

**DESTINTADO DE PAPEL FOTOCOPIA CON PRETRATAMIENTO
ENZIMÁTICO EMPLEANDO CELULASA Y AMILASA**

VIRNEY HADELY CHALÁ LOZANO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

MEDELLÍN

2013

**DESTINTADO DE PAPEL FOTOCOPIA CON PRETRATAMIENTO
ENZIMÁTICO EMPLEANDO CELULASA Y AMILASA**

VIRNEY HADELY CHALÁ LOZANO

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico

Director

HADER HUMBERTO ALZATE GIL

Doctor en Ingeniería

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

MEDELLÍN

2013

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del jurado

Medellín, noviembre de 2013

A mis padres, Lucila e Isaías a quienes les debo tanto y todo. Mujer emprendedora, trabajadora incansable, hombre honesto, servicial y ejemplo de pujanza, mi eterna gratitud y más sincero amor!

A mi abuelita, mi Titi, tías, y demás familiares por su constante apoyo.

A todas esas personas que de una u otra forma han contribuido en la realización de este trabajo.

A mis compañeras de batalla.

A Dios por sobre todas las cosas.

AGRADECIMIENTOS

Expreso agradecimientos a:

Hader Alzate, Director, guía y mentor de este trabajo de grado, por enseñarme que por muy difícil que parezca la situación siempre hay una solución, por creer en mí, por impulsarme y animarme siempre que creí perder la fe.

Al Grupo de Pulpa y Papel de la Universidad Pontificia Bolivariana, por facilitarme los insumos y las condiciones adecuadas para desarrollar este trabajo de grado.

Al doctor German Quinta, por su ayuda y constante motivación a realizar un excelente trabajo.

A Oscar Muñoz, por la colaboración en la determinación de la actividad enzimática.

A los técnicos del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Pontificia Bolivariana, por su disposición al facilitar los equipos para la realización de los ensayos experimentales.

Al Grupo de Investigaciones Ambientales (GIA) de la Universidad Pontificia Bolivariana, por la realización de las pruebas DBO, DQO y análisis de lodos.

A Marlon Montoya y Jaime Vanegas de Papeles y Cartones S.A., Papelsa, por facilitar los equipos para la realización de las pruebas de resistencia.

A mis familiares, amigos y compañeros por acompañarme durante este arduo proceso.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
MARCO TEÓRICO	18
1.1 DESTINTADO	18
1.1.1 Etapas del destintado	18
1.1.1.1 Desprendimiento de la tinta	18
1.1.1.2 Separación de la tinta	18
1.1.1.3 Ennoblecimiento	19
1.2 TIPOS DE DESTINTADO	20
1.2.1 Destintado alcalino	20
1.2.2 Destintado neutro	21
1.2.2 Destintado enzimático	22
1.3 ENZIMAS	22
1.3.1 Enzimas empleadas en el destintado	23
1.3.2 Cinética de las enzimas	24
1.4 TINTAS DE IMPRESIÓN	26
1.5 SURFACTANTES	27
1.6 PROPIEDADES ANALIZADAS	28
1.6.1 Blancura ISO	28
1.6.2 Puntos no eliminados o puntos negros	29
1.6.3 Colorimetría	29
1.6.3.1 Sistema CIELAB	29
1.6.4 Refinación de la pulpa	30

1.6.5 Resistencia a la tensión	31
1.6.5.1 Carga de ruptura.....	31
1.6.5.2 Resistencia a la tensión	31
1.6.5.3 Largo de ruptura.....	31
1.6.5.4 Índice de tensión	32
1.6.5.5 Absorción de la energía de tensión TEA.....	32
1.6.5.6 TEA	32
1.6.6 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	32
1.6.7 Demanda química de oxígeno (DQO)	32
1.6.8 Análisis de lodos (Residuo)	33
2. MATERIALES Y MÉTODOS	34
2.1 MATERIALES	34
2.1.1 Materia Prima.....	34
2.1.2 Surfactante.....	34
2.1.3 Quelante	34
2.2 METODOLOGÍA	35
2.2.1 Diseño de experimentos	35
2.2.2 Actividad enzimática.....	35
2.2.2.1 Celulasa.....	36
2.2.2.2 Amilasa	36
2.2.3 Caracterización de la materia prima.....	37
2.2.4 Destintado	37

2.2.4.1 Desintegración.....	38
2.2.4.2 Pretratamiento enzimático y curado.....	38
2.2.4.3 Flotación.....	39
2.2.4.4 Formación de hojas	39
2.2.5 Propiedades analizadas	41
2.2.5.1 Blancura ISO.....	41
2.2.5.2 Puntos no eliminados o puntos negros.....	41
2.2.5.3 Parámetros de color L*a*b*.....	41
2.2.5.4 Canadian Standard Freeness	41
2.2.5.5 Resistencia a la tensión	42
2.2.5.6 DBO	43
2.2.5.7 DQO.....	43
2.2.5.8 Análisis de lodos	44
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	46
3.1 ACTIVIDAD ENZIMÁTICA.....	46
3.1.1 Actividad enzimática de la celulasa	46
3.1.2 Actividad enzimática de la amilasa.....	47
3.2 BLANCURA ISO Y PUNTOS NEGROS.....	48
3.3 PARÁMETROS DE COLOR L*a*b*.....	55
3.4 CANADIAN STANDARD FREENESS	57
3.5 RESISTENCIA A LA TENSIÓN	60
3.6 DBO Y DQO.....	65

3.7 ANÁLISIS DE LODOS67

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES72

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Concentración y actividad enzimática de la celulasa CAZDIZYME NN para 2.0 mg de glucosa liberada
- Tabla 2. Glucosa liberada para diferentes niveles de concentración enzimática de celulasa CAZDIZYME NN
- Tabla 3. Glucosa liberada para diferentes niveles de concentración enzimática de amilasa AQUAZYM ULTRA 250N
- Tabla 4. Valores de blancura ISO y puntos negros para celulasa y amilasa
- Tabla 5. Parámetros de color para las hojas formadas y tratadas con celulasa
- Tabla 6. Parámetros de color para las hojas formadas y tratadas con amilasa
- Tabla 7. Volúmenes para el CSF para celulasa
- Tabla 8. Volúmenes para el CSF para amilasa
- Tabla 9. Resistencia a la tensión con celulasa
- Tabla 10. Resistencia a la tensión con amilasa
- Tabla 11. Resultados de DBO y DQO para las muestras tratadas con celulasa
- Tabla 12. Resultados de DBO y DQO para las muestras tratadas con amilasa
- Tabla 13. Resultados de corrosividad y metales para el lodo de celulasa
- Tabla 14. Resultado de metales para el sobrenadante de celulasa
- Tabla 15. Resultados de corrosividad y metales para el lodo de amilasa
- Tabla 16. Resultado de metales para el sobrenadante de amilasa
- Tabla 17. Valores de metales para lodos de destintado

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cinética enzimática

Figura 2. Surfactante

Figura 3. Blancura ISO

Figura 4. Sistema CIELAB

Figura 5. Estructura DTPA

Figura 6. Diagrama del proceso de destintado enzimático

Figura 7. Equipo de desintegración (pulper)

Figura 8. Celda de flotación

Figura 9. Formador de hojas manual

Figura 10. Equipo para la medición del Canadian Standard Freeness

Figura 11. Equipo para la medición de resistencia a la tensión

Figura 12. Valores de blancura ISO para las muestras tratadas con celulasa y amilasa

Figura 13. Diagrama de Pareto para blancura ISO empleando celulasa

Figura 14. Gráfica de efectos principales para blancura ISO empleando celulasa

Figura 15. Diagrama de Pareto para puntos negros empleando celulasa

Figura 16. Gráfica de efectos principales para puntos negros empleando celulasa

Figura 17. Diagrama de Pareto para blancura ISO empleando amilasa

Figura 18. Gráfica de efectos principales para blancura ISO empleando amilasa

Figura 19. Diagrama de Pareto para puntos negros empleando amilasa

Figura 20. Gráfica de efectos principales para puntos negros empleando amilasa

Figura 21. Esquema para los volúmenes de CSF

Figura 22. Análisis de varianza (Anova) para CSF con celulasa y amilasa

Figura 23. Análisis de varianza (Anova) para propiedades mecánicas con celulasa

Figura 24. Análisis de varianza (Anova) para propiedades mecánicas con amilasa

Figura 25. Contenido promedio de un lodo de destintado

RESUMEN

Constantemente, la industria papelera se encuentra en la búsqueda de nuevos métodos que proporcionen a la sociedad, productos de alta calidad, con procesos más eficientes donde se invierta menor cantidad de recursos económicos y se cumpla con las legislaciones ambientales vigentes, propias de cada país. Para suplir con esta necesidad, se ha acudido al uso de fibras recicladas. En este proyecto se evalúa el proceso de destintado en medio neutro con pretratamiento enzimático de fibras recicladas de papel fotocopia empleando celulasa y amilasa. Para ello, en primera instancia, se determinó la actividad enzimática de la celulasa y la amilasa estudiando la influencia de la temperatura y su consecuencia en el destintado por flotación. Se realizó el proceso de destintado por flotación de papel desperdicio de fotocopia variando las dosis de enzima y se evaluaron los resultados de este proceso basados en la blancura ISO, puntos negros o no eliminados y la resistencia a la tensión en las hojas formadas a partir de las pulpas tratadas. Adicionalmente, se analizaron y caracterizaron los lodos resultantes del proceso.

Los procedimientos se realizaron basados en las normas Tappi necesarias para determinar contenido de humedad, cenizas, formación de hojas y medición de las propiedades analizadas. También fueron utilizadas normas del “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” de APHA/AWWA y de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA).

Los resultados y sus respectivos análisis se presentan en gráficos y tablas de tal manera que el lector tenga claridad de lo obtenido en este trabajo.

Palabras clave: Destintado neutro, fibras recicladas, flotación, celulasa, amilasa.

INTRODUCCIÓN

Para millones de personas en todo el mundo, la industria de la pulpa y el papel constituye hoy un creciente problema. La tala de bosques nativos para la provisión de materia prima para esta industria, está siendo duramente enfrentada por pobladores locales y ambientalistas a nivel mundial. No menos amplias son las protestas derivadas de la contaminación provocada por las gigantescas plantas de pulpa, que agotan el oxígeno del agua, e incrementen la carga de compuestos orgánicos clorados los cuales son altamente tóxicos en los cuerpos de animales y personas ((WRM), 1999).

El índice de consumo de papel en el mundo ha crecido extraordinariamente y se espera que ese crecimiento continúe en las próximas décadas. A comienzos del siglo XXI el consumo global de papel se calculaba en 300 millones de toneladas. En 2005, esa cifra había aumentado a 336 millones y se espera que para 2020 alcance los 566 millones (Dovale A. , 2009).

A causa de este fenómeno ambiental y social, la fibra reciclada toma importancia en la industria de pulpa y papel. En Europa, las principales fuentes de recolección de papel son: 50% del comercio y la industria, el 40% de los hogares y el 10% de las oficinas (Bobu, Ciolacu, & Cretu, 2008). En Colombia, la recolección de papel para reciclaje tuvo una variación del 7,6% entre los años 2009 y 2010 (Cámara de la Industria de Pulpa, 2010). Estas fibras son de bajo costo para la manufactura de papel, preservan los recursos forestales, reducen la contaminación ambiental y se dan ahorros en agua y energía, a su vez se hacen posibles desarrollos en los procesos de destintado (Guía Gráfica, 2010).

Muchos de los procesos de destintado convencionales, como el proceso alcalino, requieren grandes cantidades de químicos –hidróxido de sodio, silicato de sodio, fosfatos de sodio, copolímeros de óxido de etileno, peróxido de hidrógeno– (García, 2001) los cuales disminuyen la resistencia de la fibra provocándoles mayor desgaste, incrementando los

costos en tratamiento de aguas de desecho debido a las regulaciones ambientales. Adicional a esto, se requiere una correcta disposición de los residuos generados (Guía Gráfica, 2010).

Por lo anterior, la industria papelera ha desarrollado nuevos métodos y sistemas que pueden reducir significativamente la cantidad de productos químicos tóxicos utilizados en los procesos de fabricación, manteniendo la calidad del producto final, reduciendo los consumos de agua y las emisiones en general y reduciendo los costos de aplicación (Dorrnsoro & Haute, 1998).

Las enzimas empleadas en el destintado enzimático, pueden atacar el papel o en algunos casos las partículas de tinta, dependiendo de su función. Las más comunes son las celulasas, las cuales degradan la celulosa, liberando las partículas de tinta que están aferradas al papel y posteriormente pueden ser removidas dando como resultado un papel con menores cantidades de tinta (Pala, Mota, & Gama, 2003).

El destintado enzimático se ha descrito como particularmente ventajoso y de alta calidad para la industria papelera, favorece el desprendimiento de partículas de tinta de las fibras sin descarga de contaminantes (Pala, Mota, & Gama, 2003); mejora algunas propiedades de las hojas tales como el drenaje en un 30%, produciendo un aumento en la rapidez de las máquinas lo que conlleva a un ahorro de energía y por lo tanto una disminución en costos, además aminora la cantidad de efluentes contaminantes en un 50% en comparación con los de blanqueo tradicional que utilizan productos colorados (Dovale A. , 2009).

Varios sistemas enzimáticos que constan de celulasa, lipasa y hemicelulasa o sus combinaciones han sido examinados por numerosos grupos de investigación para su potencial en el destintado de diversos tipos de papeles desperdicio (Lee, Darah, & Ibrahim, 2006). Por otra parte se ha demostrado que las enzimas hidrolíticas, principalmente celulasas, son las enzimas más adecuadas para facilitar el desprendimiento de la tinta y su extracción por flotación y posteriores etapas de lavado (Elegir, Panizza, & Canetti, 2000). Las enzimas mejoran las propiedades del papel tales como la blancura y la resistencia comparada con la del papel destintado por métodos químicos, se ha encontrado que la

operatividad en máquinas de papel con pulpa destintada enzimáticamente es mejor y adicionalmente se mejora el drenaje de la pulpa húmeda (Bajpai & Bajpai, 1998).

1. MARCO TEÓRICO

1.1 DESTINTADO

El proceso de destintado, es esencialmente un proceso de limpieza y remoción de contaminantes, tinta impresa y materiales de terminación aplicados, de la fibra de celulosa reutilizable del papel (Pachón, 2012), donde se utiliza acción mecánica, térmica y química para eliminar la tinta, mayor contaminante en el papel, y obtener una suspensión fibrosa suficientemente clara y limpia para ser usada en varios tipos de papel y cartón (García, 2001).

Según García y Torres (1991), el proceso de destintado es, esquemáticamente, el resultado de tres acciones fundamentales:

- 1) Desprendimiento de la tinta de la fibra o soporte (Etapa de pulpeo)
- 2) Separación de la tinta en la suspensión (Etapa de flotación y/o lavado)
- 3) Ennoblecimiento eventual de la pulpa (Etapa de blanqueo).

1.1.1 Etapas del destintado

1.1.1.1 Desprendimiento de la tinta (pulpeo)

Esta etapa se lleva a cabo en un pulper, equipo donde ocurre el desprendimiento de la tinta por desintegración de las materias primas fibrosas mediante una acción combinada de calor, trabajo mecánico y la presencia de productos químicos adecuados. Las condiciones deben ser tales que permitan que la partícula de tinta se elimine eficientemente y se disperse en partículas de tamaño adecuado, con un daño mínimo de las fibras (García & Torres, 1991).

1.1.1.2 Separación de la tinta

Para la separación de la tinta de la suspensión de pulpa, se utilizan esencialmente dos técnicas, lavado o flotación, o un proceso moderno que combina las dos operaciones.

- **Lavado**

Los sistemas de lavado, procuran reducir el tamaño de las partículas de tinta, maximizando así el tamaño diferencial entre la tinta y las fibras (García & Torres, 1991). Es un proceso mecánico de eliminación de tinta, cargas y partículas contaminantes por espesamiento o aclarado de la suspensión de papel. Se basa esencialmente en la diferencia de tamaños que existe entre las fibras y las partículas de tinta. EL principio de separación consiste en depositar la suspensión de fibras y partículas de tinta sobre tamices de dimensiones de malla apropiadas que permiten el paso de las partículas de tinta y retienen las fibras (Pélach & Villar, 2012)

- **Flotación**

La técnica de flotación utiliza, las diferencias físicas (densidad) y fisicoquímicas superficiales para hacer flotar selectivamente las partículas de tinta en una suspensión diluida (García & Torres, 1991).

Este proceso se lleva a cabo en una celda de flotación donde el principio de la separación consiste en humectar las partículas a separar y provocar en el seno de la suspensión de pulpa la aparición de una espuma abundante que recogerá las partículas de tinta y las arrastrará hacia la superficie (García, 2001).

1.1.1.3 Ennoblecimiento (dispersión y blanqueo)

El ennoblecimiento se refiere específicamente a dos procesos los cuales son la dispersión de los puntos negros y el blanqueo.

- **Dispersión de puntos negros**

Comúnmente, esta dispersión es realizada por medio de un equipo dispersador de puntos negros. Sin embargo, para que la dispersión sea efectiva, se debe retirar agua de la pasta (suspensión fibras + tinta) y adicionalmente realizar un lavado. En este punto del proceso se pierde gran cantidad de fibra arrastrada por el agua de lavado. Seguido al lavado de la pasta, la dispersión de las partículas se realiza mediante un aumento súbito de la temperatura, lo que permite a los puntos negros restantes, quedar dispersos de forma homogénea en la pasta (Flechas, 2010).

- **Blanqueo**

El objetivo principal de del blanqueo de la pasta es aumentar la blancura de la fibra evitando causar daños en la calidad de la misma. En estas etapas se le confiere a la pasta la blancura que corresponda según los estándares establecidos para su comercialización (Flechas, 2010). Los tratamientos de blanqueo pueden ser oxidativos o reductivos. Entre los productos oxidantes el más común es el peróxido de hidrógeno que se complementa con hidróxido sódico, silicato de sodio y algunos quelantes. También pueden ser usados el oxígeno y el ozono. Entre los productos reductores el más utilizado es el hidrosulfito sódico (Alzate & Alzate, 2012).

1.2 TIPOS DE DESTINTADO

1.2.1 Destintado alcalino Este tradicional tipo de destintado permite la eliminación de tintas offset. En condiciones alcalinas, es necesario mantener el pH del medio próximo a 11, de esta forma se favorece la destrucción del papel y los posibles contaminantes como agentes de encolado y ligantes mientras que los pigmentos de la tinta y componentes del vehículo se dispersan y se saponifican en algunos casos. Los productos químicos esenciales utilizados son los agentes alcalinos y tensoactivos (Guía Gráfica, 2010).

Como agente alcalino se usa básicamente hidróxido de sodio (NaOH), aunque en algunos casos es posible combinarlo con carbonato de sodio (Na₂CO₃) porque de esta forma el proceso es menos severo, se produce una menor degradación de la fibra y un menor amarillamiento de la pulpa. El NaOH, promueve la separación de la tinta de la pulpa, sin embargo, reduce la fragmentación de la tinta (Galland, Vernac, & Carre, 1998).

Para este tipo de destintado es necesario utilizar silicato de sodio como agente quelante y peróxido de hidrógeno (H₂O₂) para evitar el amarillamiento de la pulpa por acción del grupo álcali (Alzate A. , 2011).

En este tipo de destintado son importantes tres tipos de surfactantes, según (Bobu, Ciolacu, & Cretu, 2008):

- Dispersantes: para separar las partículas de tinta de la superficie de las fibras y prevenir la redeposición de las partículas de tinta separadas en las fibras durante el destintado por flotación.
- Colector: para aglomerar pequeñas partículas de tinta y cambiar la superficie de éstas de hidrofílicas a hidrofóbicas.
- Espumante: su función es generar una capa de espuma en la parte superior de la celda de flotación para eliminar la tinta.

1.2.2 Destintado neutro Se refiere a aquellos procesos de destintado que se realizan en un ambiente químico que ofrece un pH cercano a 7,0 (Alzate A. , 2011). Aunque el proceso es equivalente al tradicional, sus principales variaciones se pueden apreciar en los tipos de reactivos utilizados y condiciones de operación (Vargas & Velez, 2005).

La importancia del destintado en medio neutro se debe básicamente a dos aspectos:

- Es un proceso en el cual las fibras recuperadas sufren menos desgaste
- Es un proceso más compatible con el ambiente, en el cual se emplean menos sustancias químicas y donde no es necesario neutralizar las aguas de descarga del proceso (Alzate A. , 2011)

En la actualidad este tipo de destintado no es utilizado con frecuencia, debido al grado de economía que arroja el uso de tintas flexográficas y su problema de destintabilidad mediante el método convencional o alcalino.

De acuerdo con (Hoyos & Lopez, 2006), las principales ventajas de utilizar este método para destintar papeles impresos con tintas flexográficas son:

- Poca dispersión de las tintas: El tamaño de partículas obtenido después del pulpeo es aproximadamente 1,3 μm , mientras que para este tipo de tintas en una etapa alcalina se obtienen diámetros mucho menores a 1,3 μm . Esta situación se ve reflejada en la blancura final de la pulpa luego de seguir un proceso de destintado en serie neutro-alcalino.
- Menor demanda de reactivos aniónicos o catiónicos para ayudar a la liberación de la tinta del papel en la etapa de pulpeo. Mientras que para la etapa alcalina son necesarios

30 meq/Kg, en la etapa neutra se necesita 1 meq/Kg para obtener los mismos o mejores resultados.

- Existe poca redeposición de la tinta sobre la fibra. Las resinas ácidas presentes en la tinta son neutralizadas y precipitadas en forma de grandes partículas de tinta para ser flotadas posteriormente.

1.2.3 Destintado enzimático Recientemente, las enzimas han aparecido como una alternativa para el destintado. Son prometedoras en el destintado de mezclas de impresiones de oficinas bajo pH neutro, contribuyendo así a evitar el uso de algunos productos químicos y por lo tanto, menor impacto ambiental (Bobu, Ciolacu, & Cretu, 2008).

Este proceso se efectúa utilizando enzimas, las cuales pueden atacar el papel o en algunos casos, las partículas de tinta dependiendo de su función (Dovale A. , 2009). Han sido reportados, diferentes mecanismos de destintado enzimático, sin embargo, la importancia relativa de cada mecanismo depende de la fibra, la composición de la tinta y las mezclas de enzimas (Bobu, Ciolacu, & Cretu, 2008).

Una de las ventajas del destintado enzimático es que los tamaños de distribución y la forma de la tinta removida pueden ser controlados para aumentar la eficiencia de la flotación. Las enzimas también retardan el tiempo de redeposición de las partículas de tinta sobre las fibras. Adicional a esto, con los procesos enzimáticos los pasos de desaguado, dispersión, como la subsecuente refluotación y lavado no son esenciales. La pulpa destintada enzimáticamente aumenta el drenaje, las propiedades físicas, la blancura y disminuye la tinta residual comparada con la pulpa destintada por procesos químicos (Alzate A. , 2011).

1.3 ENZIMAS

Una enzima es una sustancia, por lo general, una proteína que actúa como un catalizador para una reacción biológica. Como todos los catalizadores, las enzimas no afectan la constante de equilibrio de una reacción y no pueden ocasionar un cambio químico desfavorable; solo actúan para disminuir la energía de activación de una reacción haciendo que esta ocurra con mayor rapidez. El compuesto sobre el que actúa la enzima es llamado

sustrato. Además de la parte proteínica que se denomina cofactor. Un cofactor puede ser un ion inorgánico o una molécula orgánica pequeña, denominada coenzima (McMurry, 2004).

1.3.1 Enzimas empleadas en el destintado Las enzimas que son comúnmente empleadas en el destintado incluyen lipasas, esterasas, pectinasas, hemicelulasas, celulasas y enzimas lignolíticas. La mayoría de trabajos publicados se han desarrollado con celulasas y hemicelulasas (Bajpai & Bajpai, 1998)

Los ataques enzimáticos son de dos tipos: uno a la tinta y otro a la superficie de la fibra. Las lipasas y las esterasas pueden degradar las tintas basadas en aceites vegetales. Las pectinasas, hemicelulasas, celulasas y enzimas lignolíticas alteran la superficie de la fibra o sobre los enlaces de la vecindad de las partículas de tinta, para luego separarlas por lavado o flotación. Las celulasas son las más estudiadas hasta el momento, sin embargo, se siguen encontrando nuevas enzimas como las de hinchamiento y las de dilatación. Las hemicelulasas, con excepción de las xilanasas, han sido poco estudiadas. La tendencia comercial es hacia las enzimas hidrolíticas y a las oxidoreductoras, las cuales parecen ser las enzimas de la próxima generación ya que tienen un gran potencial de aplicación en muchos de los productos comerciales (Alzate, Velásquez, Quintana, & Dovale, 2009). Cuando se emplean celulasas o hemicelulasas, la liberación de las partículas de tinta en la suspensión se atribuye generalmente, a la hidrólisis de la celulosa en las regiones de unión fibra-tinta, lo que facilita el desprendimiento de la tinta. Adicionalmente, estas enzimas pueden quitar pequeñas fibrillas de la superficie de las partículas de tinta, alterando así la hidrofobicidad relativa de las partículas, lo que facilita su separación en la etapa de flotación (Pala, Mota, & Gama, 2003).

- **Celulasas**

El término celulasas involucra la sinergia de un grupo que presenta diferentes sitios de enlace. El sistema de celulasa típico incluye tres tipos de enzimas: la *endo- β -1,4-glucanasa* (C_x) (*1,4- β -D-glucan glucanohidrolasa E.C.3.2.1.4*), la *exo- β -1,4-glucanasa* (C_1) (*1,4- β -D-glucan celobiohidrolasa E.C.3.2.1.91*) y la *β -1,4-glucosidasa* (*celobiosa*) (C_b) (*β -D-glucósido glucohidrolasa E.C.3.2.1.21*).

Las enzimas celulasas son producidas por una variedad de bacterias y hongos aeróbicos o anaeróbicos, mesófilos o termófilos (Ovando & Waliszewski, 2005).

- **Amilasas**

Las amilasas son enzimas que hidrolizan las moléculas de almidón para dar productos que incluyen las dextrinas y progresivamente pequeños polímeros compuestos por unidades de glucosa (Alzate, Quintana, Velásquez, & Dovale, 2012).

1.3.2 Cinética de las enzimas La cinética enzimática es el campo de la bioquímica que se encarga de la medición cuantitativa de los índices de reacciones catalizadas por enzimas, y del estudio sistemático de factores que afectan estos índices. El análisis cinético revela el número y orden de los pasos individuales mediante los cuales las enzimas transforman sustratos en productos (Murray y otros, 2010).

La cinética de las enzimas se puede representar mediante el esquema general para una reacción simple catalizada por una enzima en la que se convierte un sustrato en producto, el cual se ha estudiado por diferentes autores.



Donde,

E: Enzima

S: Sustrato

ES: complejo intermedio enzima-sustrato

P: producto

Las enzimas actúan sobre el sustrato transformándolo químicamente a una velocidad de reacción grande, usualmente de 10^3 a 10^7 veces más rápido que en ausencia de un catalizador. El factor que diferencia las reacciones enzimáticas de otras reacciones con catalizador, es la formación del complejo enzima-sustrato (ES), el sustrato se enlaza con un sitio activo específico de la enzima para formar el complejo. Las interacciones que

estabilizan el complejo (ES) son puentes de hidrógeno, fuerzas hidrofóbicas, iónicas y fuerzas de Van der Waals (Fogler, 2008).

La velocidad de una reacción catalizada por una enzima depende de varios factores:

- *Concentración del sustrato [S]*
- *Temperatura (T)*
- *pH*
- *Presencia de inhibidores*

La ecuación que describe el comportamiento cinético de una reacción química catalizada por una enzima es:

$$V = \frac{V_{max}[S]}{K_m + [S]} \quad (1)$$

Esta ecuación está en función de una sola variable, puesto que la V_{max} y K_m son constantes para cada enzima en condiciones específicas de pH y temperatura.

En la ecuación (1) si se sustituye el valor de K_m por la $[S]$ se llega a:

$$V = \frac{V_{max}}{2} \quad (2)$$

Lo anterior, se representa gráficamente mediante una hipérbola rectangular:

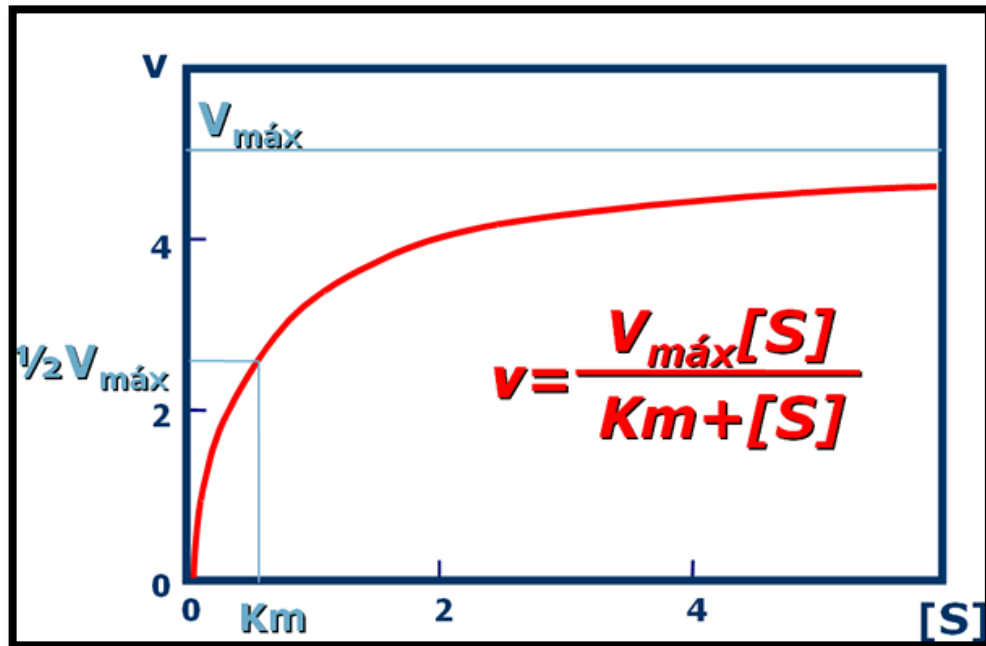


Figura 1. Cinética enzimática. Tomada de: <http://goo.gl/M87Au8>

1.4 TINTAS DE IMPRESIÓN

Las tintas de impresión son materiales viscosos, los cuales tienen una apariencia homogénea y que por lo general están constituidas mínimamente por dos fases (Alzate H. , 2011).

En su trabajo de grado, Dovale (2009) indica que las tintas están compuestas de una mezcla homogénea de materia colorante o pigmentos y el barniz responsable de transportar y fijar el pigmento. El barniz a su vez está constituido por un vehículo, resinas, disolventes y algunos aditivos cuya finalidad es reproducir una imagen sobre un soporte mediante un proceso de impresión. Es necesario resaltar que el proceso de destintado está íntimamente relacionado con el método de impresión, el tipo de tinta usada y el método usado para secar la tinta. En general, la mayoría de las tintas de impresión están compuestas de:

- **Fase dispersa o pigmento:** Material coloreado formado por partículas muy pequeñas de minerales insolubles en el vehículo de la tinta. El tipo de pigmento más común para tintas de impresión es el negro carbón (80%).

- **Fase continua o barniz:** Está constituido principalmente por un vehículo, un ligante, resinas y aditivos. El vehículo es un fluido que dispersa el pigmento y le da a la tinta fluidez; está compuesto por aceites vegetales o minerales o por disolventes (agua o alcoholes, hidrocarburos, aromáticos, ésteres y cetonas). El ligante une las partículas de pigmento y las adhiere a la superficie del papel mientras que las resinas se encargan de fijar el pigmento al sustrato y los aditivos corrigen o mejoran las características específicas de la tinta; entre los aditivos más comunes están los plastificantes, las ceras y los catalizadores de secado.

De este modo, el desprendimiento de la tinta, recae sobre el barniz, puesto que determina la resistencia a la desintegración y el tamaño de las partículas de la tinta después del pulpeado. La remoción de la tinta no es influenciada por el tipo de pigmentos ni por los aditivos, sino por las resinas; cuando éstas se secan, forman partículas polimerizadas cuya resistencia a los tratamientos mecánicos y químicos varía considerablemente.

1.5 SURFACTANTES

Ferguson (1992) expone que el término surfactante es derivado de su función, la cual es actuar como agente activo en la superficie. Este término es un comodín que cubre usos como dispersantes, colectores, agentes humectantes y similares (Zhao, Deng, & Zhu, 2004):

- Dispersante, para separar las partículas de tinta de la superficie de la fibra y prevenir la redeposición.
- Colector, para aglomerar las pequeñas partículas de tinta y además cambiar la superficie de las partículas de hidrófilas a hidrófobas.
- Espumante, para generar una capa de espuma estable en la parte superior de la celda de flotación para remover la tinta.

Los surfactantes empleados en el destintado tienen dos principales componentes: hidrófilo (afín con el agua) e hidrófobo (repele el agua). Cuando un surfactante se introduce en el pulper o antes de la flotación, el extremo hidrófobo se asociará con la tinta, el aceite y la suciedad mientras que el extremo hidrófilo permanecerá en el agua. Este efecto se muestra en la Figura 2.

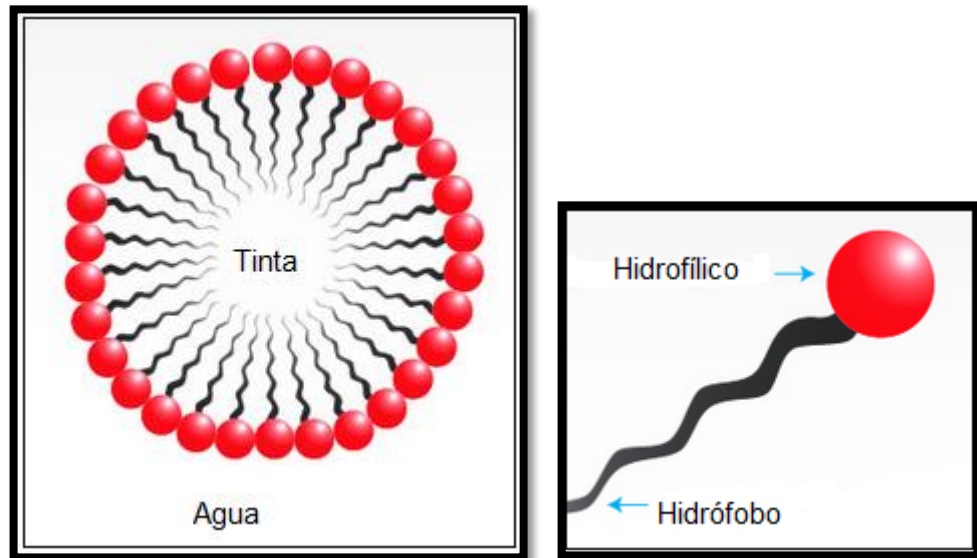


Figura 2. Surfactante. Tomado de <http://goo.gl/S7BRzd>

La estructura de los surfactantes puede ser de cadena lineal, ramificada, con grupos cargados, larga o corta, con enlaces dobles o simples (Ferguson, 1992).

1.6 PROPIEDADES ANALIZADAS

1.6.1 Blancura ISO La blancura de un papel es la diferencia expresada como un porcentaje (%) de la luz reflejada entre la muestra de papel y la luz reflejada por el elemento patrón de comparación (una pastilla de óxido de magnesio puro), la luz reflejada se mide en una longitud de onda de 457 nm. Por definición, la blancura se establece como la capacidad de reflexión de la superficie de un papel que no ha sido atravesado completamente por la luz incidente en él, este efecto se puede observar en la Figura 3.

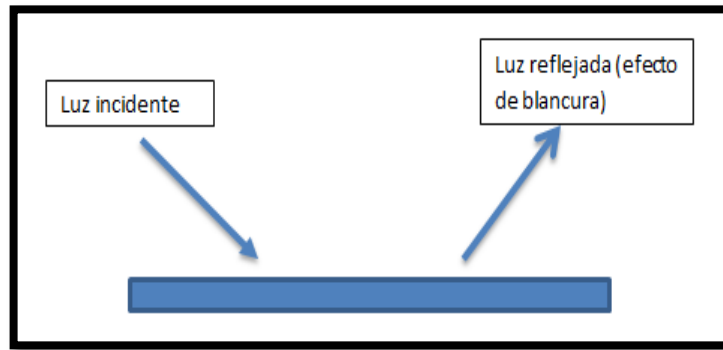


Figura 3. Blancura ISO. (Escoto, 2004)

Entre los factores que influyen la blancura y la opacidad, se encuentran principalmente las cargas, la refinación y el calandrado; los cuales modifican las propiedades de reflexión del papel induciendo una ganancia de blancura y opacidad cuando se utilizan cargas como el dióxido de titanio, o induciendo una pérdida de blancura y opacidad cuando se incrementa la refinación y se aplica el calandrado, ya que estos factores incrementan la transparencia del papel al engrasar la hoja y al compactarla. Al agregar cargas minerales, la hoja se hace menos transparente produciendo un efecto de reflexión mayor (Escoto, 2004).

1.6.2 Puntos no eliminados o puntos negros En el gremio paplero, los puntos negros o puntos no eliminados son conocidos como *dirt specks* o simplemente *specks* y se hace referencia a las pequeñas manchas de tintas que quedan presentes en las hojas formadas a partir de fibras recicladas sometidas a un proceso de destintado.

1.6.3 Colorimetría (Hunterlab, 2013)

1.6.3.1 Sistema CIELAB La colorimetría es la ciencia que estudia la medida de los colores y que desarrolla métodos para la cuantificación del color.

Hunter L, a, b y CIE 1976 L* a* b* (CIELAB) son las dos escalas de color basado en la teoría Rival-Color. Esta teoría asume que los receptores en el ojo humano percibe el color como los siguientes pares de opuestos.

- Escala L: Luz versus oscuridad. Indica que un número bajo (0-50) representa la oscuridad y un número alto (51-100) indica la luz.
- Escala a: Rojo versus verde donde un número positivo indica rojo y un número negativo indica verde.
- Escala b: Amarillo versus azul donde un número positivo indica amarillo y un número negativo indica azul.

El valor de L para cada escala por lo tanto, indica el nivel de claridad u oscuridad, el valor a indica el enrojecimiento o verdor y el valor b , la amarillez o un tono azulado. Los tres valores son necesarios para describir completamente el color de un objeto.

La escala de color CIELAB es otra escala uniforme recomendado por la CIE (Comisión Internacional de la Iluminación) en 1976 para mejorar en la versión 1966 del Hunter L, a, b. Es usada y de amplia difusión hoy en día, en muchas industrias.

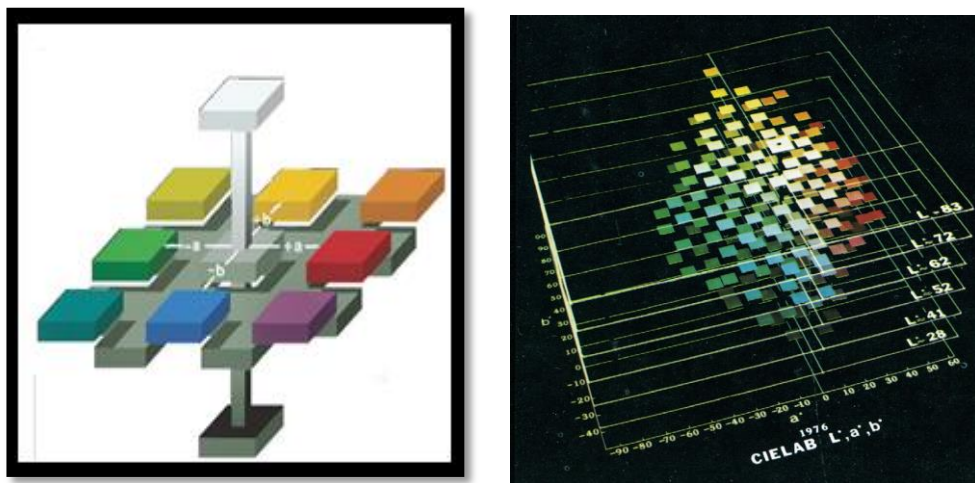


Figura 4. Sistema CIELAB. Tomado de <http://goo.gl/dtQ6j2>

1.6.4 Refinación de la pulpa En la operación de refinación de la pulpa se desarrollan las propiedades de fibrilación interna y externa, así como la reducción en la longitud de las fibras, el incremento de la superficie específica de las fibras, efectos determinantes para el entrelazamiento y consolidación de los enlaces interfibrilares que benefician las resistencias fisicomecánicas del papel. Para la medición en conjunto de todos estos efectos se han

implementado algunos métodos como los denominados “freeness” o Canadian standard freeness (CSF) y “wetness” o shopper riegler (°SR) (Escoto, 2004).

- **Canadian Standard Freeness**

Este método es usado principalmente en América y en algunos países de Europa. El equipo Canadian standard freeness consiste de un recipiente en el que se depositan 1000 ml de suspensión fibrosa, la cual después de drenar a través del tamiz perforado forma un colchón de fibras sobre el mismo. El agua drenada se recibe en un embudo separador y se colecta en una probeta de 1000 ml, el volumen se mide en mililitros (ml) y se le designa como valor freeness o CSF (Escoto, 2004).

1.6.5 Resistencia a la tensión (Escoto, 2004) La prueba de resistencia a la tensión se refiere al esfuerzo de tensión de igual magnitud pero de diferente dirección (opuesta) que se ejerce sobre una tira de papel. En esta propiedad, normalmente están representadas las siguientes características: carga de ruptura, resistencia a la tensión, largo de ruptura, índice de tensión, TEA o índice TEA.

1.6.5.1 Carga de ruptura

Valor reportado en kilogramo fuerza (kgf), libras fuerza (lbf) o Newtons (N), dependiendo del equipo usado.

1.6.5.2 Resistencia a la tensión

Es el valor obtenido dividiendo la carga de ruptura entre el ancho de la tira de papel, reportando sus unidades en kilonewtons por metro (kN/m).

1.6.5.3 Largo de ruptura

Es el valor obtenido al multiplicar la carga de ruptura por el largo de la tira de papel (100 o 180 mm) y dividida entre el peso de la tira de prueba, expresando el resultado en metros o kilómetros (m o Km).

1.6.5.4 Índice de tensión

Se define como la expresión más objetiva de la propiedad de tensión, al relacionar la resistencia a la tensión con el gramaje del papel ensayado y cuyo valor es reportado en Newtons por metro sobre gramo (Nm/g).

1.6.5.5 Absorción de la energía de tensión TEA

El valor TEA (Tensile Energy Absortion) se expresa como la energía absorbida por unidad de área de una muestra de papel, expresando su valor en Joule por metro cuadrado (J/m^2).

1.6.5.6 Índice TEA

Se define como la energía absorbida por unidad de área del papel (TEA) entre el peso base del papel y se expresa en joule por kilogramo (J/kg).

1.6.6 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) La DBO es uno de los parámetros de mayor importancia en el estudio y caracterización de las aguas no potables. La determinación de DBO además de indicar la presencia y biodegradabilidad del material orgánico presente, es una forma de estimar la cantidad de oxígeno que se requiere para estabilizar el carbono orgánico y de saber con qué rapidez este material va a ser metabolizado por las bacterias que normalmente se encuentran presentes en las aguas residuales (Ingeniería de tratamiento de aguas residuales, 2013).

1.6.7 Demanda química de oxígeno (DQO) La Demanda Química de Oxígeno o DQO, es la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar químicamente el material orgánico. Difiere de la DBO en que en esta última prueba solo se detecta el material orgánico degradado biológicamente o que es biodegradable. En la determinación de DQO todo el material orgánico -biodegradable y no biodegradable- es químicamente oxidado por el dicromato de potasio en medio ácido en la presencia de un catalizador.

La DBO y la DQO son los parámetros más importantes en la caracterización de las aguas residuales. La DBO consiste de un proceso biológico y como tal no está exento de los problemas que conlleva un análisis de este tipo. Si no se tienen los cuidados y la experiencia necesaria los resultados conducen a errores y malas interpretaciones. Otra desventaja de la DBO es que se requiere de mucho tiempo para el término del análisis, por

lo que los resultados solo estarán disponibles hasta cinco días después de que se inicia la prueba. La DQO es una prueba que solo toma alrededor de tres horas, por lo que los resultados se pueden tener en mucho menor tiempo que lo que requiere una prueba de Demanda Bioquímica de Oxígeno. Es posible para un agua superficial o residual correlacionar su valor de DBO y DQO, para estimar la DBO con un valor conocido de DQO. Desde luego, la muestra de agua deberá provenir siempre del mismo origen, y tener dentro de un estrecho margen de variación, las mismas cualidades entre cada muestreo y análisis efectuado (Ingeniería de tratamiento de aguas residuales, 2013).

1.6.8 Análisis de lodos (Residuo) De acuerdo con el decreto 4741 de 2005 se considera un residuo o desecho, cualquier objeto, material, sustancia, elemento o producto que se encuentre en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, cuyo generador descarta, rechaza o entrega porque sus propiedades no permiten usarlo nuevamente en la actividad que lo generó o porque la legislación o la normatividad vigente así lo estipula.

Para este caso, en el proceso de destintado quedan dos residuos después de realizar la flotación: las partículas de tinta y algunas fibras que salen encapsuladas con las burbujas de aire por la parte superior de la celda de flotación y la corriente que contiene el material que no flota y sale por la parte inferior de la misma. El residuo conformado por las partículas de tinta presenta un alto contenido de agua, por esta razón se analiza el líquido sobrenadante y el lodo o residuo sólido.

El sobrenadante es el líquido que queda sobre un sedimento o precipitado después de una sedimentación. A este líquido, por medio de la técnica de TCLP se analiza la cantidad de metales pesados como arsénico, bario, cadmio, cromo total, mercurio, plata, plomo y selenio. De igual forma, se analiza la presencia de estos metales en el residuo sólido.

También es de importancia, analizar la corrosividad del lodo o residuo del proceso, para evaluar la correcta disposición del mismo. Los residuos que se consideran como peligrosos en función de su corrosividad son aquellos muy ácidos o muy alcalinos ($\text{pH} < 2.0$ o bien $\text{pH} > 12.5$) que pueden reaccionar peligrosamente con otros residuos o provocar la migración de contaminantes tóxicos, o que son capaces de corroer el acero en ciertas condiciones y en cierto tiempo, con lo cual pueden llegar a fugarse de sus contenedores y liberar otros residuos (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Mexico, 2013).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 MATERIALES

2.1.1 Materia Prima Para el proceso de destintado, el material empleado es papel fotocopia de desecho, recolectado de centros de fotocopiado del sector de Laureles, los cuales fueron rasgados en pequeños pedazos de $2 \times 2 \text{ cm}^2$ aproximadamente. En general los papeles recolectados se encontraban impresos en un 90% de la hoja.

El papel fotocopia, no es más que la combinación de papel bond y tintas de impresión. El papel bond es un tipo de papel para escritura, el cual tiene un peso base o gramaje alrededor de $72\text{-}75 \text{ g/m}^2$, 4.5% de humedad y una blancura mayor del 78% (Escoto, 2004). En general, las tintas de impresión tienen ligantes orgánicos (9-11%), cenizas (11-14%), silicatos (1%), sulfatos (1.8%), zinc (1.7%), cobre (72%), hierro (11%), sodio (1.6%) y aluminio (0.7%) (Dykstra & Lott, 1992).

2.1.2 Surfactante Los surfactantes utilizados son ácidos grasos etoxilados con 3 valores diferentes de HLB: 12, 14 y 16, en donde el ácido oleico predomina en la cadena hidrocarbonada. Éstos fueron suministrados por la empresa OXITENO S.A. de C.V. de la ciudad de Guadalajara, México.

2.1.3 Quelante Los quelantes son sustancias que forman complejos con iones de metales pesados, para este caso, el quelante empleado es DTPA (Ácido dietilentriaminopentaacético) cuya estructura se muestra en la Figura 5

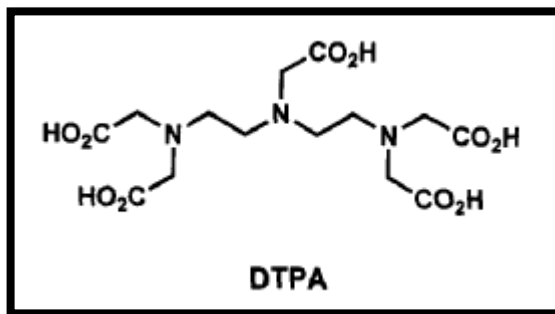


Figura 5. Estructura DTPA

2.2 METODOLOGÍA

2.2.1 Diseño de experimentos Para el desarrollo experimental se realizó un diseño factorial de 2^2 con 21 corridas incluyendo tres puntos centrales por bloque. Los dos factores, dosis de enzima y HLB del surfactante se variaron en dos niveles dejando fija la temperatura de reacción enzimática. Para obtener este diseño, se realizaron ensayos previos con variaciones en la temperatura dentro de un rango definido por los resultados de la actividad enzimática y haciendo uso del software *Statgraphics*.

2.2.2 Actividad Enzimática Para la determinación de la actividad enzimática de la celulasa se empleó como sustrato 50 mg de papel de filtro de membrana (Schleicher&Schuell 100) para cada muestra. El factor evaluado fue la temperatura con un valor óptimo y dos valores extremos de acuerdo a lo sugerido por la ficha técnica del proveedor (55,40 y 85). Se mantuvieron constantes el tiempo de acción de la enzima (60min) y el pH en 7.0. La variable respuesta fue la liberación de glucosa por la acción de la enzima, determinada mediante lectura por absorbancia a 540 nm en un espectrofotómetro UV/VIS (Schimtz UV-1601PC).

Para evaluar la actividad enzimática de la amilasa AQUAZYM ULTRA 250N se realizó un ensayo empleando el método de la hidrólisis del almidón con α -amilasa. En el ensayo se empleó como sustrato almidón hidrosoluble a una concentración de 0.008 g/mL. Las variables de interés fueron la temperatura, evaluada en tres valores (40, 60 y 85 °C) escogidos dentro del intervalo óptimo sugerido por la ficha técnica del proveedor y el

tiempo de acción oscilando entre 0 y 6 minutos. Como condiciones experimentales se estableció una concentración de la enzima de 1.56 g de enzima/100 g de almidón y un pH de 7.0. La variable respuesta fue la liberación de glucosa por la acción de la enzima, determinada mediante lectura por absorbancia a 540 nm en un espectrofotómetro UV/VIS (Shimatzu UV-1601PC).

2.2.2.1 Celulasa

La actividad enzimática de la celulasa CAZDIZYME NN fue determinada de igual forma sobre un sustrato de pulpa de papel desperdicio de fotocopia, evaluando como variable de interés la concentración enzimática, entendida como la proporción en peso de la enzima en función de la pulpa (g enzima/100 g pulpa).

En el ensayo se empleó como sustrato 0.5 g de papel fotocopia procesado, para cada muestra. Al igual que en el ensayo anterior, se estableció las siguientes condiciones experimentales: tiempo de acción de la enzima de 60 minutos y un pH de 7.0. Al no encontrarse un efecto directo de la temperatura sobre la acción de la enzima, se seleccionó una temperatura de trabajo de 40 °C. La variable respuesta fue la liberación de glucosa por la acción de la enzima, determinada mediante lectura por absorbancia a 540 nm, en espectrofotómetro UV/VIS (Shimatzu UV-1601PC).

2.2.2.2 Amilasa

La actividad enzimática de la amilasa AQUAZYM ULTRA 250N fue determinada de igual forma sobre un sustrato de pulpa de papel fotocopia, evaluando como variable de interés la concentración enzimática, entendida como la proporción en peso de la enzima en función de la pulpa (g enzima/100 g pulpa).

En el ensayo se empleó como sustrato papel fotocopia procesado, en cantidad de 0.5 g para cada muestra. Como condiciones experimentales se estableció un pH de 7.0, un tiempo de acción de 4 minutos y una temperatura de 85 °C, señalada anteriormente como un valor óptimo para la acción de la enzima. La variable respuesta fue la liberación de glucosa por la enzima, determinada mediante lectura por absorbancia a 540 nm en un espectrofotómetro UV/VIS, (Shimatzu UV-1601PC).

2.2.3 Caracterización de la materia prima A una muestra representativa del papel empleado en el proceso de destintado se le determinó:

- Contenido de humedad, según norma Tappi T-412 om-02
- Contenido de cenizas a 525°C según Tappi T-211 om-93

2.2.4 Destintado La Figura 6 muestra un esquema del procedimiento de destintado realizado en el laboratorio. En este numeral, se describe cada una de las etapas del proceso.

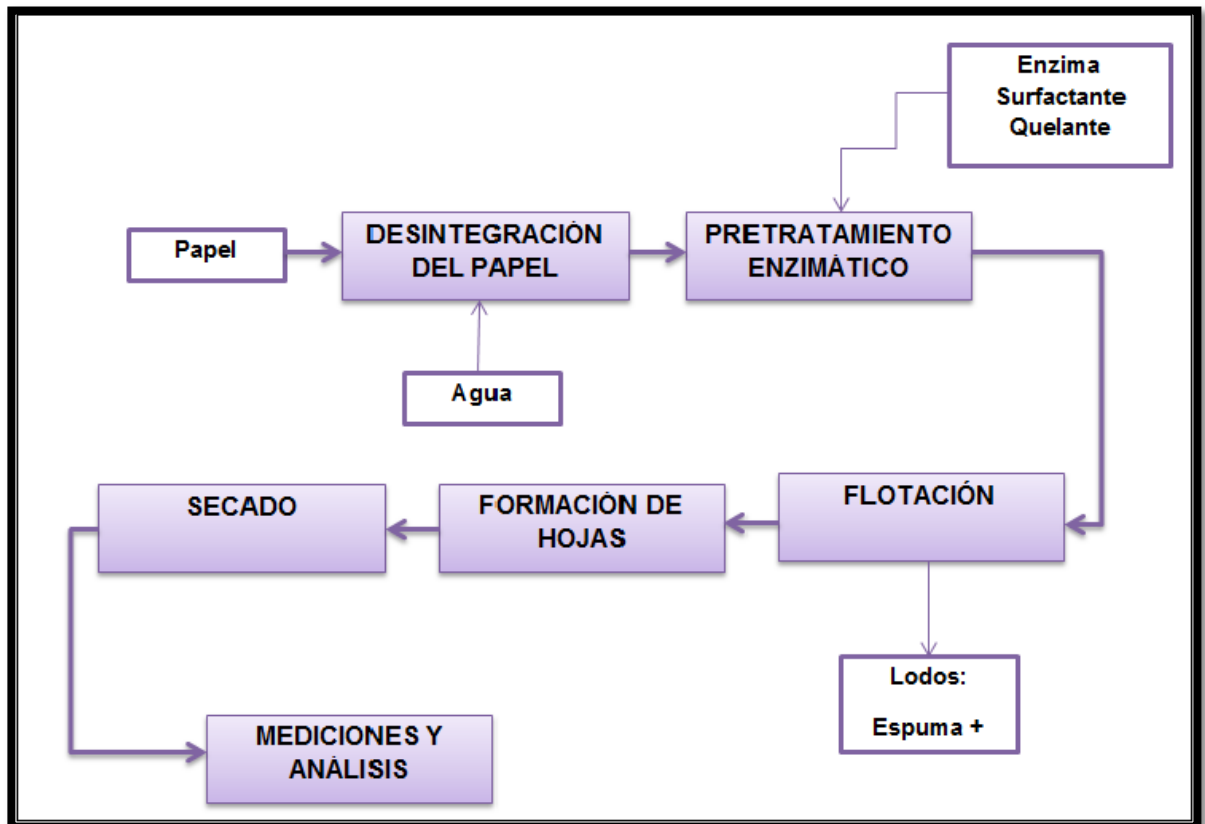


Figura 6. Diagrama del proceso de destintado enzimático

2.2.4.1 Desintegración

El proceso de desintegración se realiza en el equipo llamado pulper. Previamente al proceso de desintegración, se pone en contacto el material a desintegrar (papel fotocopia reciclado) con agua para facilitar el proceso. El material, 24 gramos de pulpa seca a una consistencia del 2%, se desintegra durante un tiempo de 10 minutos, tiempo en el cual se obtiene una suspensión homogénea de la fibra. La velocidad empleada en el pulper es de 3500 rpm. En la Figura 7 se muestra el equipo empleado para la desintegración.



Figura 7. Equipo de desintegración (Pulper)

2.2.4.2 Pretratamiento enzimático y curado (Etapas de reacción)

Posterior a la desintegración de la pulpa, ésta es sometida a calentamiento con agitación constante hasta que ésta alcance los 50° C donde se adiciona el quelante al 1% con base en el peso de la pulpa seca.

Dado que el proceso requiere un medio neutro, es necesaria la medición del pH y en caso de que éste no se encuentre en dicha condición es posible adicionar una solución buffer pH 7, a la suspensión. Seguidamente, se adiciona la enzima, en las diferentes dosis para cada ensayo, y el surfactante, dejándolos actuar por un tiempo de 20 minutos, 5 de los cuales se realiza con agitación y los 15 próximos sin ella.

La etapa de curado comprende el tiempo de reacción que se considera para el contacto entre la suspensión de fibras y el surfactante.

En el ANEXO A se muestra la preparación de las soluciones (quelante, surfactante, enzima, solución buffer)

2.2.4.3 Flotación

Para esta etapa, se empleó la celda de flotación ubicada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Pontificia Bolivariana, cuya capacidad es de tres litros. El tiempo empleado fue de seis minutos con flujo de aire de 1 litro por minuto, 1 atmósfera de presión y una velocidad de agitación de mil doscientos rpm.



Figura 8. Celda de flotación

2.2.4.4 Formación de hojas

La formación de hojas se realiza en un formador de hojas manual, de acuerdo con la norma Tappi T 205



Figura 9. Formador de hojas manual

Con anterioridad se realizan cálculos para conocer la cantidad de suspensión que se debe tomar para formar hojas de 1.2 gramos base seca.

- Cerrar el cilindro del formador, verter la alícuota en el formador de hojas y llenarlo con agua hasta el aforo.
- Agitar la solución hasta homogenizar y drenar el material abriendo la salida del agua. La fibra presente en la suspensión queda retenida en un tamiz de 100 mallas que permite la formación de la hoja.
- Se retira un exceso de humedad de la hoja, secándola con fieltro.
- Posterior a esto, se llevan las hojas en unas placas metálicas redondas (espejos), a una prensa en donde se les coloca un fieltro, acumulando cinco hojas antes de atornillar e iniciar el prensado. La presión empleada es de 75 psig por 5 minutos.
- Finalmente, se ubican las hojas formadas en soportes con orificios que permiten el paso del aire para el secado de éstas.

2.2.5 PROPIEDADES ANALIZADAS

2.2.5.1 Blancura ISO

Para la medición de esta propiedad se emplea el equipo Data Color, de acuerdo a la norma Tappi T-452. Previa a la medición de las muestras, se calibra el equipo con una placa blanca o azulejo, a una reflectancia de 457 nm.

Cuando las hojas formadas se encuentran totalmente secas se ubican porciones representativas de las hojas formadas debajo de la ranura del medidor, y se realizan tres mediciones para cada una de las hojas formadas, el equipo arroja el valor promedio de blancura expresado en porcentaje.

2.2.5.2 Puntos no eliminados o puntos negros

La medición de los puntos negros, implica recortar las hojas formadas de tal manera, que se ajusten al Scanner HP-G3110, el cual está conectado a un software, SIMPATIC LAB 3.0.25, el cual es el encargado de reportar la cantidad de puntos o el área que estos ocupan por metro cuadrado de muestra.

2.2.5.3 Parámetros de color L*a*b*

Se hace uso del equipo Data Color, esta propiedad se mide paralelamente a la medición de blancura.

2.2.5.4 Canadian Standard Freeness

Se realiza basado en la norma Tappi T-227.

Se efectúa el proceso de destintado en su totalidad exceptuando la formación de las hojas. La pulpa desfibrada (suspensión de pulpa pasada por el proceso de desintegración) se diluye a 0.3% de consistencia y se ajusta la temperatura a 20°C. Se cierra la tapa del sello inferior del recipiente y se agrega 1000 ml de la suspensión al 0.3% de consistencia.

Después de esto, se cierra la tapa del sello superior verificando que la válvula de aire se encuentre cerrada. Estando cerradas las dos tapas de sello y la válvula de aire, se procede a abrir la tapa de sello inferior y posteriormente se abre la válvula de aire para permitir que por gravedad drene el agua de la suspensión a través de la placa con orificios y del embudo separador hasta la probeta de recolección y medición.

El volumen de agua recolectado se mide y se reporta en mililitros (CSF) lo cual indica el freeness de la pulpa.

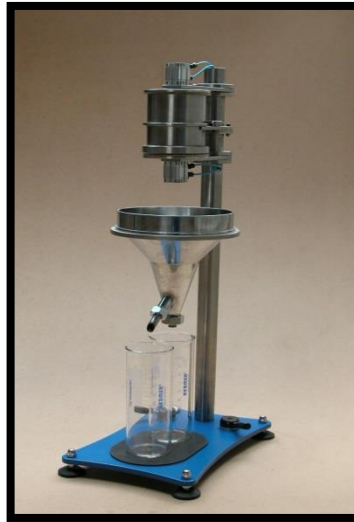


Figura 10. Equipo para la medición del Canadian Standard Freeness. Tomado de <http://goo.gl/LY4Vbr>

2.2.5.5 Resistencia a la tensión

Esta prueba fue realizada en el laboratorio de molinos de la empresa PAPELSA de acuerdo a procedimientos basados en la norma Tappi T-494.



Figura 11. Equipo para la medición de resistencia a la tensión

2.2.5.6 DBO (5 días)

Esta prueba fue realizada en el laboratorio del Grupo de Investigaciones Ambientales (GIA) de la Universidad Pontificia Bolivariana bajo el procedimiento indicado en el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” de APHA/AWWA.

El método consiste en llenar con muestra un frasco hermético e incubarlo a la temperatura establecida durante 5 días. El oxígeno disuelto se mide antes y después de la incubación y la DBO se calcula mediante la diferencia entre el Oxígeno Disuelto (OD) inicial y final.

2.2.5.7 DQO

Esta prueba fue realizada en el laboratorio del Grupo de Investigaciones Ambientales (GIA) de la Universidad Pontificia Bolivariana bajo el procedimiento indicado en el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” de APHA/AWWA.

Se somete a refluo una muestra en una solución ácida fuerte con un exceso conocido de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$). Después de la digestión, el $K_2Cr_2O_7$ no reducido que

quede se determina con sulfato de amonio ferroso para determinar la cantidad de $K_2Cr_2O_7$ consumido y calcular la materia orgánica oxidable en términos de equivalentes de oxígeno.

2.2.5.8 Análisis de lodos (Residuo)

El residuo o lodo resultante de la espuma de flotación fue analizado de acuerdo con los métodos aprobados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). Esto se realizó para cada una de las enzimas empleadas.

EPA-9040B / EPA-9045D: Estos métodos son utilizados para medir la corrosividad de diferentes muestras. El primero de éstos, se utiliza para medir el pH de desechos acuosos y los desechos multifase donde la fase acuosa constituye menos del 20% del volumen total de los residuos. El segundo es un procedimiento electrométrico para la medición de pH en muestras de suelos y residuos. Los residuos pueden ser sólidos, lodos o líquidos no acuosos. Si el agua está presente, debe constituir menos del 20% del volumen total de la muestra.

EPA-1620 / EPA-3050B: Ambos son métodos para la determinación de metales. Estos son métodos que proporcionan dos procedimientos de digestión separados, uno para la preparación de los sedimentos, lodos y muestras de suelo para el análisis por espectrometría de absorción atómica o plasma acoplado inductivamente a espectrometría de emisión atómica y uno para la preparación de sedimentos, lodos y muestras de suelo para análisis de muestras por horno de grafito o de plasma acoplado inductivamente a espectrometría de masas.

EPA-7061A: El método 7061 es un procedimiento de absorción atómica para determinar la concentración de arsénico en los residuos, extractos de procedimientos de movilidad, suelos y aguas subterráneas. El método 7061A está aprobado solo para matrices de muestras que no contienen altas concentraciones de cromo, cobre, mercurio, níquel, plata, cobalto y molibdeno. Todas las muestras deben ser sometidas a una etapa de disolución adecuada antes del análisis.

EPA-7470A: Es un procedimiento de absorción atómica de vapor-frío para la determinación de la concentración de mercurio en los extractos de procedimientos de movilidad, desechos acuosos y aguas subterráneas.

EPA-7741A: Es un procedimiento de absorción atómica que está aprobado para la determinación de la concentración de selenio en los desechos, extractos de procedimientos de movilidad, suelos y aguas subterráneas, a condición de que la matriz de la muestra no contiene concentraciones elevadas de cromo, cobre, mercurio, plata, cobalto o molibdeno. Todas las muestras deben ser sometidas a una etapa de disolución adecuada antes del análisis.

Para el sobrenadante se emplearon en su mayoría métodos basados en el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” de APHA/AWWA.

EPA-1311: El TCLP está diseñado para determinar la movilidad de los analitos orgánicos e inorgánicos presentes en los residuos líquidos, sólidos y multifásicos.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. ACTIVIDAD ENZIMÁTICA

3.1.1 Actividad enzimática de la celulasa Las celulasas son enzimas hidrolíticas que participan en el rompimiento de los enlaces glicosídicos β -1,4 presentes en la celulosa. Al determinar la actividad enzimática de la celulasa como unidades de papel filtro se encontró que para los tres niveles de temperatura, la concentración enzimática requerida para liberar 2.0 mg de glucosa estuvo alrededor de 0.047 g/g, lo que señala el poco o nulo efecto de la temperatura en la hidrólisis enzimática de la celulasa. Lo anterior se puede ver en la Tabla 1.

Tabla 1. Concentración y actividad enzimática de la celulasa CAZDIZYME NN para 2.0 mg de glucosa liberada.

Temperatura (°C)	Concentración enzimática para 2.0 mg de glucosa (g enzima/g papel)	Unidades FPU
40	0.047	7.84
55	0.047	7.87
85	0.045	8.23

La Tabla 2 muestra la cantidad de glucosa liberada por la celulasa. A diferencia de lo observado en la Tabla 1, la variación en la concentración enzimática no fue directamente proporcional a la cantidad de glucosa liberada por la enzima. Lo anterior puede deberse a la heterogeneidad del sustrato (papel impreso), en comparación con el papel de filtro que no incluye ningún tipo de tinta.

Tabla 2. Glucosa liberada para diferentes niveles de concentración enzimática de celulasa CAZDIZYME NN.

Concentración enzimática (g enzima/100 g pulpa)	Absorbancia	Glucosa liberada (mg)
0.060	0.269	1.167
0.105	0.298	1.325
0.150	0.283	1.243

Zeyer, Joyce, Heitmann y Rucker (1994) señalan que la segmentación de los polímeros de celulosa mediante la aplicación de la celulasa es lo que permite que el destintado tenga lugar, de acuerdo a lo anterior varios factores influyen en los resultados que acá se obtienen cuando se realiza el pretratamiento con esta enzima, por ej. el tiempo de acción, la temperatura, el pH, la dosis de enzima empleada. No obstante, en la evaluación de la actividad enzimática se observó poca influencia de la temperatura y de la dosis como se muestra en las Tablas 1 y 2.

3.1.2 Actividad enzimática de la amilasa La ficha técnica de la enzima señala un rango de acción entre 60 y 110° C, con una temperatura óptima de 85 °C, lo que se puede corroborar con una mayor cantidad de glucosa liberada (0.161-0.254 mg) por la enzima y lo que indica una mayor actividad a esta temperatura, en comparación con la respuesta a 40 y 60 °C, donde la hidrólisis del almidón fue casi nula.

El tiempo de acción también presentó un efecto sobre la hidrólisis del almidón. Alrededor de 4 minutos de acción de la amilasa fue un periodo suficiente para que la enzima actúe sobre el sustrato, independiente de la temperatura.

En la Tabla 3 se puede apreciar la cantidad de glucosa liberada para las diferentes concentraciones de amilasa. La hidrólisis de la pulpa fue mayor para los niveles de 0.105 y 0.150 (g enzima/100 g pulpa). A su vez, la acción de la enzima fue superior a la presentada en el ensayo con almidón hidrosoluble, a pesar de emplear concentraciones enzimáticas menores.

Tabla 3. Glucosa liberada para diferentes niveles de concentración enzimática de amilasa AQUAZYM ULTRA 250N.

Concentración enzimática (g enzima/100 g pulpa)	Absorbancia	Glucosa liberada (mg)
0.060	0.086	0.167
0.105	0.123	0.369
0.150	0.120	0.352

3.2. BLANCURA ISO Y PUNTOS NEGROS

Se realizó el proceso de destintado en medio neutro al papel desperdicio de fotocopia. La pulpa desintegrada fue pretratada con *celulasa* y *amilasa* de manera independiente. Se empleó en el proceso de destintado ácidos grasos etoxilados con valores de HLB de 12, 14 y 16. La Tabla 4 muestra los resultados de blancura ISO y de puntos no eliminados de acuerdo con el diseño de experimentos.

Para la determinación de estas propiedades, se tomaron aleatoriamente hojas formadas del proceso de destintado y se midió la blancura ISO haciendo uso del equipo Data Color. De la misma manera, se seleccionaron diferentes hojas las cuales se escanearon y a través de un software se midió la cantidad de puntos negros presentes en las hojas formadas. La pulpa control indicó 75.41% en blancura ISO y 169,521 puntos no eliminados.

Tabla 4. Valores de Blancura ISO y Puntos negros para Celulosa y Amilasa

No. de ensayo	Dosis Enzima (%)	HLB	Celulosa		Amilasa	
			Blancura ISO (%)	Puntos Negros (No.)	Blancura ISO (%)	Puntos Negros (No.)
1	0.105	14	78.16	169174	76.38	206335
2	0.105	14	76.77	166316	73.37	177230
3	0.105	14	75.77	160339	72.76	187105
4	0.06	12	80.21	153582	78.51	104207
5	0.06	12	79.11	142408	78.16	112523
6	0.06	12	78.1	168395	79.43	123178
7	0.105	14	78.49	196980	80.64	160079
8	0.105	14	78.45	218029	81.02	163457
9	0.105	14	78.38	212312	80.1	175411
10	0.105	14	78.31	141888	77.74	227385
11	0.105	14	77.96	133832	77.95	228684
12	0.105	14	78.03	115122	78.1	206075
13	0.15	12	78.31	160599	76.22	179049
14	0.15	12	78.71	161378	76.35	200618
15	0.15	12	77.43	165016	75.72	209973
16	0.06	16	71.66	150724	79.83	149164
17	0.06	16	72.33	155921	78.79	150464
18	0.06	16	72.33	150464	78.85	149424
19	0.15	16	78.11	115901	81.64	131753
20	0.15	16	78.33	119279	81.49	120579
21	0.15	16	77.01	136951	80.46	134352

La Blancura ISO y el número de puntos negros, son propiedades que indirectamente reflejan la eficiencia del proceso, de este modo los resultados reportados en la Tabla 4 se esquematizan a través de un diagrama de barras en el que se evidencia de manera más sencilla los resultados del proceso.

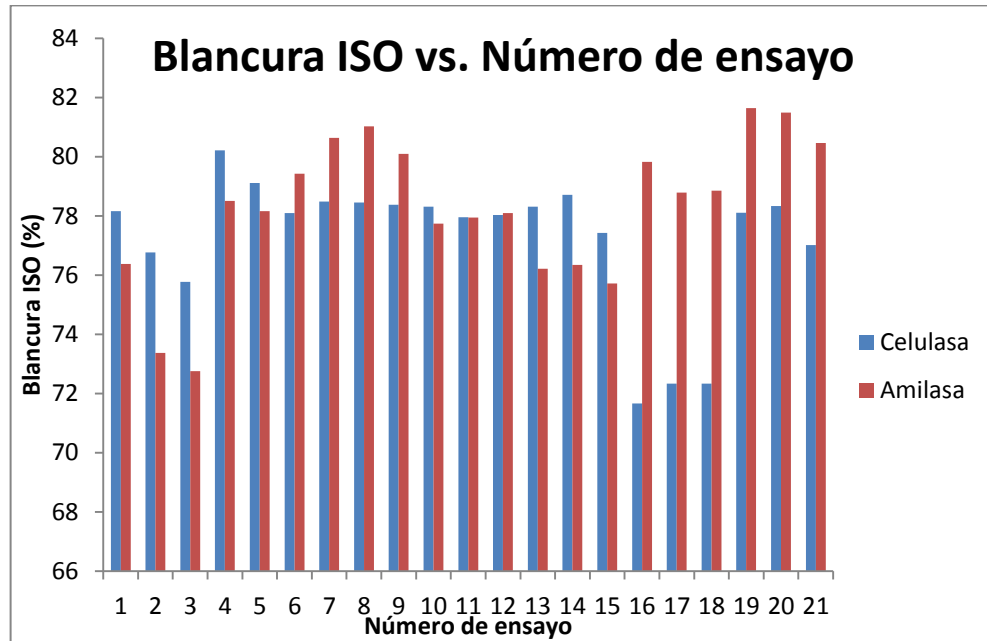
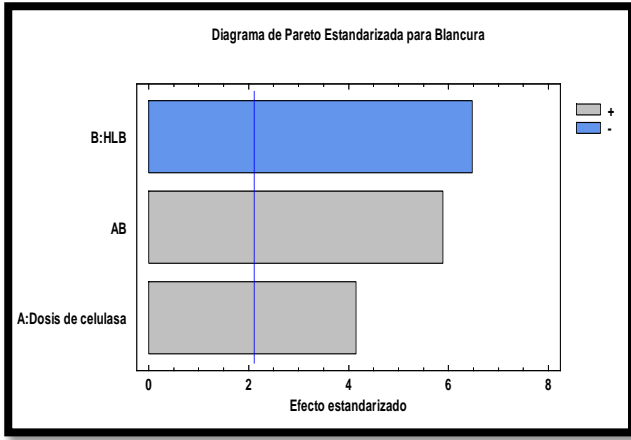


Figura 12. Valores de blancura ISO para las muestras tratadas con celulasa y amilasa

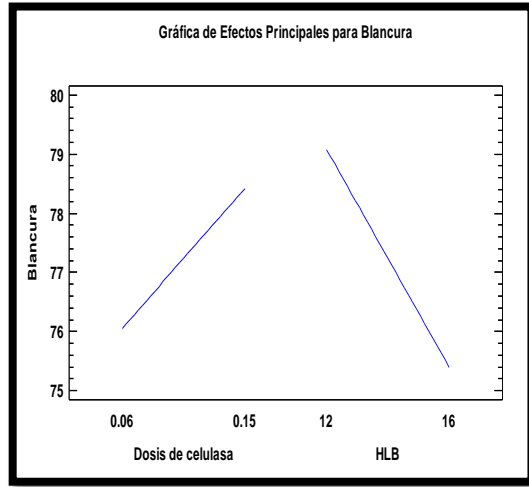
En cuanto a blancura ISO, la Tabla 4 y la Figura 12 muestran mejores resultados cuando se usó amilasa que con la celulasa, esto puede deberse a que papeles empleados para fotocopia pueden incluir almidón y ésta enzima puede provocar cortes mecánicos que ayudarían a la liberación de las partículas de tinta para luego ser removidas en la etapa de flotación (Zollner & Schroeder, 1998). En términos generales el incremento para ambas enzimas fue de 3 a 6 puntos en blancura por encima del valor de la pulpa control.

Tanto la blancura ISO como la cantidad de puntos no eliminados fueron analizadas estadísticamente con el del software *Statgraphics centurion 16* el cual reportó los diagramas de Pareto y las gráficas de efectos principales para cada uno de los ensayos con celulasa y amilasa.

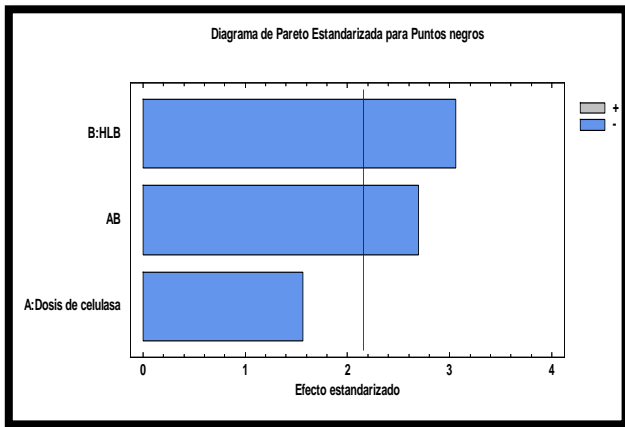
Los diagramas de Pareto muestran cada uno de los efectos estimados en orden decreciente de importancia, teniendo en cuenta que la longitud de cada barra es proporcional al efecto estandarizado, el cual es el efecto estimado dividido entre su error estándar. En estos diagramas, la línea vertical indica los efectos que son estadísticamente significativos donde las barras que se extienden más allá de la línea, corresponde a efectos que son estadísticamente significativos con un 95% de nivel de confianza.



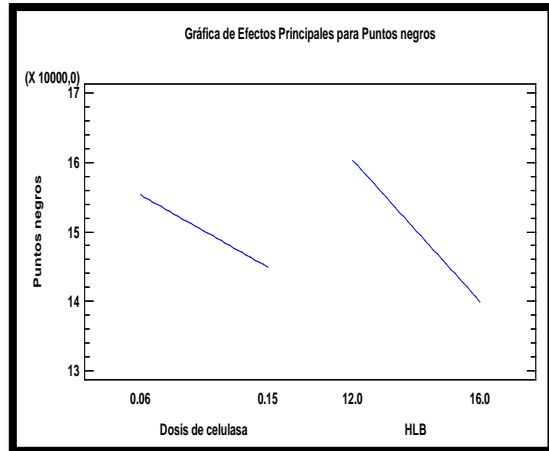
A



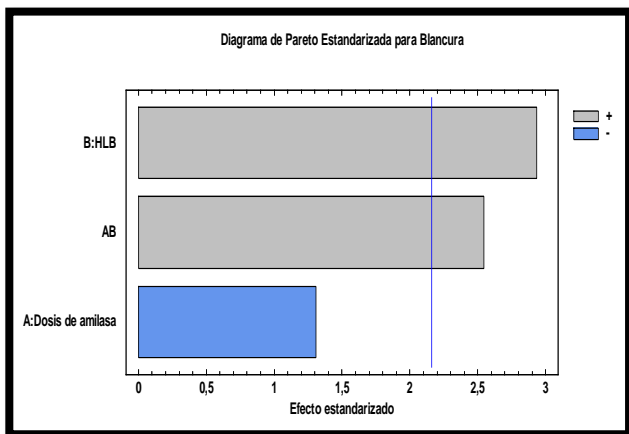
B



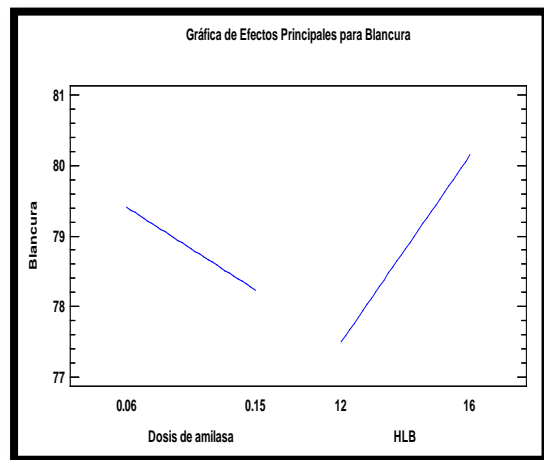
C



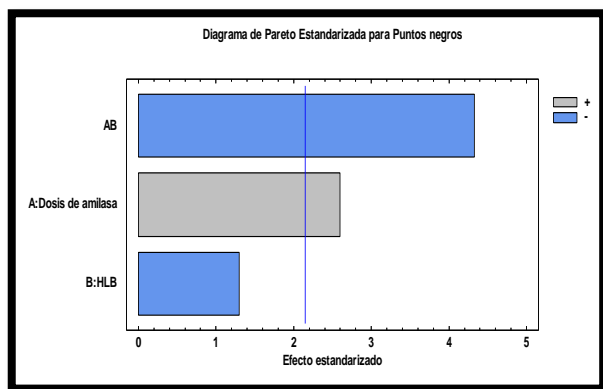
D



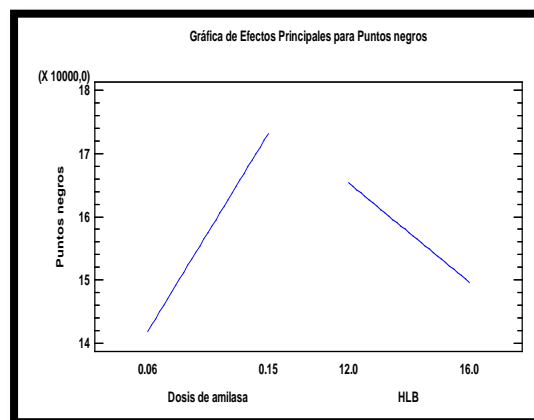
E



F



G



H

A: Figura 13, Diagrama de Pareto para blancura ISO empleando celulasa. **B: Figura 14**, Gráfica de efectos principales para blancura ISO empleando celulasa. **C: Figura 15**, Diagrama de Pareto para puntos negros empleando celulasa. **D: Figura 16**, Gráfica de efectos principales para puntos negros empleando celulasa. **E: Figura 17**, Diagrama de Pareto para blancura ISO empleando amilasa. **F: Figura 18**, Gráfica de efectos principales para blancura ISO empleando amilasa. **G: Figura 19**, Diagrama de Pareto para puntos negros empleando amilasa. **H: Figura 20**, Gráfica de efectos principales para puntos negros empleando amilasa.

Alzate et al. (2011) indican que los ácidos grasos etoxilados con alto valor de HLB presentan mejores resultados en las propiedades ópticas que los obtenidos en el proceso de destintado alcalino convencional. Según las Figuras 13 y 17, las cuales ilustran los diagramas de Pareto para la blancura ISO empleando celulasa y amilasa respectivamente, hay influencia significativa del HLB en el proceso con un nivel de confianza del 95%.

En el pretratamiento con celulasa los mejores resultados en blancura ISO se obtuvieron con HLB 12, tal como se observa en la Figura 14 mientras que con amilasa los mejores resultados fueron con HLB 16, de acuerdo con la Figura 18.

Theander y Pugh (2004) aseguran que los surfactantes no iónicos de HLB 14 a 15.5 dan resultados óptimos en el destintado de la mezcla papel periódico/revista, aunque no se indica si el proceso se realizó en medio neutro o alcalino, sin embargo, en este trabajo se obtuvieron los mejores valores de blancura con un HLB por fuera de este rango, en medio neutro y empleando enzimas en papel fotocopia. En estos resultados se muestra el efecto combinado del HLB y la dosis de enzima lo cual se observa en los diagramas de Pareto, Figuras 13 y 17. En consonancia con lo anterior, Elegir, Panizza y Canetti (2000) afirman que los surfactantes no iónicos interactúan con las celulosas para mejorar su acción y que han sido usados para mejorar el destintado asistido con enzimas.

En el caso de los valores de Blancura ISO empleando como enzima la celulasa, la Figura 13 muestra que existe una significativa relación entre el HLB, la dosis de enzima y la interacción entre ambos. Esta relación fue analizada variando los efectos (HLB y dosis de enzima) desde su nivel más bajo al más alto, indicando que tanto con el menor valor de HLB como con el mayor valor de dosis de enzima se obtuvo mayor blancura; lo que se evidencia en la Figura 14. Esto es coherente con lo que expone Elegir, Panizza y Canetti, (2000) en su trabajo, donde emplean ácidos grasos etoxilados con un valor de HLB cercano a 12 y asistido por celulasa.

De la misma manera, se analizó el comportamiento respecto a los puntos no eliminados o puntos negros. Observando la Figura 15, se muestra que los efectos principales son el HLB y la interacción. Según lo anterior, la dosis de enzima no es un efecto significativo, sin embargo, indirectamente sí afecta, por a la interacción del HLB y la dosis de enzima.

En la Figura 16, se muestra los estimados de Puntos negros como una función de cada factor experimental (Dosis de enzima y HLB) variándolos desde su nivel más bajo al más alto. Al comparar esta Figura con la Figura 14 se encuentra coherencia en el efecto de la dosis de enzima, ya que se logró una menor cantidad de puntos negros con la mayor dosis, por tanto se obtuvo una mayor blancura. En cuanto al efecto del HLB no hay coherencia entre los resultados de blancura y puntos negros dado que, a menor HLB se obtuvo mejor blancura pero no menor cantidad de puntos negros. Aunque se considere que este resultado es absurdo, se puede afirmar que la blancura ISO no está estrictamente relacionada con la cantidad de puntos negros pues en algunos casos se da incremento del número de puntos pero lo que está sucediendo es una dispersión de los mismos.

Respecto al proceso empleando la enzima amilasa, se obtuvo una correlación de 52.39%, para los valores de blancura ISO, inferior a la obtenida con celulasa (84.65%). A pesar de esa baja correlación para la amilasa, se observó que el empleo de esta enzima mejoró los valores de blancura de las pulpas destintadas, como lo indican Elegir, Panizza y Canetti, (2000) quienes sugieren que el destintado de papeles desperdicio de fotocopia tratado con celulasa puede mejorarse cuando se le mezcla con amilasa.

En la Figura 17 se muestra que solamente son significativos dos efectos, el HLB y la interacción, contrario a lo que ocurre con la blancura ISO empleando celulasa. De igual manera, la Figura 18 muestra un efecto contrario a la Figura 14 , mayores valores de blancura son obtenidos incrementando el HLB y disminuyendo la dosis de enzima.

En definitiva, como lo afirman Gottshing y Pakarinen (2000) en su trabajo, los dos criterios de calidad más importantes en el destintado son la blancura y la cantidad de puntos negros (specks), los cuales dependen en gran medida de la relación volumen-aire inyectado en la celda de flotación. En la flotación, además de las partículas de tinta se elimina una cierta cantidad de fibras y finos. Se aumenta la limpieza mediante la mejora de la blancura y la reducción de puntos negros.

En este caso, los ensayos fueron realizados en una sola celda de flotación y con un tiempo fijo de 6 minutos, sin embargo, estos investigadores relacionan la blancura y la eliminación de las partículas de tinta con la cantidad de celdas y el tiempo de flotación empleado en el proceso. De este modo, si se relaciona la blancura con el número de celdas, se muestra una gráfica con tendencia exponencial la cual se aplanan con el incremento de las celdas utilizadas o el tiempo de flotación, esto se debe a que el número de partículas de tinta que aún no han sido removidas disminuyen considerablemente dada la reducción en la probabilidad de que colisionen las burbujas con la entrada de aire constante, así, solo pueden ser capturadas unas pocas partículas de tinta. Lo mismo ocurre con la reducción de puntos negros, pues el número de specks removidos disminuye con el incremento del tiempo de flotación.

La blancura también depende de la eliminación de espuma o la pérdida de sólidos. La mayor remoción de sólidos, por lo general, significa una blancura de un nivel más alto posible.

Cuando se habla de destintado de fibras secundarias, el efecto de la flotación en términos de incremento en blancura y reducción de puntos negros depende fuertemente de las pastas de fibras recicladas que entran a la celda de flotación. Generalmente se han estudiado mezclas de 60% de papel periódico y 40% de revistas, aunque con otros valores de mezclas, la blancura puede mejorar continuamente incluso con largos tiempos de flotación.

3.3 PARÁMETROS DE COLOR L*a*b*

Tabla 5. Parámetros de color para las hojas formadas y tratadas con celulasa

Parámetros de color para Celulasa			
Ensayo	L*	a*	b*
1	89.17	0.39	-0.79
2	89.23	0.38	-1.23
3	89.09	0.2	-1.29
4	89.32	0.37	-0.04
5	88.51	0.33	0.15
6	89.50	0.42	-0.19
7	89.51	0.44	-0.17
8	89.46	0.43	-0.64
9	89.14	0.44	-0.28
10	88.97	0.36	-0.2
11	89.71	0.36	-0.48
12	89.17	0.16	-0.49
13	87.87	0.38	0.88
14	87.55	0.69	1.16
15	88.15	0.4	-0.19
16	89.21	0.47	0.14
17	89.18	0.41	0.19
18	89.36	0.47	-0.16
19	88.99	0.52	-0.32
20	89.02	0.58	-0.4
21	88.89	0.59	-0.43

Tabla 6. Parámetros de color para las hojas formadas y tratadas con amilasa

Parámetros de color para Amilasa			
Ensayo	L*	a*	b*
1	89.67	-0.02	0.79
2	89.65	0.06	0.08
3	88.63	0.07	0.79
4	90.37	0.10	0.84
5	90.31	(-)0	0.75
6	90.36	-0.08	-0.30
7	90.29	-0.04	-0.8
8	90.19	-0.04	-1.06
9	89.50	-0.05	-0.75
10	89.35	0.04	-0.74
11	89.30	0.03	-0.37
12	89.24	-0.08	-0.55
13	89.06	-0.02	-0.02
14	89.01	-0.01	-0.15
15	88.63	-0.10	0.14
16	90.35	(-)0	-0.38
17	90.20	-0.07	-0.05
18	89.66	-0.13	-0.27
19	90.59	0.02	-0.62
20	90.39	0.02	-0.64
21	89.89	-0.10	-0.07

Haciendo referencia al color, como se explicaba anteriormente, en el sistema CIELAB, es necesario tener en cuenta todas las coordenadas para definir el color de las hojas. De acuerdo a lo reportado en las Tablas 5 y 6 la totalidad de los ensayos realizados para amilasa y celulasa se encuentran en el rango alto de claridad o luz en el color (51-100) aproximándose al límite superior, para amilasa con 90.59 y para celulasa con 89.51. Esta es otra forma de indicar que haciendo uso de las enzimas se cumple con el requerimiento de blancura necesario para evaluar la calidad del proceso.

Además de la luminosidad u oscuridad que puedan tener las hojas, también presentan cierto contenido de colores como amarillo, azul, rojo y verde para completar las coordenadas del color. Si comparamos las coordenadas de estos colores: $a = +60$ para el rojo a 0° , $a = -60$ a 180° para verde, $b = +60$ a 90° para amarillo y $b = -60$ a 270° para azul, es evidente que para las hojas tratadas tanto con celulasa como con amilasa se obtienen valores pequeños para estas coordenadas de color indicando mínima presencia en las hojas formadas tal como se observa en las Tablas 5 y 6.

3.4 CANADIAN STANDARD FREENESS (CSF)

El CSF es una medida de la drenabilidad que tienen las pulpas debido a los efectos producidos en ellas durante la refinación. Al observar los resultados expuestos en las Tablas 7 y 8 y de acuerdo con Escoto, 2004 el drenado fue rápido porque los volúmenes de drenado por el orificio lateral (V_1) son mayores que los del orificio inferior (V_2) esto se debe a que si la pulpa no está muy refinada, el agua drenará más fácilmente a través de la cámara de drenado por lo que el embudo separador se llena rápidamente y debido a que el orificio de salida inferior no puede desalojar el mismo flujo de agua que drena de la malla del recipiente, ocasionará que el exceso de agua suba y salga por el orificio del tubo lateral.

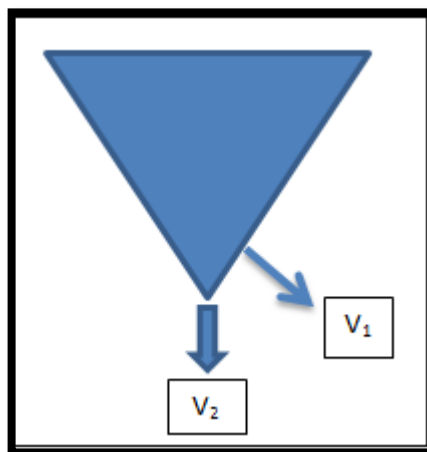


Figura 21. Esquema para los volúmenes de CSF

Tabla 7. Volúmenes para el CSF para celulasa

Dosis (%)	V₁ (ml)	V₂ (ml)	V_T (ml)
0.06	590	335	925
0.06	580	380	960
0.06	550	380	930
0.105	520	390	910
0.105	500	415	915
0.105	540	400	940
0.15	560	365	925
0.15	460	440	900
0.15	510	400	910

Tabla 8. Volúmenes del CSF para amilasa

Dosis (%)	V₁ (ml)	V₂ (ml)	V_T (ml)
0.06	500	410	910
0.06	530	400	930
0.06	580	330	910
0.105	530	400	930
0.105	550	360	910
0.105	570	355	925
0.15	550	370	920
0.15	600	345	945
0.15	530	405	935

El Canadian Standard Freeness es otra de las propiedades más importantes cuando de producción de papel se habla, con ella es posible calcular en términos de volumen, la capacidad que tiene la pulpa para retener la humedad, pues dependiendo de la aplicación se hacen necesarios papeles mucho más resistentes. Se mide la facilidad con que el agua drena libremente de una suspensión fibrosa valorada, en este sentido, cuanto más refinada sea una pulpa, menor será el freeness. Por esta razón, diferentes autores ha reportado valores para esta propiedad. Elegir, Panizza y Canetti (2000) realizaron ensayos a pequeña escala y observaron un leve incremento del CSF cuando usaron la mezcla celulasa/amilasa, 77 ml más que la pulpa control. A diferencia de estos autores, Zollner y Schroeder (1998)

expresan que el tratamiento con enzimas no afecta el CSF obteniendo valores de 282 ml para el blanco, 278 ml para la muestra sin enzimas y 280 ml para la muestra con 1.0 g de enzima por gramos de pulpa seca. Sin embargo, Jackson, Heitmann y Joyce (1993) afirman que modificaciones de fibra secundaria con celulasa y hemicelulasas pueden resultar en un incremento sustancial en el freeness de la pulpa con pequeñas o nula afectación en las propiedades físicas; ellos incluyen en su trabajo las conclusiones de Prommier et al. quienes aseveran que cuando las pulpas son tratadas con enzimas, el freeness incrementa sin alguna pérdida sustancial de las propiedades mecánicas y notaron incrementos sustanciales del CSF en ensayos con celulasa y mezclas celulasa-hemicelulasa comparadas con el de la pulpa control lo que concuerda con Elegir, Panizza y Canetti (2000).

Del mismo modo, Bajpai y Bajpai (1998) en su revisión (review), indicaron el efecto del tratamiento enzimático sobre pulpa MOW (Mixed Office Waste o papel desperdicio de oficina), obteniendo para el blanco 400ml, 440 ml para la pulpa control y 490 ml para el ensayo con enzimas. En esta revisión, se encuentran reportes de Yang et al. quienes reportaron que el freeness del destintado enzimático de pulpa MOW fue 32% más alto que la pulpa control. Heise et al. y Prasad et al. encontraron que el tratamiento enzimático incrementó significativamente el freeness de la pulpa desde 510 a 570 ml y de 440 a 490 ml respectivamente.

Si revisamos los resultados expuestos en este trabajo con el objeto de comparar con las anteriores investigaciones observamos que la drenabilidad de las pulpas en términos de la cantidad de agua drenada, son similares entre sí, tanto para los ensayos con celulasa y amilasa, sin embargo, se muestra que para la celulasa, en promedio, se obtuvo mayor freeness (573ml) con la menor dosis de enzima (0.06%) a diferencia de la amilasa cuyo mayor freeness (560 ml) se obtuvo con la mayor dosis de enzima (0.15%) estos resultados presentan una desviación del 2.82% y 5.08% respectivamente, frente al freeness de la pulpa control (590 ml). Así habría cierta similitud con lo expuesto por Zollner y Schroeder (1998) quienes indican que el freeness no es afectado por el tratamiento enzimático.

Estadísticamente, el CSF se ve afectado por el tratamiento con celulasa, si observamos la Figura 22A, el valor del CSF no es variable al emplear bajas dosis de enzima (0-0.06%), ya que los intervalos de confianza de las mediciones se interceptan entre sí; sin embargo, se aprecia una leve diferencia tendiendo a un mínimo, con el aumento en la dosis de celulasa (0.105% y 0.15%). Al comparar estos dos intervalos, no presentan un punto de intercepción, lo que comprueba que la propiedad depende de la cantidad de celulasa empleada.

El efecto es contrario cuando la enzima empleada es la amilasa, puesto que todos los intervalos presentan puntos de intercepción, lo que significa que el valor del CSF es equivalente al emplear cualquiera de las dosis de enzima (0.06%, 0.105%, 0.15%), lo anterior se observa en la Figura 22B.

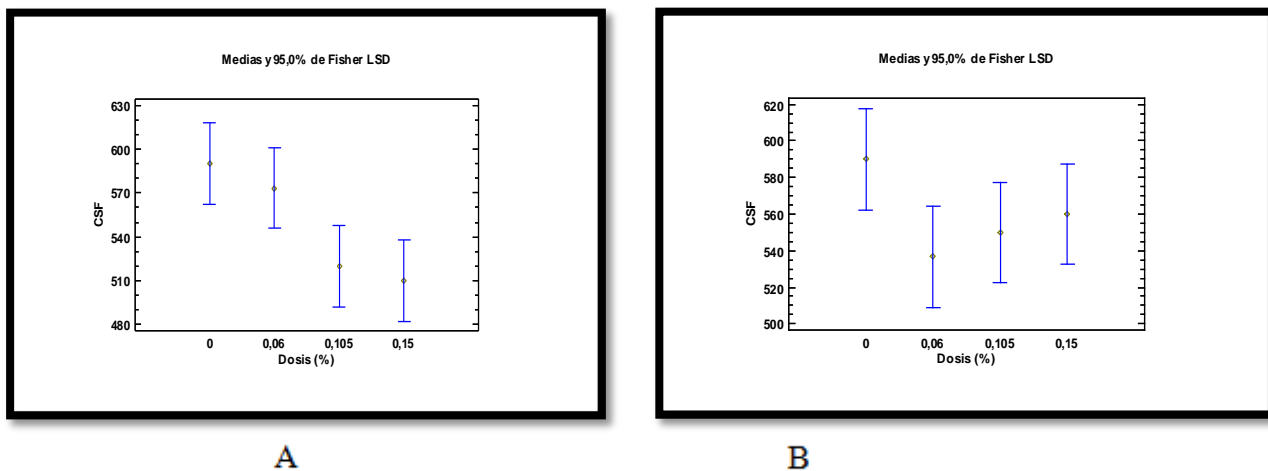


Figura 22. Análisis de varianza (Anova) para CSF con celulasa y amilasa

A: Celulasa. B: Amilasa

3.5 RESISTENCIA A LA TENSIÓN

Esta propiedad está directamente afectada por el gramaje o peso base, el cual es un criterio indicativo para clasificar los papeles, cartulinas y cartones; a mayor gramaje las resistencias también se incrementan o viceversa.

Para evaluar el efecto del gramaje en los resultados obtenidos de resistencia, se tomó una muestra de 4 hojas formadas con un área de 5.76 cm^2 y se pesaron obteniendo un gramaje promedio de 57.3 g/m^2 para celulasa y 56.4 g/m^2 para amilasa. Para los papeles de escritura, se requiere que estos sean flexibles, blancos y con buena solidez superficial, ya que se va a escribir con bolígrafo y borrar sobre ellos. En general este tipo de papeles requieren de un peso base entre $58 - 90 \text{ g/m}^2 \pm 5\%$ y blancura superior a 78% (Escoto, 2004), de este modo,

las hojas realizadas con pretratamiento enzimático a partir de fibras secundarias de papel fotocopia podrían ser utilizadas para tal fin. La resistencia a la tensión se midió a tiras de papel de 15mm de ancho y 106.2 mm de largo, los resultados obtenidos de tensile, elongación y TEA son los reportados en las Tablas 9 y 10.

Tabla 9. Resistencia a la tensión con celulasa

Dosis celulasa g enzima/g pulpa seca (%)	Tensile (N)	Elongación (%)	TEA (J/m ²)
0	20,61	1,65	13,85
0	21,66	1,57	13,37
0	27,55	2,1	23,01
0	20,55	1,65	13,87
0	20,11	1,29	10,38
0	18,11	1,17	8,22
0	19,5	1,41	10,88
0,06	16,55	1,77	13,21
0,06	10,61	0,67	2,75
0,06	9,11	0,81	2,94
0,06	20	1,34	9,76
0,06	20,89	1,77	14,59
0,06	18,66	1,77	12,47
0,105	20,22	1,17	8,9
0,105	26,89	2,29	26,03
0,105	26,39	1,91	21,68
0,105	23,39	1,5	14,25
0,105	29,22	2,15	24,4
0,105	18,05	1,26	8,65
0,15	19,44	1,14	9,18
0,15	36,66	2,1	29,63
0,15	18,22	1,14	8,09
0,15	24,61	1,29	11,94
0,15	16,17	0,57	3,29
0,15	27,72	1,98	23,85

Tabla 10. Resistencia a la tensión con amilasa

Dosis amilasa g enzima/g pulpa seca (%)	Tensile (N)	Elongación (%)	TEA (J/m ²)
0	20,61	1,65	13,85
0	21,66	1,57	13,37
0	27,55	2,1	23,01
0	20,55	1,65	13,87
0	20,11	1,29	10,38
0	18,11	1,17	8,22
0	19,5	1,41	10,88
0,06	26,39	1,65	17,05
0,06	21,28	1,5	14,09
0,06	32,44	2,48	34,79
0,06	13,05	0,67	4
0,06	13,94	0,93	5,3
0,06	19,72	1,65	12,97
0,105	11,78	1,02	5,14
0,105	11,11	0,81	4,22
0,105	14,05	0,91	5,78
0,105	17,55	1,65	12,13
0,105	13,78	1,41	7,21
0,105	23,66	0,91	8,85
0,15	9,89	0,55	2,64
0,15	12,11	0,91	5,02
0,15	21,05	1,65	14,04
0,15	11,5	0,91	4,12
0,15	13,83	0,91	4,86
0,15	18,11	1,55	11,08

Los resultados reportados en las tablas 9 y 10 fueron analizados estadísticamente, esto se representa en la Figura 23.

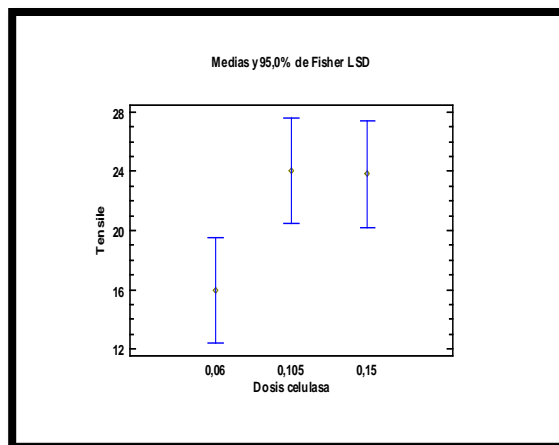
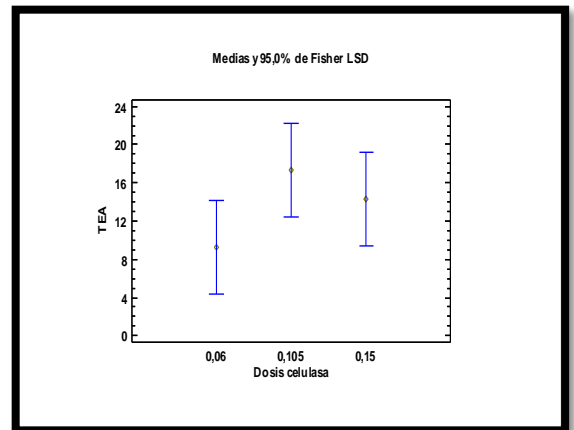
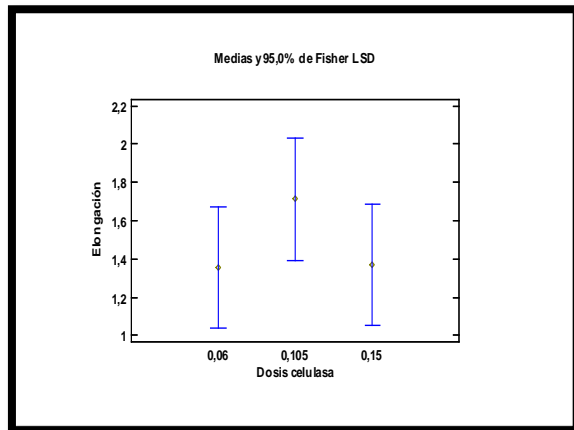


Figura 23. Análisis de varianza (Anova) para propiedades mecánicas con celulasa

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis estadístico, las propiedades mecánicas no se vieron afectadas por la dosis de celulasa empleada, es decir, se mantienen independientes, este resultado es positivo, puesto que se pueden mejorar las propiedades ópticas sin afectar las mecánicas. Este efecto se produce porque al someter la pulpa de papel a tratamiento con celulasa, esta enzima favorece la degradación de las fibras de celulosa presentes, incrementando la resistencia de las uniones de las fibras al aumentar el área de superficie de éstas, haciéndolas más flexibles para ajustarse una alrededor de la otra, lo que aumenta el área de superficie de unión y conduce a una hoja más densa después de un proceso de secado (Biermann, 1996).

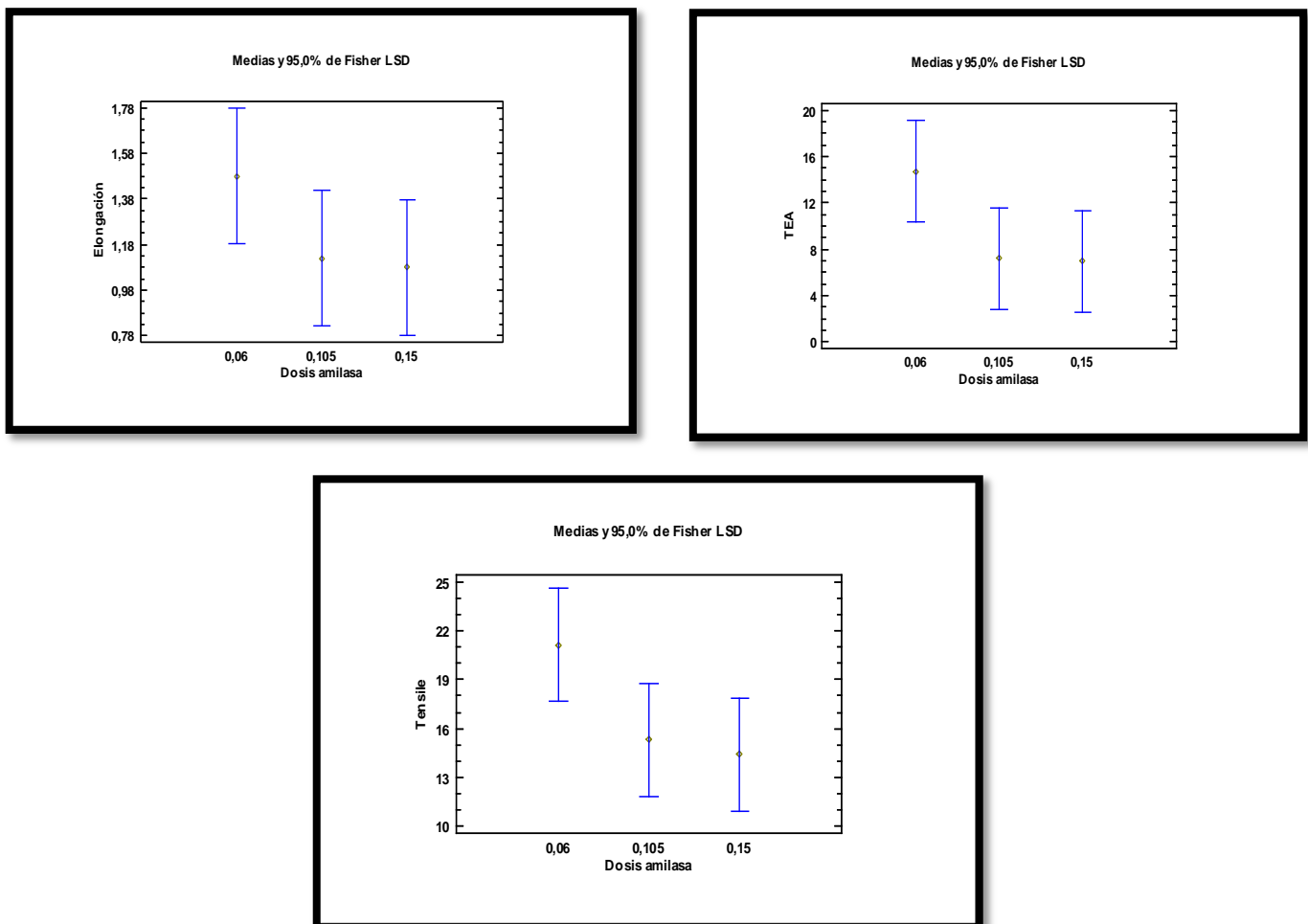


Figura 24. Análisis de varianza (Anova) para propiedades mecánicas con amilasa

A diferencia del tratamiento con celulasa, las propiedades mecánicas, particularmente el Tensile, se ve levemente afectado por la dosis de amilasa empleada, con tendencia a disminuir en su valor cuando aumenta la dosis de enzima. Los valores de elongación y el TEA se encuentran en el límite donde estas propiedades pueden disminuir.

La mayoría de las propiedades de resistencia del papel aumentan con el refinado de las pulpas, ya que dependen de la unión fibra a fibra, entendiéndose por refinado como el tratamiento mecánico de las fibras para desarrollar sus propiedades óptimas de fabricación, sin embargo, durante el refinado, las fibras individuales se debilitan y disminuyen en tamaño debido a la acción de corte (Biermann, 1996).

3.6 DBO Y DQO

Tabla 11. Resultados de DBO y DQO para las muestras tratadas con celulasa

ANÁLISIS	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	INCERTIDUMBRE
DBO ₅	SM-5210 B SM-4500 O G	mg O ₂ /L	39.62	9.02
DQO	SM- 5220 D	mg O ₂ /L	363.6	21.0

Tabla 12. Resultados de DBO y DQO para las muestras tratadas con amilasa

ANÁLISIS	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	INCERTIDUMBRE
DBO ₅	SM-5210 B SM-4500 O G	mg O ₂ /L	96.11	20.32
DQO	SM- 5220 D	mg O ₂ /L	905.8	38.4

En la industria de reciclado de papel, frecuentemente se buscan variaciones en los métodos, que hagan de éstos, procesos más eficientes, donde se invierta menor cantidad de recursos económicos y donde se cumpla con las legislaciones ambientales vigentes; es por esto, que los parámetros DBO y DQO son importantes a la hora de invertir en recursos para las plantas de tratamiento de aguas residuales del proceso de destintado. El ensayo de la DBO es ampliamente usado para determinar el oxígeno requerido para oxidar y estabilizar las aguas residuales por medio de tratamiento biológico, por lo tanto, la DBO se considera como un bioensayo donde se mide el oxígeno consumido por los microorganismos vivos mientras oxidan la materia orgánica presente. La DQO permite evaluar el desecho en términos de la cantidad de oxígeno total requerido para la oxidación a dióxido de carbono (CO_2) y agua de la materia orgánica (Restrepo & Tobón, 2002). Frente a esto (Bajpai & Bajpai, 1998), (Alzate, Quintana, Velásquez, & Dovale, 2012) afirman que el destintado enzimático produce aguas blancas con más bajos niveles de demanda química de oxígeno (DQO) que en el proceso de destintado alcalino convencional, lo que indica una reducción en los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Se reporta que la DQO de las aguas de desecho del destintado enzimático es entre 20% y 30% menor que la del destintado químico. Al reducir la alcalinidad en la etapa del pulpeo se conduce a ventajas ambientales adicionales. De igual manera, la DQO depende del total de enzimas empleadas y del tipo de tintas.

Bajpai y Bajpai (1998) reportan niveles de DBO de 192 y 115 mg/L y de DQO de 565 y 415 mg/L, a la salida de un clarificador de flotación de aire disuelto lo que equivale en este caso a la descarga de la celda de flotación del laboratorio. Al compararlos con los valores reportados en las Tablas 11 y 12, la DBO para el proceso de destintado enzimático en medio neutro fue inferior con ambas enzimas y la DQO fue inferior con celulasa. A pesar de esto, al evaluar la relación DBO/DQO para los dos casos se obtiene aguas que deben ser tratadas por sistemas fisicoquímicos antes de ser vertidas en algún efluente ya que no son contaminantes de naturaleza biodegradable. Este es un parámetro de interés puesto que la biodegradación es el mecanismo por el cual los compuestos orgánicos complejos son descompuestos por los procesos biológicos naturales, a formas más simples (Restrepo & Tobón, 2002).

Según resolución establecida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, los límites máximos permisibles de DBO_5 y DQO para producción de papel a partir de fibras recicladas con destintado en cuerpos de agua superficial y alcantarillado público es de 400 mg/ LO_2 y 800 mg/ LO_2 respectivamente lo que conlleva un tratamiento previo de estas aguas.

3.7 ANÁLISIS DE LODOS (RESIDUO)

Tabla 13. Resultados de corrosividad y metales para el lodo de celulasa.

ANÁLISIS	UNIDADES	LODO (CELULASA)
Corrosividad	-	Negativa
Arsénico	mg As/Kg _(BS)	< 0.500 ± 0.020
Bario	mg Ba/Kg _(BS)	55.948 ± 1.119
Cadmio	mg Cd/Kg _(BS)	13.409 ± 0.536
Cromo total	mg Cr/Kg _(BS)	< 0.500 ± 0.020
Mercurio	mg Hg/Kg _(BS)	2.142 ± 0.043
Plata	mg Ag/Kg _(BS)	< 0.500 ± 0.020
Plomo	mg Pb/Kg _(BS)	< 0.500 ± 0.020
Selenio	mg Se/Kg _(BS)	468.393 ± 9.368

Tabla 14. Resultados de metales para el sobrenadante de celulasa.

ANÁLISIS	UNIDADES	SOBRENADANTE (CELULASA)	DECRETO 4741/2005
Arsénico	mg As/L	< 0.552 ± 0.044	Cumple
Bario	mg Ba/L	< 0.031 ± 0.001	Cumple
Cadmio	mg Cd/L	< 0.006 ± 0.003	Cumple
Cromo total	mg Cr/L	< 0.088 ± 0.006	Cumple
Mercurio	µg Hg/L	2.542 ± 0.210	Cumple
Plata	mg Ag/L	< 0.0032 ± 0.0001	Cumple
Plomo	mg Pb/L	< 0.031 ± 0.001	Cumple
Selenio	mg Se/L	0.361 ± 0.014	Cumple

Tabla 15. Resultados de corrosividad y metales para el lodo de amilasa.

ANÁLISIS	UNIDADES	LODO (AMILASA)
Corrosividad	-	Negativa
Arsénico	mg As/Kg _(BS)	< 0.500 ± 0.020
Bario	mg Ba/Kg _(BS)	81.982 ± 1.640
Cadmio	mg Cd/Kg _(BS)	17.696 ± 0.708
Cromo total	mg Cr/Kg _(BS)	< 0.500 ± 0.020
Mercurio	mg Hg/Kg _(BS)	0.601 ± 0.012
Plata	mg Ag/Kg _(BS)	< 0.500 ± 0.020
Plomo	mg Pb/Kg _(BS)	< 0.500 ± 0.020
Selenio	mg Se/Kg _(BS)	1010.220 ± 20.204

Tabla 16. Resultados de metales para el sobrenadante de amilasa.

ANÁLISIS	UNIDADES	SOBRENADANTE (AMILASA)	DECRETO 4741/2005
Arsénico	mg As/L	< 0.552 ± 0.044	Cumple
Bario	mg Ba/L	< 0.031 ± 0.001	Cumple
Cadmio	mg Cd/L	< 0.006 ± 0.003	Cumple
Cromo total	mg Cr/L	< 0.088 ± 0.006	Cumple
Mercurio	µg Hg/L	< 0.488 ± 0.063	Cumple
Plata	mg Ag/L	< 0.0032 ± 0.0001	Cumple
Plomo	mg Pb/L	< 0.031 ± 0.001	Cumple
Selenio	mg Se/L	0.407 ± 0.016	Cumple

El análisis a los lodos o residuos del proceso de destintado enzimático fueron pruebas realizadas en el laboratorio del Grupo de Investigaciones Ambientales (GIA) de la Universidad Pontificia Bolivariana, a partir de los ensayos realizados del proceso.

El objetivo del reciclaje de papel recuperado en la industria de papel, es la producción de pulpa de fibra reciclada adecuada para su uso en la fabricación de papel y diferentes grados de cartón. Esto presupone que todas las sustancias susceptibles de perturbar el procesamiento del papel recuperado o la calidad del producto final se eliminan en la medida de lo posible del reciclaje. Todas las sustancias sólidas eliminadas durante la producción de papel a partir de: pulpa de fibra reciclada, procesos de limpieza y procesos de destintado; como rechazos y lodos no regresan al circuito de producción y se clasifican como residuos. Los lodos del destintado se componen de materiales de carga y pigmentos de revestimiento, fibras y tintas de impresión (pigmentos negros y a color) y los componentes adhesivos (Gottshing & Pakarinen, 2000).

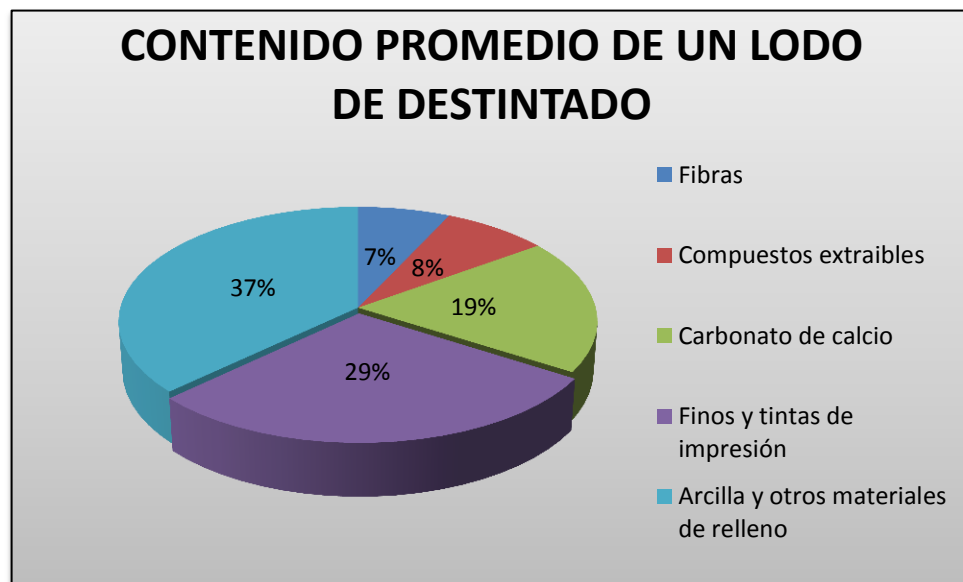


Figura 25. Contenido promedio de un lodo de destintado. Tomado de (Gottshing & Pakarinen, 2000)

Al comparar los resultados de las Tablas 13 y 15 con la información reportada en la Tabla 17 por Gottshing y Pakarinen (2000) para lodos de diferentes fábricas de papel, se muestra que para los residuos tanto de celulasa como amilasa, la cantidad de cadmio y mercurio es superior que la reportada por ellos, a diferencia de la cantidad de cromo y plomo que es menor para los lodos analizados en este trabajo.

Tabla 17. Valores de metales para lodos de destintado

ANÁLISIS (mg/Kg)	LODO (CELULASA)	LODO (AMILASA)	LODO DESTINTADO*
Cadmio	13.409	17.696	0.34
Cromo	< 0.500	< 0.500	186.2
Mercurio	2.142	0.601	0.26
plomo	< 0.500	< 0.500	44.6

* (Gottshing & Pakarinen, 2000)

Sin embargo, a pesar de la diferencia en los ordenes de magnitud en las cantidades de cadmio y plomo, el nivel de metales pesados para los lodos recuperados de procesos de destintado de papel es generalmente bajo. Al comparar la concentración de metales pesados en lodos de destintado con el contenido de metales pesados en lodos biológicos de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, los datos muestran que la cantidad de metales en los lodos provenientes de destintado tienen menos contaminación; solo la concentración de cobre tiene el mismo orden de magnitud como la de los lodos de aguas residuales municipales. El contenido de cobre de los lodos de destintado se debe principalmente a pigmentos azules de tintas de impresión (Gottshing & Pakarinen, 2000).

Los resultados de las Tablas 14 y 16 correspondientes al sobrenadante de celulasa y amilasa comparados con el decreto 4741 de 2005 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial muestran que los residuos no son tóxicos por presencia de metales pesados en el lixiviado lo que indica una posible valorización y/o aprovechamiento de los residuos. De acuerdo con los decretos 1713 de 2002 y 1505 de 2003, el aprovechamiento es el proceso mediante el cual, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se incorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, el tratamiento térmico con fines de generación de energía y obtención de subproductos, la estabilización de la fracción orgánica o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales y/o económicos (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008).

Dado que los lodos del proceso de destintado no pueden considerarse, por su análisis químico, como residuos tóxicos y peligrosos, tampoco pueden ser considerados como residuos urbanos y la cantidad es, generalmente, tan alta que no pueden ser destinados a un vertedero, es necesaria, la búsqueda de algún tipo de utilidad que, si no en su totalidad, absorba al menos parte de ella (Hernández, Cambra, Perronnet, Carrillo, & Fernández, 2013).

En Colombia, se ha estudiado la manera de aprovechar estos lodos para la fabricación de ladrillos, paneles prefabricados y producción de tectán a través de trituración y compactación en altas temperaturas (Quinchía, Valencia, & Giraldo, 2007), (Alzate A. , 2010). (Quinchía, Valencia, & Giraldo, 2007) hicieron paneles prefabricados a partir de mezclas del residuo con yeso o cemento manteniendo como material base los lodos papeleros. Edwin Quiroz y David de los Ríos, trabajaron en un proyecto para darle uso al lodo paplero, cuyo resultado fue un bloque, parecido al ladrillo tradicional de barro, pero más resistente, barato y según ellos, completamente ecológico (Alzate A. , 2010).

El sector paplero de la Comunidad Autónoma del país Vasco (CAPV) valoriza cerca del 60% de los lodos que genera, en la industria ladrillera o en sus propias instalaciones. Los lodos generados en la CAPV, podría utilizarse para el abono de campos o para hacer compost, debidamente complementados y respetando los límites de la legislación sobre fertilizantes (Ugarte, 2008).

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Partiendo del objetivo general planteado en el anteproyecto, se logró desarrollar y evaluar el proceso de destintado enzimático a partir de fibras recicladas de papel fotocopia empleando celulasa y amilasa.

Se determinó la actividad enzimática para la celulasa y la amilasa, encontrando que el efecto de la temperatura es poco o nulo en la hidrólisis de la celulasa, a diferencia de la amilasa, en la que se obtuvo una mayor actividad enzimática con una temperatura óptima de 85°C.

En general, para obtener mayores valores de blancura ISO, se determinó que hay una influencia significativa (95% de confiabilidad) del HLB del surfactante en el proceso con las dos enzimas, celulasa y amilasa. La mejor blancura ISO del proceso se obtuvo cuando se empleó como enzima la amilasa. También se observó, para ambas enzimas, fuerte influencia de la interacción entre el HLB del surfactante y la dosis de enzima para mejorar la blancura.

Los volúmenes medidos para el Canadian Standard Freeness mostraron poco efecto del tratamiento enzimático en esta propiedad, con 2.82% y 5.08% de desviación de celulasa y amilasa respecto a la pulpa control. Sin embargo, estadísticamente fue notable el efecto de la celulasa sobre el Canadian Standard Freeness, a mayor dosis de esta enzima, menor valor de éste.

Las propiedades ópticas (blancura ISO y puntos negros) pueden ser mejoradas empleando celulasa sin afectar las propiedades mecánicas (tensile, elongación y TEA).

Se obtuvo menor demanda química y bioquímica de oxígeno cuando se empleó la enzima celulasa, sin embargo, las aguas de desecho de ambas enzimas (celulasa y amilasa) deben ser tratadas antes de ponerse en contacto con cuerpos de agua superficial o alcantarillado público.

Los residuos del proceso de destintado por flotación en medio neutro empleando celulasa y amilasa no son tóxicos por presencia de metales pesados en el lixiviado.

Para futuros trabajos relacionados, se recomienda evaluar la combinación de enzimas en otros papeles o sobre el mismo papel desperdicio de fotocopia, evaluar con enzimas que afecten las tintas tales como las estearasas o las lipasas y evaluar o verificar las condiciones que disminuyan las demandas químicas y bioquímicas del proceso de destintado. También se sugiere, profundizar en la valoración de los residuos resultantes de la espuma de flotación.

BIBLIOGRAFÍA

- (WRM), M. M. (1999). Plantaciones para la pulpa de papel: Un problema creciente.
- Alzate, A. (24 de Abril de 2010). Dos jóvenes de Pereira hacen empresa reciclando lodo papelerero. El tiempo.
- Alzate, A. (2011). Métodos utilizados en el destintado de papel desperdicio-aproximación al estado del arte. Medellín.
- Alzate, A., & Alzate, H. (2012). Metodos utilizados en el destintado de papel desperdicio-aproximación al estado del arte. Investigaciones Aplicadas, 9-25.
- Alzate, H. (2011). Mecanismos de acción de los agentes de tensión superficial en el destintado por flotación en medio neutro. Medellín.
- Alzate, H. H., Quintana, G. C., Velásquez, J. A., & Dovale, A. M. (2012). Biotecnología en el reciclado de papel. En M. Zanuttini, Reciclado celulósico (págs. 193-228). Santa Fe: Riarrec.
- Alzate, H. H., Velásquez, J. A., Quintana, G. C., & Dovale, A. M. (29 de Octubre de 2009). Evaluación del Proceso de Destintado de Papel Desperdicio de Oficina. Sao Pablo, Sao Pablo, Brasil.
- Bajpai, P., & Bajpai, P. (1998). Deinking with enzymes: a review. Tappi Journal, 111-117.
- Biermann, C. (1996). Handbook of pulping and papermaking. San Diego, California: Academic Press.
- Bobu, E., Ciolacu, F., & Cretu, A. (2008). Deinkability Of Mixed Prints: Alkaline vs Neutral Deinking. Progress in Paper Recycling , 23-30.
- Bobu, E., Ciolacu, F., & Cretu, A. (2008). Deinkability of Mixed Prints: Alkaline vs. Neutral Deinking. Progress in Paper Recycling, 23-30.
- Cámara de la Industria de Pulpa, P. y. (2010). Obtenido de http://www.andi.com.co/Archivos/file/Pulpa_papel_carton/Consumo_aparente_2010.xls
- Dorronsoro, R., & Haute, E. (1998). Las Enzimas en la Industria Papelera. Ingeniería Química.

- Dovale, A. (2009). Evaluación del Proceso de Destintado Enzimático de Papel tipo (Mow Mixed Office Waste) empleando Celulasa. Medellín.
- Dovale, A. M., Alzate, H., Quintana, G., & Velásquez, J. (s.f.). Biotecnología en el reciclado de papel.
- Dykstra, G., & Lott, L. F. (1992). Los problemas del destintado. *Ingeniería Química*, 121-123.
- Elegir, G., Panizza, E., & Canetti, M. (2000). Neutral enzyme assisted deinking of xerographic office waste with a cellulase-amylase mixture. *Tappi Journal*, 40-44.
- Escoto, T. (2004). Evaluación de la calidad en pulpa, papel y carton. El concepto de calidad total. Mexico.
- Ferguson, L. (1992). Deinking chemistry: part 1. *Tappi Journal*, 75-83.
- Flechas, C. (2010). Evaluación de parámetros de calidad y planteamiento de opciones que conduzcan a la optimización en el proceso de preparación de pasta de papel "Tissue" en la planta de grupo Familia S.A. Cajicá. Bucaramanga.
- Fogler, H. S. (2008). Elementos de ingeniería de las reacciones químicas . México: Pearson Educación.
- Galland, G., Vernac, Y., & Carre, B. (1998). The advantages of combining neutral and alkaline deinking. Part: II. *Pulp and Paper Canada*, 60-63.
- García, J. A. (2001). Fundamentos del destintado por flotación (I). *Ingeniería Química*, 125-129.
- García, J. A. (2001). Fundamentos del destintado por flotación (I). *Ingeniería Química*, 125-129.
- García, J. A. (2001). Fundamentos del destintado por flotación (II). *Ingeniería Química* , 265-272.
- García, J. A., & Torres, A. L. (1991). Aspectos fisicoquímicos del destintado del papel. *Ingeniería Química*, 161-174.
- Gottshing, L., & Pakarinen, H. (2000). *Recycled Fiber and Deinking*. Finlandia.
- Guía Gráfica. (Mayo de 2010). Obtenido de http://issuu.com/dilolea/docs/guia_grafica_188
- Guía Gráfica. (2010). Obtenido de http://guiagrafica.com/revista/guia_grafica_186.pdf

- Hernández, M., Cambra, A., Perronnet, C., Carrillo, I., & Fernández, F. (14 de Agosto de 2013). Didáctica de la química y vida cotidiana. Obtenido de Técnicas instrumentales de análisis químico aplicadas al reciclado del papel: <http://www.uruguayeduca.edu.uy/Userfiles/P0001/File/Qu%C3%ADmica%20y%20vida%20cotidiana.pdf#page=203>
- Hoyos, J., & Lopez, G. (2006). Destintado enzimático de papel impreso por el método offset. Medellín.
- Hunterlab. (3 de septiembre de 2013). Hunterlab. Obtenido de <http://www.hunterlab.com/application-notes.html>
- Ingeniería de tratamiento de aguas residuales. (3 de Septiembre de 2013). Caracterización de aguas residuales por DBO y DQO. Obtenido de <http://www.oocities.org/edrochac/residuales/dboydgo2.pdf>
- Jackson, L., Heitmann, J., & Joyce, T. (1993). Enzymatic modifications of secondary fiber. *Juornal Tappi*, 147-154.
- Lee, C., Darah, I., & Ibrahim, C. (2006). Enzymatic deinking of laser printed office waste papers: Some governing parameters on deinking efficiency. *Bioresource Technology*.
- McMurry, J. (2004). *Química Orgánica*. Mexico: Thomson.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2008). Construcción de criterios técnicos para el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos con alta tasa de biodegradación, plasticos, vidrio, papel y carton. Bogotá.
- Murray, R., Bender, D., Botham, K., Kennelly, P., Rodwell, V., & Weil, P. (2010). *Bioquímica ilustrada*. México: Mc Graw Hill.
- Ovando, S., & Waliszewski, K. (2005). Preparativos de celulasas comerciales y aplicaciones en procesos extractivos. *Universidad y Ciencia*, 111-120.
- Pachón, P. (2012). Steam Explosion como pretratamiento en el destintado de papeles de difícil destintabilidad. Medellín.
- Pala, H., Mota, M., & Gama, F. (2003). Enzymatic versus chemical deinking of non-impact ink printed paper. *Journal of Biotechnology*, 79-89.
- Pélach, M., & Villar, J. (2012). Destintado. En M. Á. Zanunittini, *Reciclado celulósico* (págs. 1-46). Santa Fe: Riarrec.

- Quinchía, A. M., Valencia, M., & Giraldo, J. M. (2007). Uso de lodos provenientes de la industria papelera en la elaboración de paneles prefabricados para la construcción. EIA, 9-19.
- Restrepo, A. P., & Tobón, O. L. (2002). Manual de calidad de aguas. Medellín: EIA.
- Sanchez, F. (2000). El reciclado de papel. Ingeniería Química, 101-108.
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Mexico. (28 de Julio de 2013). Instituto Nacional de Ecología. Obtenido de http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/139/peligro_y_riesgo.html
- Theander, K., & Pugh, R. (2004). Surface chemicals concepts of flotation deinking. Colloids and Surfaces: A Physicochemical and Engineering Aspects. 111-130.
- Ugarte, I. (13 de Abril de 2008). Un ejemplo de valorización de residuos. Obtenido de Diarivasco.com: <http://www.diariovasco.com/20080413/opinion/articulos-opinion/ejemplo-valorizacion-residuos-20080413.html>
- Vargas, A., & Velez, J. (2005). Destintado de papel desperdicio mediante la combinación de etapas neutras y alcalinas. Medellín.
- Zeyer, C., Joyce, T. W., Heitmann, J. A., & Rucker, J. W. (1994). Factors influencing enzyme deinking of recycled fiber. Tappi Journal, 169-177.
- Zhao, Y., Deng, Y., & Zhu, J. (2004). Roles of surfactants in flotation deinking. Progress in paper recycling, 41-45.
- Zollner, H., & Schroeder, L. (1998). Enzymatic deinking of nonimpact printed white office paper with alpha amylase. Tappi Journal, 166-170.

ANEXOS

ANEXO A: Preparación de las soluciones

A continuación se describe la preparación de las soluciones empleadas en el proceso. Todas las preparaciones se basan en el peso seco de la pulpa que equivale a 24 g de papel con una consistencia de 2% equivalente a 1200 ml de suspensión.

Enzimas: Las dosis de enzima fueron fijadas en 0.06, 0.105 y 0.150%, es decir, gramos de enzima/100 gramos de pulpa seca, de este modo, para obtener la cantidad de enzima a emplear basta con

$$x \text{ } g_{enzima} = \frac{0.06 \text{ } g_{enzima}}{100 \text{ } g_{pulpa \text{ seca}}} * 24 \text{ } g_{pulps \text{ seca}}$$

Esto nos da el valor que se debe pesar de cada enzima. Se realiza el mismo procedimiento para las otras concentraciones.

Surfactante: Este se adicionó en concentración de 0.1% con base en la pulpa seca, para los diferentes ácidos grasos etoxilados empleados (diferente HLB). Se preparó una solución madre de 0.6 g de surfactante en 250 ml de solución de la cual se tomaba 10 ml y se agregaba a la suspensión tratada (24 g de pulpa seca).

Quelante: Este se adicionó en concentración de 1% con base en la pulpa seca. Se preparó una solución madre de 6 g de surfactante en 250 ml de solución de la cual se tomaba 10 ml y se agregaba a la suspensión tratada (24 g de pulpa seca).

Solución Buffer de fosfato de potasio (KH_2PO_4): concentración de 0.02 M

$$pH = pKa + \log \frac{[base]}{[ácido]}$$

$$pH - pKa = \log \frac{[base]}{[ácido]}$$

$$7 - 7.2 = \log \frac{[K_2HPO_4]}{[KH_2PO_4]}$$

$$0.63 = \frac{[K_2HPO_4]}{[KH_2PO_4]}$$


$$[K_2HPO_4] = 0.63 * [KH_2PO_4]$$

$$[K_2HPO_4] = 0.63 * 0.02 \text{ mol/l}$$

X g KH_2PO_4 equivalen a 0.02 mol/l de K_2HPO_4

ANEXO B: Reporte de resultados del laboratorio del Grupo de Investigaciones Ambientales (GIA) de la Universidad Pontificia Bolivariana.

B₁: Reporte de metales pesados en el sobrenadante de celulasa

 Universidad Pontificia Bolivariana		REPORTE DE RESULTADOS LABORATORIO AMBIENTAL			
<small>CÓDIGO: II-FO-086 VERSIÓN: 01</small>		<small>CONSECUTIVO: GIA3-438-13</small>	<small>COPIA No 000-13</small>	<small>SUPLEMENTO No 000-13</small>	<small>Página 1 de 2</small>
TIPO DE MUESTRA:	RESIDUOS				
FECHA DEL INFORME:	Noviembre 13 de 2013				
EMPRESA SOLICITANTE:	GRUPO PULPA Y PAPEL				
DIRECCIÓN:	Circular 1 N° 70-01 oficina 254, B11				
TELÉFONO:	354 45 22 ext 14118				
INTERESADO:	Hader Alzate				
FECHA DE MUESTREO:	N.A				
RESPONSABLE DEL MUESTREO:	El cliente				
FECHA DE RECEPCIÓN:	Octubre 30 de 2013				
FECHA DE ANÁLISIS:	Octubre 30 a Noviembre 13 de 2013				
NOMBRE DE LA MUESTRA:	SOBRENADANTE CELULASA				
ANÁLISIS	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	INCERTIDUMBRE	
ARSÉNICO	EPA-1311 SM-3500 As A SM-3110 SM-3030 F SM-3111 D	mg As /L	Menor de 0.552	0.044	
BARIO	EPA-1311 SM-3500 Ba A SM-3110 SM-3030 F SM-3111 D	mg Ba/L	Menor de 0.031	0.001	
CADMIO	EPA-1311 SM-3500 Cd SM-3110 SM-3030 F SM-3111 B	mg Cd/L	Menor de 0.006	0.003	
CROMO TOTAL	EPA-1311 SM-3500-Cr A SM-3110 SM-3030 F SM-3111 B	mg Cr/L	Menor de 0.086	0.006	
MERCURIO	EPA-1311 SM-3500 Hg SM-3112 B	µg Hg/L	2.542	0.210	
PLATA	EPA-1311 SM-3500 Ag SM-3110 SM-3030 F SM-3111 B	mg Ag/L	Menor de 0.0032	0.0001	
<small>UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA GRUPO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES CIRCULAR 1° No 70 - 01 BARRIO LAURELES, BLOQUE 11 INGENIERÍAS SEGUNDO PISO, MEDELLÍN - COLOMBIA SI TIENE ALGUNA INQUIETUD SOBRE LA CALIDAD DEL SERVICIO FAVOR COMUNICARSE CON NOSOTROS TELEFAX: 4112372 CONMUTADOR: 4488388 EXT. 14035-14032 E-Mail: beatriz.gomez@upb.edu.co</small>					



REPORTE DE RESULTADOS LABORATORIO AMBIENTAL

CÓDIGO: I-FO-066 VERSIÓN: 01	CONSECUTIVO: GIA3-438-13	COPIA No 000-13	SUPLEMENTO No 000-13	Página 2 de 2
---------------------------------	-----------------------------	--------------------	-------------------------	---------------

PLOMO	EPA-1311 SM-3500 Pb A SM-3110 SM-3030 F SM-3111 B	mg Pb/L	Menor de 0.031	0.001
SELENIO	EPA-1311 SM-3500 Se A SM-3110 SM-3030 F SM-3111 D	mg Se/L	0.361	0.014

ACLARACIÓN: Los anteriores resultados son válidos únicamente para la muestra analizada; son de carácter confidencial y de propiedad del cliente. No se permite la reproducción parcial y/o total del informe sin autorización del Grupo de Investigaciones Ambientales.

OPINIONES: El personal del Laboratorio Ambiental se abstiene de hacer comentarios, interpretaciones o recomendaciones acerca de los resultados, debido, al desconocimiento de la información relacionada con el proceso en cuestión.

NOTA1: El punto en los resultados corresponde al separador de cifras decimales.

NOTA2: La muestra es líquida.

ACLARACIONES

Laboratorio acreditado por el IDEAM según Resolución 2325 del 25 de Septiembre de 2012 para los parámetros en la matriz Suelos: Humedad, Nitrógeno Ammoniacal, Nitrógeno Total Kjeldahl, pH, Sólidos Totales, Sólidos volátiles, DQO, Aluminio, Antimonio, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio y Zinc, Cianuro total.

Muestreo: Método según Resolución 0062 de 2007.



Laboratorio acreditado por el IDEAM según Resolución 2325 del 25 de Septiembre de 2012 para los parámetros en la matriz Residuos Peligrosos: Corrosividad (pH), Inflamabilidad, Reactividad, TCLP - para Metales: Aluminio, Antimonio, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Sodio, Cromo, Selenio y Zinc.

Muestreo: Método según Resolución 0062 de 2007.


ANÁLISIS SUBCONTRATADOS

ANÁLISIS	LABORATORIO SUBCONTRATADO

CONTROL DEL INFORME	PROFESIÓN Y NOMBRE	FIRMAS Y SELLO
RESPONSABLE DEL ENSAYO	Tec. Qco Auner Ignacio Villa V	
RESPONSABLE DEL INFORME	Qca. Esp. Beatriz Elena Gómez Hoyos	
ACUSE DE RECIBO DEL CLIENTE		

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA - GRUPO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES
CIRCULAR 1° No 70 - 01 BARRIO LAURELES, BLOQUE 11 INGENIERÍAS SEGUNDO PISO, MEDELLÍN - COLOMBIA
SI TIENE ALGUNA INQUIETUD SOBRE LA CALIDAD DEL SERVICIO FAVOR COMUNICARSE CON NOSOTROS
TELEFAX: 4112372 CONMUTADOR: 4488388 EXT. 14035-14032 E-Mail: beatriz.gomez@unpb.edu.co

B₂: Reporte de metales pesados en el sobrenadante de amilasa

 Universidad Pontificia Bolivariana		REPORTE DE RESULTADOS LABORATORIO AMBIENTAL		
CÓDIGO: II-FD-066 VERSIÓN: 01	CONSECUTIVO: GIA3-440-13	COPIA No 000-13	SUPLEMENTO No 000-13	Página 1 de 2
TIPO DE MUESTRA:	RESIDUOS			
FECHA DEL INFORME:	Noviembre 13 de 2013			
EMPRESA SOLICITANTE:	GRUPO PULPA Y PAPEL			
DIRECCIÓN:	Circular 1 N° 70-01 oficina 254, B11			
TELÉFONO:	354 45 22 ext 14118			
INTERESADO:	Hader Álzate			
FECHA DE MUESTREO:	N.A			
RESPONSABLE DEL MUESTREO:	El cliente			
FECHA DE RECEPCIÓN:	Octubre 30 de 2013			
FECHA DE ANÁLISIS:	Octubre 30 a Noviembre 13 de 2013			
NOMBRE DE LA MUESTRA:	SOBRENADANTE AMILASA			
ANÁLISIS	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	INCERTIDUMBRE
ARSÉNICO	EPA-1311 SM-3500 As A SM-3110 SM-3030 F SM-3111 D	mg As /L	Menor de 0.552	0.044
BARIO	EPA-1311 SM-3500 Ba A SM-3110 SM-3030 F SM-3111 D	mg Ba/L	Menor de 0.031	0.001
CADMIO	EPA-1311 SM-3500 Cd SM-3110 SM-3030 F SM-3111 B	mg Cd/L	Menor de 0.006	0.003
CROMO TOTAL	EPA-1311 SM-3500-Cr A SM-3110 SM-3030 F SM-3111 B	mg Cr/L	Menor de 0.088	0.006
MERCURIO	EPA-1311 SM-3500 Hg SM-3112 B	µg Hg/L	Menor de 0.488	0.063
PLATA	EPA-1311 SM-3500 Ag SM-3110 SM-3030 F SM-3111 B	mg Ag/L	Menor de 0.0032	0.0001
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA GRUPO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES CIRCULAR 1° No 70 - 01 BARRIO LAURELES, BLOQUE 11 INGENIERIAS SEGUNDO PISO, MEDELLIN - COLOMBIA SI TIENE ALGUNA INQUIETUD SOBRE LA CALIDAD DEL SERVICIO FAVOR COMUNICARSE CON NOSOTROS TELEFAX: 4112372 CONMUTADOR: 4488388 EXT. 14035-14032 E-Mail: beatriz.gomez@usb.edu.co				



**Universidad
Pontificia
Bolivariana**

**REPORTE DE RESULTADOS
LABORATORIO AMBIENTAL**

CÓDIGO: II-FO-066
VERSIÓN: 01

CONSECUTIVO:
GIA3-440-13

COPIA No
000-13

SUPLEMENTO No
000-13

Página 2 de 2

PLOMO	EPA-1311 SM-3500 Pb A SM-3110 SM-3030 F SM-3111 B	mg Pb/L	Menor de 0.031	0.001
SELENIO	EPA-1311 SM-3500 Se A SM-3110 SM-3030 F SM-3111 D	mg Se/L	0.407	0.016

ACLARACIÓN: Los anteriores resultados son válidos únicamente para la muestra analizada; son de carácter confidencial y de propiedad del cliente. No se permite la reproducción parcial y/o total del informe sin autorización del Grupo de Investigaciones Ambientales.

OPINIONES: El personal del Laboratorio Ambiental se abstiene de hacer comentarios, interpretaciones o recomendaciones acerca de los resultados debido al desconocimiento de la información relacionada con el proceso en cuestión.

NOTA1: El punto en los resultados corresponde al separador de cifras decimales.

NOTA2: La muestra es líquida.

ACLARACIONES

Laboratorio acreditado por el IDEAM según Resolución 2325 del 25 de Septiembre de 2012 para los parámetros en la matriz Suelos: Humedad, Nitrógeno Amónico, Nitrógeno Total Kjeldahl, pH, Sólidos Totales, Sólidos volátiles, DQO, Aluminio, Antimonio, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio y Zinc, Cianuro total.

Muestreo: Método según Resolución 0062 de 2007.

Laboratorio acreditado por el IDEAM según Resolución 2325 del 25 de Septiembre de 2012 para los parámetros en la matriz Residuos Peligrosos: Corrosividad (pH), inflamabilidad, Reactividad, TCLP - para Metales: Aluminio, Antimonio, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plata, Plomo, Potasio, Sodio, Cromo, Selenio y Zinc.

Muestreo: Método según Resolución 0062 de 2007.




ANÁLISIS SUBCONTRATADOS

ANÁLISIS	LABORATORIO SUBCONTRATADO
----------	---------------------------

CONTROL DEL INFORME	PROFESIÓN Y NOMBRE	FIRMAS Y SELLO
RESPONSABLE DEL ENSAYO	Tec. Qco Auner Ignacio Villa V	
RESPONSABLE DEL INFORME	Qca. Esp. Beatriz Elena Gómez Hoyos	
ACUSE DE RECIBO DEL CLIENTE		

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA. GRUPO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES
CIRCULAR 1° No 70 - 01 BARRIO LAURELES, BLOQUE 11 INGENIERIAS SEGUNDO PISO. MEDELLÍN - COLOMBIA
SI TIENE ALGUNA INQUIETUD SOBRE LA CALIDAD DEL SERVICIO FAVOR COMUNICARSE CON NOSOTROS
TELEFAX: 4112372 CONMUTADOR, 4468388 EXT. 14035-14032 E-Mail: beatriz.gomez@upb.edu.co

B₃: Reporte de metales pesados en el residuo (lodo) de celulasa

 Universidad Pontificia Bolivariana		REPORTE DE RESULTADOS LABORATORIO AMBIENTAL		
CÓDIGO: II-FO-066 VERSIÓN: 01	CONSECUTIVO: GIA3-437-13	COPIA No 000-13	SUPLEMENTO No 000-13	Página 1 de 2
TIPO DE MUESTRA:	RESIDUOS			
FECHA DEL INFORME:	Noviembre 13 de 2013			
EMPRESA SOLICITANTE:	GRUPO PULPA Y PAPEL			
DIRECCIÓN:	Circular 1 N° 70-01 oficina 254, B11			
TELÉFONO:	354 45 22 ext 14118			
INTERESADO:	Hader Álzata			
FECHA DE MUESTREO:	N.A			
RESPONSABLE DEL MUESTREO:	El cliente			
FECHA DE RECEPCIÓN:	Octubre 30 de 2013			
FECHA DE ANÁLISIS:	Octubre 30 a Noviembre 13 de 2013			
NOMBRE DE LA MUESTRA:	RESIDUO (LODO) CELULASA			
ANÁLISIS	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	INCERTIDUMBRE
CORROSIVIDAD	EPA-9040B EPA-9045 D	---	Negativa	---
ARSÉNICO – RESIDUO	EPA-1620 EPA-3050 B EPA-7061 A	mg As/ Kg _(SS)	Menor de 0.500	0.020
BARIO – RESIDUO	EPA-1620 EPA-3050 B EPA 7080A	mg Ba/ Kg _(SS)	55.948	1.119
CADMIO – RESIDUO	EPA-1620 EPA-3050 B EPA-7130	mg Cd/ Kg _(SS)	13.409	0.536
CROMO TOTAL – RESIDUO	EPA-1620 EPA-3050 B EPA 7190	mg Cr/ Kg _(SS)	Menor de 0.500	0.020
MERCURIO – RESIDUO	EPA-3050 B EPA 7470 A	mg Hg/ Kg _(SS)	2.142	0.043
PLATA – RESIDUO	EPA-1620 EPA-3050 B EPA 7760	mg Ag/ Kg _(SS)	Menor de 0.500	0.020
PLOMO – RESIDUO	EPA-1620 EPA-3050 B EPA 7420	mg Pb/ Kg _(SS)	Menor de 0.500	0.020
SELENIO – RESIDUO	EPA-1620 EPA-3050 B EPA-7741 A	mg Se/ Kg _(SS)	468.393	9.368
<p>ACLARACIÓN: Los anteriores resultados son válidos únicamente para la muestra analizada; son de carácter confidencial y de propiedad del cliente. No se permite la reproducción parcial y/o total del informe sin autorización del Grupo de Investigaciones Ambientales.</p> <p>OPINIONES: El personal del Laboratorio Ambiental se abstiene de hacer comentarios, interpretaciones o recomendaciones acerca de los resultados, debido, al desconocimiento de la información relacionada con el proceso en cuestión.</p> <p>NOTA: El punto en los resultados corresponde al separador de cifras decimales.</p>				
<p>UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA GRUPO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES CIRCULAR 1° No 70 – 01 BARRIO LAURELES. BLOQUE 11 INGENIERÍAS SEGUNDO PISO. MEDELLÍN - COLOMBIA SI TIENE ALGUNA INQUIETUD SOBRE LA CALIDAD DEL SERVICIO FAVOR COMUNICARSE CON NOSOTROS TELEFAX: 4112372 CONMUTADOR 4488388 EXT. 14035-14032 E-Mail: beatriz.gomez@upb.edu.co</p>				



REPORTE DE RESULTADOS LABORATORIO AMBIENTAL

CÓDIGO: II-FO-066
VERSIÓN: 01

CONSECUTIVO:
GIA3-437-13

CÓPIA No
000-13

SUPLEMENTO No
000-13

Página 2 de 2

ACLARACIONES

Laboratorio acreditado por el IDEAM según Resolución 2325 del 25 de Septiembre de 2012 para los parámetros en la matriz Suelos: Humedad, Nitrógeno Amónico, Nitrógeno Total Kjeldahl, pH, Sólidos Totales, Sólidos volátiles, DQO, Aluminio, Antimonio, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio y Zinc, Cianuro total.

Muestreo: Método según Resolución 0062 de 2007.

Laboratorio acreditado por el IDEAM según Resolución 2325 del 25 de Septiembre de 2012 para los parámetros en la matriz Residuos Peligrosos: Comosividad (pH), inflamabilidad, Reactividad, TCLP – para Metales: Aluminio, Antimonio, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Sodio, Cromo, Selenio y Zinc.

Muestreo: Método según Resolución 0062 de 2007.




ANÁLISIS SUBCONTRATADOS

ANÁLISIS	LABORATORIO SUBCONTRATADO	
CONTROL DEL INFORME	PROFESIÓN Y NOMBRE	FIRMAS Y SELLO
RESPONSABLE DEL ENSAYO	Tec. Qco Auner Ignacio Villa V	
RESPONSABLE DEL INFORME	Qca. Esp. Beatriz Elena Gómez Hoyos	
ACUSE DE RECIBO DEL CLIENTE		

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA. GRUPO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES
CIRCULAR 1° No 70 - 01 BARRIO LAURELES, BLOQUE 11 INGENIERÍAS SEGUNDO PISO, MEDELLÍN - COLOMBIA
SI TIENE ALGUNA INQUIETUD SOBRE LA CALIDAD DEL SERVICIO FAVOR COMUNICARSE CON NOSOTROS
TELEFAX: 4112372 CONMUTADOR: 4488388 EXT. 14035-14032 E-Mail: beatriz.gomez@upb.edu.co

B4: Reporte de metales pesados en el residuo (lodo) de amilasa

 Universidad Pontificia Bolivariana		REPORTE DE RESULTADOS LABORATORIO AMBIENTAL		
CÓDIGO: FO-066 VERSIÓN: 01	CONSECUTIVO: GIA3-439-13	COPIA No: 000-13	SUPLEMENTO No: 000-13	Página 1 de 2
TIPO DE MUESTRA:	RESIDUOS			
FECHA DEL INFORME:	Noviembre 13 de 2013			
EMPRESA SOLICITANTE:	GRUPO PULPA Y PAPEL			
DIRECCIÓN:	Circular 1 N° 70-01 oficina 254, B11			
TELÉFONO:	354 45 22 ext 14118			
INTERESADO:	Hader Álzate			
FECHA DE MUESTREO:	N.A.			
RESPONSABLE DEL MUESTREO:	El cliente			
FECHA DE RECEPCIÓN:	Octubre 30 de 2013			
FECHA DE ANÁLISIS:	Octubre 30 a Noviembre 13 de 2013			
NOMBRE DE LA MUESTRA:	AMILASA RESIDUO (LODO)			
ANÁLISIS	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	INCERTIDUMBRE
CORROSIVIDAD	EPA-9040B EPA-9045 D	---	Negativa	---
ARSÉNICO – RESIDUO	EPA-1620 EPA-3050 B EPA-7061 A	mg As/ Kg _(SS)	Menor de 0.500	0.020
BARIO – RESIDUO	EPA-1620 EPA-3050 B EPA 7080A	mg Ba/ Kg _(SS)	81.982	1.640
CADMIO – RESIDUO	EPA -1620 EPA-3050 B EPA-7130	mg Cd/ Kg _(SS)	17.696	0.708
CROMO TOTAL – RESIDUO	EPA-1620 EPA-3050 B EPA 7190	mg Cr/ Kg _(SS)	Menor de 0.500	0.020
MERCURIO – RESIDUO	EPA-3050 B EPA7470 A	mg Hg/ Kg _(SS)	0.601	0.012
PLATA – RESIDUO	EPA-1620 EPA-3050 B EPA 7760	mg Ag/ Kg _(SS)	Menor de 0.500	0.020
PLOMO – RESIDUO	EPA-1620 EPA-3050 B EPA7420	mg Pb/ Kg _(SS)	Menor de 0.500	0.020
SELENIO – RESIDUO	EPA-1620 EPA-3050 B EPA-7741 A	mg Se/ Kg _(SS)	1010.220	20.204
<p>ACLARACIÓN: Los anteriores resultados son válidos únicamente para la muestra analizada; son de carácter confidencial y de propiedad del cliente. No se permite la reproducción parcial y/o total del informe sin autorización del Grupo de Investigaciones Ambientales.</p> <p>OPINIONES: El personal del Laboratorio Ambiental se abstiene de hacer comentarios, interpretaciones o recomendaciones acerca de los resultados, debido, al desconocimiento de la información relacionada con el proceso en cuestión.</p> <p>NOTA: El punto en los resultados corresponde al separador de cifras decimales.</p>				
<p>UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA GRUPO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES CIRCULAR 1° No 70 – 01 BARRIO LAURELES, BLOQUE 11 INGENIERÍAS SEGUNDO PISO, MEDELLÍN - COLOMBIA SI TIENE ALGUNA INQUIETUD SOBRE LA CALIDAD DEL SERVICIO FAVOR COMUNICARSE CON NOSOTROS TELÉFAX: 4112372 CONMUTADOR: 4488388 EXT. 14035-14032 E-Mail: beatriz.gomez@upb.edu.co</p>				



REPORTE DE RESULTADOS LABORATORIO AMBIENTAL

CÓDIGO: 8-FO-066
VERSIÓN: 01

CONSECUTIVO:
GIA3-439-13

COPIA No
000-13

SUPLEMENTO No
000-13

Página 2 de 2

ACLARACIONES

Laboratorio acreditado por el IDEAM según Resolución 2325 del 25 de Septiembre de 2012 para los parámetros en la matriz Suelos: Humedad, Nitrógeno Amomiacal, Nitrógeno Total Kjeldahl, pH, Sólidos Totales, Sólidos volátiles, DQO, Aluminio, Antimonio, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio y Zinc, Cianuro total.

Muestreo: Método según Resolución 0062 de 2007.

Laboratorio acreditado por el IDEAM según Resolución 2325 del 25 de Septiembre de 2012 para los parámetros en la matriz Residuos Peligrosos: Corrosividad (pH), Inflamabilidad, Reactividad, TCLP - para Metales: Aluminio, Antimonio, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plata, Plomo, Potasio, Sodio, Cromo, Selenio y Zinc.

Muestreo: Método según Resolución 0062 de 2007.




ANÁLISIS SUBCONTRATADOS

ANÁLISIS		LABORATORIO SUBCONTRATADO
CONTROL DEL INFORME	PROFESIÓN Y NOMBRE	FIRMAS Y SELLO
RESPONSABLE DEL ENSAYO	Tec. Qco Auner Ignacio Villa V	
RESPONSABLE DEL INFORME	Qca. Esp. Beatriz Elena Gómez Hoyos	
ACUSE DE RECIBO DEL CLIENTE		

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA GRUPO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES
CIRCULAR 1 No 70 - 01 BARRIO LAURELES, BLOQUE 11 INGENIERIAS SEGUNDO PISO, MEDELLIN - COLOMBIA
SI TIENE ALGUNA INQUIETUD SOBRE LA CALIDAD DEL SERVICIO FAVOR COMUNICARSE CON NOSOTROS
TELEFAX: 4112372 CONMUTADOR: 4488388 EXT. 14035-14032 E-Mail: beatriz.gomez@upb.edu.co

B₅: DBO y DQO para celulasa

 Universidad Pontificia Bolivariana	REPORTE DE RESULTADOS LABORATORIO AMBIENTAL			
CÓDIGO: II-FD-066 VERSIÓN: 01	CONSECUTIVO: GIA2-2535-13	COPIA No 000-13	SUPLEMENTO No 000-13	Página 1 de 2
TIPO DE MUESTRA:	AGUA			
FECHA DEL INFORME:	Octubre 07 de 2013			
EMPRESA SOLICITANTE:	UPB PULPA Y PAPEL			
DIRECCIÓN:	Circular 1 No. 70-01			
TELÉFONO:	315 411 47 35			
INTERESADO:	Virney Chalá L.			
FECHA DE MUESTREO:	Septiembre 27 de 2013			
RESPONSABLE DEL MUESTREO:	Virney Chalá			
FECHA DE RECEPCIÓN:	Septiembre 27 de 2013			
FECHA DE ANÁLISIS:	Septiembre 27 de 2013 a Octubre 05 de 2013			
NOMBRE DE LA MUESTRA:	CELULASA			
ANÁLISIS	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	INCERTIDUMBRE
DBO ₅	SM-5210 B SM - 4500 O G	mg O ₂ /L	39.62	9.02
DQO	SM-5220 D	mg O ₂ /L	383.6	21.0
<p>ACLARACIÓN: Los anteriores resultados son válidos únicamente para la muestra analizada; son de carácter confidencial y de propiedad del cliente. No se permite la reproducción parcial y/o total del informe sin autorización del Grupo de Investigaciones Ambientales.</p> <p>OPINIONES: El personal del Laboratorio Ambiental se abstiene de hacer comentarios, interpretaciones o recomendaciones acerca de los resultados, debido, al desconocimiento de la información relacionada con el proceso en cuestión.</p> <p>NOTA: El punto en los resultados, corresponde al separador de cifras decimales.</p>				
ACLARACIONES				
<p>*Laboratorio acreditado según Resolución 2325 del 25 de septiembre de 2012 ante el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. El alcance de la acreditación en la matriz agua es: Alcalinidad, Cloruros, Sulfuro, Nitrógeno Amónico, Nitratos, pH, Conductividad Eléctrica, Conductividad Eléctrica, Nitratos, Turbiedad, Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Sedimentables, Sólidos Volátiles, Sólidos Suspendedos Totales, Sólidos Totales, Fósforo Total, Ortofosfatos, Fenoles Totales, DBO₅, Oxígeno Disuelto, Grasas y Aceites, Detergentes, Sulfatos, Cadmio, Cobalto, Cobre, Manganeseo, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Sodio, Zinc, Aluminio, Cromo, Antimonio, Hierro, Cromo Hexavalente, Cianuro Total.</p> <p>Muestreo Simple con variables de campo pH, Temperatura, Oxígeno Disuelto, Conductividad Eléctrica, Caudal. Muestreo Compuesto con variables de campo pH, Temperatura, Caudal, Muestreo Integrado con variables de campo pH, Temperatura, Oxígeno Disuelto, Conductividad Eléctrica, Caudal.</p>				
ANÁLISIS SUBCONTRATADOS				
ANÁLISIS	LABORATORIO SUBCONTRATADO			
<p>UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA GRUPO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES CIRCULAR 1° No 70 - 01 BARRIO LAURELES, BLOQUE 11 INGENIERÍAS SEGUNDO PISO, MEDELLÍN - COLOMBIA SI TIENE ALGUNA INQUIETUD SOBRE LA CALIDAD DEL SERVICIO FAVOR COMUNICARSE CON NOSOTROS TELEFAX: 4112372 CONMUTADOR: 4488388 EXT.14035 - 14032 E-Mail: beatriz.gomez@upb.edu.co</p>				



Universidad
Pontificia
Bolivariana

REPORTE DE RESULTADOS
LABORATORIO AMBIENTAL

CÓDIGO: II-FO-066
VERSIÓN: 01

CONSECUTIVO:
GIA2-2535-13

COPIA No
000-13

SUPLEMENTO No
000-13

Página 2 de 2

CONTROL DEL INFORME	PROFESIÓN Y NOMBRE	FIRMAS Y SELLO
RESPONSABLES DEL ENSAYO	Tec. Qco Auner Ignacio Villa V	
RESPONSABLE DEL INFORME	Qca. Esp. Beatriz Elena Gómez Hoyos	
ACUSE DE RECIBO DEL CLIENTE		

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA GRUPO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES
CIRCULAR 1° No 70 - 01 BARRIO LAURELES, BLOQUE 11 INGENIERÍAS SEGUNDO PISO, MEDELLÍN - COLOMBIA
SI TIENE ALGUNA INQUIETUD SOBRE LA CALIDAD DEL SERVICIO FAVOR COMUNICARSE CON NOSOTROS
TELEFAX: 4112372 CONMUTADOR: 4488388 EXT.14035 - 14032 E-Mail: beatriz.gomez@upb.edu.co

B₆: DBO y DQO para amilasa

 Universidad Pontificia Bolivariana	REPORTE DE RESULTADOS LABORATORIO AMBIENTAL			
CÓDIGO I-FO-066 VERSIÓN: 01	CONSECUTIVO: GIA2-2534-13	CÓPIA No 000-13	SUPLEMENTO No 000-13	Página 1 de 2
TIPO DE MUESTRA:	AGUA			
FECHA DEL INFORME:	Octubre 07 de 2013			
EMPRESA SOLICITANTE:	UPB PULPA Y PAPEL			
DIRECCIÓN:	Circular 1 No 70-01			
TELÉFONO:	315 411 47 35			
INTERESADO:	Virney Chala L.			
FECHA DE MUESTREO:	Septiembre 27 de 2013			
RESPONSABLE DEL MUESTREO:	Virney Chala			
FECHA DE RECEPCIÓN:	Septiembre 27 de 2013			
FECHA DE ANÁLISIS:	Septiembre 27 de 2013 a Octubre 05 de 2013			
NOMBRE DE LA MUESTRA:	AMILASA			
ANÁLISIS	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	INCERTIDUMBRE
DBO ₅	SM-5210 B SM - 4500 O G	mg O ₂ /L	96.11	20.32
DQO	SM-5220 D	mg O ₂ /L	905.8	38.4
<p>ACLARACIÓN: Los anteriores resultados son válidos únicamente para la muestra analizada; son de carácter confidencial y de propiedad del cliente. No se permite la reproducción parcial y/o total del informe sin autorización del Grupo de Investigaciones Ambientales.</p> <p>OPINIONES: El personal del Laboratorio Ambiental se abstiene de hacer comentarios, interpretaciones o recomendaciones acerca de los resultados, debido, al desconocimiento de la información relacionada con el proceso en cuestión.</p> <p>NOTA: El punto en los resultados, corresponde al separador de cifras decimales.</p>				
ACLARACIONES				
<p>*Laboratorio acreditado según Resolución 2325 del 25 de septiembre de 2012 ante el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM. El alcance de la acreditación en la matriz agua es: Alcalinidad, Cloruros, Sulfuro, Nitrógeno Amónico, Nitratos, pH, Conductividad Eléctrica, Conductividad Eléctrica, Nitratos, Turbiedad, Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Sedimentables, Sólidos Volátiles, Sólidos Suspendedos Totales, Sólidos Totales, Fósforo Total, Ortofosfatos, Fenoles Totales, DBO₅, Oxígeno Disuelto, Grasas y Aceites, Detergentes, Sulfatos, Cadmio, Cobalto, Cobre, Manganeseo, Niquel, Plata, Plomo, Potasio, Sodio, Zinc, Aluminio, Cromo, Antimonio, Hierro, Cromo Hexavalente, Cianuro Total.</p> <p>Muestreo Simple con variables de campo pH, Temperatura, Oxígeno Disuelto, Conductividad Eléctrica, Caudal. Muestreo Compuesto con variables de campo pH, Temperatura, Caudal, Muestreo Integrado con variables de campo pH, Temperatura, Oxígeno Disuelto, Conductividad Eléctrica, Caudal.</p>				
ANÁLISIS SUBCONTRATADOS				
ANÁLISIS	LABORATORIO SUBCONTRATADO			
<p>UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA GRUPO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES CIRCULAR 1° No 70 - 01 BARRIO LAURELES, BLOQUE 11 INGENIERÍAS SEGUNDO PISO, MEDELLÍN - COLOMBIA SI TIENE ALGUNA INQUIETUD SOBRE LA CALIDAD DEL SERVICIO FAVOR COMUNICARSE CON NOSOTROS TELÉFAX: 4112372 CONMUTADOR: 4488388 EXT. 14035 - 14032 E-Mail: beatriz.gomez@upb.edu.co</p>				



Universidad
Pontificia
Bolivariana

REPORTE DE RESULTADOS
LABORATORIO AMBIENTAL

CÓDIGO: II-FO-066
VERSIÓN: 01

CONSECUTIVO:
GIA2-2535-13

COPIA No
000-13

SUPLEMENTO No
000-13

Página 2 de 2

CONTROL DEL INFORME	PROFESIÓN Y NOMBRE	FIRMAS Y SELLO
RESPONSABLES DEL ENSAYO	Tec. Qco Auner Ignacio Villa V	
RESPONSABLE DEL INFORME	Qca. Esp. Beatriz Elena Gómez Hoyos	
ACUSE DE RECIBO DEL CLIENTE		

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA GRUPO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES
CIRCULAR 1° No 70 - 01 BARRIO LAURELES, BLOQUE 11 INGENIERÍAS SEGUNDO PISO. MEDELLÍN - COLOMBIA
SI TIENE ALGUNA INQUIETUD SOBRE LA CALIDAD DEL SERVICIO FAVOR COMUNICARSE CON NOSOTROS
TELEFAX: 4112372 CONMUTADOR: 4488388 EXT.14035 - 14032 E-Mail: beatriz.gomez@usb.edu.co