

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE QUÍMICA



INFORME FINAL DE PROYECTO

“TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS UTILIZANDO LA TECNICA DE INMOVILIZACION CON CEMENTO Y FIBRAS NATURALES DE DESECHOS AGROINDUSTRIALES RICOS EN LIGNINA ”

INVESTIGADORES

Licda. MARICRUZ VARGAS C.

MLGA. AURA LEDEZMA E

2008-2009

Índice General

1 . Informe Técnico	4
1.1. Título del Proyecto	4
1.2. Investifadores	4
1.3 Resumen	4
1.4. Abstract	5
1.5. Introducción	6
1.6. Metodología	7
1.6.1 Fuentes de lignina y metales pesados: Muestreo	7
1.6.2. Extracción de Lignina	8
1.6.3 Procedimiento de Extracción	8
1.6.4 Molienda	9
1.6.5 Mezcla de sustrato, cemento y residuo peligroso	9
1.6.6 Evaluación de propiedades físicas y efectividad de la inmovilización	9
1.7 Resultados	10
Características de mejor sustrato : tamaño de partícula, medio de extracción de lignina y porcentaje de aditivo de lignina en mezclas de cemento y residuo peligroso	
1.7.1 Medio de extracción de lignina	10
1.7.2 Tamaño de Partícula	11
1.7.3 Lixiviación de Pb^{2+} (Prueba TCLP) , con diferentes cantidades de sustratos de Bagazo(B) y rastrojo de Piña(P)	13
1.7.4. Resistencia Mecánica	13
1.7.5.. Efecto del tiempo de fraguado	15
1.7.6. Lixiviación de Pb^{2+} , utilizando cemento puzolánico en presencia de Bagazo(B) y Rastrojo de Piña(P) en diferentes proporciones.	16
1.8. Pruebas de aditivos en lodos ricos en metales pesados	16

Continuación Índice General	
1.9 Discusión y Conclusión	17
1.10 Recomendaciones	17
1.11 Agradecimientos	17
1.12 bibliografía	18

1. Informe Técnico

1.1. Título del proyecto

TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS UTILIZANDO LA TECNICA DE INMOVILIZACION CON CEMENTO Y DE DESECHOS AGROINDUSTRIALES.

1.2. Investigadores

Licda. Maricruz Vargas Camareno. mvargas@itcr.ac.cr

MLGA. Aura Ledezma E. aledezma@itcr.ac.cr

1.3. Resumen

En Costa Rica existen una gran cantidad de residuos peligrosos que contienen metales pesados. Entre este tipo de residuos se encuentran lodos de plantas de tratamiento de aguas de industrias de metalmecánica y reactivos en desuso de laboratorios químicos. La técnica de solidificación/estabilización utilizando ciertos residuos biomásicos agroindustriales ricos en lignina es una opción prometedora de tratamiento, que a su vez podría contribuir a dar un valor agregado a los residuos agroindustriales.

En este proyecto se evaluó la eficiencia de la lignina como aditivo en la técnica de inmovilización para el tratamiento de metales pesados. Se estudió dos tipos de cemento, portland y puzolánico, con bagazo y rastrojo de piña como fuentes de lignina, en granulometrías de menores a 300 micrómetros, para tratar mezclas que contenían 10 y 15% en peso de plomo respecto de la masa de cemento. Se estudió el efecto de la lignina al variar el tiempo de fragua así como el efecto del medio ácido o básico en la extracción de lignina de los sustratos.

El mejor resultado de inmovilización se encontró a los 28 días de fragua, utilizando 10 % en peso de bagazo con una granulometría menor a 300 micrómetros , extracción de la lignina en medio básico y utilizando una mezcla con 10% en peso de Pb. Mediante la prueba de TCLP se determinó que al utilizar lignina bajo las condiciones anteriores se logra obtener una mayor inmovilización del metal que en condiciones similares donde no se utiliza el aditivo .

Las propiedades físicas de trabajabilidad, y resistencia del cemento utilizando un 5% en peso de bagazo fueron satisfactorias para la utilización del cemento como material de inmovilización /solidificación.

1.3.1 Abstract

This project evaluated the efficiency of lignin as an additive in immobilization technique for the treatment of heavy metals. We studied two types of cement, portland and pozzolan, bagasse and pineapple stubble as a source of lignin, in particle sizes of less than 300 micrometers, to treat mixtures containing 10 and 15 wt% lead by mass of cement . The effect of lignin by varying the setting time and the effect of acidic or basic extraction of lignin substrates.

The best result of immobilization was found at 28 days of forge, using 10% by weight of bagasse with particle sizes less than 300 micrometers, extraction of lignin in an alkaline medium, using a mixture with 10 wt% Pb. By the TCLP test was determined that using lignin under the above conditions is possible to obtain a greater immobilization of metal, that under similar conditions where the additive is not used

1.4. Palabras clave

Lignina, aditivo, residuos peligrosos, residuos biomásicos agroindustriales, Cemento Portland, Inmovilización, Estabilización, Solidificación.

Abstract

1.5. Introducción

En Costa Rica, existen algunos datos aislados sobre los desechos y las importaciones o generación de productos que dan lugar a desechos peligrosos, por ejemplo: se estima en 40000 ton/año la cantidad de lodos industriales generados (la mayoría contienen sustancias químicas orgánicas y metales pesados) (Araya, 2002). El tratamiento de este tipo de lodos ha sido investigado por los proponentes de este proyecto en “DESARROLLO DE LA TECNOLOGIA DE INMOVILIZACION: ESTABILIZACIÒN / SOLIDIFICACIÒN DE DESECHOS PELIGROSOS EN COSTA RICA”; utilizando cemento como agente inmovilizador de los contaminantes presentes en los lodos.

Por otra parte en el país la industrialización de los productos agrícolas como caña de azúcar, café, banano, arroz, piña, etc. genera un 86% del total de desechos de los sectores industriales (Quesada, 2005). Así por ejemplo, en el procesamiento de la piña se generan 300 toneladas métricas de rastrojo por hectárea, lo cuál significa que en el 2007 se producirán 8,9 millones de TM debido a las 40000 ha de piña sembrada (Quesada, 2005; Porras, 2007).

En general estos subproductos o residuos agrícolas son ricos en el polímero lignina que se ha utilizado como aditivo para el concreto mejorando la trabajabilidad de las mezclas y modificando los tiempos de fragua entre otros (Ramírez, 1991). También en un estudio más reciente se demostró que la lignina se puede utilizar como adsorbente de metales pesados en conjunto con cemento Portland (polvo fino usualmente de color gris, compuesto principalmente por óxidos de calcio, silicio, aluminio y hierro) aumentando la efectividad de los sistemas cementosos para retener ese tipo de contaminantes (Janusa, 2000). Según se ha demostrado utilizando bagazo (22% en peso de lignina) y cemento Portland se puede inmovilizar efectivamente el nitrato de plomo hasta en un 15% en peso, contrario al caso del sistema con solo cemento Portland que no inmoviliza satisfactoriamente una concentración del 10% en peso del mismo compuesto. El bagazo se debe someter a un proceso ácido de purificación para eliminar los azúcares; que en concentraciones tan bajas como 0,03-0,15 % en peso retardan los tiempos de fragua y reducen la resistencia (Janusa, 2000).

Al igual que en el caso del bagazo otros residuos agrícolas mencionados arriba son ricos en lignina (eg. la piña contiene un 28%, (Quesada, 2005)) y por tanto pueden ser utilizados en el tratamiento de este tipo de desechos peligrosos ricos en metales pesados. Este tipo de desechos se encuentran a nivel industrial e incluso en los laboratorios y centros de investigación del ITCR donde se reportan reactivos químicos en desuso y otros residuos peligrosos (Quesada y Salas, 2002) para los cuales esta técnica resulta prometedora.

Con los resultados de este proyecto se pretende ayudar a solucionar un problema de contaminación por desechos agroindustriales, de forma que puedan aplicarse en la solución de otro problema de contaminación, el de los desechos químicos peligrosos. El objetivo del presente proyecto fué evaluar la efectividad de algunos residuos agroindustriales como aditivo en cemento Portland para la inmovilización de reactivos químicos en desuso y otros residuos peligrosos ricos en metales pesados.

1.6. Metodología

1.6.1. Fuente de lignina y metales pesados: muestreo.

La lignina es un polímero que se ha utilizado como aditivo para mejorar la trabajabilidad de las mezclas de cemento. Como sustrato natural para la extracción de lignina se utilizó bagazo de caña suministrado por La Hacienda Juan Viñas de Turrialba en el mes de junio de 2008 y rastrojo de piña suministrado por la Corporación de Desarrollo Agrícola del Monte de la Finca Babilonia, Pocora en el mes de febrero de 2009.

El secado del bagazo se realizó en camas de luz con lámparas incandescentes, durante 3 días, según se muestra en la figura 1, mientras que el secado de rastrojo de piña se hizo en un horno industrial marca Memmert modelo G707.02.10, con precisión de 0,1°C durante 16 horas a 103,0 °C. El material seco se procedió a tamizar por malla de 3/8, para realizar el tratamiento de extracción de la lignina.



Figura 1. Secado de bagazo con lámpara incandescente.

Los desechos peligrosos destinados a tratamiento de inmovilización provinieron de la Escuela de Ciencias e Ingeniería de los Materiales del Instituto Tecnológico de Costa Rica, lo que constituyó un beneficio mutuo, pues mediante el presente proyecto se brindó solución de tratamiento y disposición final a las sales que la Escuela de Ingeniería ya no utilizaba y que podrían generar problemas de contaminación en el lugar. A continuación en el cuadro 1 se proporciona la lista de sales de metales pesados tratadas por el proyecto:

Cuadro 1. Reactivos utilizados como fuente de metales pesados.

Sustancia	Unidades	Presentación, Kg	Total, Kg
Pb(NO ₃) ₂	8	0,5	4
NiCl ₂	1	0,5	0,5
NiNO ₃	1	0,5	0,5
Pb(OAc) ₂	3	0,5	1,5

Por la disponibilidad de material para la realización de pruebas se trabajó con Pb(NO₃)₂

1.6.2. Extracción de Lignina.

La extracción de la lignina de los sustratos de bagazo y rastrojo de piña se hizo mediante dos tipos de tratamiento: ácido y básico, según la metodología recomendada por Janusa (2000), con una disolución adicional de ácido sulfúrico.

En el tratamiento ácido del bagazo se utilizaron disoluciones extractoras de HCl y H₂SO₄, en concentraciones de 0,1 N y 1,0 N. En el tratamiento básico se utilizó como disolución extractora NaOH 0,1 N.

En el tratamiento ácido de la piña se utilizó una disolución extractora de HCl 0,1 N y en el tratamiento básico disolución extractora NaOH 0,1 N.

Según los resultados de laboratorio se evaluaría la eficiencia del proceso de extracción.

1.6.3. Procedimiento de extracción

Para una muestra de sustrato tamizada de 100 g, se agregaron 1,2 L de disolución extractora (ácido o básica).

La mezcla se agita y deja en reposo por 5 min. Seguidamente se calienta por 45 min de forma tal que la temperatura del seno de la mezcla se mantenga constante en 70°C, mientras se agita continuamente.

Se deja enfriar la mezcla para filtrar y recuperar el sólido. Se procede a lavar el sólido obtenido con una disolución equivalente para neutralizar de HCl o NaOH, con posteriores lavados de agua hasta alcanzar un pH de aproximadamente 7.

Finalmente la mezcla neutralizada se filtra nuevamente para recuperar el sólido. Éste sustrato se seca en estufa durante 8 h a 103°C.

Las muestras agroindustriales de los dos tratamientos se procedieron a analizar en el Centro de Investigación Animal de la Universidad de Costa Rica, para determinar el porcentaje de lignina disponible según el método de AOAC 973,18 para porcentaje de lignina y AOAC 930,15 para porcentaje de humedad. Con estos datos se escogería el mejor sistema de tratamiento ácido.

1.6.4. Molienda

El sustrato tratado con mayor porcentaje de lignina determinado en el laboratorio, se sometió a un proceso de molienda para alcanzar la granulometría apropiada, en un molino marca IKA Works MF 10 de 110V, con cabeza de corte (para trabajo a menos de 4500 rpm). Para el tamaño de partícula se utilizaron mallas de 0,25-0,50 y 1,00 mm. Con lo que se evaluaría la influencia de la variable de granulometría en la eficiencia del proceso de inmovilización.

1.6.5. Mezcla de sustrato, cemento y residuo peligroso.

Se utilizaron para las mezclas dos tipos de cemento, Pórtland y Puzolánico, ambos suministrados por HOLCIM de Costa Rica. El material tratado de bagazo así como el de rastrojo de piña, fuentes de lignina, fueron mezclados en proporciones de 5% y 10%, con cada tipo de cemento, según los procedimientos ASTM C-227, C-230-98 y C-305 (ASTM). Como línea base se utilizaron “mezclas blanco” donde no se agregó material agroindustrial.

Las mezclas se vertieron en moldes, y dejaron fraguando a diferentes tiempos: 1 día 7 días, 14 días y 28 días, bajo condiciones controladas de 23 °C de temperatura y humedad del 98 % según el método de ASTM C-192-81.

1.6.6. Evaluación de propiedades físicas y efectividad de la inmovilización

Al finalizar el período de fragua, se realizaron las pruebas de resistencia mecánica a la compresión mediante la norma ASTM C-109-99.

La efectividad de la inmovilización se evaluó mediante:

- El ensayo de Características de Toxicidad Procedimiento de Lixiviación (Toxicity Characteristics Leaching Test, TCLP) de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA).
- La concentración de metales pesados producto de los desechos peligrosos mezclados en el extracto de TCLP mediante la técnica de absorción atómica con llama, en un espectrofotómetro PERKIN ELMER modelo 3300 AA de doble haz.

Finalmente con base en los resultados de las pruebas aplicadas se seleccionaron los mejores sistemas de tratamiento.

Resultados

1.7 Características de mejor sustrato: tamaño de partícula, medio de extracción de lignina y porcentaje de aditivo en mezcla.

1.7.1 Medio de extracción de lignina

En el proceso de extracción del polímero se evaluó el efecto de la variable del medio de extracción en el sustrato de bagazo, empleando disoluciones ácidas de HCl y H₂SO₄ a sendas concentraciones de 0,1 N y 1 N, para valorar el efecto del medio básico se aplicó una disolución extractora de NaOH 0,1 N. En el cuadro 3 se presentan los resultados.

Cuadro 2. Extracción de Lignina en bagazo utilizando medio ácido y básico.

Medio Extractor	Concentración Medio Extractor (equivalente/L)	Lignina extraída Bagazo (% masa)	Lignina extraída Rastrojo de Piña (% masa)
H ₂ SO ₄	0,1	14,3	13,9
HCl	0,1	15,1	14,3
NaOH	0,1	14,7	14,5

El tratamiento ácido y básico de las muestras tiene como finalidad liberar la lignina en las fibras celulósicas y los azúcares presentes en el sustrato, estos últimos tienden a retardar el tiempo de fragua así como a reducir la resistencia de la mezcla cementosa.

Comparando los mejores resultados del tratamiento que fueron: básico con NaOH 0,1 M y HCl 0,1 M, sus valores son muy similares. Razón por la cual se eligió finalmente al medio de NaOH con concentración 0,1 N como medio extractor, se basa en el hecho de que los metales pesados se disuelven en medio ácido, lo que generaría problemas de lixiviación al hacer la inmovilización, esta dificultad es posible de corroborar con la prueba de TCLP, adicionalmente debido a que las mezclas de cemento presentan por su propia naturaleza pH básicos, el incluir en la matriz disoluciones ácidas disminuiría las propiedades mecánicas del cemento, estos efectos se podrían determinar con pruebas de trabajabilidad y resistencia mecánica de la matriz. Sumado a ello, al elegir el tratamiento básico se obtuvo un beneficio adicional, ya que la consistencia final de las muestras en medio básico permitió una mayor facilidad para realizar el proceso de molienda.

Las mezclas de cemento se evaluaron con diferentes porcentajes de masa de sustrato, de 5 y 10%.

La cantidad de aditivo idealmente no debe exceder el 1% masa de cemento, sin embargo si se trabaja con cantidades superiores, la razón debe justificarse con la mejora funcional de la mezcla de cemento, en el caso de la lignina, se considera dentro de los aditivos capaces de reducir la cantidad de agua para realizar la mezcla final cementosa y así favorecer resultados mayores en resistencia.

1.7.2

Tamaño de Partícula

Por capacidad de las mallas de tamizaje del molino se contaba con mallas de tres tipos de granulometrías: 0,250mm, 0,500mm y 1,00mm.

Para garantizar un tamaño homogéneo, posterior al proceso de molienda, la muestra se tamizó con una malla de 100 μ m. No se pudo reducir más el tamaño por limitaciones de equipo para lograrlo.

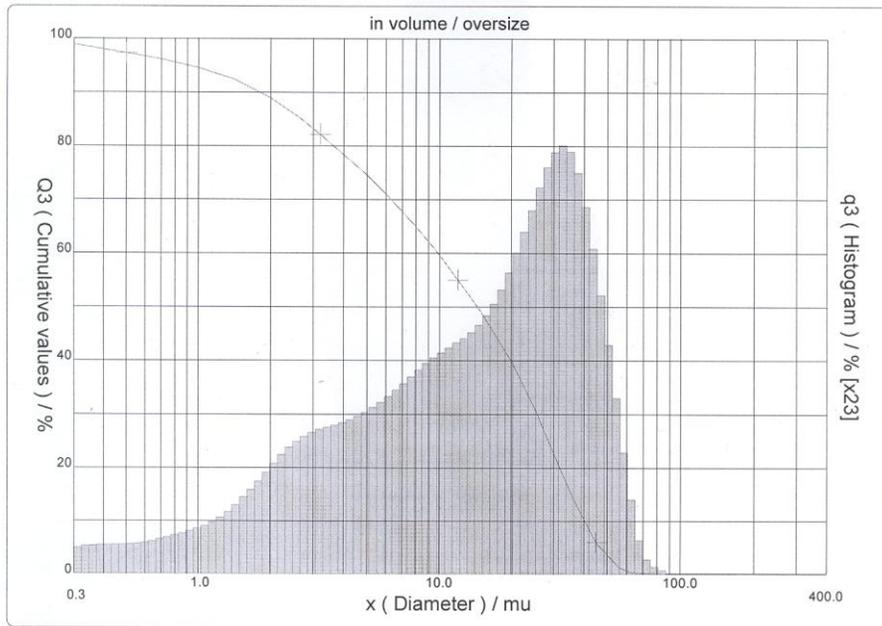


Figura2. Tamaño de partícula de una muestra cemento Portland. Realizado con un CILAS 920Liquid

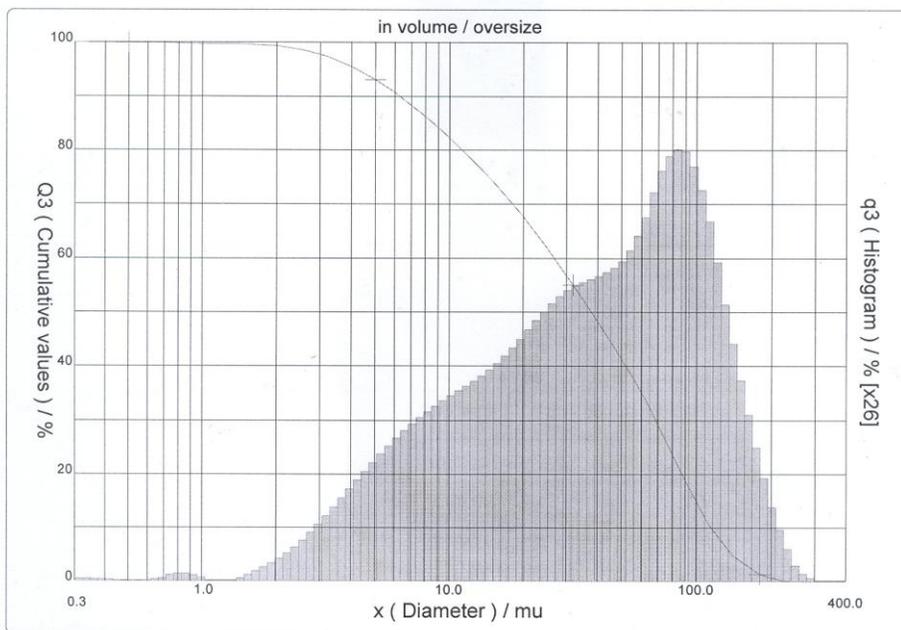


Figura3. Tamaño de partícula de una muestra de Bagazo tamizado con malla # 100. Realizado con un CILAS 920 Liquid.

En las figuras 2 y 3 se muestra la distribución del tamaño de partícula entre una muestra de cemento Portland y una muestra de Bagazo. Para lograr una mejor reacción de un aditivo y el cemento Portland es necesario que el tamaño de partícula entre los componente sea lo más semejante posible.

1.7.3. Lixiviación de Pb²⁺ (Prueba TCLP) , con diferentes cantidades de sustratos de Bagazo(B) y rastrojo de Piña(P).

La cantidad de aditivo idealmente no debe exceder el 1% masa de cemento, sin embargo si se trabaja con cantidades superiores, la razón debe justificarse con la mejora funcional de la mezcla de cemento, en el caso de la lignina, se considera dentro de los aditivos capaces de reducir la cantidad de agua para realizar la mezcla final cementosa y así favorecer resultados mayores en resistencia. (Hewlett, P. C. 1998).

En el cuadro 3, se observa que la adición de sustrato aumenta la eficiencia de la inmovilización de Pb²⁺, existiendo una mejor retención del metal pesado con adiciones de 5% y 10%. El aditivo que presenta mejor resultado corresponde al Bagazo al 10%.

Cuadro3. Inmovilización de Pb 10% con cemento Portland con diferentes cantidad de sustrato, de Bagazo (B) y Rastrojo de Piña (P) .

% Sustrato	Granulometría	Cn mg/L Prueba TCLP
0	< 300µm	8,3
5 B	< 300µm	1,87
5P	< 300µm	3,50
10 B	< 300µm	2,30
10P	< 300µm	3,90

1.7.4. Resistencia Mecánica

Cuadro4. Resistencia mecánica en mezclas cemento Portland y Plomo al 10% con diferentes cantidades de sustrato, de Bagazo (B) y Rastrojo de Piña (P).

% Sustrato	Granulometría	Cn mg/L Prueba TCLP	Resistencia Mecánica (MPa)
0	< 300µm	8,3	19,5
5 B	< 300µm	1,87	16,0
5P	< 300µm	3,50	14,3
10 B	< 300µm	2,30	13,7
10P	< 300µm	3,90	11,5

En la figura 3 se muestra los valores de resistencia, en donde se muestra una reducción de la resistencia del material, pero no tan significativa, ya que el valor límite permitido, para la disposición de materiales inmovilizados con cemento es de 0,34MPa según USEPA.

1.7.5. Efecto del tiempo de fraguado (T=25°C y %HR=98).

Cuadro5. Lixiviación de Pb²⁺ a diferentes tiempos de fraguado, en mezclas de cemento Portland y Pb²⁺ en proporción 9:1, respectivamente y mezclas cemento, aditivo y Pb²⁺ en proporción 8:1:1

TIEMPO DE FRAGUADO/DÍAS	CONCENTRACION DE Pb ²⁺ / mg/L (Prueba TCLP) Sin Bagazo	CONCENTRACION DE Pb ²⁺ / mg/L (Prueba TCLP) 10% Bagazo
1	81,55	60,3
7	39,9	25,4
14	14,5	10,3
28	8,5	2,5

El tiempo de fraguado es importante, en el proceso de inmovilización, obteniéndose resultados crecientes de inmovilización del plomo conforme se aumenta los tiempos del fraguado, tanto en las muestras sin aditivo de bagazo como en las muestras con aditivo de bagazo, esto porque la reacción química previo a los 28 días no ha alcanzado el máximo del desarrollo de las propiedades cementantes de la mezcla. También se puede constatar que hay un mejor rendimiento en la inmovilización cuando se utiliza el bagazo como aditivo, sin embargo no se logra reducir el tiempo de fraguado a menos de 28 días.

1.7.6. Lixiviación de Pb²⁺, utilizando cemento puzolánico en presencia de Bagazo(B) y Rastrojo de Piña(P) en diferentes proporciones.

Cuadro6. Lixiviación de Pb²⁺, utilizando cemento puzolánico como matriz de inmovilización en presencia de sustrato, de Bagazo (B) y Rastrojo de Piña (P) en diferentes proporciones.

% Pb	% Sustrato	Granulometría	Tipo de Cemento	Cn mg/L Prueba TCLP	Resistencia Mecánica (MPa)
15	0	0	Puzolánico	3,78	20,4
15	5B	< 300µm	Puzolánico	2,30	18,3
15	5P	< 300µm	Puzolánico	3,05	17,9

En el cuadro 6. Se determina que la adición de aditivo al cemento puzolánico no tiene un efecto significativo en el proceso de inmovilización del metal pesado en la prueba de lixiviados TCLP no así en la prueba de la resistencia a la compresión en donde se obtiene una mayor resistencia a la compresión mecánica.

1.8 Pruebas de aditivos en lodos en metales pesados.

Se realizaron pruebas en lodos industriales con contenidos importantes de metales pesados, sin embargo no se logró obtener mezclas adecuadas que fraguaran cuando se agregaba el Rastrojo de piña y el bagazo como aditivo en diferentes proporciones a las mezclas.

1.9 Discusión y Conclusiones.

- La utilización de bagazo y rastrojo de piña como aditivo de metales pesados, se constituye en una opción de aprovechamiento de estos residuos, que en estos momentos generan un gran foco de contaminación y dificultad en su manejo.
- La adición de de bagazo y rastrojo de Piña , molido reduce la lixiviación de Plomo , en un % importante , que permite inmovilizar una mayor cantidad de material aumentando la eficiencia del proceso de tratamiento.
- El tamaño de partícula es un factor importante que debe ser controlado, se deben obtener tamaños de partícula menores a los 100 micrómetros esto para lograr un mejor contacto entre las partículas del cemento y el sustrato utilizado como aditivo. La dificultad que se presenta es eficiencia del proceso ya que se deben utilizar una gran cantidad de material para lograr cantidades utilizables en el proceso de inmovilización.
- Los tiempos de fraguado no se mejoraron, es decir no hay una mayor velocidad en la cementación de los constituyentes por lo cual se debe esperar 28 días , para la disposición de un metal tratado con este tipo de mezcla.
- La adición de este tipo de aditivos no es eficiente para lodos residuales, hay una reducción significativa de las propiedades cementante, posiblemente esto sucede por la gran cantidad de agua que absorben estos residuos.

1.10 Recomendaciones.

Se recomienda continuar con la realización de los estudios , en los cuales se puedan ensayar con otras matrices que permitan optimizar el proceso de inmovilización de metales pesados.

1.11 Agradecimientos.

Se agradece al estudiante asistente que colaboró en este proyecto, Jerson , por su dedicación y gran trabajo.

Se agradece al asistente del CIPA Freddy Angulo, por su valiosa cooperación en todo el trabajo de preparación de las muestras.

Se agradece a HOLCIM CR, a Ingenio Juan Viñas y Corporación de Desarrollo Agrícola del Monte de la Finca Babilonia, por colaborar con los materiales fundamentales del proyecto. A la Escuela de Ingeniería y Ciencia de los Materiales que facilitó el cuarto de condiciones controladas para fragua, clave en la realización de los objetivos de este proyecto.

1.12 Bibliografía

Environmental Protection Agency (EPA). (1989, Mayo). *Stabilization/Solidification of CERCLA and RCRA Wastes—Physical Tests, Chemical Testing Procedures, Technology Screening, and Field Activities*. EPA 625/6-89/022; U.S.

Hewlett, P. C. (1998), *Lea's Chemistry of cement and concrete* (4^aed) (pp. 41). New York, NY: John Wiley and Sons Inc.

Janusa, M.A. Champagne, C.A., Fanguy, J.C., Heard, G.E., Laine, P.L. y Landry, A.A. (2000), Solidification stabilization of lead with the aid of bagasse as an additive to Portland cement, *Microchemical Journal*, 65, 255-259.

Quesada, K., Alvarado, P., Sibaja R. y Vega, J. (2005), Utilización de las fibras del rastrojo de piña (*Ananas comusus*, variedad champaka) como material de refuerzo en resinas de polyester, *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 6 (2). (Disponible en www.ehu.es/reviberpol/pdf/JUN05/quesada.pdf).