocando grandes cantidades de contaminación para la flora, fauna y seres vivos aledaños al Ingenio Azucarero.

Esta alta contaminación nos lleva a pensar y decidir en los cambios o practicas necesarias para mitigar o eliminar la contaminación del agua, es un gran reto pero no es un imposible ya que día con día se van generando y actualizando las técnicas y maquinarias para lograr esto.

II.3 CONTAMINACIÓN DEL SUELO

II.3.1 FACTORES QUE PROPICIAN LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO

El suelo también es un medio que es contaminado por la industria azucarera, ya que por medio de las practicas mencionadas anteriormente con lleva a la contaminación y el dañado ambientalmente.

II.3.2 DESECHOS Y ACTIVIDADES QUE PROPICIAN LA CONTAMINACIÓN

II.3.2.1 La quema de caña

La quema de caña tiene un gran impacto hacia el suelo ya que a la hora de la cosecha, la caña es quemada y dentro de los elementos afectados se encuentra el suelo por la pérdida de fertilidad, ya que la quema hace que se pierda materia orgánica lo que provoca su esterilización o erosión.

II.3.2.2 Vinazas

El desecho de las destilerías mejor conocidas como vinazas, tiene un gran impacto ambiental al suelo afectando directa e indirectamente a la flora y a la fauna. Se dice que por cada hectolitro de alcohol se producen 15 hectolitros de vinaza con residual, es este líquido espeso que queda después de la fermentación y destilación con un color café oscuro.

(P. Lezcano).

Las vinazas, en general, contienen un gran contenido de materia orgánica y nutrientes como, nitrógeno, azufre, fósforo y una gran cantidad de potasio. Entre los compuestos orgánicos mas importantes están los alcoholes, ácidos orgánicos y aldehídos. Además contiene compuestos fenolicos recalcitrantes, como las melanoidinas que son acidas de un PH entre 3 y 4.

Este líquido a pesar de los grandes nutrientes orgánicos que contiene para el desarrollo y crecimiento de la planta, su acidez es la que conlleva que no sea una buena opción para ser vertida como abono, ya que al tener que verterla como abono, hay que estabilizar el líquido ácido con cal (base) esta reacción provoca que con el paso del tiempo una placa o plancha de cal aparezca en el campo perdiendo su fertilidad ya que pasaría de un campo fértil de tierra a un piso sólido de cal.

II.3.2.3 Cachazas

Durante la etapa de decantación del jugo de caña se generan lodos. Para recuperar el jugo de estos lodos, se agrega bagacillo, se regula el pH con adición de cal, y se realiza una filtración a vacío. La torta de sólidos generada es la cachaza.

La descomposición de la cachaza también contribuye con la emisión de gases como el CO₂ y el metano, aparte de tener un olor muy desagradable. Es fuente de criadero de moscas y otras alimañas y combustión espontánea en estado seco al estar expuesta al sol. Si no se trata antes de adicionarla como nutriente para el suelo ocasiona retraso en el crecimiento de los cultivos cuando es incorporada en el momento de la siembra.

II.3.3 DISCUSIÓN

La falta de tecnología y sobre todo la falta de interés y las auditorías burladas para evitar sanciones han contribuido a la gran contaminación de las zonas cañeras abarcando los tres parámetros que son el aire, agua y suelo provocando afectaciones severas al ecosistema que le rodea.

La implementación de nuevas técnicas y nueva tecnología a las centrales azucareras del estado propiciara la eliminación o la mitigación de cargas contaminantes a nuestro ecosistema, así también nos veremos beneficiados hacia nuestra salud.

Teniendo ya un conocimiento de todas las afectaciones que rodea a la industria azucarera, podemos partir de varios puntos pero antes analizando las necesidades que requiere el ingenio, los problemas de contaminación y la falta de tecnología, se pueden llevar a una mejora con el aprovechamiento del 100% de toda la caña de azúcar. Se llegaría al punto

donde se cumpliría el objetivo que es la mitigación o reducción de las cargas contaminantes de los ingenios azucareros y así mismo la modernización de los centros cañeros.

Estos avances no son imposibles y hablando no muy a futuro los podríamos ver ya implementados en los ingenios del estado.

CAPÍTULO III
ESTRATEGIAS DE
MITIGACIÓN

La mitigación es la reducción o atenuación de los daños potenciales sobre la vida y los bienes causados por un evento.

Como ya se han mencionado todos los aspectos contaminantes de la industria azucarera, se tiene en mente los problemas ambientales a tratar, cabe decir que cada industria tiene diferentes áreas que contaminan, esto nos llevaría a realizar antes estudios y diagnósticos del problema en cada una de las industrias de nuestro estado, para así efectuar las estrategias necesarias para cada una de ellas.

III.1 CONTROL DE EMISIONES

III.1.1 Cosecha de caña en verde

Una de las estrategias que se pueden utilizar es la cosecha de la caña en verde ya que la práctica tradicional en los ingenios azucareros para la cosecha de caña consiste en quemar la plantación para facilitar la recolección de los tallos. Sin embargo la quema de una sola hectárea de plantación de caña significa emitir a la atmósfera más de 160 kg de bióxido y monóxido de carbono. (SAGARPA, 2009).

Al cosechar la caña en verde y evitar la combustión en los campos cañeros se ahorra agua, energía eléctrica y combustible, se reduce el impacto sobre la contaminación del agua y se protege el ambiente, a la flora y la fauna del agro sistema cañero.

Esta práctica permite la incorporación de materia orgánica al suelo incrementando el contenido de carbono, aumenta su fertilidad y promueve que con el tiempo se disminuya la dosis de fertilizante aplicado, además de ayudar a conservar mayor contenido de humedad en el suelo. La cosecha mecanizada de caña de azúcar representa una ventana de oportunidad tecnológica que no sólo reduce costos y hace más eficiente la operación de cosecha y entrega de caña al ingenio, sino que minimiza los impactos negativos al medio ambiente contribuyendo con la productividad de los ingenios y el mejoramiento del nivel de vida de los productores y habitantes de las zonas cañeras de México.

A través del *Programa de Adquisición de Activos Productivos*, la SAGARPA impulsa la cosecha en verde de caña de azúcar otorgando apoyos para la adquisición de cosechadoras implementadas para este fin. Con este programa se han dejado de quemar más de 152,000.0 hectáreas anualmente y se tiene la meta de llegar a 188,000.0 hectáreas en 2012.

Se tiene estimado que estas acciones permitirán evitar arrojar a la atmósfera 430 mil toneladas de bióxido de carbono en el período.

III.1.2 Aprovechamiento de la quema de biomasa para generación de energía

Antes de que la biomasa pueda ser usada para fines energéticos, tiene que ser convertida en una forma más conveniente para su transporte y utilización. A menudo, la biomasa es convertida en formas derivadas tales como carbón vegetal, briquetas, gas, etanol y electricidad.

Las tecnologías de conversión incluyen desde procesos simples y tradicionales, como la producción de carbón vegetal en hogueras bajo tierra; hasta procesos de alta eficiencia como la dendro-energía y la cogeneración.

A continuación se presentan los procesos de conversión de biomasa más relevantes, los cuales se pueden clasificar en tres categorías:

- Procesos de combustión directa.
- Procesos termo-químicos.
- Procesos bio-químicos

PROCESOS DE COMBUSTIÓN DIRECTA

Esta es la forma más antigua y más común, hasta hoy, para extraer la energía de la biomasa. Los sistemas de combustión directa son aplicados para generar calor, el cual puede ser utilizado directamente, como por ejemplo, para la cocción de alimentos o para el secado de productos agrícolas. Además, éste se puede aprovechar en la producción de vapor para procesos industriales y electricidad. Las tecnologías de combustión directa van desde

sistemas simples, como estufas, hornos y calderas, hasta otros más avanzados como combustión de lecho fluidizado.

PROCESOS TERMO-QUÍMICOS

Estos procesos transforman la biomasa en un producto de más alto valor, con una densidad y un valor calorífico mayor, los cuales hacen más conveniente su utilización y transporte.

Cuando la biomasa es quemada bajo condiciones controladas, sin hacerlo completamente, su estructura se rompe en compuestos gaseosos, líquidos y sólidos que pueden ser usados como combustible para generar calor y electricidad. Dependiendo de la tecnología, el producto final es un combustible sólido, gaseoso, o combustible líquido. El proceso básico se llama pirolisis o carbonización. (BUN-CA.2002)

PROCESOS BIO-QUÍMICOS

Estos procesos utilizan las características bio-químicas de la biomasa y la acción metabólica de organismos microbiales para producir combustibles gaseosos y líquidos. Son más apropiados para la conversión de biomasa húmeda que los procesos termo-químicos. Los más importantes son:

Digestión anaeróbica: la digestión de biomasa humedecida por bacterias en un ambiente sin oxígeno (anaeróbico) produce un gas combustible llamado biogás. En el proceso, se coloca la biomasa (generalmente desechos de animales) en un contenedor cerrado (el digestor) y allí se deja fermentar; después de unos días, dependiendo de la temperatura del ambiente, se habrá producido un gas, que es una mezcla de metano y dióxido de carbono.

III.1.1 TÉCNICAS DE CONTROL

Algunas técnicas para controlar la emisión de contaminantes del aire no requieren equipo adicional, mientras que otras requieren control "agregado". El control agregado es aquel que se añade a los procesos que generan contaminación con la finalidad de destruir o capturar los contaminantes. La técnica elegida para controlar la emisión de contaminantes en una determinada fuente depende de muchos factores; el más importante es si el contaminante es un gas o una partícula.

Las técnicas para limitar la emisión de contaminantes del aire sin el uso de control agregado son:

- a) Cambio de procesos
- b) Cambio de combustibles
- c) Buenas prácticas de operación

Estos métodos de control se aplican tanto para los gases como para las partículas. “El método más común de control de contaminantes gaseosos es la adición de dispositivos de control agregado para destruir o recuperar un contaminante”.

En la figura 3.1 se presenta un diagrama de flujo con relación al control de emisiones contaminantes, derivándose en técnicas de control agregado y técnicas de control no agregado.

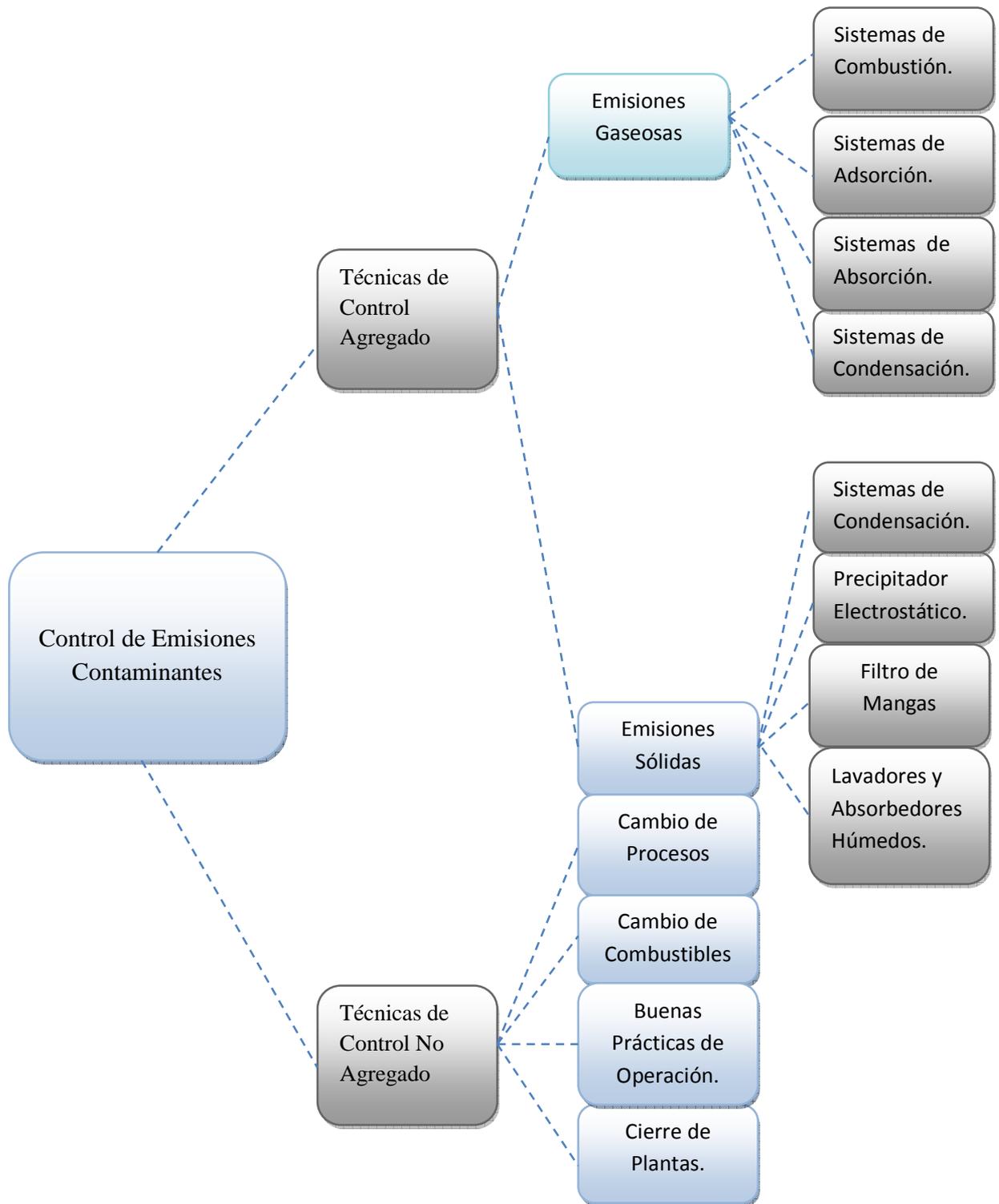


Figura 3.1 Diagrama de control de emisiones contaminantes (Martínez A. 2009).

III.1.1.1 Técnicas de control no agregado para emisiones contaminantes

a) Cambio de procesos.

Alrededor del año 1885, se quemaba bagazo húmedo en calderos elementales y con el avance del tiempo y la tecnología se ha introducido mejoras progresivas a los primitivos hornos y en la actualidad se tiene variedad de hogares de combustión de bagazo y sistemas de alimentación y aprovechamiento de combustibles sólidos y sus gases.

Con el secado de un producto se logra bajar los valores e humedad del mismo y consecuentemente mejorar la producción de calor en la combustión de una unidad de masa de combustible (bagazo).

El bagazo al tener una humedad promedio luego de la molienda de 50% en base húmeda, puede ser secado hasta valores convenientes (> 30%) que procuren mejores condiciones térmicas en la combustión y consecuentemente incremento en la eficiencia térmica de los calderos de bagazo, además que el consumo de combustible en los calderos de bagazo es función del porcentaje de humedad en base húmeda con que se presente el bagazo.

b) Cambio de combustibles.

Los combustibles fósiles, el petróleo, el carbón y el gas contribuyen de manera muy importante al calentamiento del planeta, que constituye un riesgo múltiple para la agricultura y otras actividades humanas. Además, los expertos afirman que las reservas de combustibles fósiles sólo durarán otros 40 o 50 años.

Con la caña de azúcar, ya sea el azúcar o el bagazo se pueden aprovechar como fuente de energía. El bagazo es lo que queda una vez exprimida la caña, y resulta muy útil como combustible, forraje y material para construcción. Los ingenios azucareros utilizan el bagazo como fuente de energía, para obtener calor durante el proceso de elaboración del azúcar. La tecnología moderna permitiría aprovechar el bagazo con mucha más eficiencia, de modo que sobra mucho que se puede utilizar para generar electricidad mediante una central normal de combustión y generación de energía.

c) Buenas prácticas de operación

Secador de bagazo

Cada tonelada de bagazo contiene 500 litros de agua que se evaporan durante la combustión. En presencia del bióxido de azufre generado por combustión se produce ácido sulfúrico que corroe las partes internas de la caldera, ductos y ventiladores. Un sistema de secado de bagazo traería ahorros por 400,000 USD. (CONAE, 2007).

III.1.1.2 Técnicas de control agregado para emisiones contaminantes

1. Emisiones Gaseosas

a) Combustión.

Los dispositivos de combustión incluyen equipos tales como incineradores termales y catalíticos, quemadores, calderos y calentadores industriales.

La combustión es la rápida oxidación de una sustancia producto de la combinación del oxígeno con un material combustible en presencia de calor.

b) Procesos de Absorción

Basan su funcionamiento en el hecho de que los gases residuales están compuestos de mezclas de sustancias en fase gaseosa, algunas de las cuales son solubles en fase líquida. En el proceso de absorción de un gas, el efluente gaseoso que contiene el contaminante a eliminar se pone en contacto con un líquido en el que el contaminante se disuelve. La transferencia de materia se realiza por el contacto del gas con el líquido en lavadores húmedos o en sistemas de absorción en seco.

c) Procesos de Adsorción.

Una alternativa a los sistemas de absorción por líquido lo constituye la adsorción de los contaminantes sobre sólidos. En los procesos de adsorción los gases, vapores y líquidos se retienen sobre una superficie sólida como consecuencia de reacciones químicas y/o fuerzas superficiales.

Se produce una difusión desde la masa gaseosa hasta la superficie externa del sólido y de las moléculas del gas dentro de los poros de sólido seguida de la adsorción propiamente dicha de las moléculas del gas en la superficie del sólido. Los sólidos más adecuados para la adsorción son aquellos que tienen una elevada porosidad y área superficial para facilitar el contacto sólido-gas. Periódicamente, es necesaria la sustitución o regeneración del adsorbente para que su actividad no descienda de determinados niveles.

d) Los condensadores remueven contaminantes gaseosos mediante la reducción de la temperatura del gas hasta un punto en el que el gas se condensa y se puede recolectar en estado líquido. La condensación se puede lograr mediante un incremento de la presión o la extracción de calor de un sistema. La extracción de calor es la técnica que más se emplea. Los condensadores se usan generalmente para recuperar los productos valiosos de un flujo de desechos. Usualmente se usan con otro dispositivo de control donde los gases remanentes del flujo contaminante pueden destruirse en un incinerador.

2. Emisiones Sólidas

A continuación se mencionan las distintas tecnologías que se cuentan con respecto a la captación de emisiones sólidas.

a) Colectores de Inercia (Ciclones)

Los ciclones son los equipos de separación inercial que poseen una mayor eficacia en la captación de partículas. Están formados básicamente por un recipiente cilíndrico vertical donde se introduce tangencialmente el gas portador, cargado de partículas de polvo. La corriente se desvía en círculo y por efecto de la fuerza centrífuga, las partículas se lanzan al exterior al formar la mezcla gaseosa un remolino vertical descendente. Esta corriente en espiral del gas cambia de dirección al llegar al fondo del recipiente y sale por el conducto situado en el eje.

Los ciclones son dispositivos útiles y baratos para la captación en seco de polvo ligero o grueso. Sin embargo, la eficiencia de captación de estos equipos es muy baja, sobre todo, en la eliminación de partículas pequeñas, por lo que su utilización se reduce, por lo general, a desempolvado previo al paso de los gases por un sistema más eficaz.

b) Precipitadores Electrostáticos

Los precipitadores electrostáticos basan su principio de funcionamiento en el hecho de cargar eléctricamente las partículas, para una vez cargadas someterlas a la acción de un campo eléctrico que las atrae hacia los electrodos que crean el campo, depositándose sobre ellos. Los precipitadores más utilizados a escala industrial son los de diseño de etapa única, por su gran capacidad de tratar gases con concentraciones de polvo muy altas. Estos precipitadores pueden separar cualquier tipo de sustancia en forma de partículas, alcanzando eficacias superiores al 99%, siempre que la resistividad eléctrica de las partículas no sea demasiado alta, en este caso será necesario acondicionar la corriente gaseosa con la adición de determinados productos.

c) Filtro de Mangas

El sistema de filtros consiste en hacer pasar una corriente de gases cargados con partícula de polvo a través de un medio poroso donde queda atrapado el polvo. El filtro de mangas ha sido uno de los más utilizados durante los últimos años, ya que pueden tratar grandes volúmenes de gases con altas concentraciones de polvo. Con este tipo de equipos pueden conseguirse rendimientos mayores del 99%, independientemente de las características de gas, haciendo posible la separación de partículas de un tamaño del orden de 0.01 micras. Conforme pasa el gas, la capa de polvo depositado sobre el material filtrante, que colabora en el proceso de interceptación y retención de partículas de polvo, se va haciendo mayor, aumentando la resistencia al flujo y la pérdida de carga, lo que obliga a disponer de mecanismos para la limpieza automática y periódica del filtro.

d) Lavadores y Absorbedores húmedos

Los lavadores y absorbedores húmedos son equipos en los que se transfiere la materia suspendida en un gas portador a un líquido absorbedor en la fase mezcla gas-líquido, debido a la colisión entre las partículas de polvo y las gotas de líquido en suspensión en el gas. El absorbedor de columna de relleno contiene una sustancia inerte (no reactiva), como plástico o cerámica, que aumenta la superficie del área líquida para la interfaz líquida/gaseosa. El material inerte ayuda a maximizar la capacidad de absorción de la columna. Además, la introducción del gas y líquido en extremos opuestos de la columna permite que la mezcla sea más eficiente debido al flujo contra corriente que se

genera. Los absorbedores pueden alcanzar una eficiencia de remoción mayor de 95 por ciento.

III.1.2 UTILIZACIÓN DE BIOMASA COMO COMBUSTIBLE EN CALDERAS

El combustible que se utiliza en las diferentes calderas de los ingenios azucareros es la Biomasa (Bagazo, Desechos de la caña) que se obtiene en la molienda de la caña diariamente, sin tener almacenamiento del bagazo, pre secado, como tampoco ningún proceso de preparación (trituration, transporte neumático, secado) del combustible sólido, por lo que la humedad promedio está en el orden del 50% en base húmeda. Sólo en bagazo y paja en los cañaverales se almacena el equivalente a cerca de 1 ton de petróleo por cada tonelada de azúcar producida. (Martínez A. 2009).

La quema de bagazo en la producción de azúcar ha elevado la emisión de contaminantes en los Ingenios ya que no cuentan con calderas adecuadas para estos procesos, sostuvieron ecologistas y autoridades ambientales. (Diario Reforma, 2009).

La necesidad de secar el bagazo está dada con vistas a su ahorro, para mejorar sus características como materia prima y para su almacenamiento, ya que el mismo se requiere para una amplia gama de procesos.

La biomasa consiste, principalmente, en carbono y oxígeno. También contiene hidrógeno, un poco de nitrógeno, azufre, ceniza y agua, dependiendo de la humedad relativa.

Cuando ésta se quema, se efectúa una reacción química que combina su carbono con oxígeno del ambiente, formándose dióxido de carbono (CO₂) y combinando el hidrógeno con oxígeno para formar vapor de agua. Cuando la combustión es completa, o sea la biomasa se quema totalmente, todo el carbón se transforma en CO₂. Sin embargo, los árboles y plantas que están creciendo capturan nuevamente el CO₂ de la atmósfera y, al usar la biomasa en forma sostenible, en términos netos, no se agrega CO₂ a la atmósfera.

No obstante, cuando la combustión no es completa, se forman monóxido de carbono (CO),

Hidrocarburos, N₂O y otros materiales. Estos sí pueden generar impactos serios en la salud de los usuarios. También son gases de efecto invernadero, por lo que se debería minimizar su formación. (BUN-CA, 2002).

Existen dos razones por las cuales la combustión de biomasa puede resultar incompleta:

- 1.- Cuando la entrada de aire no es adecuada, pues no hay suficiente oxígeno disponible para transformar todo el carbono en CO₂. Esto puede ser causado por el diseño inadecuado del equipo, la falta de ventilación y la sobrecarga con el combustible.
- 2.- Cuando la biomasa tiene una humedad alta, o sea está demasiado mojada; entonces, la temperatura de combustión no es suficientemente elevada como para completar las reacciones químicas.

El correcto tratamiento y utilización del bagazo pueden proporcionar considerables beneficios y ventajas.

Ventajas

- Fuente renovable.
- Crea empleos en el campo.
- Genera recursos energéticos en forma local.
- Ahorro económico en combustibles.
- Mitigación de emisiones.

Tomando en cuenta las ventajas de la quema de Biomasa en las calderas para la generación de combustible, se analizaron varios factores haciendo el comentario que una Biomasa seca y libre de humedad, se podrían mitigar una gran cantidad de contaminación ocasionada por los ingenios azucareros, ya que la biomasa con humedad provoca emisiones a la atmosfera de CO contribuyendo al efecto invernadero.

La Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólica (CNIAA) planteó utilizar la biomasa de la caña como fuente de energía renovable intermitente, a fin de instalar plantas de cogeneración que haga más rentables a los ingenios. (A.C.-CNPR, 2009).

III.1.2.1 Estadísticas de emisiones utilizando biomasa (bagazo) como combustible

En la siguiente tabla se muestra diferentes ingenios a lo largo del país, con la relación de cantidad de materia sólida emitida y la cantidad de combustible consumido en toneladas por cada hora de trabajo.

Es importante notar cómo los Ingenios San Cristóbal y La Gloria a pesar de tener un consumo de combustible semejante, difieren en gran cantidad la cantidad de materia sólida emitida. El Ingenio La Gloria emite casi un 87 % menos materia suspendida que el ingenio San Cristóbal. (Martínez A. 2009).

Tabla 3.1 Bagazo consumido (Unión Nacional de Cañeros A.C., 2008).

Ingenio Azucarero	Tipo y N.- de Fuentes	COMBUSTIBLE		Tipos de Contaminantes	Materia Solida Emitida(Kg/h)
		Tipo	Consumo (Ton/h)		
San Cristóbal	Cinco calderas Acuotubulares	Bagazo de caña	93.69	Material particulado SO ₂ , NO ₂	36,159.00
La Gloria	Tres calderas Acuotubulares	Bagazo de caña	91.49	CO, SO ₂ , NOX. y material particulado	4,894.61
El Potrero	Dos calderas Acuotubulares	Bagazo de caña	30.0	Material Particulado, SO ₂ , NOX.	4,533.51

En otro punto y con la relación de cantidad de materia sólida emitida y la cantidad de combustible consumido en toneladas por cada hora de trabajo de los ingenios que se muestran en la tabla, existe otra relación que influye en su aportación hacia la emisión de contaminantes, son el número de calderas con las que opera cada ingenio ya que de ahí generan su combustible a base de bagazo.

A continuación se muestra la información de Equipos de Control adoptados por dichos ingenios:

Tabla 3.2 Medidas tomadas por los ingenios (Unión Nacional de Cañeros A.C., 2008)

Ingenio Azucarero	EQUIPOS DE CONTROL			
	Tipo	Localización	Caudal de gases Depurados (m³/h)	Eficiencia (%) de los equipos
San Cristóbal	No Poseen Equipos	No Poseen Equipos	No Poseen Equipos	No Poseen Equipos
La Gloria	Scrubber y Ceniceros	Chimeneas	144,415.92	82
El Potrero	No Poseen Equipos	No Poseen Equipos	No Poseen Equipos	No Poseen Equipos

Como se muestra en la tabla anterior hay una gran eficiencia de los equipos implementados por el ingenio La Gloria teniendo una gran aportación para la mitigación de emisiones, a comparación con la del ingenio San Cristóbal ya que no registran equipos implementados para la mitigación o reducción de emisiones a la atmosfera.

III.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes en el agua. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente, es muy común llamarlo depuración de aguas residuales.

El sitio donde el proceso es conducido se llama planta de tratamiento de aguas residuales.

Tratamiento físico químico

- Remoción de sólidos.
- Remoción de arena.
- Precipitación con o sin ayuda de coagulantes o floculantes.
- Separación y filtración de sólidos.

Tratamiento biológico

- Lechos oxidantes o sistemas aeróbicos.
- Post – precipitación.
- Liberación al medio de efluentes, con o sin desinfección según las normas de cada jurisdicción.
- Biodigestión anaerobia y humedales artificiales

Tratamiento químico

Este paso es usualmente combinado con procedimientos para remover sólidos como la filtración. La combinación de ambas técnicas es referida en los Estados Unidos como un tratamiento físico-químico.

Estos procesos de tratamiento son típicamente referidos a un:

- Tratamiento primario. (asentamiento de sólidos).
- Tratamiento secundario (tratamiento biológico de la materia orgánica disuelta presente en el agua residual, transformándola en sólidos suspendidos que se eliminan fácilmente).
- Tratamiento terciario (pasos adicionales como lagunas, micro filtración o desinfección).

III.2.1 USO EFICIENTE DEL AGUA EN INGENIOS AZUCAREROS

El impacto que produce el alto consumo de agua en regiones donde este recurso en ocasiones es limitado, alienta al desarrollo de nuevas técnicas que permitan analizar la administración eficiente del agua en las industrias y que comúnmente se concreta realizando balances detallados para diferentes configuraciones propuestas de uso de agua. Este trabajo se presenta una metodología alternativa, mediante el cálculo de un índice (IUA) que permite diagnosticar la eficiencia del uso del agua en la industria azucarera y analizar las mejoras cuando se incorporan en el proceso sistemas de reuso y recirculación de agua.

Para el cálculo del índice se proponen seis circuitos posibles de uso del agua (Fig. 3.2) para determinar las corrientes de purgas y pérdidas, valores que resultan de considerar que los equipos que intervienen en cada circuito trabajan en su máxima eficiencia.

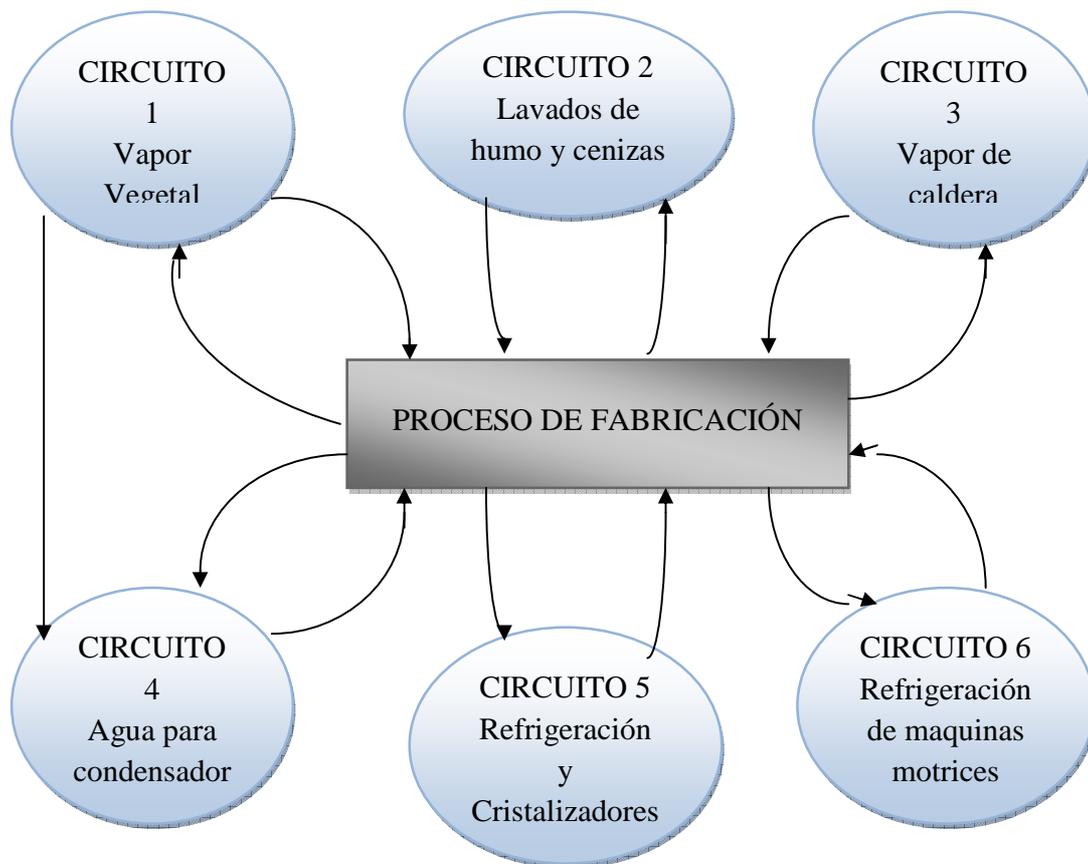


Figura 3.2 Seis posibles circuitos de uso racional de agua en un ingenio azucarero y su interrelación (A. Ingaramo, 2004).

El circuito 1

Recupera los condensados de vapor vegetal provenientes de los evaporadores y tachos de cocimiento para utilizarlos como agua de imbibición, agua de lavado en centrífugas de crudo y refinado, agua de disolución en refinería, lavado de tachos, trapiche y filtros. Esta es una estrategia de reuso que se emplea en todos los ingenios azucareros con diverso grado de integración. Para eliminar gases incondensables de los vapores vegetales es necesario realizar una purga en este circuito mediante venteo de vapores. El exceso de condensado vegetal que arrastra azúcares podría derivarse a dos consumidores:

- a) Al circuito de limpieza de ceniza de calderas y lavado de humos que es una practica usada en algunos ingenios.
- b) Como agua de reposición al circuito de agua de condensadores barométricos. Lo que resta del exceso de agua vegetal es un efluente (agua dulce) que se descarga usualmente al ambiente.

El circuito 2

Corresponde al lavado de humos y ceniza. Los efluentes del limpiador de gases y parrilla pueden ser filtrados y usados nuevamente como alimentación en el sistema. En este circuito existen pérdidas por evaporación y arrastre. Para compensarlas, se alimenta al sistema agua vegetal y la purga de la caldera ya que la carga de contaminantes en dichas corrientes es compatible con la que circula en esta operación. El efluente resultante del sistema de filtrado es un lodo que podría ser secado y usado para acondicionar el suelo.

El circuito 3

Es el de generación de vapor de la caldera. La mayor parte del vapor vivo generado se condensa y retorna a la caldera después de ser usado. Este es un circuito de uso generalizado en la industria azucarera. Existen algunas pérdidas de vapor o de condensado debido al goteo en las juntas, al accionamiento de válvulas de seguridad, etc. Para mantener la concentración de sólidos en el agua de la caldera es necesario purgar por medio de una corriente de agua que tiene solamente sales disueltas por lo que sería viable reusarla para el lavado de humos y cenizas. El agua de reposición de la caldera puede ser agua ablandada o de condensado de vapor vegetal de primer o segundo efecto.

El circuito 4

Corresponde al de refrigeración de máquinas motrices. Para poder implementar este circuito es necesario disponer de un sistema de enfriamiento que permita disminuir la temperatura del agua para que sea utilizada nuevamente como refrigerante. Además, el agua que circula arrastra aceite y grasa y por lo tanto será necesario contar con un separador de grasa. En este sistema, las pérdidas por evaporación son pequeñas. El efluente en este caso es grasa y aceite y prácticamente no contiene agua.

El circuito 5

Permite usar nuevamente el agua de refrigeración de cristalizadores y filtros de vacío. En este caso el incremento de temperatura del agua es poco y por lo tanto las pérdidas por evaporación pueden considerarse despreciables.

El circuito 6

Es el de agua para condensadores barométricos. Esta representa el mayor volumen de agua usada en el proceso de fabricación de azúcar, debido fundamentalmente a la baja eficiencia de los condensadores barométricos en la transferencia de energía, y puede ser reciclada empleando algún sistema de enfriamiento para mantener una diferencia de temperatura entre la entrada y salida del condensador (Wright, 1992). En este circuito hay pérdidas asociadas a la evaporación y al arrastre producido en el proceso de enfriamiento. Para evitar la concentración de azúcares en este circuito es necesario realizar una purga continua. Usualmente, el agua de reposición proviene de cursos de agua próximos a la fábrica pero lo que se propone en este trabajo es mejorar la calidad de agua de reposición reusando parte del agua del circuito 1 que es la que proviene del condensado de vapor vegetal del segundo efecto.

En los circuitos de refrigeración de máquinas motrices y de agua de enfriamiento para cristalizadores y filtros de vacío el agua de reposición podría ser externa. El agua de limpieza, de uso de laboratorio y de sanitarios se toma de los cursos naturales, el reuso de los efluentes implica tratamientos primarios y secundarios.

Para medir la eficiencia con la que se utiliza el agua en un ingenio azucarero se define un Índice de Uso de Agua (IUA).

$$IUA = \frac{\text{Agua Real Consumida } m^3 - \text{Agua Mínima } m^3}{\text{Agua Máxima } m^3 - \text{Agua Mínima } m^3} = \frac{A_R - A_m}{A_M - A_m}$$

Agua real consumida (A_R): es la cantidad de agua externa (fresca) cada 100 toneladas de caña molida que se debe suministrar al proceso.

Agua Mínima (A_m): se define como la mínima cantidad de agua externa por cada 100 toneladas de caña que se debe proporcionar al proceso suponiendo que se reusa y recircula el agua usando los 6 circuitos planteados en la figura 1 con niveles de máxima eficiencia en los distintos ciclos.

Agua Máxima (A_M): es la cantidad de agua externa que se debe introducir en el proceso por cada 100 toneladas de caña si no se hace ningún reuso o reciclaje de agua.

El índice IUA puede tomar dos valores extremos:

- * Cero cuando el agua real consumida es la mínima necesaria para el proceso de fabricación.
- * Uno cuando el agua real que consume es la máxima.

El Flujo de agua externa que puede ser la máxima, la mínima o la real según la estructura del proceso de fabricación. Este es el flujo que se determinará haciendo balance de materia.

Del balance de materia de agua, en estado estacionario, queda:

$$\text{Flujo de agua externa} = \sum \text{Agua en productos y no productos} - \text{Agua en caña} + \sum \text{perdidas}$$

La metodología para poder calcular el índice de uso de agua (IUA) es la siguiente:

Se esquematiza el proceso de fabricación detallando los flujos de agua que ingresan y salen a través de las entradas y salidas de todo el proceso de obtención de azúcar de manera de poder calcular el agua real consumida.

Se calcula el Agua Máxima mediante la siguiente ecuación:

$$A_M = \sum \text{Agua en productos y no productos} - \text{Agua en caña} + \sum \text{Perdidas maximas}$$

Se calcula el Agua Mínima considerando la existencia de los 6 circuitos en el proceso, cada uno de ellos trabajando con máxima eficiencia y adoptando las mínimas pérdidas y purgas posibles, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$A_M = \sum \text{Agua en productos y no prod.} - \text{Agua en caña} + \sum \text{Perdidas minimas} + \sum \text{Purgas m}$$

El cálculo del índice IUA, permite evaluar de manera sencilla la eficiencia en el uso del agua en un ingenio azucarero. Además, permite identificar los sitios críticos de consumo de agua que son aquellos que hacen disminuir sensiblemente el índice de uso de agua cuando se implementa en el mismo un circuito de reuso o de recirculación.

III.2.2 SISTEMA PARA TRATAMIENTO DE AGUA DE CENIZA DE LAVADO DE GASES DE CALDERAS

Para atender a las reglamentaciones ambientales de hoy, los gases emitidos por calderas que utilizan bagazo de caña y otros tipos de biomasa similares deben, obligatoriamente, pasar por una etapa de lavado eficiente para remoción de las partículas sólidas que son arrastradas.

En la quema de bagazo de caña en calderas, la parte más pequeña de los sólidos residuales es arrastrada por los gases, requiriendo la instalación de sistemas de limpieza después de las calderas, para la preservación de la emisión gaseosa dentro de los parámetros ambientales reglamentarios.

Los sólidos no arrastrados por los gases se depositan en los ceniceros de las calderas y necesitan ser removidos para evitar la obstrucción del equipo y pérdida de eficiencia de la operación.

Los sistemas de limpieza de ceniza existentes en la técnica siguen dos rutas principales: vía seca y vía húmeda.

Para la limpieza de ceniceros, es común la utilización de la vía húmeda, donde el agua es el vehículo de transporte de los sólidos. Cuando la operación es hecha en circuito cerrado, el agua con los residuos removidos de los ceniceros debe pasar por un sistema de tratamiento para limpieza, y así evitar problemas de bloqueo en las tuberías, además del desgaste de tuberías y equipos.

En la vía seca están comprendidos los equipos del tipo Ciclones y Separadores Electroestáticos. Sistemas tipo Ciclones fueron instalados sin embargo de forma general, la calidad de los gases emitidos de esos equipos no atendía a las legislaciones de control ambiental. Por otro lado, sistemas del tipo Separadores Electroestáticos presentan calidad de separación superior a los Ciclones, sin embargo, demandan una alta inversión de instalación.

Los sistemas de limpieza de gases que utilizan una vía húmeda (lavadores de gases o scrubbers) son de concepción simple, bajo costo de inversión, y presentan grande eficiencia de limpieza de los gases. En estos sistemas, la limpieza de los gases es hecha con agua limpia bombeada por medio de boquillas aspersores en las cámaras de pasaje de los gases. En el caso de operación en circuito cerrado, el agua con residuos debe ser reciclada después de pasar por un sistema de tratamiento para remoción de sólidos, de forma a no provocar problemas de bloqueo en las boquillas lavadoras y desgaste de tuberías y equipos.

Aunque la opción de limpieza vía húmeda, tanto para la limpieza de gases cuanto para la limpieza de ceniceros, sea considerada la más adecuada con relación a los costos y a la eficiencia, se llega a la necesidad de contarse con un proceso efectivo para la remoción de los sólidos del agua y de esta forma posibilitar su recirculación.

Ya con lo antes expuesto y con base en los aspectos presentados, se partió para el desarrollo de una tecnología, que hiciese viable el empleo de los sistemas de lavado de gases vía húmeda (scrubbers).

El proceso comprende una etapa de floculación de los residuos y posterior decantación rápida de los sólidos floculados. El lodo de ceniza extraído del decantador es transportado hidráulicamente para una etapa de concentración en tamices y posterior desecho. Como características principales del proceso pueden ser destacadas:

- Obtención de un agua limpia, libre de sólidos en suspensión, adecuada para ser reciclada para las boquillas aspersoras de los scrubbers.
- Concentración de los sólidos y disposición adecuada para ser removidos por transportes.

III.3 REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN EL SUELO

La remoción de contaminantes en el suelo es de gran importancia, debió a que en un suelo contaminado la caña de azúcar no tiene un crecimiento óptimo al que debe de ser alcanzado, teniendo como un gran daño la erosión de los suelos haciendo un suelo estéril donde no se pueda cultivar esta materia prima, la caña de azúcar.

Como se ha visto y se han mencionado formas de mitigación hacia diferentes sectores de la industria azucarera también hay formas y estrategias para poder implementar y adoptar para un mejor tratamiento de los suelos, y a continuación se mencionaran algunos de ellos.

III.3.1 USO DE CACHAZA Y BAGAZO DE CAÑA EN LA REMOCIÓN DE HIDROCARBUROS EN SUELO CONTAMINADO

Existen suelos contaminados con hidrocarburos del petróleo como consecuencia de fugas y derrames, así como por el manejo y disposición inadecuados de los residuos derivados de los procesos de extracción y procesamiento del petróleo crudo. En el 2006 se reportaron 3433 toneladas de hidrocarburos (petróleo crudo, diesel y gasolina) que fueron derramados en su mayoría en suelos (PEMEX 2006).

Debido a esto y para recuperar el suelo contaminado se han utilizado diferentes tecnologías siendo una de estas el composteo, que se basa en la adición de texturizantes (bagazo de caña y cachaza) que han permitido la degradación de HTP y HAP del suelo (Jorgensen et al. 1999, Chávez et al. 2003, Dzul-Puc et al. 2005, Roldán-Martín et al. 2006). La aplicación de texturizantes mejora la aireación, la porosidad y disminuyen los niveles de humedad (Guerin 2001, Scelza et al. 2007).

La combinación de texturizantes y enmiendas con los macronutrientes nitrógeno y fósforo, activan la flora microbiana autóctona en los suelos (Eweis et al. 1999, Semple et al. 2001). Por ello el objetivo es determinar la eficiencia de remoción de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y de hidrocarburos totales del petróleo (HTP) de un suelo contaminado con petróleo crudo, utilizando dos tipos de residuos agroindustriales, la cachaza y el bagazo de caña de azúcar como enmiendas y texturizante.

Se determinaron los contenidos inicial y final de los HTP y HAP en cada unidad experimental. Los extractos de estos compuestos se realizaron mediante la técnica de microsoxhlet (USEPA 2002), que consistió en pesar 1 g de suelo seco, se adicionaron 2 g de sulfato de sodio anhidro, mezclando ambos y depositándolos en un cartucho de papel filtro. Se utilizaron 15 mL de diclorometano grado HPLC como disolvente de extracción. El proceso de extracción se mantuvo a reflujo constante durante 4 h. La concentración de HTP se determinó mediante la técnica gravimétrica NMX-AA-134-SCFI-2006 (SEMARNAT 2006).

Los HAP se fraccionaron después de la extracción, por adición al extracto seco de una mezcla de acetonitrilo-metanol (1:1), la mezcla se depositó en una columna C18 eluyendo con 4 mL de agua desionizada y desechando. La columna se secó al vacío durante 20 minutos. Se realizó la elución con una mezcla de acetonitrilo-diclorometano-hexano (3:50:47 v/v/v). El eluato se depositó en un frasco ámbar para su concentración con corriente de nitrógeno o rotavapor (Chen et al. 1996).

Con el diseño experimental con los dos residuos: cachaza y bagazo, con distintas relaciones suelo: residuo se realizó una caracterización del suelo, cachaza y bagazo de caña. Las variables de respuesta de los tratamientos fueron analizadas empleando modelos lineales generalizados para un diseño de ANOVA de una vía con ajuste de distribución de error gamma para la variable concentración de HTP y tipo Poisson para el caso de los porcentajes de remoción de HTP y HAP. Esto debido a que las variables de respuesta no cumplieron con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas; el ajuste de distribución gamma se utilizó para reducir el efecto de sobre dispersión en los datos. El diseño experimental con las dos repeticiones por tratamiento asignadas de forma aleatoria fue suficiente para poder realizar la comparación mínima entre grupos y probar así las hipótesis estadísticas. El paquete estadístico empleado fue JMP 6 (SAS Institute).

La concentración de HTP en el suelo cumple con lo establecido para el tratamiento por biorremediación, ya que la concentración es $< 50\ 000\ \text{mg}\ \text{kg}^{-1}$, que es uno de los criterios enumerados para aplicar este tipo de tecnología, debido a que concentraciones altas pueden

ser tóxicas para los microorganismos (Alexander 1999, Eweis et al. 1999, Velasco y Volke 2003).

El suelo presentó pH ácido al igual que el bagazo de caña de azúcar, pero la cachaza es básica, por lo que la mezcla de estos residuos con el suelo en las diferentes relaciones contribuye a un cambio en esta propiedad y en otros elementos cuantificados en los tres tipos de sustratos que indican variación.

La remoción de HTP del suelo estéril sin residuo agroindustrial puede atribuirse al efecto de la volatilización de hidrocarburos y se puede inferir que los contaminantes presentes en el suelo son poco volátiles y de estructura química de difícil modificación. De hecho, se ha observado una remoción hasta del 35 % de contaminantes por efectos de volatilización en suelo testigo contaminado con hidrocarburos (Rhykerd et al. 1999).

Se observó que para los distintos tratamientos los hidrocarburos aromáticos con 2, 3 y 4 anillos disminuyeron en concentración y que las concentraciones del benzo(a) pireno disminuyeron por debajo de los límites de detección del equipo.

La mayoría de los estudios coinciden en que los hidrocarburos aromáticos con menor cantidad de anillos pueden ser modificados por las bacterias y los hongos del suelo (Kästner y Mahro 1996, Cajtha-ml et al. 2002, Bayoumi 2009), a diferencia de los que tienen mayor cantidad de anillos que son más recalcitrantes. Sin embargo, se ha demostrado que algunas bacterias pueden utilizar pireno como fuente de carbono y energía cometabolizando pequeñas cantidades de benzo(a) pireno y benzo(a) antraceno (Schneider et al. 1996, Boonchan et al. 2000) por lo que es factible que este proceso se presente en el sistema de este trabajo.

Las condiciones del sistema de cultivo para el suelo contaminado permitieron disminuir la concentración de los HTP y HAP a 60.1 y 43 %, respectivamente, con el uso de la cachaza (96:4) en un tiempo de 15 días. Resultados similares fueron observados en los trabajos de Pérez-Armendáriz et al. (2004), quienes utilizaron como texturizante el bagazo de caña de azúcar en una relación 49:1 (peso/peso) y con un ajuste de nutrientes de

100:10:1 (C:N:P) y humedad del 60 %, por lo que estos autores encontraron que la remoción de los HTP fue del orden de 54 % en 16 días.

La cachaza resultó ser una alternativa para ser utilizada en los procesos de remoción de contaminantes como los HTP y HAP de suelos contaminados con hidrocarburos del petróleo, con resultados semejantes a los alcanzados con el bagazo de caña de azúcar. La cachaza además de funcionar como enmienda, presenta la ventaja de aportar microorganismos al suelo con la capacidad de biotransformar los tóxicos, y de nutrimentos en mayor concentración que los encontrados en bagazo de caña de azúcar, en especial del fósforo.

III.3.2 SISTEMA LAGUNAR DE TRATAMIENTO DE VINAZAS DE ALCOHOL DE CAÑA

La vinaza es el efluente de las destilerías que representa, en promedio, la evacuación de hasta 13 litros por cada litro de alcohol que se produce. El contenido de sólidos totales en la vinaza varía del 4 al 10%, con valores de pH entre 3 y 5. Este subproducto está constituido por materia orgánica (azúcar no fermentable y levadura muerta), sales minerales y agua. Su composición varía una destilería a otra, según se utilice melaza o jugo directo y según el proceso empleado.

Una manera de controlar la contaminación que generan las descargas de vinaza es utilizándola en fertirrigación, tal como se realiza exitosamente en Brasil, aunque se requieren condiciones especiales de la tierra así como utilizarla en la alimentación animal, esta práctica es actualmente favorecida por el uso de la vinaza concentrada, principalmente en los países europeos. En México, los ingenios Independencia, San Cristóbal y Santa Clara producen vinaza concentrada a escala comercial. La vinaza se evapora primeramente en un sistema de tres etapas. El siguiente paso, consiste en secar el concentrado por aspersión, al tiempo que se mezcla con bagacillo para que absorba vinaza.

El plan de trabajo desarrollado se inició con un seguimiento del proceso productivo, para conocer la gestión del agua y residuos generados en la destilería.

Posteriormente, se pasó a estudiar su proceso de tratamiento de aguas residuales que es un sistema de lagunaje anaerobio.

La destilería cuenta con 8 lagunas para tratar sus aguas: una laguna de enfriamiento, una de igualación y 6 de tratamiento anaerobio, todas a cielo abierto. Las lagunas 1, 2, 5 y 6 tienen una profundidad de 10 m, un ancho de 30 m y un largo de 80 m, para un volumen aproximado de 24 000 m³ cada una. Las lagunas 3 y 4 tienen una profundidad de 6 m, un ancho de 30 m y 60 m de largo, para un volumen aproximado de 10,800.0 m³ cada una. El volumen total del sistema lagunar es de 122,600.0 m³, con un tiempo de residencia hidráulica (TRH) de 490 a 613 días y una CVa de 0.2 Kg DQO/m³ d.

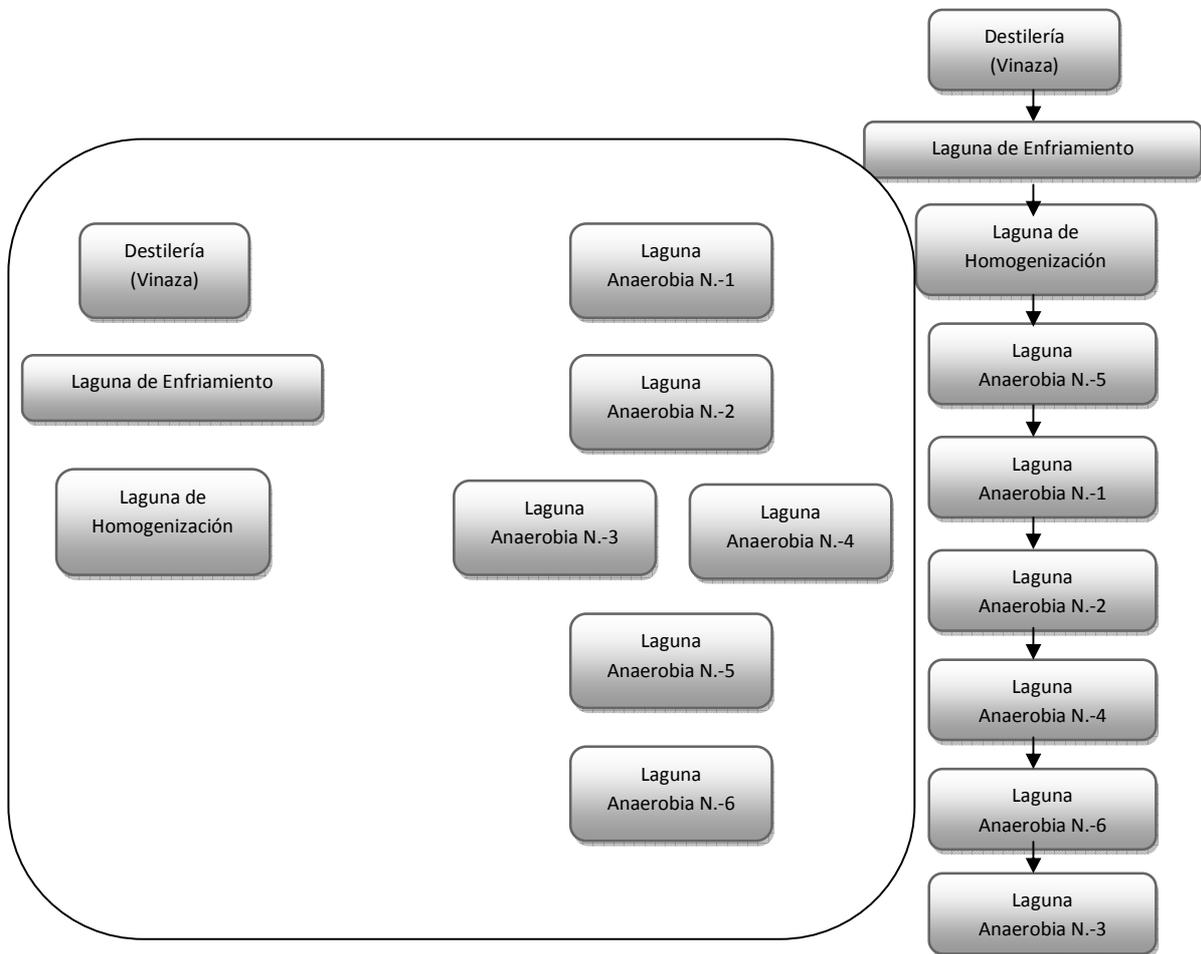


Figura 3.3 Distribución espacial y orden de alimentación del sistema.

Se estudiaron la totalidad de las lagunas, efectuando muestreos periódicos en diferentes puntos de las mismas para conocer la evolución del residual a tratar en función del tiempo. El sistema lagunar fue originalmente operado en paralelo, quiere decir que las vinazas eran enviada en un orden aleatorio, lo que no permitía entre otro controlar los tiempos de residencias hidráulicos.

El sistema esta operado en serie y el orden de alimentación esta presentado en la figura 3.3. Bajo estas condiciones de pasar de una laguna a otra, la calidad del agua se incrementa, así como la eficiencia general de tratamiento del sistema lagunar. Bajo este modo, el TRH 490-630 días se respeta y la CVa de la primera laguna es de $1.25 \text{ kg/m}^3\text{d}$ y a proporción que el agua pasa por las lagunas la CVa disminuye.

Sobre las vinazas brutas, las lagunas reales y las lagunas de laboratorio se realizaron regularmente los análisis siguientes DBO₅, DQO, STT, STV, SST, SSV, pH, conductividad, temperatura, NTK, N-NH₄, fósforo total y sulfatos. Estos parámetros fueron determinados de acuerdo a los métodos.

Tras una serie de análisis al uso del agua en el proceso global, se propusieron una serie de acciones que se han traducido en diversas inversiones de monto considerable, enfocadas a la optimización del proceso, por parte de los propietarios de la empresa. Las adecuaciones se ven reflejadas sobre la reducción del volumen de agua residual generado, que pasó de 200 a $150 \text{ m}^3/\text{d}$ aproximadamente y un aumento proporcional en la concentración de las vinazas, cuyos valores pasaron del orden de 100,000 a 150,000 mg DQO/L. En la tabla 3.3 y 3.4 se presenta la caracterización de las vinazas brutas.

Al total se hicieron 6 caracterizaciones completas de la vinaza bruta y caracterizaciones regulares parciales de las vinazas empleadas para alimentar los reactores de tratamiento. La vinaza a lo largo del año es relativamente constante, homogénea y altamente concentrada. La concentración promedia en DQO total y solubles es de 124.43 y 102 g DQO/L respectivamente. Sin embargo más del 80 % se encuentra bajo forma soluble, y fácilmente accesible a las bacterias anaeróbicas.

Al total se hicieron 6 caracterizaciones completas de la vinaza bruta y caracterizaciones regulares parciales de las vinazas empleadas para alimentar los reactores de tratamiento. La vinaza a lo largo del año es relativamente constante, homogénea y altamente concentrada. La concentración promedia en DQO total y solubles es de 124.43 y 102 g DQO/L respectivamente. Sin embargo más del 80 % se encuentra bajo forma soluble, y fácilmente accesible a las bacterias anaeróbicas. La carga orgánica generada por día de operación es del orden de 22 toneladas diarias de DQO.

Tabla 3.3 Evaluación de la composición de las vinazas (Tesis D. Sánchez, 2009).

Fecha	pH	DQOT (g/L)	DQOS (g/L)	STT (g/L)	STV (g/L)	SST (g/L)	SSV (g/L)
19/04/2008	4.06	88.97	83.58	71.05	45.82	1.33	1.03
02/12/2008	/	109.94	103.70	100.86	81.67	1.07	0.96
19/01/2009	4.06	57.58	36.13	17.84	11.80	4.28	3.85
05/02/2009	4.11	147.94	135.47	/	/	10.14	7.85
24/03/2009	4.17	217.71	156.07	113.98	79.37	15.24	11.78
Promedio	4.10	124.43	102.99	75.93	54.67	6.41	5.09

Tabla 3.4 Composición en nutrientes en las vinazas brutas (Tesis D. Sánchez, 2009).

Fecha	N-org (mg/L)	NTK (mg/L)	N-HN4 (mg/L)	PO4 (mg/L)	SO4 (g/L)
19/04/2008	210.00	263.2	53.2	151.7	/
02/12/2008	149.24	152.32	3.08	121.10	5.02
19/01/2009	83.72	118.16	34.44	37.00	5.73
05/02/2009	647.64	691.88	44.24	93.00	14.64
24/03/2009	162.12	162.12	0.00	10.78	12.02
Promedio	250.54	277.54	26.99	82.72	9.35

La eficiencia del sistema lagunar se pudo observar que el agua de cada laguna presenta concentración en materia orgánica diferente (DQO) (Tabla 3.3). La laguna más concentrada durante todo el estudio fue la No 5 con una concentración promedio de 50.85 g DQO/l, con una eficiencia de remoción de la DQO cercana al 60 %. De manera regular, esta laguna recibe la vinaza bruta a tratar y presenta una buena eficiencia de remoción. El orden de las lagunas tomando en cuenta la concentración decreciente de la concentración en DQO es Laguna 5, 2, 1, 6, 4, 3. Este orden debería respetarse al momento de alimentar y/o trasvasar agua de una laguna a la otra.

Las eficiencias de remoción reportadas en la Tabla 4 para cada lagunas toma en cuenta el valor de entrada y de salida de cada laguna, por lo cual es representativo de la biodegradabilidad del efluente en la laguna considerad y no de la eficiencia real del sistema.

Al invertir en un sistema de recuperación del biogás, la laguna 5 debería ser la primera a equiparse, dado que es la que remueve la más gran departe de la MO y por consecuente produce la mayor parte de biogás. Para remover el otro 50 % se requiere las 5 otras lagunas, y las tres últimas remueven apenas el 1 %. Por lo cual si la biodegradabilidad del agua tratada se reduce a proporción que avanza en el tren de proceso, sería muy interesante probar si un tratamiento aerobio u otro al nivel de la tercera o cuarta laguna permitirían aumentar a bajo costo la biodegradabilidad de estas aguas y mejorar significativamente la eficiencia total del sistema.

Este estudio e implementación del sistema lagunar anaerobio para tratamiento de vinazas es altamente efectivo y así este, se podría utilizar en otros ingenios azucareros. Estos análisis y series de acciones implementadas nos llevan a las siguientes conclusiones.

Las Vinazas presentan características estables con una alta concentración en materia orgánica provenientes de sólidos disueltos, una alta concentración en SO₄, y con una deficiencia en nutriente nitrogenado y fosfato.

El sistema lagunar real presenta una operación simple con una eficiencia estable y eficiente. Con 6 lagunas anaerobias y un TRH de 400 a 600 días se alcanza una eficiencia de remoción superior al 98 %, lo que posiciona el sistema lagunar como un proceso adecuado para el tratamiento de vinazas de alcohol.

La vinaza bruta presenta una biodegradabilidad anaeróbica del orden del 70 % al igual que el agua de la primera laguna de tratamiento. En las últimas lagunas ocurren unas operaciones de pulimiento ya que el agua no presenta mas biodegradabilidad.

Al considerar que el 60 % del metano se podría generar en la primera laguna, un programa de adecuación de la primera laguna con un sistema de recuperación y almacenamiento del biogás sería viable. El potencial metano sería de 3440 m³/d, volumen ampliamente suficiente para utilizarse en la caldera de la empresa, y así reducir tanto los costos de operación como el impacto en la producción de gases a efecto invernadero.

Las primeras iniciativas de manejo sustentable a través de la reutilización del efluentes pretratados como fuente de azúcar par el proceso de propagación de la levadura, así como el uso del agua de la ultima laguna como hidrante tanto en el proceso que en riego se muestran muy atractivas.

III.4 ESTRATEGIAS QUE SE PUEDEN IMPLEMENTAR PARA LA MITIGACION DE CONTAMINANTES EN UN INGENIO AZUCARERO

Existen otros tipos de estrategias de mitigación que se pueden implementar con relación a las ya antes aplicadas, estas son de otro carácter ya que por falta de tecnología no se puedan llevar a cabo, pero no obstante en unos cuantos años ya se podrían estar implementando o manejando, generando la mitigación que es lo que se busca para lograr que no haya altos contaminantes y se evite el impacto ambiental.

III.4.1 PIROLISIS

La pirolisis consiste en la descomposición físico-química de la materia orgánica bajo la acción del calor y en ausencia de un medio oxidante; es un proceso térmico de conversión en el que se utiliza un material con alto contenido de carbono para producir compuestos más densos y con mayor poder calorífico, que pueden ser empleados como combustibles directamente o luego de un tratamiento posterior. Los productos de la pirolisis son gases, líquidos y un residuo carbonoso, cuyas cantidades relativas dependen de las propiedades de la biomasa a tratar y de los parámetros de operación del equipo. En los últimos años la pirolisis se viene utilizando para la obtención de combustibles líquidos y productos químicos a partir del carbón y residuos orgánicos.

Una técnica para generar biocombustibles líquidos consiste en realizar una pirolisis rápida de biomasa, con la cual se producen bioaceites, que luego de etapas posteriores de refinado, puede generar compuestos con propiedades similares a las de los combustibles fósiles, tales como el diesel o la gasolina.

La pirolisis se lleva a cabo habitualmente a temperaturas de entre 400 °C y 800 °C. A estas temperaturas los residuos se transforman en gases, líquidos y cenizas sólidas. Las proporciones relativas de los elementos producidos dependen de la composición de los residuos, de la temperatura y del tiempo que ésta se aplique. Una corta exposición a altas temperaturas recibe el nombre de pirolisis rápida, y maximiza el producto líquido. Si se aplican temperaturas más bajas durante períodos de tiempo más largos, predominarán las cenizas sólidas.

Otra de las no tan modernas técnicas de tratamiento pirolítico es la “gasificación”, definida como la transformación de una sustancia sólida o líquida en una mezcla gaseosa mediante oxidación parcial con aplicación de calor. La oxidación parcial se consigue normalmente restringiendo el nivel de oxígeno (o aire) en la cámara de postcombustión (pirolisis). El proceso se optimiza para generar la máxima cantidad de productos gaseosos de descomposición, normalmente monóxido de carbono, hidrógeno, metano, agua, nitrógeno y pequeñas cantidades de hidrocarburos superiores.

Si el oxidante usado es aire, el gas producido se llama “gas pobre” y normalmente su poder calorífico no superará el 25% del gas natural. Si el oxidante utilizado es oxígeno o aire enriquecido, el “gas de síntesis” resultante tendrá un poder calorífico mayor debido a la ausencia de nitrógeno, normalmente entre el 25% y el 40% del gas natural.

El calor requerido para la pirolisis es generado por combustibles tradicionales (gas natural, petróleo, etc.), o mediante el uso de electricidad para crear plasmas de altas temperaturas. En los sistemas de plasma la fuente principal de calor es una antorcha o un arco de plasma que puede alcanzar temperaturas de entre 3,000.0 °C y 20,000.0 °C. Los plasmas se generan normalmente mediante un arco o descarga eléctrica de gran energía y, por tanto, requieren considerables cantidades de energía para funcionar.

III.4.2 PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVO A PARTIR DE BIOMASA

El aprovechamiento de los recursos biomásicos provenientes de la actividad azucarera es un aspecto de gran preocupación tanto por científicos como productores. Se estudia la influencia de diferentes criterios sobre la factibilidad de preparar carbones activados a partir de biomasa cañera. Se valoró fundamentalmente la posibilidad de prepararlos mediante procesos activación “física” con vapor de agua y “química” con ácido fosfórico.

Estos recursos previamente secados se sometieron a un proceso de pirolisis bajo las siguientes condiciones:

- Temperatura: 400 - 800°C.
- Velocidad de calentamiento: 5 °C/min.

- Tamaño de partícula: 1 - 3mm
- Tiempo de pirólisis: 90 min.

La pirólisis de las materias primas; la caracterización de las mismas así como la activación “física” con vapor de agua y la “química” con ácido fosfórico se realizaron como se describió anteriormente.

Tabla 3.5 Análisis de la influencia de la composición química del precursor sobre los rendimientos de la pirólisis. (B. Medina, 2003)

Muestra	%C (lhc)	%H (lhc)	%O (lhc)	%N (lhc)	O/C	Rp (%)
Bagazo de caña de azúcar	46.9	5.6	46.3	1.2	0.99	22
Residuos agrícolas cañeros (RAC)	44.5	5.7	49	1.2	1.10	20

Las materias primas con bajos rendimientos de la pirólisis como el bagazo de caña de azúcar y los RAC, clasifican como materias primas de baja factibilidad para su elección en la preparación de carbón activado. Sin embargo en países con una alta disponibilidad de estos recursos se puede tener en cuenta esta opción.

Tabla 3.6 Dependencia entre el rendimiento y la temperatura durante 60 min. de pirólisis (B. Medina, 2003)

Materia Prima	Rendimiento de la Pirólisis		
Bagazo de caña de azúcar	30	22	17
Residuos agrícolas cañeros (RAC)	29	20	16

Los residuos agrícolas cañeros y el bagazo de caña poseen bajos rendimientos con temperaturas superiores a 600°C. por esta razón es conveniente emplear bajas temperaturas para la obtención de carbones activados a partir de estos precursores lo cual se corresponde con los procesos de activación “química”, la que generalmente se realiza en el intervalo de 350 a 500°C. El empleo de la activación “física” para este tipo de materiales sería

económicamente poco factible debido a que el proceso se realiza a más altas temperaturas lo cual conspira contra los rendimientos del proceso.

Se determinó que los residuos como el bagazo de caña de azúcar y los residuos de esta agroindustria son factibles para ser utilizados como materia prima en la obtención de carbones activados en lugares donde su disponibilidad sea alta y para aplicaciones que permitan el uso de adsorbentes de baja resistencia mecánica.

III.4.3 PRODUCTOS FABRICADOS A PARTIR DE LOS RESIDUOS

La no utilización de los residuos de la agroindustria de la caña de azúcar contribuye a un menor desempeño de su gestión, además de los perjuicios ambientales, económicos y sociales que se derivan al verter los mismos al medio ambiente, más aún en el marco de la diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar.

Se propone la reutilizando los residuos derivados de la industria en función de la alimentación animal y el mejoramiento de los suelos que se cultivan para la producción de alimentos tanto animal como humano y la cría de ganado. (Martí i y Rivero. 2009).

Los residuos Utilizados se derivan de:

La Industria

- Bagazo.
- Cachaza.
- Cenizas.
- Residuales líquidos

En Centro de Almacenaje

- Paja.
- Cenizas.

Área Agropecuaria

- Residuos de cosecha.
- Excremento Animal.

PRODUCTOS:

Compost

Mezcla de diferentes residuos o subproductos (cenizas, cachaza, bagazo, residuos de cosecha), depositados en un plato de secado tratados durante 45 días. (Martínez A. 2009)

Uso: Fertilización de suelo

Residuales Líquido

Se utilizan todos los residuales una vez tratados en las lagunas de oxidación. Posteriormente con un sistema de gravedad-aniego y bombeo según sea el caso se riegan los terrenos correspondientes al banco de semilla y Huertos. (Martínez A. 2009)

Uso: Como fertiriego

Desperdicios de Almacenes de Paja de Caña y cogollo

Consiste en una mezcla de paja y cogollo. Estos desechos se transportan hasta las áreas ganaderas en carretas de tracción animal y mecanizado. (Martínez A. 2009)

Uso: En suplementación alimentaría del Ganado en el período seco.

Bagacillo y Melaza

Como su nombre lo indica, este producto es una mezcla de Bagacillo, Melaza. Esta mezcla se realiza en un silo, donde se homogeniza y posteriormente es distribuida en corraletas o comederos. (Martínez A. 2009)

Uso: Utilizado en la alimentación de rumiantes (vacuno, Ovino-Caprino, y Bufalino).

III.4.4 DISCUSIÓN

Implementación de la cosecha en verde.

Al implementar la cosecha o corte en verde se estaría eliminando la quema de la caña eliminando las emisiones de gases, humos y cenizas que causa esta actividad, también así mismo ya no se afectaría el suelo haciendo que ya no pierda fertilidad y no se erosione.

La caña de azúcar es uno de los cultivos con mayor capacidad para convertir la Biomasa en energía. Si tomamos en cuenta sólo el bagazo y la paja, en los cañaverales se almacena alrededor del equivalente a una tonelada de petróleo por cada tonelada de azúcar que pueda producirse. Nos llevaría a producir una gran cantidad de energía, reduciendo los costos energéticos en un ingenio y mejorando el medio ambiente.

Así mismo se derivarían otras actividades de estos residuos cañeros (RAC) para la implementación de otras actividades y generación de empleos, teniendo siempre presente la mitigación que se estaría realizando con estas nuevas actividades a partir de la cosecha en verde.

A continuación se muestra un diagrama mostrando cómo se podrían utilizar los RAC a partir de la cosecha en verde.

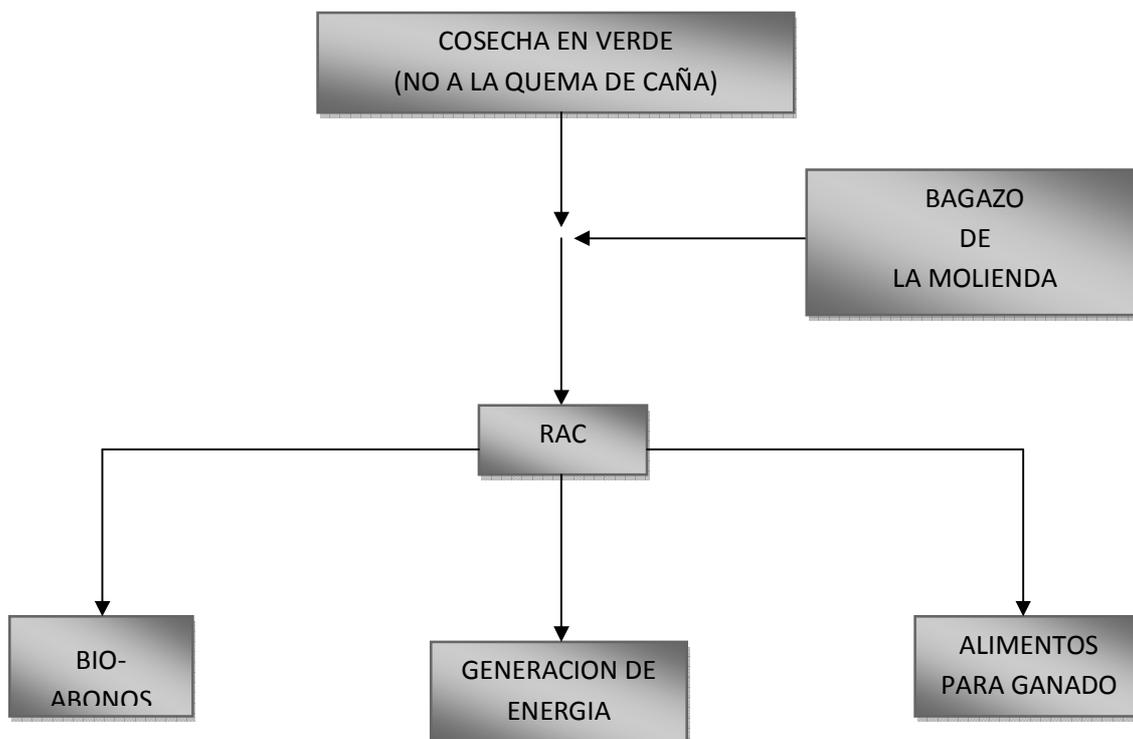


Figura 3.4 Diagrama de flujo cosecha en verde

CONCLUSIÓN

Se sabe que las cargas contaminantes generadas por los ingenios azucareros tienen un gran impacto hacia el medio ambiente, esta investigación nos llevo a conocer y saber más acerca de la gran influencia que tiene esta actividad para la generación de propuestas y mejoras para la mitigación de las cargas contaminantes y tener un mejor funcionamiento de los ingenios en nuestro estado.

Estas implementaciones antes de proponerlas o ponerlas en practica, se tienen que realizar primero una gran investigación de los problemas o afectaciones a combatir en los ingenios, para determinar y establecer cual método utilizar teniendo en cuenta que cumpla con las características necesarias, con una gran eficiencia y que sea de bajos costos.

Así de esta manera llegaremos al punto más importante que se ha estado manejando que es la mitigación de las cargas contaminantes de un ingenio azucarero, a tal grado que en un futuro se pueda llegar a una total eliminación de estas para el bien de la humanidad tanto para nuestro ecosistema.

De la revisión e investigación efectuada se desprende que las etapas críticas del proceso analizado son:

- 1) Emisiones a la atmosfera en el proceso y la quema de caña.
- 2) Las grandes cantidades de agua mal utilizada y no tratada.

Para estos diversos problemas de gran afectación hay medidas de mitigación a aplicar que serian:

- 1) La cosecha en verde "NO" a la quema de caña y el previo tratamiento del bagazo antes de utilizarlo como combustible.
- 2) La implementación de circuitos e interrelación para el uso racional del agua seria una gran estrategia para atacar este problema, como así también el tratamiento de agua por medio de procesos anaerobios y aerobios conjuntamente con lagunas reducirían en gran cantidad la contaminación ofrecida hacia el agua utilizada.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alvarado N, Las Quemadas en la Agricultura (Caña de Azúcar) su regulación desde el punto de vista Agrario y Ambiental. San José, Costa Rica, 2007.
- Asociación Naturland - 1ª edición 2000.
- Chaves M. Comportamiento de la ceniza (tizne) generadas en quemadas de caña según datos de vientos suministrados por la red meteorológica automatizada: XV Congreso de Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica ATACORI, Guanacaste, 2003.
- Chen, J. P. (1991) Manual del azúcar de caña, 11 edición.
- García Reyna, Ríos Leal Elvira, Martínez Toledo Ángeles, Ramos Morales Fernando R., Cruz Sánchez Jesús S., Cuevas Díaz María del Carmen. Uso de cachaza y bagazo de caña de azúcar en la remoción de hidrocarburos en suelo contaminado.
- Gómez R., Contaminación atmosférica y su solución: 11avo Congreso de Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica ATACORI, Tomo II, San Carlos, EDITOR Carlos Sáenz A, 1997, p.100.
- Herrera Leandro. Lagunas para remoción de orgánicos.
- Houbron Eric. Sánchez Flores Dianel, González López Gloria I., Torres Beristaín Beatriz y Rustrián Portilla Elena. Análisis de un sistema lagunar de tratamiento de vinazas de alcohol de caña, 2009.
- Lezcano P. y Mora L. Las vinazas de destilería de alcohol. Contaminación ambiental o tratamiento para evitarlo.
- Martínez A. Propuesta de un Sistema de Limpieza de las Emisiones Generadas por un Ingenio Azucarero. Caso de Estudio: Ingenio San Cristóbal.
- Mazari R. (rúbrica) 24 de septiembre de 2009.
- Montiel J. Uso de la biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental.
- Nemerow L., Dasgupta A., Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos 1998.
- Notimex Experiencias de proyectos de ahorro de energía y cogeneración. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de Energía CONAE. Utilizar el bagazo de la caña como fuente de energía, MÉXICO, D.F; 6 junio 2007,
- Revista anual de la ONG N.- 6, 2008.

- Ruiz M, Arroyo O. Estudio de la contribución de partículas suspendidas por la quema de caña en la calidad del aire.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. SEMARNAT. Control de emisiones 2009.
- Sistema nacional de información de la agroindustria azucarera –si azúcar- anuario 2003-2009.

REFERENCIAS ELECTRONICAS

- [1] http://www.colpos.mx/cveracruz/SubMenu_Publi/Avances2000/Perdidas_de_Nitrogeno.html (Octubre, 2010)
- [2] <http://www.eeaoc.org.ar/noticias/noticia.asp?seccion=noticias&id=573> (Mayo, 2009)
- [3] <http://www.intermonoxfam.org/es/page.asp?id=2143> (Noviembre, 2010)
- [4] <http://maps.google.com.mx/> (Febrero, 2011)
- [5] http://elsurdelaflorida.blogspot.com/2009_08_01_archive.html (Diciembre, 2010)
- [6] http://www.flickr.com/photos/luisenrique_gs/3344387369/ (Junio, 2011)
- <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/normasoficialesmexicanasvigas.aspx>.
(Septiembre, 2010)