

UNIVERSIDAD ESTATAL DE SONORA
UNIDAD ACADÉMICA SAN LUIS RIO COLORADO
MAESTRIA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN BIOSUSTENTABLES



“EXTRACCIÓN DE SÍLICE AMORFA A PARTIR DE LA PAJA DE TRIGO”

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN BIOSUSTENTABLE**

PRESENTA:

JESÚS MANUEL VALENZUELA LÓPEZ

SAN LUIS RIO COLORADO, SONORA.

NOVIEMBRE DE 2018.



UNIVERSIDAD ESTATAL DE SONORA
UNIDAD ACADÉMICA SAN LUIS RIO COLORADO
MAESTRIA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN BIOSUSTENTABLES

T E S I S

“EXTRACCIÓN DE SÍLICE AMORFA A PARTIR DE LA PAJA DE TRIGO”

COMITÉ REVISOR

Presidente

Dr. Jesús Arturo Sol Uribe
Director

Secretario

Dr. Noé Ortiz Uribe
Co-director

Vocal

MI. Noé Salvador Ruiz Ortiz
Vocal

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a toda mi familia, padres, hermano, hermanas, esposa y mis hijos Paulina y Dilan; por apoyarme en todo momento a superar cada obstáculo que se presentó en el camino y alentar mi espíritu de emprendedor.

AGRADECIMIENTOS

En el transcurso de esta investigación participaron profesionistas, universidad y empresa, cuya aportación fue factor primordial para concluir el trabajo, por lo que honestamente quiero agradecer su contribución a:

- A dios, a la vida y a mi esfuerzo.
- A mi familia por su apoyo total.
- A mi esposa Dallana, mi hijo Dilan y mi hija Paulina, por darme su cariño, amor y comprensión.
- A CONACYT por el gran apoyo económico brindado durante la investigación.
- A mi Director de Tesis, Jesús Arturo Sol Uribe, por su gran apoyo y guía en todo momento.
- A CORPORATIVO RUVA S. DE R.L. DE C.V. (Rancho La Vaca) y al Ing. Rafael Quirarte, por apoyar el proyecto en todo momento.
- A mi asesor Dr. Rafael Jordán Hernández, por su gran apoyo incondicional y en todo momento disponibilidad para resolver mis dudas.
- A mi asesor Dr. Noé Ortiz Uribe, por ayudarme a perseverar lo deseado y llevarlo a buen puerto.
- A Posgrado UASLRC, por brindarnos la atención requerida.
- A la UNIVERSIDAD ESTATAL DE SONORA por apoyarme educativamente.

INDICE

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	xi
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
Objetivo	16
Objetivo específico	16
Justificación.....	16
Hipótesis	17
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 Conceptos Básicos	17
2.1.1 Silicio.....	17
2.1.2 Silicio Orgánico	17
2.1.3 Materia Orgánica.....	17
2.1.4 Biomasa	18
2.1.5 Pirolisis.....	18
2.1.6 Pirolisis de Biomasa	18
2.1.7 Fertilización	18
2.1.8 Atmósfera Reductora	19
2.1.9 Calor Específico y Conductividad Térmica.....	20
2.1.10 Transferencia de Calor.....	20
2.1.11 Densidad	20
2.1.12 Mecanismos de Transferencia de Calor.....	21
2.2 Insumos como Materia Prima en la Extracción de Sílice Amorfa	21
2.2.1 Paja de Trigo.....	21
2.2.2 Capacidad Calorífica	21
2.3 Suplementos Orgánicos en la Agricultura.....	21
2.3.1 Propiedades	22

2.4 Características de la Paja de Trigo.....	22
2.4.1 Composición Química	22
2.4.2 Epidermis de la Hoja	22
2.4.3 Mesofilo y Pulvino	22
2.4.4 Poder Calorífico de la Paja de Trigo	23
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	23
3.1 Determinación de Variables Generales en la Quema de Paja de Trigo.....	23
3.2 Determinación de Sílice Amorfa en Muestras de Ceniza Provenientes de la Quema In Situ en los Campos Agrícolas del Valle de San Luis Rio Colorado.....	25
3.3 Esquema Metodológico Nivel Laboratorio	27
3.3.1 Ubicación del Área de Estudio para la Recolección de Muestras	28
3.3.2 Diseño y Preparación de Muestras Recolectadas.....	30
3.3.3 Densificado de Muestras.....	33
3.3.4 Carga de Crisoles con Biomasa Densificada	34
3.3.5 Preparación de Mufla para Quema en Atmosfera Reductora.....	35
3.4 Esquema Metodológico Nivel Prueba de Banco.....	36
3.4.1 Ubicación del Área origen de la paca de trigo.....	37
3.4.2 Diseño y Preparación de Muestras Obtenidas de la Paca de Trigo	38
3.4.3 Densificado de Muestras.....	40
3.4.4 Carga de Reactor con Biomasa Densificada.....	41
3.4.5 Preparación de Horno Artesanal para Quema en Atmosfera Reductora	41
3.5 Estudios Realizados	43
3.5.1 Aplicación de la Norma Mexicana NMX-AA-75-1982, ANÁLISIS DE AGUA- DETERMINACIÓN DE SÍLICE a Muestras de Ceniza Recolectada In Situ en los Terrenos Agrícolas del Valle de San Luis Rio Colorado Sonora.....	43
3.5.2 Aplicación de la Norma Mexicana NMX-AA-75-1982, ANÁLISIS DE AGUA- DETERMINACIÓN DE SÍLICE a Muestras Nivel Laboratorio	44
3.5.3 Aplicación de la Norma Mexicana NMX-AA-75-1982, ANÁLISIS DE AGUA- DETERMINACIÓN DE SÍLICE a Muestras Nivel Prueba de Banco.....	46
3.6 Aplicación de Sílice Amorfa en cultivo de Lechuga PENDIENTE	46
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
4.1 Caracterización de la Ceniza de Paja de Trigo.....	47

4.1.1 Ceniza de Paja de Trigo.....	47
4.2 Resultados Correspondientes a la Determinación de Variables en la Quema de Paja de Trigo	48
4.3 Resultados Sobre la Determinación de Sílice Amorfa en Muestras de Ceniza Provenientes de la Quema In Situ en los Campos Agrícolas del Valle de San Luis Rio Colorado.....	49
4.4 Resultados Correspondientes a la Determinación de Sílice Amorfa en Muestras Nivel Laboratorio.....	51
4.5 Resultados correspondientes a la determinación de Sílice Amorfa en muestras nivel prueba de banco	55
4.6 Comparativo del rendimiento entre ceniza recolectada de la quema de paja In Situ, ceniza de paja de trigo obtenida de la quema controlada en mufla y ceniza de paja de trigo obtenida de la quema en horno artesano.....	57
4.7 Resultados de la aplicación de Sílice Amorfa en cultivo de lechuga pendiente...	60
CONCLUSIONES.....	60
RECOMENDACIONES	61
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparación de la atmosfera reductora postulada con la atmosfera oxidante actual, Gish & Escuin, 1980.	19
Figura 2. Mufla utilizada en la quema de muestras de paja de trigo	24
Figura 3. Quema In Situ tradicional de residuos agrícolas de paja de trigo.	25
Figura 4. Esquema metodológico para la extracción de Sílice Amorfa nivel laboratorio.	28
Figura 5. Ubicación satelital de la zona agrícola en estudio.....	29
Figura 6. Terreno agrícola muestreado.	30
Figura 7. Materia prima y equipo de tarado usado en la investigación.....	31
Figura 8. Muestras de paja de trigo: a) Paja de trigo normal, b) Paja de trigo densificada.	34
Figura 9. Crisoles cargados de biomasa densificada.....	34
Figura 10. Mufla utilizada en la quema de muestras.	35
Figura 11. Esquema metodológico para la extracción de Sílice Amorfa nivel prueba de banco.....	36
Figura 12. Valle agrícola de San Luis Rio Colorado, Sonora.	37
Figura 13. Muestra para quema en horno artesano.	38
Figura 14. Extracción acumulativa de diferentes especies de residuos de combustión CI07 después de enfriamiento con agua (Q) después de a) combustión de 10 min y b) combustión de 2 h (originalmente en color), Dodson, 2011.....	39
Figura 15. Muestras de paja de trigo: a) Paja de trigo normal, b) Paja de trigo densificada.	40
Figura 16. Mini reactor cargado de biomasa densificada de paja de trigo.	41
Figura 17. Biomasa de poda de mezquite.....	42
Figura 18. Horno artesano con mini reactor en interior y biomasa de mezquite.	42
Figura 19. Ceniza In Situ recolectada.	43
Figura 20. Porcentajes de Silicio en plantas acumuladoras, intermedias y no acumuladoras, PROMIX 2017.....	44
Figura 21. Paja de trigo procesada en quema de atmósfera reductora.....	49

Figura 22. Promedio de Sílice Amorfa y Compuestos Restantes en Ceniza de Quema In Situ.	50
Figura 23. Promedio de Sílice Amorfa y Compuestos Restantes en Ceniza de Quema Nivel Laboratorio.	53
Figura 24. Relación de peso de paja de trigo vs contenido de Sílice Amorfa en muestras analizadas obtenidas de la quema controlada en mufla.....	54
Figura 25. Figura. Promedio de Sílice Amorfa y Compuestos Restantes en Prueba de Banco.	56
Figura 26. Comparativo general sobre el rendimiento de ceniza de paja de trigo.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Quema de muestras de paja de trigo usando diferentes temperaturas y tiempos.....	23
Tabla 2. Muestras de ceniza recolectadas In Situ para análisis de Sílice Amorfa.....	26
Tabla 3. Muestras de plantas de trigo en seco sin grano	32
Tabla 4. Muestras de paja de trigo para quema en horno artesanal.	40
Tabla 5. Muestras de plantas de trigo secas, ceniza total de cada planta y ceniza total para análisis.	45
Tabla 6. Muestras de quema de paja de trigo a temperaturas diferentes, ceniza total de cada planta y ceniza total para análisis.	46
Tabla 7. Contenido de ceniza, composición elemental y datos de valor calorífico para una variedad de materiales de biomasa y carbón, Dodson, 2011.....	47
Tabla 8. Resultados generales sobre determinación de variables en la quema de paja de trigo.	48
Tabla 9. Resultados sobre la determinación de Sílice Amorfa en muestras de ceniza de paja de trigo provenientes de la quema In Situ.	50
Tabla 10. Resultados sobre la determinación de Sílice Amorfa en muestras de ceniza de paja de trigo nivel laboratorio.	52
Tabla 11. Resultados correspondientes a la determinación de Sílice Amorfa en muestras nivel prueba de banco.	55
Tabla 12. Comparativo general sobre rendimiento de compuestos en ceniza de paja de trigo.	58

RESUMEN

Los terrenos agrícolas a nivel global enfrentan una carencia muy notable de nutrientes orgánicos naturales, realidad que encamina al ser humano en la búsqueda de nuevos compuestos orgánicos capaces de remediar suelos degradados por el uso intensivo de agroquímicos de vieja y nueva generación. La Sílice Amorfa extraída a partir de la paja de trigo como posible suplemento en la fertilización agrícola sustentable, es un compuesto natural amorfo con características nutritivas asimilables por las plantas, y por consiguiente ayuda en la restauración de la materia orgánica vegetal microscópica necesaria en todos los cultivos; además se evita la emisión de gases contaminantes al momento de quemar los residuos de la cosecha de trigo In Situ. El objetivo fue extraer Sílice Amorfa en laboratorio a partir de la paja obtenida de las muestras de plantas de trigo secas mediante procesos de combustión en atmosfera reductora. En la investigación se usó la paja de nueve plantas de trigo secas sometidas a una quema en ausencia de oxígeno. Las variables estudiadas fueron temperatura, tiempo de exposición y rendimiento general. Los resultados se obtuvieron por medio del desarrollo de la Norma Mexicana NMX-AA-75-1982, ANÁLISIS DE AGUA-DETERMINACIÓN DE SÍLICE (Centro de Calidad Ambiental, 1992).

El mejor resultado en extracción de Sílice Amorfa se obtuvo con el uso del horno artesano, donde la muestra se expuso a 446 °C con atmosfera reductora total, generando una tonelada de ceniza por cada 3.225 toneladas de paja de trigo, 255 kg de H_4SiO_4 por cada tonelada de ceniza de paja de trigo y 745 kg de compuestos restantes (Carbonatos, Fosfatos, etc.).

Y el resultado menos favorable para la extracción de Sílice Amorfa se obtuvo con el uso de quema controlada en mufla, exponiendo la muestra a 1000 °C, el proceso genero una tonelada de ceniza por cada 15.88 toneladas de paja de trigo, 348 kg de H_4SiO_4 por cada tonelada de ceniza de paja de trigo y 652 kg de compuestos restantes (Carbonatos, Fosfatos, etc.).

La eficiencia del horno artesano comparado con la eficiencia de la quema controlada en mufla es 490 % superior.

INTRODUCCIÓN

El paradigma actual de la agricultura es incrementar la productividad mediante el uso intensivo de agroquímicos (fertilizantes, insecticidas, etc.), dejando a su paso contaminantes en el suelo, aire, agua y en los mismos alimentos cultivados que serán ingeridos por el ser humano.

La agricultura sustentable, basada en el uso de fertilizantes orgánicos amigables con el ambiente; está adquiriendo importancia cada vez más, dentro de esos fertilizantes destaca el Silicio Orgánico (H_4SiO_4).

El aprovechar la paja de trigo para extraer Sílice Amorfa como posible suplemento en la fertilización agrícola sustentable aporta una gran ventaja en la disminución de contaminación ambiental, ya que dichos residuos no se queman a cielo abierto In Situ, si no en equipos controladores de emisiones.

El costo actual de fertilizantes químicos es alto y de acciones negativas hacia los recursos naturales y la población. La presente investigación ofrece una alternativa factible y económica al extraer Sílice Amorfa como un compuesto orgánico accesible.

El Distrito de Desarrollo Rural 193 de San Luis Rio Colorado sembró en el ciclo 2016-2017 una superficie de 11 mil hectáreas de trigo (Velásquez, 2017); generando residuos de paja de trigo, de los cuales se puede obtener beneficios económicos, sociales y ambientales.

La investigación se basa en extraer Sílice Amorfa a partir de la paja obtenida de las muestras de plantas de paja de trigo secas sin grano, las cuales funge como residuo al final de la cosecha de dicha gramínea; residuo que adquiere un valor agregado al procesarlo en equipos de quema en atmosfera reductora, es decir, al momento de la quema las emisiones directas a la atmosfera disminuyen y se evita contaminar el medio ambiente y su entorno.

El desarrollo de esta investigación responde principalmente a los siguientes intereses y motivaciones:

1.- Contribuir en la reducción de emisiones contaminantes.

2.- Sustentar científicamente la extracción de Sílice Amorfa a partir de paja de trigo, con la firme intención de obtener seguridad en el uso del compuesto orgánico.

Como producto de esta investigación experimental se espera extraer a nivel laboratorio Sílice Amorfa para su posible uso en la fertilización agrícola sustentable, llevando a cabo para la extracción pruebas basadas en el proceso de quema en atmosfera reductora.

El Si es el segundo elemento más abundante en la Tierra y solo puede ser absorbido por las plantas en forma de ácido monosilícico (Matichenkov, 2001).

La elevada extracción de Silicio, el cual es diez veces más que el nitrógeno, y la nula restitución al suelo en los planes de fertilización, es probable que se esté causando un desbalance nutricional con respecto a este elemento. Además, existen otros factores que favorecen una deficiencia de sílice como son: altas concentraciones en el suelo en forma insoluble, la quema de residuos vegetales que aumenta la polimerización de los ácidos silícicos (no disponibles para la planta), la erosión que disminuye los contenidos de materia orgánica, alterando la población de microorganismos que intervienen en su mineralización, afectando también la disponibilidad del sílice (CIAT, 1985).

La presencia de mayor cantidad de Silicio disponible en el suelo parece traer beneficios al cultivo en relación al déficit hídrico, dice Crusciol. La acumulación de Sílice en la pared celular reduce la pérdida de agua por transpiración, pudiendo ser un factor de adaptación al estrés hídrico (Filgueiras, 2007).

El silicio es eficaz en el control de diversas plagas y enfermedades causadas por hongos y bacterias en diferentes especies de plantas (Feng, 2004).

El Silicio mejora el empleo de biosólidos. La mezcla de biosólidos como el estiércol de ganado y compostas con minerales ricos en Silicio activo pueden transformar la presencia de contaminantes activos y tóxicos en materiales inertes. Además, potencializa a los elementos minerales contenidos en ellos y reduce la lixiviación (Jordán, Cabrera, Díaz, Arévalo, & Ramírez, 2011).

Los antecedentes mencionados demuestran que el Silicio Orgánico podría ser un suplemento eficaz en la fertilización agrícola sustentable, ofreciendo variables muy significativas a favor de los cultivos, suelo, agua y aire; entre esas variables se encuentra la reducción de emisiones contaminantes al dejar de quemar In Situ la maleza y paja de trigo; y podría obtenerse un posible compuesto orgánico y ganancias económicas redituables por el autoconsumo del compuesto orgánico y quizá su venta.

Por lo que la presente investigación tendrá como objetivo desarrollar una metodología que permita aprovechar los residuos agrícolas de la cosecha del trigo, que son la paja y malezas, extrayendo el Silicio amorfo como un posible suplemento orgánico de la fertilización agrícola sustentable aplicable en los terrenos. El trabajo se realiza con la cooperación del CORPORATIVO RUVA S. DE R. L. DE C.V., "RANCHO LA VACA" en las zonas agrícolas del Valle de San Luis Rio Colorado, Sonora; con la finalidad de contribuir a la recuperación del ecosistema agrícola degradado por las prácticas y químicos utilizados en los cultivos, adicionalmente evitando la contaminación ambiental a causa de la quema de esos residuos de malezas y paja de trigo.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se ha observado, al pasar de los años que los suelos agrícolas del Valle de San Luis Río Colorado, Sonora, debido a la agricultura intensiva que se lleva a cabo en esta región se ha reducido la concentración de nutrientes efectivos para los cultivos, situación que obliga al uso desmedido de agroquímicos de última generación, los cuales debido a su composición sintética acaban con la vida microbiana presente en los suelos, promoviendo su degradación, aunado a la contaminación que se produce al quemar a cielo abierto los desechos agrícolas de miles de hectáreas, afectando el medio ambiente y la salud de la población.

En la actualidad, a nivel mundial se ha generado un mercado que busca brindar productos provenientes del sector agrícola con el enfoque reducir o eliminar el uso de agroquímicos, denominándola “agricultura orgánica”. En ella cabe mencionar que existen agricultores en el valle de San Luis Río Colorado que trabajan bajo este sistema productivo interesados realmente en producir fertilizantes libres de químicos y dan credibilidad a los beneficios de usar y aplicar productos orgánicos de origen natural; el cambio de fertilización tradicional con químicos a fertilización orgánica es un paso que pocos agricultores toman, debido a la exigencia del mercado, es decir, los dueños de parcelas agrícolas necesitan producir toneladas de alimentos para satisfacer el mercado y al usar fertilizantes orgánicos la producción se reduce al iniciar las primeras temporadas de cultivo, ya que se necesitan varias de estas para remediar el suelo y equilibrar los resultados deseados.

Por tal motivo, el presente trabajo de investigación se basa en el estudio de extraer Sílice Amorfa a partir de la paja obtenida de las muestras de plantas de trigo secas, sometidas a quema en atmosfera reductora controladora de emisiones, generando compuestos orgánicos disponibles para cultivos agrícolas; garantizando una remediación de suelos integra y productos de calidad nutritiva y sanos para el ser humano.

En el planteamiento de este trabajo surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué porcentajes de Sílice Amorfa se obtienen al procesar la paja obtenida de las muestras de plantas de trigo secas?

Objetivo

Obtener Sílice Amorfa en laboratorio a partir de la paja obtenida de las muestras de plantas de trigo secas mediante procesos de combustión en atmosfera reductora.

Objetivo específico

Desarrollar la metodología adecuada para extraer y determinar porcentajes de Sílice Amorfa a partir de la paja obtenida de las muestras de plantas de trigo secas.

Justificación

En las zonas agrícolas de El Valle de San Luis Rio Colorado, la quema de paja de trigo a cielo abierto es un gran problema de contaminación ambiental ya que genera emisiones importantes de humo, hollín y partículas contaminantes, causando una mala calidad del aire para la población rural y urbana.

Uno de los factores principales que se identifican en los campos agrícolas, es el déficit de nutrientes. En el Valle de San Luis Rio Colorado, Sonora, es bajo el número de agricultores que utilizan productos orgánicos cuyo fundamento es incorporar a sus cultivos y al suelo suplementos minerales, definidos como técnicas y métodos cuya función principal es nutrir la tierra y las plantas; dichos productos tienen su origen en materiales de origen animal o vegetal.

Por tal motivo a través de esta investigación se pretende extraer Sílice Amorfa a partir de la paja obtenida de las muestras de plantas de trigo secas, como posible suplemento en la fertilización agrícola sustentable, evitando así la quema de los residuos agrícolas causantes de la contaminación atmosférica presentes al final de cada ciclo de cosechas.

Hipótesis

Es posible extraer Sílice Amorfa a partir de la paja de trigo.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Conceptos Básicos

2.1.1 Silicio

El Silicio (Si) es el segundo elemento más abundante en la litosfera (27,7%), solo detrás del O₂ (47,4%) y los compuestos de Si constituyen más del 60% de los compuestos del suelo y su concentración en forma soluble, como ácido silícico, está entre 35 y 40mg·l⁻¹ o 0,1 a 0,6mM (Epstein, 1999).

2.1.2 Silicio Orgánico

El Silicio Orgánico (familia de los organosilíceos dentro de la cual se encuentran los silanoles, los silanodiolos y los silanotriolos) se diferencia del silicio mineral por la presencia de uno o varios átomos de carbono asociado(s) con hidrógeno y bajo tal forma, resulta ser uno de los elementos esenciales de la materia viva, como lo demuestran las dosificaciones que se hicieron en las plantas y los animales como en los humanos (Janvier, 2008).

Aunque el elemento químico conocido como Silicio es uno de los más abundantes en la corteza terrestre, muy pequeñas cantidades (menos del 1 %) lo aprovechan las plantas. Solamente lo es en la nutrición de las plantas el conocido como "Sílice Amorfa" que no es más que ácido ortosilícico (H₄SiO₄) (Jordán et al., 2011).

2.1.3 Materia Orgánica

Los autores denominan indistintamente materia orgánica o humus a la parte orgánica que cumple el papel esencial en el suelo y el término humus se designa a las sustancias orgánicas variadas, de color pardo y negruzco, que resultan de la descomposición de materias orgánicas de origen exclusivamente vegetal (Gros y Domínguez, 1992).

2.1.4 Biomasa

La biomasa es tiempos recientes se ha posicionado como una fuente de energía y es a su vez un recurso renovable; el concepto de biomasa comprende todo tipo de materia orgánica, de origen vegetal o animal (Carrillo, 2010).

2.1.5 Pirolisis

Se define como la ruptura de los enlaces químicos por el uso de energía térmica y como la transformación de un componente en uno o más sustancias por calentamiento sin oxidación, es decir en atmósfera inerte (Wampler, 2007).

2.1.6 Pirolisis de Biomasa

Wampler (2007), afirma que en cuanto a la pirolisis de biomasa, la biomasa está compuesta principalmente por biopolímeros, celulosa, hemicelulosa y lignina.

Los biopolímeros son más complejos, pero siguen el mismo tipo de procesos químicos que un polímero, produciendo durante su rompimiento térmico una distribución volátil compleja, pero representativa del material original (Wampler, 2007).

2.1.7 Fertilización

La fertilización es una práctica insustituible en la actividad agraria, consistente en reponer al suelo aquellos nutrientes que se van agotando por la propia extracción de los cultivos. Los fertilizantes representan uno de los principales insumos de la producción agraria, por lo que el uso eficiente constituye una importante fuente de ahorro y de reducción de los impactos medioambientales (Serrano, Lucena, Ruano, & Nogales, 2009).

Así, una fertilización excesiva, no ajustada a las necesidades reales del cultivo, ya sea por cantidad, tipo de abono o época de aplicación, puede provocar problemas por lixiviación de nitratos, eutrofización de aguas y emisiones de gases de efecto invernadero, además de un gasto innecesario que no repercute en un incremento equivalente de la producción. Del mismo modo, una fertilización insuficiente acarrea no sólo una reducción en el rendimiento del cultivo sino también una pérdida de la fertilidad del suelo (Serrano et al., 2011).

2.1.8 Atmósfera Reductora

Una atmósfera reductora es una atmósfera en la que no hay oxígeno libre, pero que contiene hidrógeno libre y en la que todos los otros componentes están en un estado reducido o parcialmente reducido; estos dos tipos de atmósfera se contrastan en la Figura 1. Se verá que en la atmósfera reductora no es necesario que cada componente esté completamente reducido (Gish & Escuin, 1980).

ELEMENTOS	REDUCTORA	OXIDANTE
Carbono	Metano (CH_4) Monóxido de Carbono (CO)	Dióxido de Carbono (CO_2)
Hidrógeno	Hidrógeno (H_2)	Agua (H_2O)
Nitrógeno	Amoníaco (NH_3) Nitrógeno (N_2)	Nitrógeno (N_2)
Oxígeno	Agua (H_2O)	Oxígeno (O_2) Agua (H_2O)

Figura 1. Comparación de la atmosfera reductora postulada con la atmosfera oxidante actual, Gish & Escuin, 1980.

La opinión de Gish y Escuin (1980), es que el carbono puede encontrarse totalmente reducido (el caso del metano) o parcialmente oxidado (monóxido de carbono); el hidrógeno puede encontrarse totalmente reducido (hidrógeno libre) o parcialmente en forma de agua, oxidado; el nitrógeno se puede encontrar parcialmente en forma totalmente reducida (amoníaco) y parcialmente como nitrógeno libre (ni reducido ni oxidado).

2.1.9 Calor Específico y Conductividad Térmica.

El calor específico de una sustancia o material, es la cantidad de calor que debe suministrarse a la unidad de masa de tal sustancia, para elevar su temperatura en una unidad (Tudela, 1982).

Vargas (2007), afirma que la conductividad térmica (k) de los materiales es la velocidad con la que el calor se transmite a través de un material, lo cual es de suma importancia.

2.1.10 Transferencia de Calor

La transferencia de calor es la energía en tránsito debido a una diferencia de temperatura (Incropera, 1999).

Afirma Tudela (1982) que para incrementar la temperatura de un cuerpo, se debe aplicar calor, si a masas iguales de distintos materiales se les aplica la misma cantidad de calor, su temperatura se verá elevada, pero ocurrirá de diferente manera, dependiendo de la sustancia de la cual estén fabricados.

Una propiedad de los materiales que determina la velocidad con la que el calor se transmite a través de un material es la conductividad térmica (k), lo cual es de suma importancia en aplicaciones donde se involucre la transferencia de calor como el uso de elementos aislantes. La conductividad térmica determina la velocidad con que una cantidad de energía térmica se desplaza a través de un cuerpo entre dos planos, desde el que tiene mayor temperatura al de menor temperatura, tal aseveración implica que la propiedad de la conductividad térmica pueda ser utilizada en su valor recíproco que es la resistividad, con lo que un material puede ser usado como aislante, debido a su baja conductividad o a su alta resistividad (Thiem, 1967).

2.1.11 Densidad

El volumen y el peso de un cuerpo son características básicas que definen en primer lugar su tamaño, y en segundo la manera en la cual la gravedad del planeta lo afecta. Esta propiedad es conocida también como masa volumétrica en normas internacionales como ASTM. La densidad (ρ) de un elemento es la magnitud que relaciona estas dos variables. La densidad de un cuerpo se puede definir como su masa Δm entre su volumen ΔV : $\rho = \Delta m / \Delta V$. Si la densidad de un cuerpo es la misma

en todos sus puntos, entonces su densidad será igual a su masa total dividida entre el volumen del cuerpo (Resnick, Halliday y Krane, 1993).

2.1.12 Mecanismos de Transferencia de Calor

Hay tres formas diferentes en las que el calor puede pasar de la fuente al receptor, aun cuando muchas de las aplicaciones en la ingeniería son combinaciones de dos o tres. Estas son, conducción, convección y radiación (Kern, 1999).

Erazo (2007) opina que la convección se presenta entre la superficie de un cuerpo y el aire que circula en su entorno, por radiación se entiende a cambios entre las superficies de dos cuerpos colocados uno frente a otro. Finalmente, la conducción tiene lugar entre dos cuerpos en contacto o dos partes de un mismo cuerpo.

2.2 Insumos como Materia Prima en la Extracción de Sílice Amorfa

2.2.1 Paja de Trigo

Las características peculiares principales se atribuyen a que la forman tallos secos de las especies del género *Triticum* una vez cortados y separados del grano (semilla) mediante la trilla; el género *Triticum* pertenece a la familia Poaceae (gramíneas) y como muchas especies de esta familia, *Triticum spp* presenta tallos circulares con los entrenudos huecos y los nudos macizos donde se insertan las hojas que presentan vaina (Barroso, 2010).

Barroso (2010), afirma que el número de nudos es de 6 y la altura de los tallos esta entre 0.5 y 2 metros.

2.2.2 Capacidad Calorífica

La Capacidad Calorífica de un cuerpo es la razón de la cantidad de calor que se le cede a dicho cuerpo en una transformación cualquiera con la correspondiente variación de temperatura y depende de la masa del cuerpo, de su composición química, de su estado termodinámico y del tipo de transformación durante la cual se le cede el calor (Sigaut & Knoblauch, 2001).

2.3 Suplementos Orgánicos en la Agricultura

2.3.1 Propiedades

Los abonos orgánicos se han recomendado en aquellas tierras sometidas a cultivo intenso para mejorar la estructura del suelo; con ello, se aumentan la capacidad de retención de agua y la disponibilidad de nutrimentos para las plantas (López, Díaz, Martínez, & Valdez).

2.4 Características de la Paja de Trigo

2.4.1 Composición Química

En el trigo la celulosa es ligeramente inferior y más variable que en las especies madereras, la hemicelulosa es de menor pureza que la celulosa y la lignina es el material cementante que mantiene unidas a las fibras (Munizaga, 2009).

Munizaga (2009), afirma que dependiendo del producto que se desea obtener cada uno de estos materiales adquiere mayor o menor importancia y la mayor diferencia entre la madera y la paja de trigo es el alto contenido de Sílice que esta última contiene.

El mismo autor menciona que otro componente específico del trigo, es una delgada capa de cera sobre la epidermis la cual puede influir en los procesos y productos finales; donde la química de la paja de trigo es más alcalina (ph entre 7 y 9) que la de la madera, la cual es más ácida.

2.4.2 Epidermis de la Hoja

La cara adaxial de la epidermis forma unas crestas encima de la banda vascular longitudinal principal presente en cada hoja y en la superficie cuenta con filas de células alargadas, paralelas al eje de la hoja y grandes células encima y adyacentes a estas crestas cubiertas de pequeños pelos en forma de púas; otras células poseen elementos de Sílice, las que están solas o con células de corcho (Munizaga, 2009).

2.4.3 Mesofilo y Pulvino

En el 2009, Munizaga escribió que el interior de la hoja, excluidos los haces vasculares, se denomina como Mesofilo y consiste de tres a cinco capas homogéneas de células

parenquimáticas ricas en cloroplastos, cada célula del Mesofilo posee de 1 a 100 lóbulos; mientras que el Pulvino es una modificación de la base de la hoja envainadora, esta retiene o conserva recursos para las células alargadas en el resto de la hoja madura.

2.4.4 Poder Calorífico de la Paja de Trigo

La paja de trigo según McKendry (2002) reporta un poder calorífico inferior (PCI) de 17.3 MJ/kg.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 Determinación de Variables Generales en la Quema de Paja de Trigo

Previo al desarrollo de pruebas de laboratorio y prueba de banco se realizó una quema de paja de trigo (la paja de trigo utilizada en el experimento se obtuvo con un agricultor del Valle agrícola de San Luis Rio Colorado, Sonora), para observar el color, textura y rendimiento en peso obtenido de la ceniza al final del proceso; en la Tabla 1 se muestran los datos usados en el experimento.

Tabla 1. Quema de muestras de paja de trigo usando diferentes temperaturas y tiempos

Temperatura (°C)	Peso paja (gramos)	Tiempo de quema (min)
600	10	90
800	10	30
900	10	30

1000	10	30
1000	10	45

El equipo utilizado para la quema de las muestras anteriormente mencionadas se realizó en una mufla THERMOLINE (Thermo Scientific), con un rango máximo de 1100 °C de temperatura; equipo que ofreció el calor necesario para quemar la paja de trigo.

En la Figura 2 se observa la mufla utilizada en la quema de muestras de paja de trigo.



Figura 2. Mufla utilizada en la quema de muestras de paja de trigo

Cabe mencionar que para mantener la temperatura estable a altas temperaturas es necesario el gasto de energía eléctrica, la cual tiene un costo elevado en México.

3.2 Determinación de Sílice Amorfa en Muestras de Ceniza Provenientes de la Quema In Situ en los Campos Agrícolas del Valle de San Luis Rio Colorado.

En este apartado se recolecto ceniza procedente de los terrenos agrícolas del Valle de San Luis Rio Colorado, con el fin de conocer y determinar la cantidad de Sílice Amorfa generada después de la quema In Situ que se da de manera antropogenica.

En la Figura 3 se observa claramente los residuos de paja de trigo incinerada In Situ por los agricultores.



Figura 3. Quema In Situ tradicional de residuos agrícolas de paja de trigo.

Una vez recolectada la muestra de ceniza procedente de la quema In Situ, se someten a los análisis de laboratorio.

En la Tabla 2 se presenta la cantidad de ceniza para el análisis de cada muestra.

Tabla 2. Muestras de ceniza recolectadas In Situ para análisis de Sílice Amorfa.

Muestra (Ceniza In Situ)	Ceniza total para análisis (gramos)
1	1
2	1
3	1

3.3 Esquema Metodológico Nivel Laboratorio

Para el desarrollo del proyecto se implementó una metodología para pruebas a nivel laboratorio, basada en el siguiente esquema metodológico, ver figura 4.

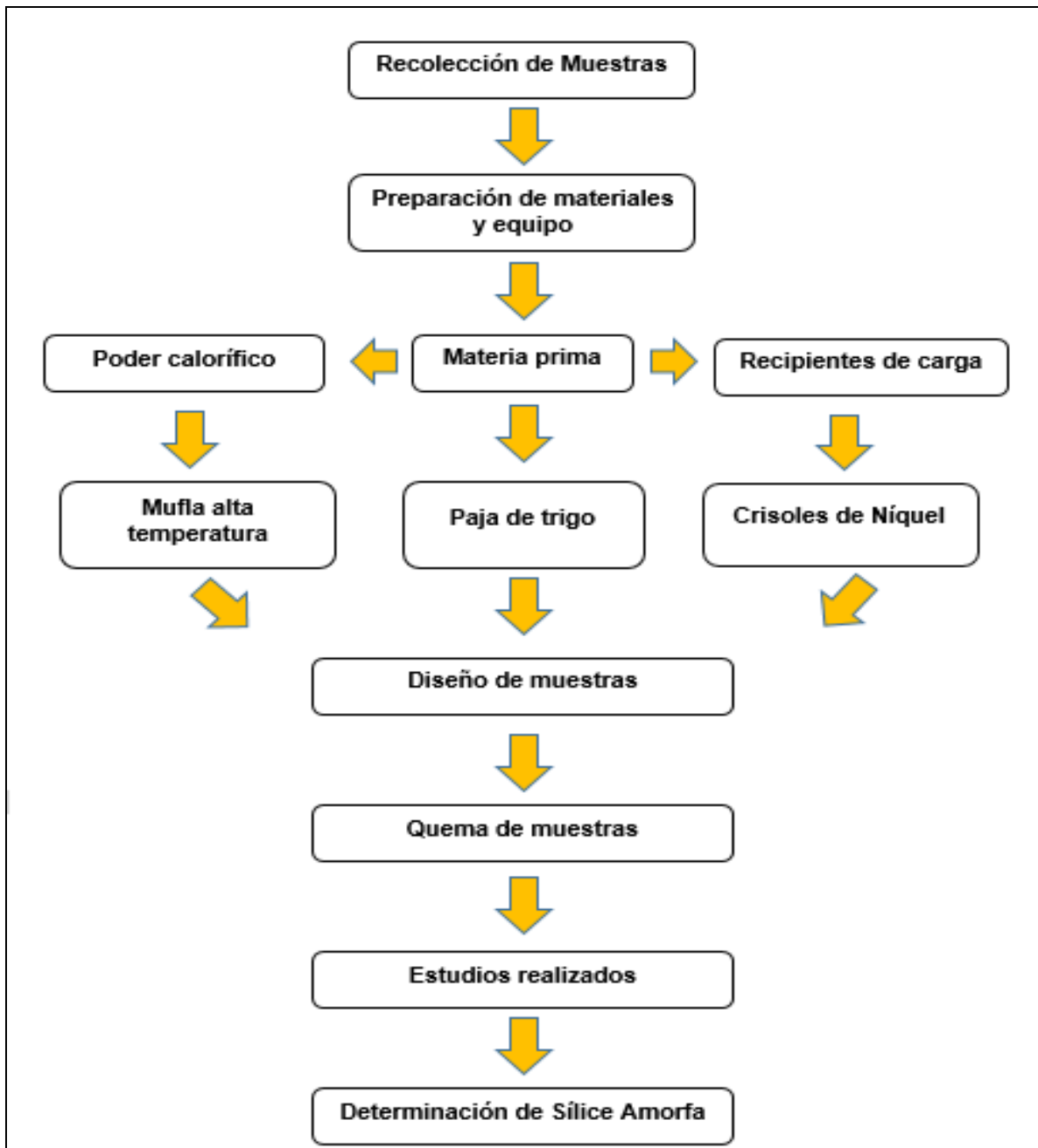


Figura 4. Esquema metodológico para la extracción de Sílice Amorfa nivel laboratorio.

3.3.1 Ubicación del Área de Estudio para la Recolección de Muestras

Para la realización de este trabajo se recolectaron muestras de plantas secas de trigo sin grano (plantas que se convertirán en paja después de la cosecha) en los terrenos agrícolas del Valle de San Luis Rio Colorado, Sonora, México.

En la Figura 5 se puede percatar de la ubicación geográfica satelital de la zona agrícola en estudio; en dicha zona se recolecto las muestras a procesar.



Figura 5. Ubicación satelital de la zona agrícola en estudio.

En colaboración con la empresa Corporativo Ruva S. De R.L. De C.V, asesores de tesis y alumno, se determinó una recolección de material basado en un muestreo aleatorio simple, el cual consiste en dividir una parcela en diferentes partes y se eligen aleatoriamente (todas las partes tienen la misma posibilidad de ser elegidas); dada la homogeneidad de las plantas secas de trigo sin grano (plantas que se convertirán en paja después de la cosecha) este método es sencillo y eficaz; en la Figura 6 se muestra el terreno en estudio.

Las muestras mencionadas anteriormente se denominan biomasa, la cual es la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía aunque puede tener otros usos industriales (Martí, 2006).



Figura 6. Terreno agrícola muestreado.

3.3.2 Diseño y Preparación de Muestras Recolectadas

En este punto de la investigación se tomaron 9 muestras de paja obtenida de las plantas de trigo secas, de las cuales cada una se taro de manera correcta.

En la Figura 7 aparecen las plantas de trigo y basculas usadas en el trabajo.



Figura 7. Materia prima y equipo de tarado usado en la investigación.

Las muestras se sometieron a una quema en atmosfera reductora, con temperatura de 1000 °C y 30 minutos de exposición; las 9 muestras se procesaron con la misma temperatura y el mismo tiempo.

La temperatura y el tiempo se definieron por las siguientes razones:

Bourke, Manley, Fushimi, Dowaki, Nunoura, & Antal (2007), mencionan que la degradación térmica de la celulosa ocurre entre 200-300 °C, e identificaron que el principal producto es levoglucosan junto con piranonas y furanos. Se produce carbón de celulosa a 310 °C cuyo contenido es principalmente de compuestos aromáticos y detectables, benzofuranos, dibenzofuranos y derivados naftalenos.

Un segundo constituyente químico principal de la biomasa es la hemicelulosa, la cual es una mezcla de varios monosacáridos polimerizados, como glucosa, galactosa, manosa, xilosa, arabinosa y ácido glucoronico; la hemicelulosa se descompone a temperaturas de 200-260 °C, dando lugar a más volátiles, menos alquitranes y menos cadenas que la celulosa (Mohan, Pittman, & Steele, 2006).

La lignina es el tercer componente principal de la biomasa (Mohan et al., 2006).

Mohan et al., 2006, realizaron un análisis térmico donde observaron que la descomposición de la lignina inicia a 280 °C y continua hasta 450-500 °C, con un máximo entre 350-450 °C y concluyeron que la pirolisis de la lignina genera fenoles, es más difícil de deshidratar que la celulosa o la hemicelulosa y que esta produce más carbón que la pirolisis de la celulosa.

Lores, Font, De La Torre, & Bastida, (1997) , mencionan que para calcular la cantidad de materia orgánica, se calentaba la muestra a 1000 °C analizándose el CO₂ producido por cromatografía gaseosa y dado que a esta temperatura también se produce la descomposición de la mayoría de los carbonatos, éstos eran determinados previamente por Calcimetría mediante ataque ácido con HCl.

En el experimento, “ESTUDIO DE LA ELIMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN ARCILLAS MEDIANTE TRATAMIENTO TÉRMICO Y ANÁLISIS DEL PROCESO A DIFERENTES ESCALAS”, se observa que se consigue eliminar mayor cantidad de materia orgánica y de forma más rápida cuanto mayor es la temperatura (Lores et al., 1997).

La información antes mencionada en resumen indica que a mayor temperatura se descomponen la mayoría de carbonatos presentes en las muestras de estudio, en este caso carbonatos y menos óxidos.

En la Tabla 3 se observa el número de muestras recolectadas y su respectivo peso en seco sin grano.

Tabla 3. Muestras de plantas de trigo en seco sin grano

Muestra	Peso (Seco en gramos)
---------	-----------------------

1	50.69
2	16.19
3	5.9
4	19.5
5	10
6	16.9
7	15
8	9
9	7.5

3.3.3 Densificado de Muestras

Las muestras taradas en la Tabla 3 se sometieron a un densificado, cuyo objetivo es procesarlas en una quema en atmosfera reductora.

En la Figura 8 se aprecia en el inciso a), una muestra de paja de trigo normal sin triturar y en el inciso b), una muestra de paja de trigo densificada.

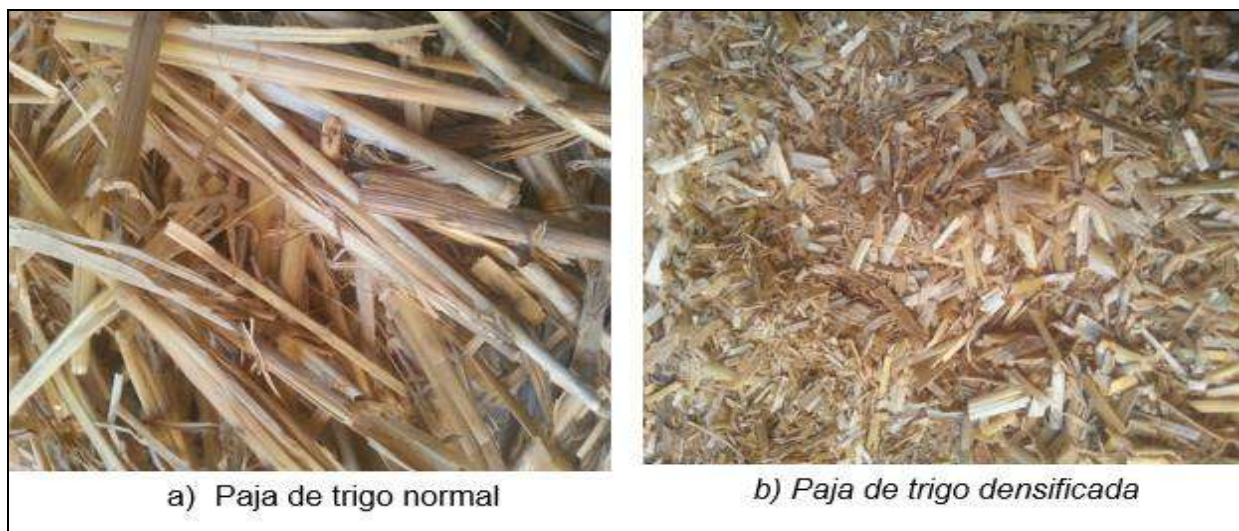


Figura 8. Muestras de paja de trigo: a) Paja de trigo normal, b) Paja de trigo densificada.

3.3.4 Carga de Crisoles con Biomasa Densificada

Una vez que se densificó la biomasa de cada muestra, se procedió a cargar cada crisol para obtener ceniza. En la Figura 9 se muestran los crisoles cargados de biomasa densificada.



Figura 9. Crisoles cargados de biomasa densificada.

3.3.5 Preparación de Mufla para Quema en Atmosfera Reductora

En esta etapa del proceso se procedió a la quema de las muestras en mufla.

Para utilizar la mufla se realizó un precalentado hasta llegar a los 1000 °C.

En la Figura 10 se puede observar la mufla utilizada para la quema de las muestras.



Figura 10. Mufla utilizada en la quema de muestras.

3.4 Esquema Metodológico Nivel Prueba de Banco

Para el desarrollo del proyecto se implementó una metodología para pruebas a nivel prueba de banco, basada en el siguiente esquema metodológico, ver figura 11.

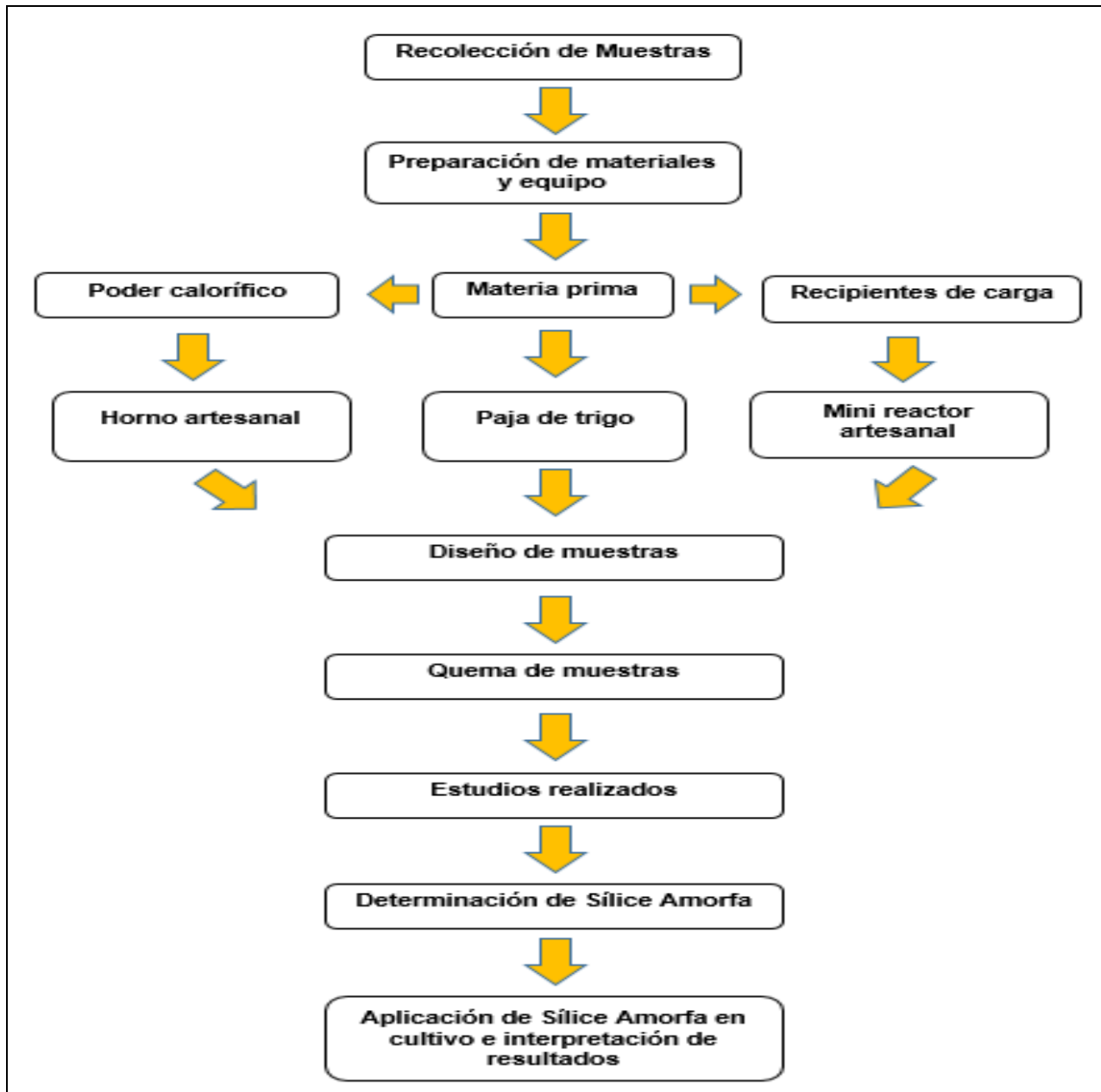


Figura 11. Esquema metodológico para la extracción de Sílice Amorfa nivel prueba de banco.

3.4.1 Ubicación del Área origen de la paca de trigo

Para complementar la realización de este trabajo se adquirió una paca de paja de trigo con un ganadero del Valle de San Luis Rio Colorado, Sonora, México.

En la Figura 12 se puede apreciar la ubicación geográfica satelital de los terrenos agrícolas del Valle de San Luis Rio Colorado, Sonora, México.

Se generaliza la ubicación de origen de la paca de trigo, ya que el ganadero que apporto la paca de trigo para el estudio desconoce el origen exacto, pero afirma que es del Valle de San Luis.



Figura 12. Valle agrícola de San Luis Rio Colorado, Sonora.

Es necesario mencionar que los terrenos agrícolas de San Luis Rio Colorado, reciben la misma agua para los riegos en el cultivo del trigo (la cantidad de Sílice Amorfa en el agua es la misma para todos los terrenos agrícolas).

3.4.2 Diseño y Preparación de Muestras Obtenidas de la Paja de Trigo

En este punto de la investigación se tomaron 5 muestras de paja de trigo para someterlas a quema en atmosfera reductora en el horno artesanal.

En la figura 13 se observan las muestras para la quema.



Figura 13. Muestra para quema en horno artesano.

Las muestras se sometieron a una quema en atmosfera reductora, con temperaturas y tiempos diferentes; variables que coinciden con las referencias bibliográficas investigadas.

En la figura 14 se visualiza la extracción acumulativa de diferentes especies a 10 y 120 min de combustión a 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C y 800 °C.

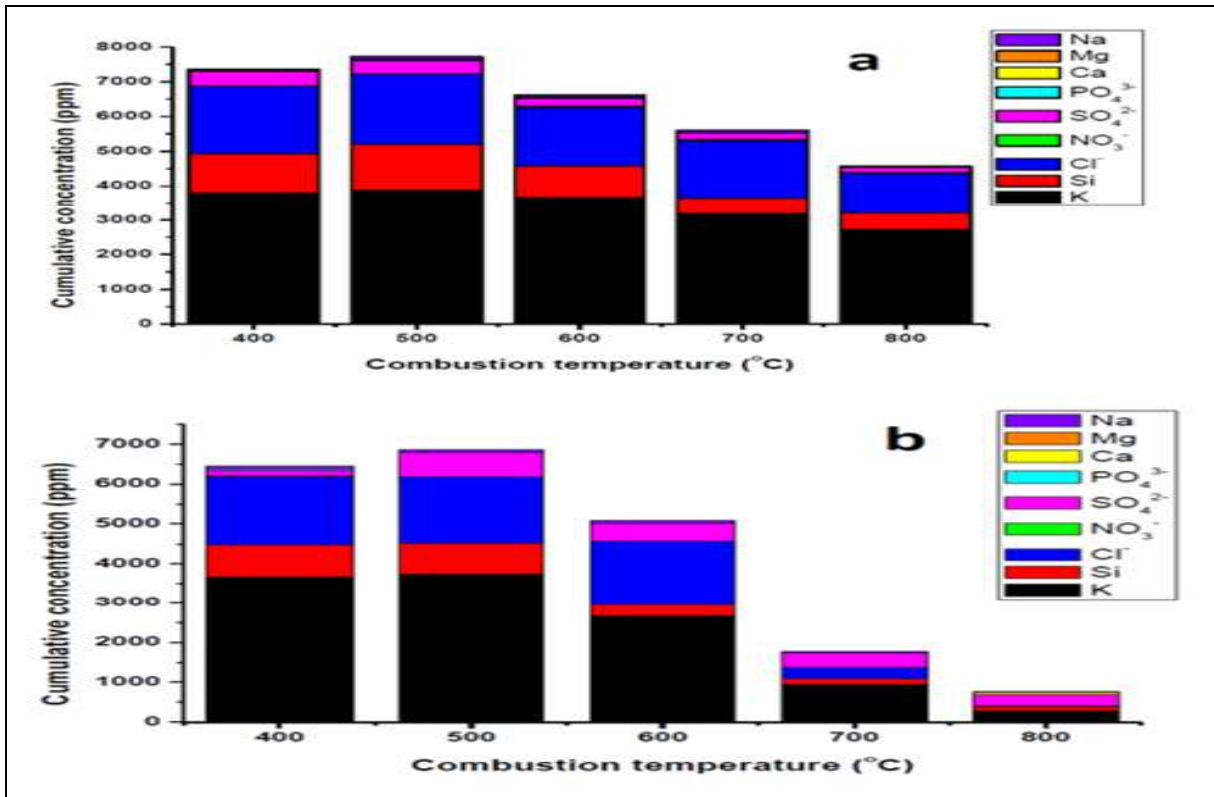


Figura 14. Extracción acumulativa de diferentes especies de residuos de combustión CI07 después de enfriamiento con agua (Q) después de a) combustión de 10 min y b) combustión de 2 h (originalmente en color), Dodson, 2011.

Los datos correspondientes a la Figura 14, menciona Dodson (2011), que la combustión a temperaturas inferiores a 600 ° C proporciona la mayor extracción de sílice al producir las soluciones más alcalinas, evitando la solubilidad del calcio y manteniendo la Sílice en una forma más reactiva.

En la Tabla 4 se observan las muestras de paja de trigo sometidas a quema en atmosfera reductor usando el horno artesano.

Tabla 4. Muestras de paja de trigo para quema en horno artesanal.

Muestras de paja de trigo	Peso de paja de trigo (Kilogramos)
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1

3.4.3 Densificado de Muestras

Las muestras taradas en la Tabla 4 se sometieron a un densificado, cuyo objetivo es procesarlas en una quema en atmosfera reductora.

En la Figura 15 se aprecia en el inciso a), una muestra de paja de trigo normal sin triturar y en el inciso b), una muestra de paja de trigo densificada.

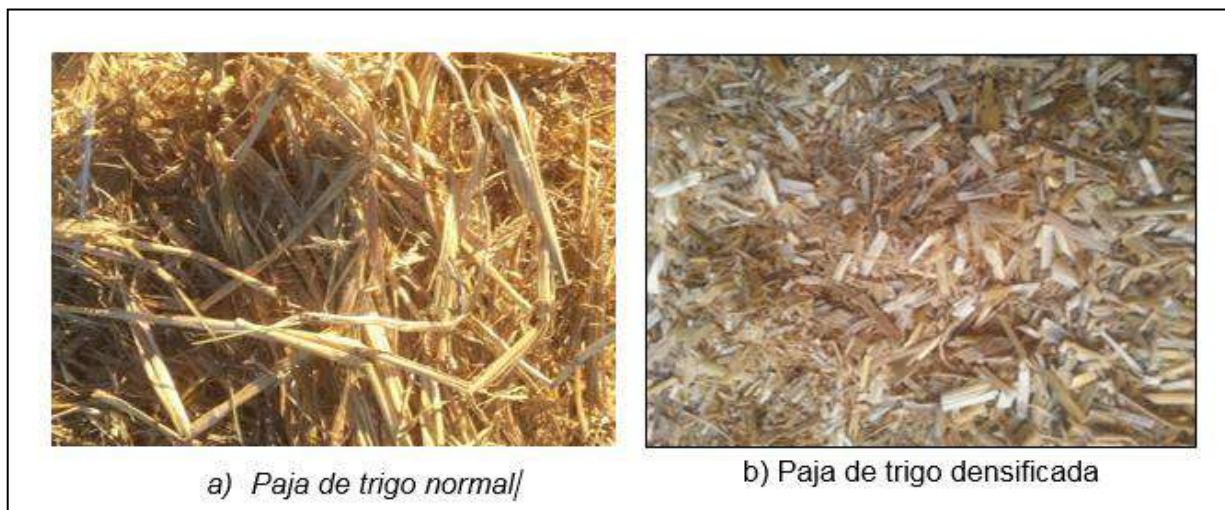


Figura 15. Muestras de paja de trigo: a) Paja de trigo normal, b) Paja de trigo densificada.

3.4.4 Carga de Reactor con Biomasa Densificada

Una vez que se densificó la biomasa de cada muestra, se procedió a cargar el mini reactor artesanal para obtener ceniza. En la Figura 16 se muestra el mini reactor artesanal cargado de biomasa densificada.



Figura 16. Mini reactor cargado de biomasa densificada de paja de trigo.

3.4.5 Preparación de Horno Artesanal para Quema en Atmosfera Reductora

En esta etapa del proceso se procedió a la quema de las muestras en horno artesano.

Para utilizar el horno artesano, es necesario el uso de biomasa residual (poda de mezquites) como fuente de calor. En la Figura 17 se muestra la biomasa de poda de mezquites con un peso equivalente a 13 kg.



Figura 17. Biomasa de poda de mezquite.

Una vez pesada la biomasa de mezquite, se introduce el mini reactor artesanal al horno artesano y se agregó la biomasa de mezquite.

En la Figura 18 se observa el horno artesano con el mini reactor artesanal en su interior y encima la biomasa de mezquite.



Figura 18. Horno artesano con mini reactor en interior y biomasa de mezquite.

3.5 Estudios Realizados

En los estudios a nivel laboratorio, nivel prueba de banco y determinación de Sílice Amorfa presente en ceniza recolectada In Situ, se adaptó y desarrolló la Norma Mexicana NMX-AA-75-1982, ANÁLISIS DE AGUA-DETERMINACIÓN DE SÍLICE (Centro de Calidad Ambiental, 1992).

Centro de Calidad Ambiental (1992), menciona que la Norma Mexicana NMX-AA-75-1982 establece los métodos gravimétricos y colorimétrico para la determinación de Sílice en agua. En el presente trabajo se desarrolló el método gravimétrico que es aplicable en muestras con concentraciones mayores de 10 mg/L; donde el reactivo a utilizar fue el Ácido Fluorhídrico.

Para realizar los estudios se obtuvo la ceniza resultante de la quema en mufla con temperatura controlada, ceniza resultante de la quema en horno artesano y ceniza recolectada In Situ en terrenos agrícolas del Valle de San Luis Rio Colorado, Sonora.

3.5.1 Aplicación de la Norma Mexicana NMX-AA-75-1982, ANÁLISIS DE AGUA-DETERMINACIÓN DE SÍLICE a Muestras de Ceniza Recolectada In Situ en los Terrenos Agrícolas del Valle de San Luis Rio Colorado Sonora

En este punto no fue necesario realizar quemas de muestras de paja de trigo, ya que se recolecto directamente muestras de ceniza generadas por la quema In Situ que practica y ejerce el agricultor al final de la cosecha de trigo.

En la Figura 19 se puede observar la ceniza In Situ recolectada.



Figura 19. Ceniza In Situ recolectada.

3.5.2 Aplicación de la Norma Mexicana NMX-AA-75-1982, ANÁLISIS DE AGUA- DETERMINACIÓN DE SÍLICE a Muestras Nivel Laboratorio

En la Figura 20 PROMIX (2017), afirma que las plantas se categorizan basadas en su tendencia a acumular silicio. Las “acumuladoras” acumulan altos niveles de silicio en sus tejidos; las “intermedias” acumulan niveles moderados y las “no acumuladoras” acumulan bajos niveles en sus tejidos. También se indica el porcentaje de silicio que se acumula en el tejido, bajo la categoría de cada planta.

Acumuladoras (>1,5% de Si)	Intermedias (entre 1,5 y 0,5% de Si)	No Acumuladoras (<0,5% de Si)
Coníferas	Crisantemos	Begonias
Helechos	Pepinos	Geranios
Colas de caballo (equisetos)	Caléndulas	Gerberas
Musgos	Balsaminas de Nueva Guinea	Pensamientos
Arroz	Calabazas	Petunias
Cañas de azúcar	Rosas	Bocas de dragón
	Calabaza amarilla y cabocha	Girasoles
	Trigo	Tomates
	Zinias	

Figura 20. Porcentajes de Silicio en plantas acumuladoras, intermedias y no acumuladoras, PROMIX 2017.

Centro de Calidad Ambiental (1992), menciona en la Norma Mexicana NMX-AA-75-1982, ANÁLISIS DE AGUA-DETERMINACIÓN DE SÍLICE, que las muestras a procesar deben contar con un mínimo de 10 mg/L de Sílice Amorfa; por lo tanto en el estudio se utilizaron muestras de 9 plantas de trigo secas y basados en la información

de la figura 20 se determinó la cantidad de ceniza a tratar con Ácido Fluorhídrico y por medio del método gravimétrico estimar porcentajes de Sílice Amorfa en las muestras de paja de trigo secas, es decir que de cada planta se obtuvo ceniza y para estar seguros de que cada muestra mínimo tuviera una concentración de Sílice Amorfa se realizaron cálculos con mínimo de 20 mg/L el doble de lo que pide la Norma.

Con los datos de la Figura 20 se determinó la cantidad de ceniza a usar en los análisis; en la Tabla 5 se puede observar el número de muestras (Plantas secas de trigo), su peso en ceniza y la cantidad de ceniza necesaria para analizar.

Tabla 5. Muestras de plantas de trigo secas, ceniza total de cada planta y ceniza total para análisis.

Muestra (Planta)	Ceniza total de la planta (gramos)	Ceniza total para análisis (gramos)
1	2.35	0.1324
2	1.49	0.2642
3	0.3345	0.1620
4	2.3569	0.3453
5	0.1078	0.0308
6	0.8856	0.14962
7	0.6972	0.1328
8	0.3204	0.1017
9	0.9357	0.3565

3.5.3 Aplicación de la Norma Mexicana NMX-AA-75-1982, ANÁLISIS DE AGUA- DETERMINACIÓN DE SÍLICE a Muestras Nivel Prueba de Banco

Para realizar la determinación de Sílice Amorfa en muestras a nivel prueba de banco, PROMIX (2017), menciona que las plantas de trigo son acumuladoras intermedias de Silicio vegetal soluble (1.5 % y 0.5 %).

Por lo tanto con los resultados de las muestras nivel laboratorio se realizaron promedios correspondientes a peso general de las plantas de trigo y ceniza obtenida.

De las 5 muestras sometidas a quema en horno artesano solo se analizaron 3 (800 °C, 746 °C y 446 °C), ya que la muestra 1 registro 800 °C, la muestra 2 y 3 ambas registraron 446 °C y la muestra 4 y 5 registraron 746°C, por lo tanto se analizan 3 diferentes temperaturas en la ceniza de paja de trigo y cada tratamiento se le aplicaron 5 repeticiones.

En la Tabla 6 se observa el total de muestras, peso en ceniza total y cantidad de ceniza necesaria para análisis.

Tabla 6. Muestras de quema de paja de trigo a temperaturas diferentes, ceniza total de cada planta y ceniza total para análisis.

Muestra (Temperatura °C)	Ceniza total de paja (Kg)	Ceniza total para análisis (kg)				
800	0.272	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
746	0.355	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
446	0.310	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

3.6 Aplicación de Sílice Amorfa en cultivo de Lechuga PENDIENTE

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se muestran los resultados para la determinación de variables en la quema de paja de trigo, determinación de Sílice Amorfa en muestras nivel laboratorio, determinación de Sílice Amorfa en muestras nivel prueba de banco y se presentan resultados sobre aplicación de Sílice Amorfa en el cultivo de lechuga; resultados que se analizan a fondo para rescatar información positiva y viable para la investigación teórica-práctica.

4.1 Caracterización de la Ceniza de Paja de Trigo

4.1.1 Ceniza de Paja de Trigo

En la Tabla 7 se observan los compuestos presentes en la ceniza de paja de trigo; paja de trigo procedente de USA, China, Denmark y Spain.

Tabla 7. Contenido de ceniza, composición elemental y datos de valor calorífico para una variedad de materiales de biomasa y carbón, Dodson, 2011.

Residue type	Ash (wt% dry basis)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅	Cl	HHV (MJ	Alkali	Ref	
												/kg dry basis)	index (kg M ₂ O / GJ)		
Wheat straw	Imperial Valley (USA)	12.8	35.8	2.5	1.0	4.7	2.5	10.5	18.4	5.5	1.5	14.7	17.2	2.15	2
	(China)	10.0	36.9	8.0	6.3	8.1	3.0	9.2	17.4	4.5	2.0	5.2	16.2	1.64	32
	2000 (Denmark)	4.8	35.3	1.1	0.1	10.2	2.4	0.5	30.1	6.2	2.6	3.4	16.8	0.88	33
	Soisson (Spain)	5.7	64.0	0.3	0.2	5.4	1.8	0.1	17.0	1.8	1.6	2.8	16.3	0.60	33
	2001 (Denmark)	4.8	67.0	0.2	0.2	8.7	2.2	0.1	14.0	2.2	2.4	2.1	17.4	0.39	33
	Marius (Spain)	4.9	65.0	0.8	0.6	11.0	1.7	0.1	9.1	2.5	2.3	1.2	17.1	0.26	33

En la presente investigación se tomó como referencia la información de la Tabla 7, donde se puede observar el análisis de paja de trigo correspondiente a la zona de Imperial Valley (USA), la cual es una de las zonas más cercanas a los terrenos agrícolas del Valle de San Luis Rio Colorado, Sonora (la ceniza de paja de trigo del

Valle de San Luis Rio Colorado no fue posible caracterizarla por falta de recursos económicos solo se determinó la cantidad de Sílice Amorfa).

4.2 Resultados Correspondientes a la Determinación de Variables en la Quema de Paja de Trigo

En este apartado de resultados, en la Tabla 8 se logró obtener los siguientes datos:

Tabla 8. Resultados generales sobre determinación de variables en la quema de paja de trigo.

Temperatura (°C)	Peso paja (gramos)	Tiempo de quema (min)	Ceniza total (gramos)	Color de la ceniza	Textura de la ceniza
600	10	90	1	Negro	Quebradiza al tacto
800	10	30	2.8	Negro obscuro	Quebradiza al tacto
900	10	30	4	Negro obscuro	Quebradiza superior al tacto
1000	10	30	5	Negro obscuro	Quebradiza superior al tacto
1000	10	45	5	Negro obscuro	Quebradiza superior al tacto

Se logró conocer las principales variables que resultan en la quema de paja de trigo, entre ellas se encuentra el color de la ceniza, la textura, el peso final en ceniza, tiempos y temperaturas.

La muestra a 600 °C con un tiempo de 90 min de exposición al calor ofreció un rendimiento bajo en ceniza, un color negro no intenso y una textura quebradiza al tacto.

La muestra a 800 °C con un tiempo de 30 min de exposición al calor arrojó un mejor rendimiento respecto a su peso inicial, un color negro obscuro intenso y una textura quebradiza superior al tacto.

La muestra a 900 °C y 1000 °C con un tiempo de 30 min de exposición al calor manifestaron un rendimiento del 50 % de ceniza respecto al peso inicial de la muestra, un color negro obscuro intenso y una textura quebradiza superior al tacto.

Para complementar el estudio en esta etapa, el resultado de la muestra a 1000 °C con un tiempo de 45 min de exposición al calor no cambió ni color de ceniza, ni peso de ceniza y ni comportamiento de la textura.

Dado los resultados anteriores se confirma que la temperatura y el tiempo de exposición de las muestras al calor son las variables primordiales en el proceso de quema, ya que de ello depende el resultado de color, textura y peso de la ceniza.

En la Figura 21 se aprecia material procesado listo para moler.



Figura 21. Paja de trigo procesada en quema de atmósfera reductora.

4.3 Resultados Sobre la Determinación de Sílice Amorfa en Muestras de Ceniza Provenientes de la Quema In Situ en los Campos Agrícolas del Valle de San Luis Rio Colorado.

Los resultados sobre la determinación de Sílice Amorfa en muestras de ceniza provenientes de la quema In Situ se detallan en la Tabla 9.

Tabla 9. Resultados sobre la determinación de Sílice Amorfa en muestras de ceniza de paja de trigo provenientes de la quema In Situ.

Muestra (Ceniza In Situ)	Ceniza total para análisis (g)	H ₄ SiO ₄ (g)	Compuestos restantes (g)
1	1	0.1973	0.8027
2	1	0.1994	0.8006
3	1	0.1984	0.8016

En la Figura 22 se puede observar la gráfica correspondiente a los datos plasmados en la Tabla 9 (promedio de Sílice Amorfa y Compuestos restantes).

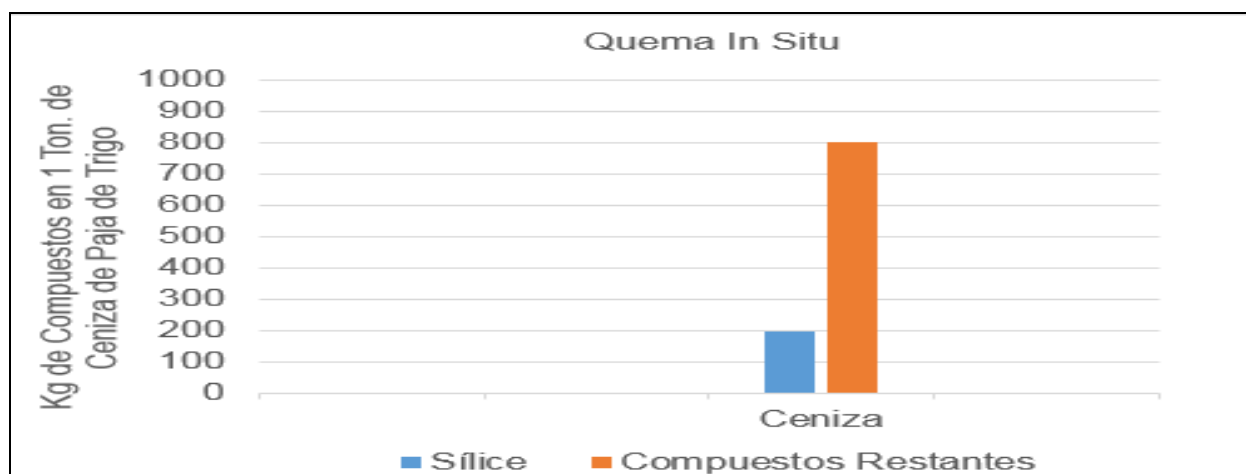


Figura 22. Promedio de Sílice Amorfa y Compuestos Restantes en Ceniza de Quema In Situ.

Los datos de la Figura 22 y la Tabla 9 muestran el rendimiento de compuestos que se obtienen al analizar la ceniza de paja de trigo recolectada de la quema In Situ en los terrenos agrícolas del Valle de San Luis Rio Colorado, Sonora.

En promedio general se obtienen los siguientes datos:

- 1.- Por cada tonelada de ceniza se obtienen en promedio 198 kg de Sílice Amorfa.
- 2.- Por cada tonelada de ceniza se obtienen en promedio 802 kg de compuestos restantes (Carbonatos, Fosfatos, etc.).
- 3.- Se desconoce la cantidad de paja necesaria para producir 1 tonelada de ceniza, ya que el proceso de quema es In Situ de los terrenos agrícolas de San Luis Rio Colorado, Sonora.

La práctica de quema In Situ sobre la paja de trigo resulta contaminante y genera compuestos oxidados e inertes para la regeneración de materia vegetal en suelos dirigidos al cultivo intenso de alimentos.

4.4 Resultados Correspondientes a la Determinación de Sílice Amorfa en Muestras Nivel Laboratorio

Los resultados obtenidos para la determinación de Sílice Amorfa en muestras a nivel laboratorio se observan en la Tabla 10.

Tabla 10. Resultados sobre la determinación de Sílice Amorfa en muestras de ceniza de paja de trigo nivel laboratorio.

Muestra (Planta)	Ceniza (g)	H ₄ SiO ₄ (g)	Compuestos restantes (g)
1	0.1324	0.0638	0.0686
2	0.2642	0.0849	0.1793
3	0.1620	0.0539	0.1081
4	0.3453	0.0949	0.2504
5	0.0308	0.0228	0.0080
6	0.1496	0.0584	0.0912
7	0.1328	0.0353	0.0975
8	0.1017	0.0408	0.0609
9	0.3565	0.0751	0.2814

En la Figura 23 se puede observar la gráfica correspondiente a los datos plasmados en la Tabla 10 (promedio de Sílice Amorfa y Compuestos restantes).

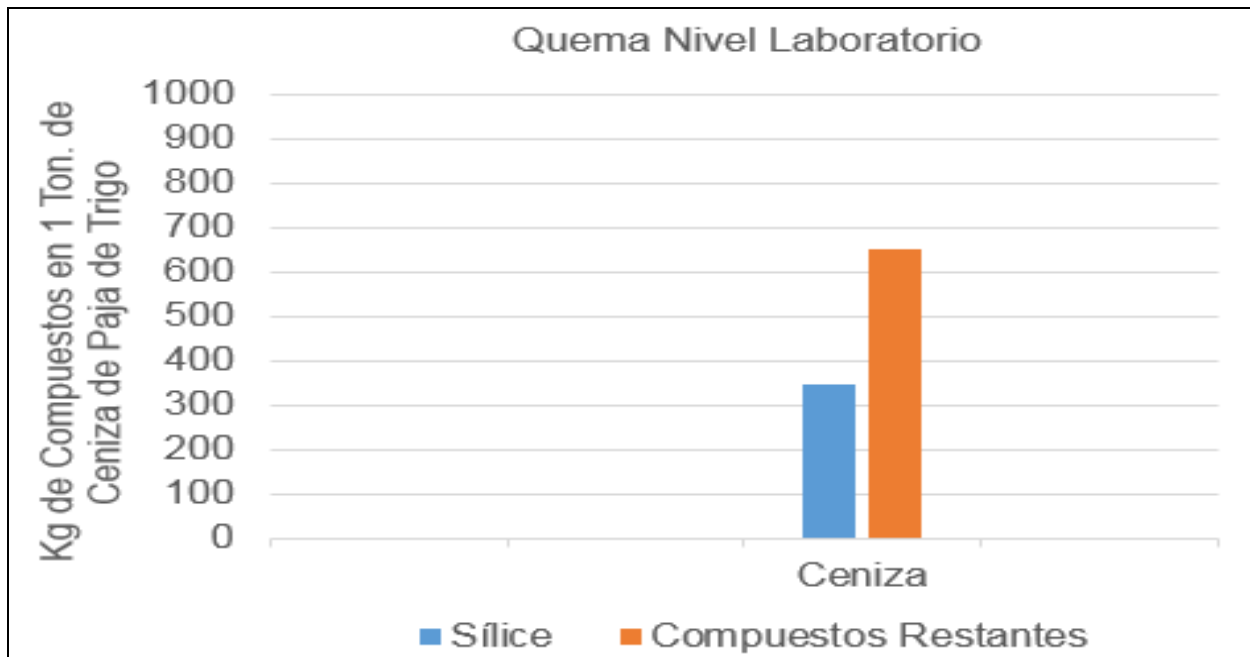


Figura 23. Promedio de Sílice Amorfa y Compuestos Restantes en Ceniza de Quema Nivel Laboratorio.

Los datos de la Tabla 10 y la Figura 23 muestran el rendimiento de compuestos obtenidos al someter la paja de trigo a temperaturas que oscilan entre 1000 °C y un tiempo promedio de 30 minutos; en promedio y directo a los resultados se obtiene lo siguiente:

- 1.- En promedio el peso de la planta de trigo seca es de 16.73 g, la ceniza resultante en promedio es de 1.053 g por planta de trigo seca, en promedio la Sílice Amorfa determinada es de 0.3673 g por planta de trigo seca y en promedio se encontraron 0.6857 g de compuestos restantes (Carbonatos, Fosfatos, etc.).
- 2.- Por cada tonelada de paja se obtienen 62.94 kg de ceniza.
- 3.- Por cada tonelada de paja se extraen 21.95 kg de H_4SiO_4 .
- 4.- Por cada tonelada de paja se consiguen 40.98 kg de compuestos restantes (Carbonatos, Fosfatos, etc.).
- 5.- Por cada tonelada de ceniza se recuperan 348.74 kg de H_4SiO_4 .
- 6.- Por cada tonelada de ceniza se alcanza a obtener 651.26 kg de compuestos restantes (Carbonatos, Fosfatos, etc.).

Por lo tanto, para obtener 1 tonelada de ceniza se necesitan 15.88 toneladas de paja de trigo.

Con los datos correspondientes a las muestras de paja obtenida de las plantas de trigo secas se relacionó el contenido de Sílice Amorfa en función del peso de paja obtenido de las plantas de trigo secas.

En la Figura 24 se observa la relación entre peso de la paja de trigo vs contenido de Sílice Amorfa.

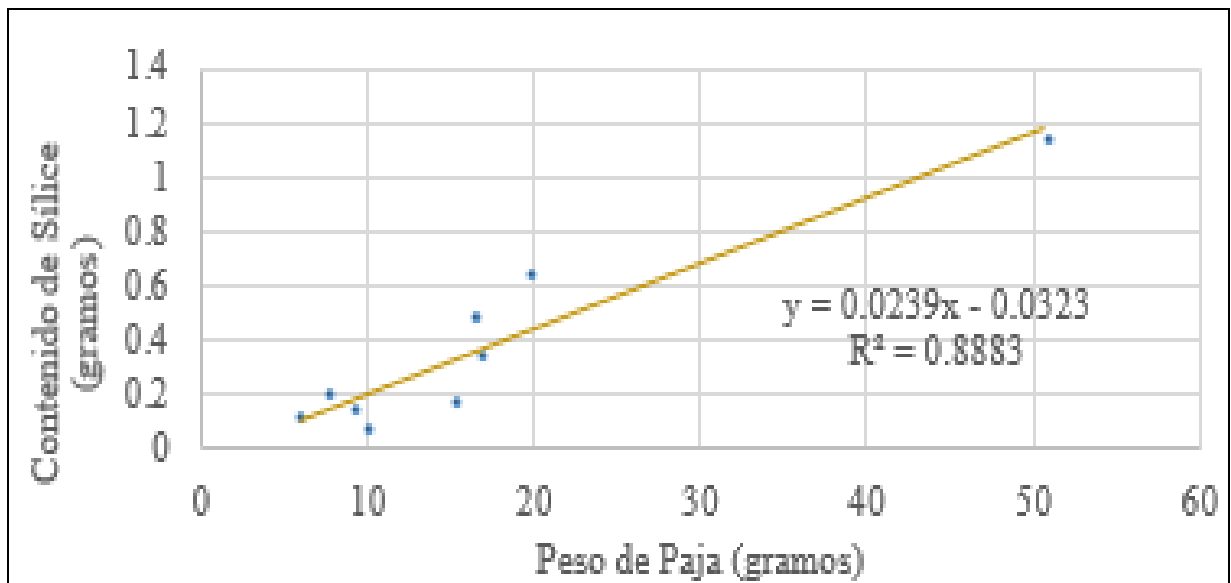


Figura 24. Relación de peso de paja de trigo vs contenido de Sílice Amorfa en muestras analizadas obtenidas de la quema controlada en mufla.

La Figura 24 presenta una relación lineal con coeficiente de correlación de 0.9425, obteniéndose valores mínimos y máximos del contenido de Sílice Amorfa de 0.1113 y 1.1324 g en función al peso de paja de 5.90 y 50.70 g respectivamente.

La quema en mufla arroja resultados positivos, ya que se controla la oxidación de compuestos contenidos en la ceniza de paja de trigo.

Dadas las condiciones de no contar con un equipo que ofreciera el proceso de quema en atmosfera reductora, se usó una mufla que genero hasta 1000 °C de calor; al momento de introducir la muestra en la mufla el calor inicia la ignición en la paja de trigo y posteriormente se cerró la tapa de la mufla para que se diera el fenómeno de atmosfera reductora.

No se presenta en su totalidad la quema en atmosfera reductora (poco oxígeno y oxígeno nulo).

4.5 Resultados correspondientes a la determinación de Sílice Amorfa en muestras nivel prueba de banco

De las 5 muestras sometidas a quema en horno artesano solo se analizaron 3 (800 °C, 746 °C y 446 °C), ya que la muestra 1 registro 800 °C, la muestra 2 y 3 ambas registraron 446 °C y la muestra 4 y 5 registraron 746°C, por lo tanto se analizan 3 diferentes temperaturas en la ceniza de paja de trigo y cada tratamiento se le aplicaron 5 repeticiones.

Al tener temperaturas similares en la muestra 2 y 3 (446 °C) y en la muestra 4 y 5 (746 °C), no fue necesario repetir análisis.

Los resultados correspondientes a la determinación de Sílice Amorfa en muestras nivel prueba de banco se observan en la Tabla 11.

Tabla 11. Resultados correspondientes a la determinación de Sílice Amorfa en muestras nivel prueba de banco.

Tem. (°C)	H ₄ SiO ₄ / 1 gramo de ceniza (g)					Compuestos restantes (g)				
	800	0.171	0.179	0.181	0.186	0.176	0.829	0.821	0.819	0.814
746	0.226	0.242	0.211	0.227	0.206	0.774	0.758	0.789	0.773	0.794
446	0.251	0.261	0.236	0.281	0.250	0.749	0.739	0.764	0.719	0.750

En la Figura 25 se puede observar la gráfica correspondiente a los datos plasmados en la Tabla 11 (promedio de Sílice Amorfa y Compuestos restantes).

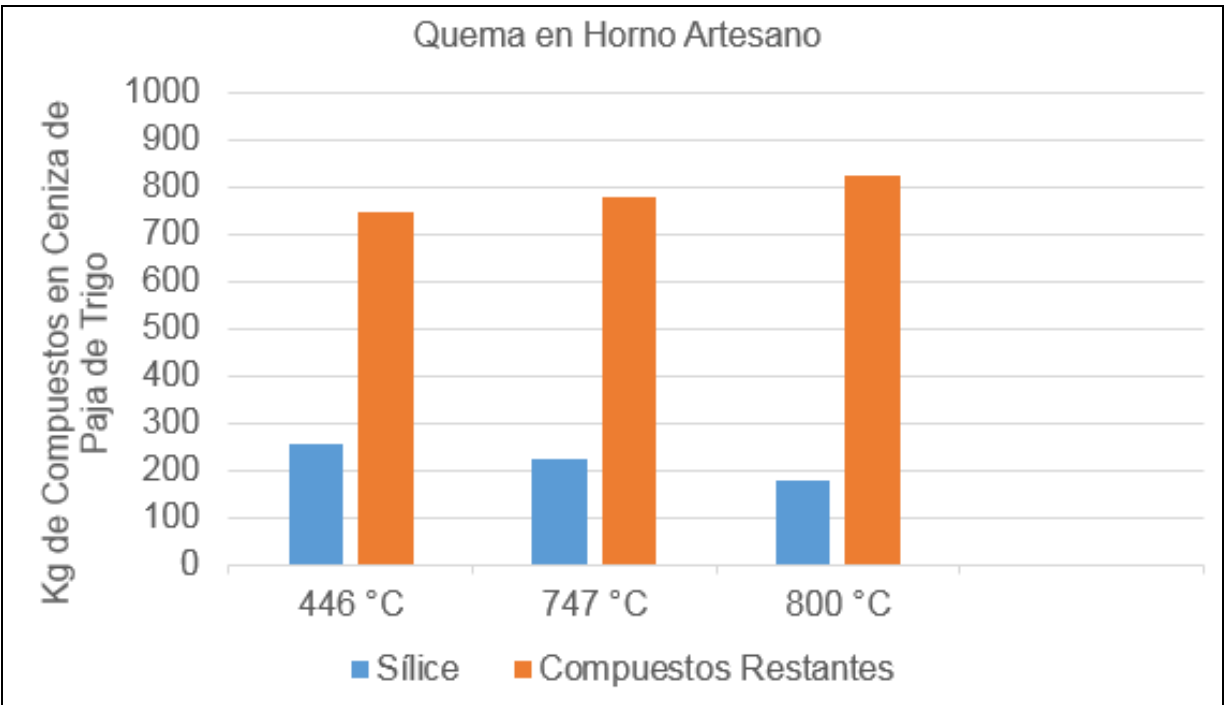


Figura 25. Figura. Promedio de Sílice Amorfa y Compuestos Restantes en Prueba de Banco.

Los datos de la Figura 25 y la Tabla 11 muestran el rendimiento de compuestos que se obtienen al someter la paja de trigo a una quema en atmosfera reductora basada en 3 temperaturas.

En promedio se obtienen los siguientes resultados:

Muestras sometidas a 446 °C.

- 1.- Por cada tonelada de paja se obtienen 310 kg de ceniza.
- 2.- Por cada tonelada de paja se extraen 79 kg de H_4SiO_4 .
- 3.- Por cada tonelada de paja se consiguen 231 kg de compuestos restantes (Carbonatos, Fosfatos, etc.).
- 4.- Por cada tonelada de ceniza se recuperan 255 kg de H_4SiO_4 .
- 5.- Por cada tonelada de ceniza se alcanza a obtener 745 kg de compuestos restantes (Carbonatos, Fosfatos, etc.)

Por lo tanto, para obtener 1 tonelada de ceniza se necesitan 3.225 Toneladas de paja de trigo.

Muestras sometidas a 746 °C.

- 1.- Por cada tonelada de paja se obtienen 355 kg de ceniza.
- 2.- Por cada tonelada de paja se extraen 78.95 kg de H_4SiO_4 .
- 3.- Por cada tonelada de paja se consiguen 276 kg de compuestos restantes (Carbonatos, Fosfatos, etc.).
- 4.- Por cada tonelada de ceniza se recuperan 222 kg de H_4SiO_4 .
- 5.- Por cada tonelada de ceniza se alcanza a obtener 778 kg de compuestos restantes (Carbonatos, Fosfatos, etc.)

Por lo tanto, para obtener 1 tonelada de ceniza se necesitan 2.816 Toneladas de paja de trigo.

Muestras sometidas a 800 °C.

- 1.- Por cada tonelada de paja se obtienen 272 kg de ceniza.
- 2.- Por cada tonelada de paja se extraen 48.6 kg de H_4SiO_4 .
- 3.- Por cada tonelada de paja se consiguen 223.4 kg de compuestos restantes (Carbonatos, Fosfatos, etc.).
- 4.- Por cada tonelada de ceniza se recuperan 178.7 kg de H_4SiO_4 .
- 5.- Por cada tonelada de ceniza se alcanza a obtener 821.3 kg de compuestos restantes (Carbonatos, Fosfatos, etc.)

Por lo tanto, para obtener 1 tonelada de ceniza se necesitan 3.676 Toneladas de paja de trigo.

4.6 Comparativo del rendimiento entre ceniza recolectada de la quema de paja In Situ, ceniza de paja de trigo obtenida de la quema controlada en mufla y ceniza de paja de trigo obtenida de la quema en horno artesano

Una vez recolectado los resultados de las muestras, en la Tabla 12 se detalla un comparativo general sobre el rendimiento de compuestos encontrados en 1 Tonelada de ceniza de paja de trigo procesada por quema In Situ, quema controlada en mufla y quema en horno artesano.

Tabla 12. Comparativo general sobre rendimiento de compuestos en ceniza de paja de trigo.

Método	H ₄ SiO ₄ (Kg / Ton. de ceniza)	Compuestos Restantes (Kg / Ton. de ceniza)	Paja Total para Generar 1 Tonelada de Ceniza (Kg)
Quema In Situ °C Desconocido	198	802	Sin datos
Quema en Mufla 1000 °C	348	652	15,880
Quema en Horno Artesano 446 °C	255	745	3,225
Quema en Horno Artesano 746 °C	222	778	2,816
Quema en Horno Artesano 800 °C	179	821	3676

La Tabla 12 indica que la quema en mufla es el método que genera más kg de Sílice Amorfa por cada tonelada de ceniza de paja de trigo, pero se necesitan 15. 880 toneladas de paja de trigo para poder obtener una tonelada de ceniza, por lo tanto no es el mejor método.

El mejor resultado es el generado en la quema en horno artesano a 446 °C, ya que genera 255 kg de Sílice Amorfa y 745 kg de Compuestos restantes por cada tonelada de ceniza; solo se necesitan 3.225 toneladas de paja de trigo para generar una tonelada de ceniza.

En la Figura 26 se puede observar la gráfica correspondiente a los datos plasmados en la Tabla 12 (Comparativo general sobre el rendimiento de ceniza de paja de trigo).

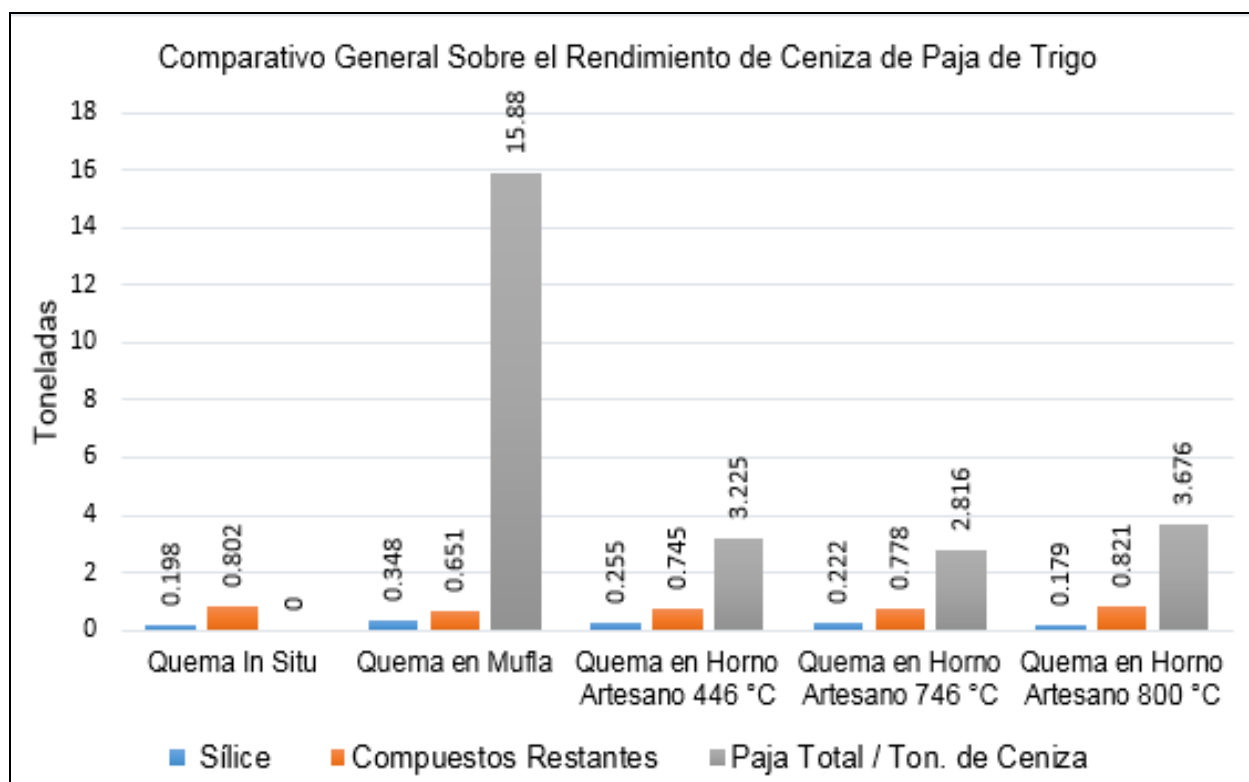


Figura 26. Comparativo general sobre el rendimiento de ceniza de paja de trigo.

La quema en atmosfera reductora es la principal variable determinante en la extracción de Sílice Amorfa; la cual define temperaturas, textura del producto, color, solubilidad, etc.

Evidentemente la cantidad de paja necesaria para generar una tonelada de ceniza es mayor en la muestra de quema en mufla con aproximadamente 15.88 toneladas (el

proceso en mufla no es atmosfera reductora total ya que la muestra al momento de introducirla al proceso se incinera y se volatiliza material no contabilizado; a diferencia de la quema en horno artesano la paja se encuentra en el interior del reactor con oxígeno nulo y por consiguiente se da una atmosfera reductora total obteniendo mejores rendimientos.

4.7 Resultados de la aplicación de Sílice Amorfa en cultivo de lechuga pendiente

CONCLUSIONES

La paja de trigo es un remanente que se genera al final de la cosecha de trigo en el Valle de San Luis Rio Colorado, Sonora, la cual es quemada In Situ por el agricultor y secuencialmente genera emisiones contaminantes de efectos negativos hacia el ambiente y la población aledaña.

En lo que respecta a los equipos de quema utilizados y diseño de muestras sometidas a quema y análisis de laboratorio, se observó el rendimiento de Sílice Amorfa presente en las muestras de paja de trigo al variar las temperaturas de quema, estudios basados en la Norma Mexicana NMX-AA-75-1982, ANÁLISIS DE AGUA-DETERMINACIÓN DE SÍLICE (Centro de Calidad Ambiental, 1982).

La temperatura es una variable que influye directamente en la extracción de Sílice Amorfa contenida en la paja de trigo, ya que al aumentar la temperatura aumentan los compuestos restantes (Carbonatos, Fosfatos, etc.) y disminuye el Silicio Orgánico, en contraparte al disminuir la temperatura inferior a 500 °C disminuyen los compuestos restantes (Carbonatos, Fosfatos, etc.) y aumenta la cantidad de Silicio Orgánico.

El mejor resultado en extracción de Sílice Amorfa se obtuvo con el uso del horno artesano, donde la muestra se expuso a 446 °C con atmosfera reductora total, generando una tonelada de ceniza por cada 3.225 toneladas de paja de trigo, 255 kg de H_4SiO_4 por cada tonelada de ceniza de paja de trigo y 745 kg de compuestos restantes (Carbonatos, Fosfatos, etc.).

Y el resultado menos favorable para la extracción de Sílice Amorfa se obtuvo con el uso de quema controlada en mufla, exponiendo la muestra a 1000 °C (no se presentó atmosfera total en la quema, ya que al momento de introducir la muestra en el equipo de quema se presentaba llama intensa de una combustión completa, generando una reacción exotérmica reflejada en partículas de compuestos diversos como carbón, Sílice, Fosfatos, etc.), el proceso generó una tonelada de ceniza por cada 15.88 toneladas de paja de trigo, 348 kg de H_4SiO_4 por cada tonelada de ceniza de paja de trigo y 652 kg de compuestos restantes (Carbonatos, Fosfatos, etc.).

La eficiencia del horno artesano comparado con la eficiencia de la quema controlada en mufla es 490 % superior.

Los resultados obtenidos de la quema In Situ generan 179 kg H_4SiO_4 por cada tonelada de ceniza de paja de trigo y 821 kg de compuestos restantes (Carbonatos, Fosfatos, etc.), con la diferencia de que al momento de la quema In Situ se genera emisiones contaminantes y las temperaturas elevadas eliminan capa vegetal y microorganismos benéficos para los cultivos; la Sílice Amorfa no interactúa de forma positiva para las plantas y los carbonatos, fosfatos, etc., se oxidan convirtiéndose en compuestos inertes o poco nutritivos para la restauración de los terrenos agrícolas.

Es posible extraer Sílice Amorfa de la paja de trigo mediante quema en atmosfera reductora.

RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso de hornos autónomos sustentables que ofrezcan una quema total en atmosfera reductora, reflejada en la calidad final de la extracción de los compuestos, el uso adecuado de energías limpias y el aporte positivo en reducción de emisiones hacia la atmósfera.

BIBLIOGRAFÍA

Barroso casillas, M. (20 de Octubre de 2010). Pretratamiento de Biomasa Celulosica para la obtencion de Etanol en el marco de una Refineria. Madrid, Madrid, España.

- Bourke J., Manley M., Fushimi C., Dowaki K., Nunoura T., & Antal M. J. (2007). Do All Carbonized Charcoals Have the Same Chemical Structure? A model of the chemical structure of carbonized charcoal, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 46, 18.
- Carrillo Pedraza, E. S. (2010). Estudio del proceso de pirólisis de biomasa para obtener nanopartículas del carbón.
- Centro de Calidad Ambiental (1982). Norma Mexicana. Diario Oficial de la Federación.
- CENTRO INTERNACIONAL PARA LA AGRICULTURA TROPICAL -CIAT. (1985). Química de los suelos inundados. Investigación y producción de arroz. Cali: CIAT.
- Dodson, J. (2011). Wheat straw ash and its use as a silica source (Doctoral dissertation, University of York)
- Epstein E (1994) The anomaly of silicon in plant biology. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*91: 11–17
- Erazo, R. (2007). Variación de la conductividad térmica con la humedad en materiales de construcción. Santiago de Chile. Recuperado de http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2007/erazo_ra/html/index-frames.html
- Fauteux F, Rémus-Borel W, Menzies JG, Bé-langer RR (2005) Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiol. Lett.* 249: 1-6
- Feng, J. (2004). Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Science and Plant Nutrition*, 11-18.
- Filgueiras, O. (2007). Silicio en la agricultura. *Pesquisa Fapesp*, 72-74. Recuperado el 15 de Julio de 2017, de <http://revistapesquisa.fapesp.br/es/2007/10/01/silicio-en-la-agricultura/>
- Gish, D. T., & Escuain, S. (1980). Especulaciones y experimentos relacionados con teorías sobre el origen de la vida: crítica. Clie.
- Gros, A. & Domínguez, A., 1992. *Abonos guía práctica de la fertilización*. 8va. Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 450 p.
- Incropera, F.(1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. Mexico, DF: PRETICE HALL.
- Janvier, C. C. (2008). *Silicium-organique.net*. Obtenido de [Silicium-organique.net: WWW.Silicium-organique.net](http://WWW.Silicium-organique.net)

- Jordán, R., E.Cabrera, G. Díaz, J. Arévalo, and Y. Ramírez. (2011). Residual industrial como complemento en la fertilización sustentable. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal(37), 66-71.
- Kern, D. (1999). Procesos de transferencia de calor. Mexico. CECSA.
- López Mtz, J. D., Díaz Estrada, A., Martínez Rubin, E., & Valdez Cepeda, R. D. (2001). Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. Terra latinoamericana, 19(4).
- Lores, M. T., Font, S., DE LA TORRE, I., & BASTIDA, I. (1997). Estudio de la eliminación de materia orgánica en arcillas mediante tratamiento térmico. Análisis del proceso a diferentes escalas. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 36(4), 419-424.
- Ma JF, Mitani N, Nagao S, Konishi S, Tamai K, Iwashita T, Yano M (2004) Characterization of the silicon uptake system and molecular mapping of the silicon trans-porter gene in rice. Plant Physiol. 136: 3284-3289.
- Martí, B. V. (2006). Situación de los sistemas de aprovechamiento de los residuos forestales para su utilización energética. Revista Ecosistemas, 15(1).
- Matichenkov, V.V. (2001). Silicio en Agricultura.
- McKendry P. (2002). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. Bioresource Technol. 83, 37-46.
- Mohan, D., Pittman, C. U., & Steele, P. H. (2006). Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical review. Energy & fuels, 20(3), 848-889.
- Munizaga Roman, J. A. (20 de Agosto de 2009). Resistencia a la fractura del compuesto pasta de cemento reforzado con fibra de celulosa obtenida del trigo. Santiago de Chile, Chile.
- PROMIX. (2017). Centro de formación PROMIX. Rol del Silicio en el Cultivo de las Plantas. Obtenido de <http://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/rol-del-silicio-en-el-cultivo-de-plantas/>.
- Resnick, R., Halliday, D., y Krane, K. (1993). Fisica Volumen I. Mexico: CECSA.
- Serrano, P., Lucena., Ruano, S., & Nogales, M. (2009). GUÍA PRÁCTICA DE LA FERTILIZACIÓN RACIONAL DE LOS CULTIVOS EN ESPAÑA. Noviembre 11, 2017, de MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO.

- Sigaut, L., & Knoblauch, P. (2001). Capacidad calorífica y temperatura de Debye. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
- Thiem. (1967). Manual del Ingeniero Técnico. España: URMO, S.A de Ediciones.
- Tudela, F. (1982). Ecodiseño. Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco, Col. Ensayos.
- Vargas, L. (2007). Uso de fibras de papel periódico, cal hidratada y alumbre, en la elaboración de un material compuesto. (Tesis de maestría) Universidad de Colima. Colima, Colima.
- Velásquez, O. (2017).Tribuna de San Luis. Recuperado el 30 de Octubre de 2017, de Tribuna San Luis Web site: <https://www.tribunadesanluis.com.mx>
- Wampler T. P., Applied Pyrolysis Handbook, second edition, CRC Press, 2007.

ANEXOS

Anexo 1. Monitoreo de temperatura correspondiente a la quema en horno artesano.



Anexo 2. Asesores de tesis checando muestras de ceniza de paja de trigo.



Anexo 3. Uso de equipo de protección personal para el uso de Ácido Fluorhídrico.



Anexo 4. Reactivo utilizado para la determinación de Sílice Amorfa.

