

**ESTABLECIMIENTO DEL SISTEMA DE PRODUCTIVIDAD PARA EL  
AISLAMIENTO DE MICROFIBRILLAS DE CELULOSA**

**MAESTRIA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN  
SISTEMAS DE CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD**

**NATALIA CORREA HINCAPIE**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES  
DE MONTERREY  
MEDELLÍN  
2009**



**ESTABLECIMIENTO DEL SISTEMA DE PRODUCTIVIDAD PARA EL  
AISLAMIENTO DE MICROFIBRILLAS DE CELULOSA**

**TESIS**

**MAGISTER EN SISTEMAS DE CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD**

**INSTITUTO DE TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE  
MONTERREY**

**NATALIA CORREA HINCAPIÉ**

**AGOSTO 2009**

**ESTABLECIMIENTO DEL SISTEMA DE PRODUCTIVIDAD PARA EL  
AISLAMIENTO DE MICROFIBRILLAS DE CELULOSA**

**NATALIA CORREA HINCAPIÉ**

**TESIS PRESENTADA A LA FACULTAD DE INGENIERIAS DEL ITESM**

**ESTE TRABAJO ES REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
MAESTRO EN SISTEMAS DE CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD**

**Dedico este trabajo especialmente  
a Dios, a mi esposo y a mis padres  
que son las personas que más proyección  
y entusiasmo me han brindado en la  
realización de mi vida profesional**

## **RECONOCIMIENTOS**

Dra. Piedad Gañan. Por su invaluable apoyo, dedicación y orientación en el proceso de desarrollo de este proyecto y mi desarrollo profesional.

Dr. Zuluaga. Por su incondicionalidad, capacidad de trabajo en equipo y apoyo en el desarrollo y culminación de este proceso.

Al grupo de investigación sobre nuevos materiales por permitirme realizar esta propuesta como resultado marco de un proyecto conjunto de investigación.

A la UNAD por brindarme la oportunidad de realizar esta maestría con el ITESM.

A la Dra. Maria del Socorro Marcos y el Mg. Arturo Tavizon, por aportar con su experiencia y criterio a la realización de este proyecto.

A todas aquellas personas que de una u otra forma se involucraron en el proceso de este trabajo.

## RESUMEN

En el proceso de aislamiento de microfibrillas de celulosa a partir de residuos de la agroindustria de *Musáceas* comestibles cultivadas en Colombia, desarrollado por Zuluaga [2008]; surge la iniciativa de establecer un sistema de productividad que permita construir un proceso para la medición de esta y tener un acercamiento a la efectividad.

De esta forma el proyecto se subdivide en cuatro etapas en las cuales se inició con la evaluación de sistemas viables y la esquematización de los diagramas de flujo del proceso productivo, con esto, se diseñaron métodos para la evaluación del proceso productivo a partir de indicadores de eficiencia, tomando como variables, aspectos claves del aislamiento de las microfibrillas, empleando el DEA como instrumento de medición y cálculo. Se continuó con una esquematización del proceso de aislamiento y se establecieron ecuaciones que permiten la medición de la productividad del sistema. Finalmente, se realiza una evaluación de la macrolocalización del proyecto teniendo en cuenta las variables identificadas en el cálculo de efectividad y productividad, encontrando de esta forma el lugar más apropiado para un futuro escalamiento industrial del proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Página</b>
Capítulo I	1
1.1. Introducción	1
1.2 Agroindustria de <i>Musáceas</i> comestibles como fuente alternativa de microfibrillas de celulosa.	3
1.3. Aislamiento de microfibrillas de celulosa – sistemas de productividad y efectividad.	8
1.4. Objetivos y metodología del proyecto	13
1.5 Instrumentación	16
1.6 Producto final	16
Capítulo II: operaciones implicadas en el proceso productivo	18
2.1 Modelo de sistema viable	20
2.2 Diagrama de flujo del proceso	27
Capítulo III. Sistema de productividad para la extracción de celulosa	30
3.1 Factor regularidad en el diámetro de las microfibrillas	30
3.2 Factor balance de masa	31
3.3 Factor homogeneidad en el volumen de agua destinado	33
Capítulo IV. Análisis no paramétrico de eficiencia para el proceso de extracción de celulosa	34
4.1 Resultados capítulo v. macrolocalización del proyecto	36
Capítulo V.	40
5.1 Macrolocalización del proyecto	40
Capítulo VI	45
6.1 Conclusiones	45
6.2 Recomendaciones	48
Glosario	49
Bibliografía	51

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1.1 Cambios del raquis durante el proceso de Extracción de microfibrillas	7
Figura 2.1: Subsistema del proceso de aislamiento de microfibrillas de celulosa. Empresas bananeras-grupo de investigación	19
Figura 2.2: Subsistemas del proceso de aislamiento de microfibrillas de celulosa. Grupo de Investigación.	24
Figura 2.3. Esquema de modelo de sistema viable.	26
Figura 2.4. Diagrama de flujo para la obtención de celulosa a partir de raquis de banano	29
Figura 3.1 Balance de masa del proceso de extracción de celulosa a partir de raquis de banano.	32
Figura 4.1: Eficiencia del sistema vs DMU	38
Figura 5.1 Factores de microlocalización del proyecto	41



## LISTA DE TABLAS

	<b>Página</b>
Tabla 4.1 DMU del sistema con las variables de entrada y salida	36
Tabla 5.1 Factores y valores de ponderación	43
Tabla 5.2: Valores relativos para cada valor subjetivo	43
Tabla 5.3: Medida de preferencia de localización	43

## CAPÍTULO I

### 1.1 INTRODUCCIÓN

En Colombia, la agroindustria de *Musáceas* registra un comportamiento estable en su producción en los últimos 6 años, presentándose anualmente igual producción de desperdicios biológicos como el raquis (vástago - pinzonte), los cuales por su manejo actual están ocasionando desequilibrios en el ecosistema de la zona de cultivo, como contaminación por lixiviados e incubación de plagas por descomposición del material vegetal. Este proyecto esta orientado a fortalecer el empleo de este subproducto para la elaboración de nuevos materiales, empleando la nanotecnología para el aprovechamiento de los componentes internos de éste como es su contenido celulósico, permitiendo un mayor acercamiento en la disposición de componentes de escala nanométrica en Colombia.

El plan de trabajo en materia de nanotecnología de América para la industria de productos forestales, en su hoja de ruta presenta una visión de esta tecnología como una herramienta para transformar los productos de la industria forestal en muchos aspectos, entre ellos, nuevas aplicaciones y productos de papel, además de la implementación de componentes lignocelulósicos como una estructura funcional para la generación de nuevos productos. (Reitzer, 2007)

Se han empleado diversos subproductos y productos agrícolas y forestales como fuentes para la producción de microfibrillas de celulosa. Dentro de estos se incluyen paja de trigo, tubérculos de papa, lino, pulpa de remolacha azucarera, cáñamo, nabo sueco, las existencias de soja y raquis de banando. (Hubbe y otros, 2008)

Teniendo este acercamiento, la agroindustria de *Musáceas* es una de las industrias colombianas que mayor cantidad de subproductos genera. Con un aprovechamiento oportuno de estos residuos, se mejoraría la dinámica en su cadena productiva, apoyando el sector y mejorando los recursos e ingresos de los campesinos vinculados. De otro lado, se encuentra un creciente interés en investigación y desarrollo a nivel mundial en el campo de nanomateriales, mostrando fuertes tendencias en Europa, Estados Unidos, Japón y China. En materia ambiental, se están buscando alternativas diferentes a la madera para extraer componentes que se encuentran en esta.

El grupo de investigación sobre nuevos materiales de la Universidad Pontificia Bolivariana, ha establecido un proceso de laboratorio para el aislamiento de microfibrillas de celulosa a partir de raquis de banano. En el marco de este proceso, es necesario realizar un escalamiento y establecer el sistema de productividad, con el propósito de que estas tecnologías puedan adaptarse en las regiones y se incluya una nueva industria, con la implementación de la nanotecnología. Este proyecto de maestría busca brindar una visión frente a estas necesidades, de tal forma que el proceso pueda implementarse a gran escala y con los procesos productivos adecuados (Zuluaga y otros, 2008)

A continuación, se enmarcan tres enfoques, que brindan una visión de la importancia del producto en los sectores económico, social y ambiental.

- **Dimensión económica.** La agroindustria de *Musáceas*, registra un comportamiento estable en cuanto a la producción anual, sin embargo, esta desperdiciando la oportunidad económica e industrial de aprovechar los subproductos para la creación de nuevas fuentes de ingreso y empleo (Agrocadenas, 2008). En el mercado nacional, el precio de venta de fibra de raquis, empleado para la extracción de celulosa, es en pesos colombianos de \$1.200 pesos (US\$ 0,6) por kg. Anualmente, Colombia produce 960.000 toneladas de vástago de plátano y 480.000 de banano, lo que representa en venta de fibra una cantidad de US\$ 69.120.000 por cosecha, teniendo en cuenta que el porcentaje en peso de fibras del raquis es del 8% del total de su peso. El no aprovechamiento de este subproducto se cuantifica como pérdidas en estas agroindustrias (GINUMA, 2006)
- **Dimensión ambiental.** Las prácticas de poscosecha empleadas con el raquis en la zona de producción de banano y plátano es la acumulación del material vegetal, produciendo una descomposición natural de este en el campo. El 92% del raquis es agua, lo que equivaldría a una producción de lixiviados de 1.324.800 m<sup>3</sup>, que percolan en las aguas subterráneas (el raquis tiene una solubilidad en agua fría de 4,19%, con lo cual son solubles sustancias tales como ceras, grasas, pectinas, material coloreado, resinas y aceites que contaminan las aguas), además de generación de gases por el proceso fermentativo, produciendo malos olores y atrayendo fuentes de enfermedades como roedores e insectos. (Correa y otros, 2005)

- Dimensión social. Según El Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural de Colombia (2008), la agroindustria productora de plátano genera aproximadamente 397500 empleos directos al año, mientras que la agroindustria de banano genera 43.600 empleos. Esto quiere decir que la agroindustria de estas *Musáceas*, genera al año un total aproximado de 441.100 empleos directos en las zonas de producción. En estos datos no se incluyen los empleos directos generados en las actividades de transformación industrial de las frutas. Con la aplicación de este proyecto, al incrementar la capacidad económica del sector, se ampliarán los empleos para la optimización del aprovechamiento de subproductos en recursos industriales.

La contribución de este proyecto esta enmarcada en estructurar un procedimiento para la medición de la productividad y eficiencia en la extracción de celulosa a partir de residuos de la agroindustria de *Musáceas*, y que de esta forma se pueda empezar a fortalecer una oportunidad para los productores y campesinos de las regiones bananera y plataneras de Colombia, específicamente el Urabá antioqueño en el montaje de del proceso de extracción para maximizar la cadena productiva de estos productos y el mejoramiento continuo de su economía.

## **1.2. AGROINDUSTRIA DE MUSÁCEAS COMESTIBLES COMO FUENTE ALTERNATIVA DE MICROFIBRILLAS DE CELULOSA.**

Según el documento la cadena del banano en Colombia (Ministerio de Agricultura - 2006), está compuesta principalmente por la comercialización de los siguientes productos: banano fresco; el cuál se subdivide en banano tipo exportación y banano para consumo interno. Industrialmente, su cadena está inmersa en el empleo del fruto como materia prima para la obtención de productos como bananos pasos o bananos deshidratados, o secados, en almíbar, cremas, postres, pulpas, purés, compotas, mermeladas, conservas, harinas, hojuelas, fritos, jarabe, confitados y congelados, liofilizados, etanol, jaleas, bocadillo, néctares, jarabe de glucosa y fructosa, saborizantes y aromatizantes, dulce elaborado de su cáscara, alimento para el ganado y otros animales. Los deshechos fibrosos del cultivo también sirven como

materia prima para la elaboración de pulpas celulósicas, almidón y productos químicos.

En el ámbito nacional, los subproductos o abonos orgánicos que proceden del vástago son incorporados a la plantación, otros residuos de la cosecha como el seudotallo se emplea para la extracción de fibras y papel. El alcohol, aguardiente, vino, vinagre son otros productos que se realizan a partir de la fermentación de la fruta. "En otros países se está manejando el uso de los residuos de cosecha para la elaboración de gas biológico, láminas de cartón, material para embalaje y pita"

En lo que corresponde a la cadena del plátano, los principales productos que componen la cadena son el plátano fresco para consumo interno y exportación. Industrialmente se emplea para la elaboración de "Snacks", harinas, productos procesados para el consumo humano y alimentos concentrados para consumo animal. Esta agrocadena sólo emplea para el desarrollo de la misma los productos derivados de su fruto, dejando de un lado los subproductos de la cosecha [Espinal y otros 2006].

Una revisión de la balanza comercial de estas dos agroindustrias según lo presenta agrocadenas, establece que sólo se presenta la comercialización del fruto fresco y las harinas, sémolas y polvos derivados del procesamiento de sus frutos. De esta forma se evidencia el desaprovechamiento de los suprodutos derivados de estas agroindustrias.

Estudios realizados por grupos de investigación colombianos como GINUMA [grupo de investigación sobre nuevos materiales], han determinado la aplicación que tienen algunos de los subproductos de la agroindustria de *Musáceas* en la elaboración de nuevos materiales. Teniendo el antecedente presentado por el grupo, este proyecto se encamina a establecer un sistema de productividad para la extracción de microfibrillas de celulosa empleadas en la elaboración de nanomateriales a partir del aprovechamiento de los residuos específicamente el raquis de banano.

El enfoque del proyecto, también esta ligado con la importancia que tiene actualmente la nantocnología y el desarrollo de nuevos materiales a escala nanométrica, implementando productos agrícolas, con características similares a la madera. Por esto se hace necesario brindar un acercamiento a esta tecnología y las implicaciones mundiales que está proporcionando.



Según el documento *Nanoforest, "A nanotechnology roadmap for the forest products industry"* [2005] "La explotación industrial a través de la nanotecnología se encuentra aún en su infancia"

Pese a encontrarse en una fase de crecimiento, la inversión en el campo de la nanotecnología presenta cifras de importante consideración, se estima que cerca de un 5 billones de euros, con una participación de 2 billones de euros por parte de entidades privadas, se vienen invirtiendo a nivel mundial en los aspectos relacionados con la investigación y desarrollo en nanotecnología.

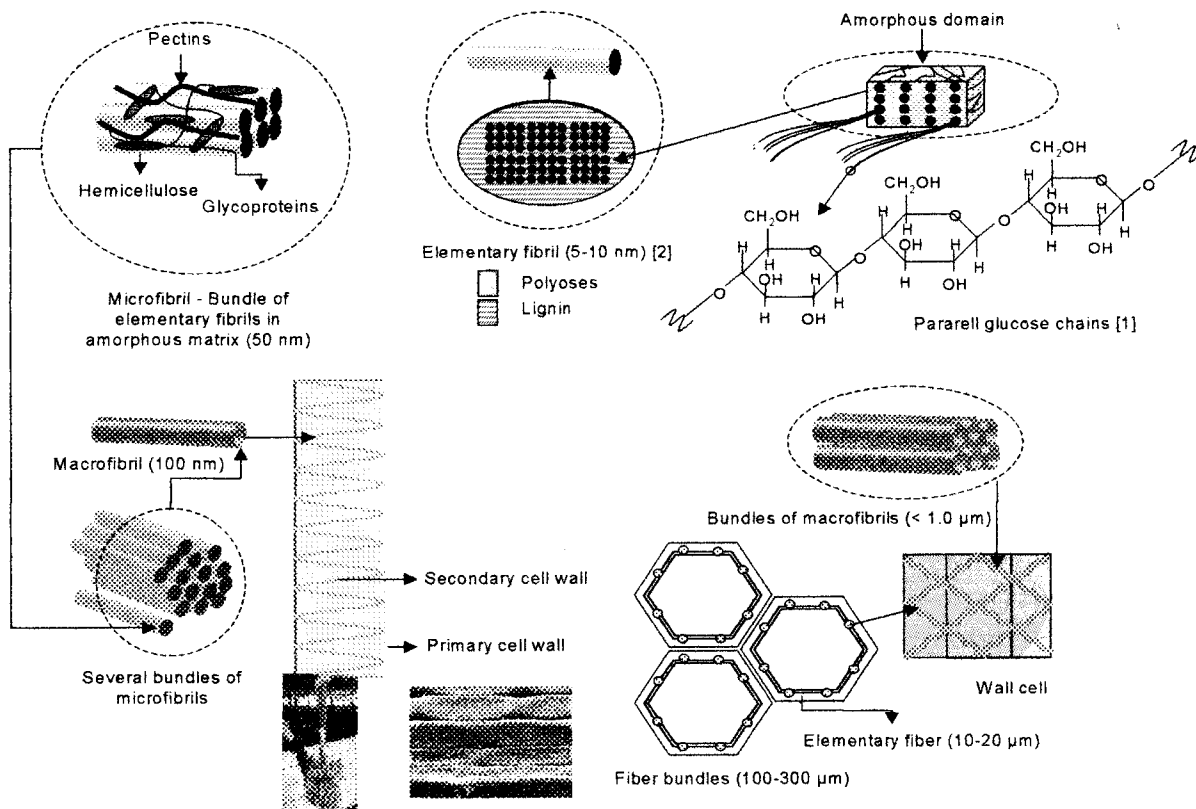
Parte de los esfuerzos que se vienen realizando en Europa en este campo, pueden considerarse en parte como una reacción a los programas de investigación que en esta misma línea de acción se vienen desarrollando tanto por parte de Estados Unidos como de Japón. En el caso del primero por ejemplo, se espera que los ingresos por parte de las ventas de productos relacionados con nanotecnología, en los cuales los nanomateriales y aún más los nanocompuestos tienen una importante participación, alcancen cerca de US \$ 350 millones en el año 2008 y que esta cifra pase a unos US \$ 37 billones en la segunda década del presente siglo. Otro importante indicador de esta tendencia se relaciona con la generación de decenas de empresas alrededor del mundo que producen y comercializan nanomateriales para múltiples sectores que van desde el campo alimenticio y farmacéutico hasta el de recubrimientos e incluso innovadores ideas relacionadas con bioingeniería, o el surgimiento de revistas especializadas en el tema como "*Journal of Nanomaterials*" o el incremento de artículos dedicados a estas temáticas que pueblan los números de centenares de revistas dedicadas a múltiples temáticas que van desde la biología, la medicina o las matemáticas hasta la ingeniería.

Pero justo en este punto es importante considerar de nuevo el caso europeo, en donde las fuertes tendencias ambientales de las últimas dos décadas han motivado la generación de nuevas alternativas de utilización para sus productos derivados de fuentes naturales, en particular de la explotación forestal y sus derivados. Política que ha venido incrementado debido a la creciente competencia de nuevos frentes de producción papelera en el mundo, representada por Estados Unidos y otras economías emergentes en diferentes regiones del mundo, que suministran a las industrias papeles materias primas con mayor valor agregado y menor costo. Esta situación, que unida a la búsqueda por materiales que tengan un alto nivel de degradabilidad o

biodegradabilidad se encuentren en capacidad de cumplir con las prestaciones para los cuales fueron desarrollados, pero que una vez cumplan su ciclo de vida se puedan incorporar al suelo, se vienen constituyendo en una sólida oportunidad para la utilización de fuentes naturales como potenciales proveedores de materias prima. En este campo de nuevas alternativas para materiales procedentes de la naturaleza lo demuestran las cifras reportadas por el Instituto Nova, que mencionan que el empleo de materiales compuestos basados en fibras naturales en Europa ha crecido considerablemente en los últimos 10 años, reportando cifras de consumo de 70.000 toneladas en el año 2003. En el caso de Alemania esta cifra se ha multiplicado por 5 para estas mismas fechas, siendo particularmente importante la participación de fibras naturales no europeas, en algunos productos alemanes, y en la actualidad por ejemplo se utilizan entre 5 y 10 kg de fibras naturales por vehículo.

Teniendo en cuenta estas fuertes tendencias a nivel mundial y revisando las grandes pérdidas de la agroindustria del plátano - banano en los años 2007-2008 por la revaluación del dólar en Colombia, queda pensar en cuántos millones de pesos colombianos se han desaprovechado por el mal manejo de los subproductos, cuál es el potencial que tienen estas cadenas en el mejoramiento del empleo, la investigación y el desarrollo de la ciencia de nuevos materiales y la nanotecnología en Colombia, además de la re-estructuración y mejoramiento de sus cadenas productivas.

En el proceso presentado en la figura 1.1, el raquis sufre diversos cambios, en cada uno de los procesos se van eliminando los productos no asociados a la celulosa, para finalmente obtener microfibrillas de celulosa en alto grado de pureza. Paralelamente se observa la reducción de tamaño de la celulosa obtenida a partir del raquis, hasta alcanzar las microfibrillas de celulosa con sus diámetros del orden de micras.



(Zuluaga, 2008)

## Figura 1.1. Cambios del raquis durante el proceso de extracción de microfibrillas

Partiendo del proceso desarrollado por Zuluaga [et, al celulosa 2008] en el proceso de aislamiento de microfibrillas de celulosa a partir de raquis de banana, es necesario establecer un sistema de productividad, que permita llevar este proceso a gran escala. Para ello, iniciaremos con un enfoque desde el campo de la productividad, que indique la importancia de establecerla y cómo se involucra en el proceso.

Las interacciones entre los mercados laborales y la productividad son esenciales para una serie de preguntas en la economía del desarrollo [Satchi y otro, 2008]

Teniendo en cuenta esta premisa, y revisando la dimensión económica y social de este proyecto, el establecimiento del sistema de productividad, se enmarca en la evolución del mercado laboral y social de la agroindustria de *Musáceas*.

Además, el crecimiento en el conocimiento científico es necesario para el crecimiento sostenible de la productividad durante el largo plazo. Cuando no hay crecimiento científico, puede existir productividad, pero esta se disipa en el tiempo y se limita. Este punto lleva a la distinción entre dos tipos de innovaciones: incrementales y grandes. Las innovaciones incrementales representan el proceso ordinario de refinado y mejora de los procesos de producción. Principales innovaciones (en general tecnologías de propósito) representan importantes descubrimientos que abren una acogida de nuevas formas de producir productos. La llegada de una importante innovación es lo que se entiende por una "revolución de la productividad». Ampliar los conocimientos científicos, aumenta la tasa de innovación incremental y permite mayores innovaciones y descubrimientos. [Garner, 2008]

La base de descubrimiento científico bajo la cual se desarrolla este proyecto, cumple con las características de innovación tecnológica y científica citadas anteriormente y el establecimiento de su productividad permitirá un proceso de innovación incremental en el marco del desarrollo de la agroindustria de *Musáceas* colombianas.

### **1.3. Aislamiento de microfibrillas de celulosa - sistemas de productividad y efectividad.**

Teniendo claros estos preceptos, se debe involucrar el proceso productivo de aislamiento de microfibrillas de celulosa con el establecimiento de los sistemas de productividad, lo que permita definir los factores importantes a medir en los procesos y procedimientos que se desarrollan en dicho proceso.

Para ello, Keeping Score [1996] define los parámetros a tener en cuenta para el establecimiento de variables que permitan determinar un sistema de productividad:

- Las medidas deben estar vinculadas a los factores necesarios para el éxito: los conductores de negocios clave.

Las medidas deben ser una mezcla de pasado, presente y futuro para garantizar que la organización se refiera a las tres perspectivas.

- Las medidas deben basarse en torno a las necesidades de los clientes, accionistas y otros interesados.
- Las medidas deben comenzar en la parte superior directiva del proceso y el desprenderse al flujo de todos los niveles de empleados en la organización.
- Múltiples índices se pueden combinar en un índice único para dar una mejor evaluación global del rendimiento.
- Las medidas deben ser cambiadas o por lo menos ajustadas, así como el medio ambiente y su estrategia de cambio.
- Las medidas deben tener involucradas las metas y objetivos establecidos que se basan en la investigación, en lugar de números arbitrarios.

Medir la eficacia en el nuevo desarrollo de la tecnología es importante y necesario para enfocar la actividad en la gestión. Sumanth [1998] afirma que la calidad y la productividad se utilizan como indicadores para el rendimiento en los negocios. Sin embargo, el desarrollo de la tecnología por lo general abarca muchos ejercicios y, por tanto, los modelos tradicionales no son para estimar su productividad. También se carece de modelos para estimar simultáneamente la eficacia, así como la eficiencia para la nueva tecnología de desarrollo [Chiou y otros, 1999]

Acercándonos más a este concepto, se retoma a Koss y otros [1993], para la estructuración de la propuesta de establecimiento del sistema de productividad que se empleará en este trabajo, tomando de referencia el concepto de medición de la productividad como un sistema de factores.

En primera instancia, la productividad siempre ha sido entendida como la cuantificación que tiende a evaluar la eficacia de un individuo, grupo, organización o país. Esta definición debe tender a reevaluarse, debe ir más allá de la evaluación de las entradas y salidas del sistema, la cual es empañada por esterilidad de los números y sus implicaciones.

La típica declaración matemática de productividad aumenta cuando los insumos por unidad de producción bajan, que es la base mecánica y aparentemente libre de prejuicios culturales, muy atractiva para el



manejo de costos en una organización. Se pueden comparar individuos y grupos dentro y entre las empresas, así como en todos los países y a través del tiempo. Sin embargo, la calidad y otros importantes factores de la productividad están notoriamente ausentes de la fórmula que actualmente se emplea.

La productividad tiene un sentido diferente de acuerdo a los enfoques culturales, basados en respuestas que pueden darse desde el nivel personal, de compañía, y de la sociedad.

En el nuevo contexto la productividad se convierte en una manera de decirle lo bien que está haciendo las operaciones de acuerdo con las normas internas establecidas. Mientras que en el enfoque tradicional. La productividad mide únicamente entradas y salidas, lo que deja de ser suficiente en este contexto.

Para obtener una clara comprensión de la medida de la productividad, debemos primero entender el proceso en el que se basa la medida. Es decir, tenemos que hacer la pregunta "¿Qué significa ser productivo en nuestro proceso?" Ser productivo es de carácter personal y de la organización, lo que significa que la productividad para una persona u organización puede ser muy diferente de lo que significa para otro. Calidad, servicio al cliente, excelencia y la satisfacción en el trabajo han pasado a ser de vital importancia en los aspectos de productividad y merece su inclusión en la medición.

Por tanto, se plantea que la productividad debe ser medida, como una unidad de factores así:

$$PR=f(x_1, x_2, x_i, \dots, x_n) [1]$$

Los  $X_i$  indican una serie de factores acordados por los individuos, organización, o país, que son importantes en la determinación de la productividad. Estos factores también pueden tener una dimensión temporal.

Para el caso que nos apremia en este proyecto, se determina que la productividad estará enfocada en tres factores:

- Regularidad en el diámetro de las microfibrillas. Factor importante para la aplicación de microfibrillas de celulosa en la elaboración de biomateriales.

- Balance de masa. Con este se determina el rendimiento en peso del proceso.
- Homogeneidad en el volumen de agua destinado. Este insumo debe tener unas características específicas de pureza. Por la importancia que tiene en el cotidiano de vida, se busca una implementación adecuada del mismo.

De acuerdo a esta definición, el proyecto también entrará a establecer cuales son los actores de estos factores para entrar a determinar la productividad de cada uno de ellos y la productividad en conjunto del proceso.

Ligado al establecimiento del sistema de productividad, es necesario tener en cuenta la eficiencia del proceso productivo.

La eficiencia es la capacidad de lograr un fin por medio de la relación deseable entre los factores y resultados productivos, esto es, maximizar la producción con el mínimo de recursos o minimizar los recursos dado un nivel de producción a alcanzar [Grisel y Barrios, 2006].

Lograr que los procesos sean eficientes, requieren de efectividad y eficacia. Los resultados obtenidos se pueden interpretar como cuantificación de la meta propuesta, aun en caso de no lograr los resultados esperados. Lo que implicaría una disminución de la efectividad, no necesariamente traería consigo disminución en los índices de eficiencia.

Los métodos para estimar la eficiencia pueden ser divididos en dos [Coelli, 1995]: métodos paramétricos, que estiman una frontera estocástica por técnicas econométricas; y métodos no paramétricos, como el DEA, que se basa en la resolución del modelo por programación lineal.

El objetivo es obtener un escalar que representa la mínima proporción a la que se pueden reducir los consumos de inputs sin que se disminuya la cantidad producida de output.

El DEA es un método de análisis de eficiencia no paramétrico. La mayor ventaja de DEA, es su flexibilidad, en el sentido de que impone condiciones menos restrictivas sobre la tecnología de referencia y también en cuanto a que se adapta a contextos multiproducto e, incluso, de ausencia de precios, con relativa sencillez. Otra ventaja del DEA es que permite relacionar simultáneamente todos los inputs con los outputs

[Fraser y Cordina, 1999], pudiendo identificarse cuales inputs están siendo infrautilizados.

La técnica del DEA (*Data Envelopment Analysis*) es una aplicación de los métodos de programación lineal, que se emplea para medir la eficiencia relativa de unidades organizativas que presentan las mismas metas y objetivos. Esta técnica fue desarrollada inicialmente por Charnes, Coopers y Rhodes [1978], quienes se basaron en un trabajo preliminar de Farrell [1957].

Dadas las condiciones anteriores, el proyecto empleará esta técnica para la medición de su sistema de efectividad.

Las unidades de análisis en el DEA se denominan unidades de toma de decisiones DMU (*decision making unit*).

El propósito del DEA es hacer que el valor de eficiencia para cada DMU en la muestra sea el máximo que pueda alcanzar; para ello, se ajustan los pesos de la combinación de variables de entrada y de salida, de acuerdo con el resto de las DMU de la muestra.

DEA es una técnica de programación matemática que permite la construcción de una superficie envolvente, frontera eficiente o función de producción empírica a partir de los datos disponibles del conjunto de unidades objeto de estudio, de forma que las unidades que determinan la envolvente son denominadas unidades eficientes y aquellas que no la determinan son consideradas unidades ineficientes. DEA permite la evaluación de la eficiencia relativa de cada una de las actividades (Coll y Blasco, 2006).

## **1.4. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA DEL PROYECTO.**

### **Objetivos**

El objetivo general del proyecto esta en marcado en: "establecer un procedimiento de productividad para el aislamiento de microfibrillas de celulosa aisladas de residuos procedentes de la agroindustria de *Musáceas* comestibles cultivadas en Colombia, incrementando su producción para un mejor desarrollo de la comunidad involucrada en el proceso"

Para ello, se tuvo en cuenta los siguientes objetivos específicos:

- Determinar las operaciones implicadas en el proceso de producción de microfibrillas de celulosa.
- Determinar los tiempos y necesidades específicas del proceso productivo.
- Establecer los indicadores de eficiencia y desempeño en el desarrollo del proceso productivo.
- Evaluar la macrolocalización del sistema a partir de las operaciones involucradas en el proceso.

Para cumplir con la ejecución de estos factores a investigar, se preven unas restricciones importantes en el desarrollo del proyecto, a saber:

- El proceso bajo el cual se desarrolló el sistema de productividad es el diseñado y ejecutado en el proyecto de investigación "Desarrollo de bionanocomposites a partir de microfibrillas de celulosa aisladas de residuos procedentes de la agroindustria de *Musáceas* comestibles cultivadas en Colombia", del cual surge este proyecto.

- El escalamiento del proceso se realizó a partir de los equipos y materiales empleados en el proyecto antes nombrado, el producto y proceso que se evaluará está en escala experimental.
- El proyecto se desarrolló en un tiempo de 12 meses.
- Los resultados esperados y no esperados estuvieron sujetos a los procedimientos empleados en el proyecto en mención.

Para el cumplimiento de los factores a investigar, la metodología de investigación que se empleó esta basada en la inducción probabilística del positivismo lógico (métodos cuantitativos), ya que se estableció la productividad en la extracción de celulosa a partir de residuos procedentes de la agroindustria de *Musáceas* comestibles cultivadas en Colombia, incrementando su producción para un mejor desarrollo de la comunidad involucrada en el proceso y por tanto es necesario un conocimiento específico y controlado de todas las operaciones involucradas en el proceso.

## **Metodología**

Los métodos empleados para la propuesta de investigación se plantearon a partir de las fases determinadas por Zuluaga [2008] en el proceso de aislamiento de microfibrillas de celulosa.

Partiendo del proceso productivo para el aislamiento de microfibrillas de celulosa y teniendo en cuenta los puntos y marco conceptual para el establecimiento del sistema de productividad y la efectividad del proceso, se requiere tomar en cuenta los siguiente procesos.

- Organización del planteamiento conceptual necesario para el desarrollo de cada etapa en la determinación del sistema de productividad.
- Conocimiento de las operaciones implicadas en el proceso de aislamiento de microfibrillas de celulosa, para determinar tiempos y necesidades específicas del proceso productivo. De este esquema se extraerían mapas de flujo y sistemas viables de cada una de las fases.



Los mapas de flujo representaran las direcciones de movimiento en el proceso productivo, enlazando las actividades de acuerdo a su orden lógico y permitiendo esclarecer las entradas y salidas de cada parte del proceso.

El modelo de sistemas viables, tiene como propósito permitir a las organizaciones obtener la flexibilidad que necesitan para sobrevivir en medios ambientes rápidamente cambiantes y complejos.

Aplicando esto a la concepción y ejecución del proyecto, se evalúan las cinco funciones que se consideran esenciales para determinar la viabilidad del sistema: Coordinación, control, inteligencia y política. Disponemos debajo de una descripción de la naturaleza y el objetivo de cada uno de estas funciones diferentes sistémicas.

- Recolección de información que permita establecer los indicadores para formular adecuadamente los sistemas de planeación y la definición de estrategias del sistema productivo. Para esto, se realizaron 3 repeticiones del proceso y con las mediciones respectivas en cada una de las actividades ejecutadas.
- En base a los diagramas de flujo y los sistemas viables, se diseñó los métodos para la medición del sistema productivo y de aquí se encontraron los indicadores de eficiencia y desempeño en el desarrollo del proceso.

Para la determinación de la eficiencia del proceso se empleó el DEA, con el se encontraron los factores eficientes y no eficientes del proceso en cuestión.

- Con el conocimiento básico de las operaciones involucradas en el proceso, se diseñarán técnicas de mejora de la productividad.

Estos esquemas estarán relacionados con los resultados de la medición de productividad en los tres factores establecidos:

Diámetro de las microfibrillas. Factor importante para las aplicaciones de las microfibrillas.

Balance de masa. Instrumento para cuantificar el rendimiento en peso del proceso.

Volumen de agua destinado. Este insumo debe tener unas características específicas de pureza, lo que implica que requiere un alto costo dentro de la producción y extracción de las microfibrillas de celulosa.

Terminados estos procesos es posible obtener resultados y realizar su respectivo análisis, además de las publicaciones y divulgación de resultados.

La macrolocalización del proyecto es un punto importante para iniciar con un proceso de escalamiento del mismo. Por tanto, se evalúan diferentes condiciones que permitan comparar las DMU elegidas en el cálculo de la efectividad para determinar de esta forma cuál es la localidad elegida para este punto.

## **1.5 INSTRUMENTACIÓN**

Recursos humanos. Investigadores participantes en el proyecto de investigación "Desarrollo de bionanocomposites a partir de microfibrillas de celulosa aisladas de residuos procedentes de la agroindustria de *Musáceas* comestibles cultivadas en Colombia"

Recursos tecnológicos.

- Equipos empleados en la extracción de microfibrillas de celulosa.
- Equipo de cómputo con programas de simulación y software estadístico.

## **1.6 PRODUCTO FINAL**

De acuerdo a los resultados obtenidos en el proceso de recolección de datos y análisis de los mismos y partiendo de los instrumentos con

los cuales se desarrollará el proyecto, se plantean los siguientes productos:

- Conocimiento de las operaciones implicadas en las fases de producción de los bionanocomposites, para determinar tiempos y necesidades específicas del proceso productivo.
- Recolección de información que permita establecer indicadores para la formulación adecuada del sistema de planeación y la definición de estrategias del sistema productivo.
- Diseño de métodos para la medición del sistema productivo que permitan la extracción de indicadores de eficiencia y desempeño en el desarrollo del proceso.
- Diseño de técnicas de mejora de la productividad a partir de diferentes esquemas metodológicos.

## **CAPÍTULO II: OPERACIONES IMPLICADAS EN EL PROCESO PRODUCTIVO**

Para iniciar el proceso de descripción de las operaciones implicadas en el proceso productivo, es necesario definir el sistema que abordaremos y los subsistemas que lo componen, para luego poder establecer la viabilidad del mismo.

Por tanto: "Un sistema es un conjunto de dos o más elementos interrelacionados de cualquier especie; Consecuentemente, no es un todo indivisible, sino un todo divisible en sus componentes. Los elementos del conjunto y el conjunto de los elementos que forman un sistema tienen las tres siguientes propiedades.

1. Las propiedades o el comportamiento de cada elemento del conjunto tienen un efecto en las propiedades o el comportamiento del conjunto tomado como un todo.
2. Las propiedades y comportamiento de cada elemento, y la forma en que afectan al todo, dependen de las propiedades y comportamiento al menos de otro elemento en el conjunto. En consecuencia, no hay parte alguna que tenga un efecto independiente en el todo y cada una está afectada al menos por alguna otra parte.
3. Cada subgrupo posible de elementos del conjunto tiene las dos primeras propiedades: cada uno tiene un efecto no independiente en el total. En consecuencia, no se puede descomponer el total y por lo tanto, no se puede subdividir un sistema en subsistemas independientes".<sup>1</sup>

Para este proyecto se visibiliza como sistema el proceso mediante el cual se realiza la extracción de microfibrillas de celulosa a partir de residuos procedentes de la agroindustria de *Musáceas* comestibles, incluyendo el proceso de obtención de la materia prima. Este sería el sistema como un todo.

Los subsistemas que se incluyen en el proceso se ilustran en la figura 2.1

---

<sup>1</sup> Llanos Ortiz Marianela y Alvear Leyton Alexis. Teoría de sistemas. Universidad Arturo Prat

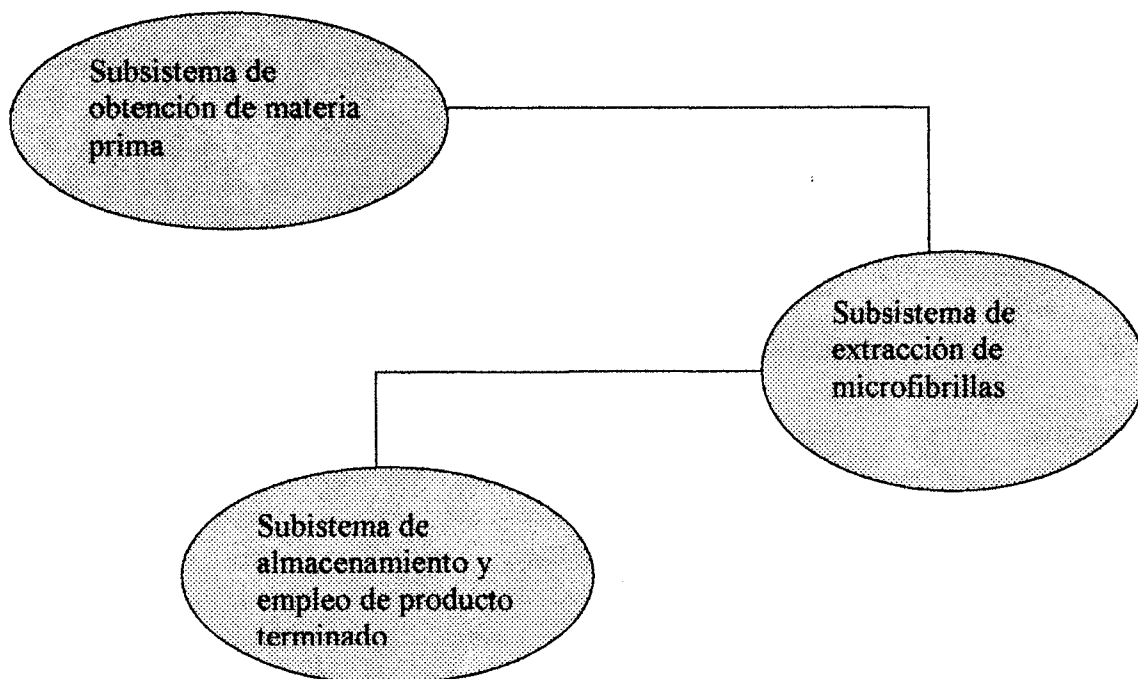


Figura 2.1: Subsistema del proceso de aislamiento de microfibrillas de celulosa. Empresas bananeras-grupo de investigación.

Visibilizando de esta forma el sistema de producción de celulosa, cada subsistema cumple con las 3 condiciones previstas anteriormente y se determina este como el sistema global.

Dentro de las características identificadas en el sistema orientado al proceso de extracción de celulosa se encuentran:

1. Es un sistema abierto, dado que se encuentra en continuo intercambio de materia, energía y/o información con su medio; el funcionamiento y la estructura de este dependen de su medio en gran medida, y no se pueden conocer si es aislado de ese medio; por lo tanto, el conocimiento de las características del medio que lo rodea es requisito indispensable para su conocimiento.
2. Es un sistema dinámico, pues muestra cambios en su estructura o en las relaciones entre sus elementos a través del tiempo.
3. Tiene las características de un sistema determinístico, porque se conocen sus elementos, las interrelaciones entre ellos, y los efectos que tienen las acciones del medio ambiente sobre él.



## 2.1 MODELO DE SISTEMA VIABLE

Tres conceptos que son fundamentales en la situación que define un sistema como viable son:

El medio, que corresponde a lo que no es el sistema viable -su entorno-.

El sistema viable, que corresponde a una actividad humana definida por una comunidad de observadores que se reúnen para cuidarla. En particular se modelará el sistema definido por los responsables de la administración de esta actividad.

La administración, que corresponde al organismo (persona o personas) responsable por el cuidado del sistema viable.

Para que un sistema sea viable, debe cumplir cinco funciones específicas, para ello se analizará el cumplimiento de cada una de ellas en el sistema definido para el proceso de extracción de celulosa.

### 1. Implementación

Actividades primarias: son aquellas responsables de generar los productos o servicios implícitos por la identidad de la organización, están en el corazón del modelo recurrente. Los productos de la organización y servicios son desarrollados en los niveles diferentes de agregación por su integrado primario de actividades y la cadena de valor de la organización en total pone en práctica su objetivo total.

En los tres subsistemas planteados para nuestro sistema se tienen identificadas las actividades de producción y los productos de los cuales son responsables. De esta forma, el subsistema de materia prima, se encarga de proveer después de la cosecha de *Musáceas*, los raquis disponibles del proceso productivo para la extracción de celulosa. En el sistema de extracción de celulosa, se tiene identificado el proceso productivo, el cual está preestablecido por Zuluaga (2008) para la extracción de celulosa, con los procesos y procedimientos organizados de acuerdo a los resultados que permitieron optimizar la extracción.

En el subsistema de almacenamiento y producto terminado, están definidos los procesos que deben manejarse para el correcto

almacenamiento del producto y los posibles consumidores para elaboración de nanomateriales a partir de las microfibrillas que se ubican como producto final del subsistema anterior.

De esta forma, el sistema trabajado en este proyecto, cumple con la primera condición para la viabilidad del mismo.

## 2. Coordinación

Un sistema viable también tiene sistemas en el lugar para coordinar los interfaces de sus funciones que añaden valor y las operaciones de sus subunidades primarias. En este punto es fundamental el proceso de comunicación entre las subunidades, ya que depende de esta la sinergia que se tenga entre los subsistemas y el resultado final del proceso.

Las interfases de cada uno de los subsistemas del sistema de extracción de celulosa, tienen unidades primarias que manejan coordinación. Sin embargo, ubicando el sistema global, no existen parámetros comunicacionales adecuados entre cada uno de los subsistemas. Actualmente, cada subsistema funciona aisladamente y no se tiene establecido el seguimiento al proceso para la coordinación con el siguiente.

Para una mejor explicación partimos de que, el subsistema de materia prima se encuentra ubicado en la zona del Urabá colombiano, en donde las empresas productoras y comercializadoras de *Musáceas*, son quienes abastecen la materia prima para el proceso de extracción de microfibrillas. No existe una conexión directa entre las personas que generan materia prima y quienes la transforman. Por tanto, subsistema de extracción de celulosa depende para iniciar su proceso de la materia prima producida en el subsistema 1, sin embargo, esta puede conseguirse como desperdicio en las centrales de abasto de productos agroalimentarios en la ciudad de Medellín – Colombia, ubicación en la cual se está llevando el proceso productivo actualmente.

El subsistema de almacenamiento y producto terminado es llevado a cabo en coordinación con el de extracción de celulosa con un condicionante y es que este proceso sólo se lleva a escala de laboratorio y se realiza bajo las necesidades del grupo de investigación. No hay en la actualidad una cohesión directa con el sector industrial que necesita, para el desarrollo de la celulosa como producto final.

Visto con esta estructura, el sistema de extracción de microfibrillas de celulosa no cumple completamente la función de coordinación.

### 3. Control

La función de control consolida dos puntos importantes en el desarrollo de una compañía como son la comunicación y el canal de supervisión.

Con el proceso de supervisión se generan informes que argumentan el funcionamiento de cada uno de los subsistemas para revisar lo desarrollado en la subunidad y la evolución de la misma. Además, los informes sirven como herramienta de primera mano a los demás subsistemas que están enlazados entre sí para la programación de sus actividades y procesos.

De acuerdo a lo visualizado en la función anterior y teniendo claro que no existe una comunicación clara y definida entre los subsistemas del sistema de extracción de celulosa, este no cumple con esta función. No existen además, canales de supervisión que permitirán predecir el comportamiento del subsistema adyacente de acuerdo a lo ocurrido en el subsistema inicial.

### 4. Inteligencia

La función de inteligencia es el eslabón de doble dirección entre la actividad primaria (esto es: sistema viable) y su ambiente externo y es fundamental en la adaptabilidad. En primer lugar, esto provee de la actividad inicial de la regeneración continua sobre condiciones de mercado, cambios de tecnología y todos los factores externos que son probablemente relevante a ello en el futuro; en segundo lugar, esto proyecta la identidad y el mensaje de la organización en su ambiente.

Para el sistema de extracción de celulosa, la función de inteligencia se encuentra aislada entre cada uno de sus subsistemas. En el desarrollo de este proyecto sólo es posible conocer las funciones de inteligencia del grupo de investigación que participa en el subsistema de extracción de celulosa.

Dado que para el primer subsistema que corresponde a materia prima, sus productores generan este producto como un desecho y no se ha aprovechado adecuadamente, no se puede visualizar una función de inteligencia adaptada a las necesidades del mercado y del producto.

De esta forma, el sistema trabajado en este proyecto, no cumple adecuadamente con la función de inteligencia planteada para sistemas viables.

## 5. Política

Una de las condiciones claves para la eficacia de organización se relaciona con la inteligencia y funciones de control que son organizadas e interconectadas. Ellas ofrecen perspectivas complementarias sobre la definición, el ajuste y la puesta en práctica de la identidad de la unidad de organización. Cada necesidad, después de someterse al debate entre la inteligencia y el control, genera políticas.

La falta de conexión entre los subsistemas del sistema de extracción de celulosa, la función de políticas no se cumple.

Como resultado final, el sistema de extracción de celulosa visto con estos subsistemas no cumple con ser un sistema viable, lo cual indica que bajo estas condiciones, no es posible tener consolidado el proceso de extracción de celulosa.

Optimizando una posible estructura organizacional que cumpla con las funciones de viabilidad para el sistema de extracción de celulosa, esta el reconocer el grupo de investigación GINUMA como la organización que tiene dentro de unos de sus procesos productivos el mencionado anteriormente.

Para verificar si este reconocimiento genera la viabilidad en el sistema empezaremos por definir como sistema el proceso de extracción de celulosa.

Los subsistemas que se derivan de este, se presentan en la figura 2.2

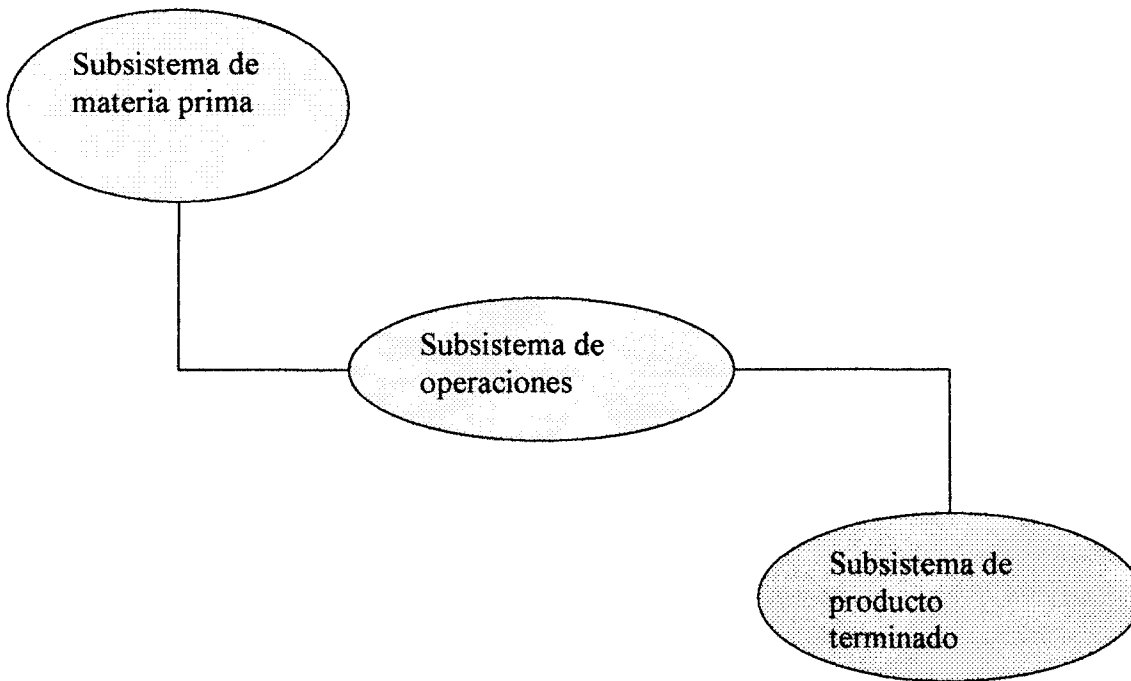


Figura 2.2: Subsistemas del proceso de aislamiento de microfibrillas de celulosa. Grupo de Investigación.

Ahora, procedemos a revisar el cumplimiento de cada una de las funciones establecidas para sistemas viables.

1. Función de implementación. La agregación de la integración de los resultados de los procesos realizados por cada uno de los subsistemas, en cumplimiento del objetivo general del sistema, se cumple con la función de implementación.
2. Función de coordinación. Como el proceso está liderado por un grupo de investigadores que tienen definidas sus actividades dentro del desarrollo de cada uno de los proyectos y además, existen funciones de apoyo entre unidades autónomas que generan sistemas de información de cada uno de ellos, puede encontrarse con que se cumple con esta función del sistema viable.
3. Función de control. Los equipos del grupo, liderados por los investigadores comparten normas comunes, accesos y valores, que posibilitan la comunicación entre las operaciones derivadas en cada subsistema y sistema.

De otro lado, existen funciones de supervisión y responsabilidad que están orientados a partir de cada proyecto de investigación. Para este caso, las funciones de supervisión de cada subproceso están orientadas por los investigadores principales.

Así, el sistema de extracción de celulosa cumple con la función de control.

1. Función de inteligencia. Como se presentó en el análisis del sistema anterior, el grupo de investigación tiene orientadas todas las funciones de inteligencia al desarrollo de sus procesos. Para el caso del sistema de extracción de celulosa, esta parte de una función de inteligencia de equipos, procesos, personal humano, etc, que posibilita la obtención del producto y la realización de cada uno de los procesos involucrados en el sistema. Con esto, se establece el cumplimiento de esta función.
2. Función de políticas. Teniendo establecidas las funciones de coordinación e inteligencia orientadas, como institución el grupo está estructurado a partir de unas políticas que permiten el desarrollo de cada uno de sus procesos y proyectos. Para el caso del proyecto que involucra el sistema de extracción de celulosa, están establecidas unas políticas que indican el cumplimiento de actividades y los responsables de ellas.

Con la revisión del cumplimiento de las 5 funciones analizadas, podemos establecer que el sistema del proceso de extracción de celulosa, teniendo como estructura organizacional al grupo de investigación GINUMA, cumple con las condiciones para ser un sistema viable.

El modelo de sistema viable se esquematiza a continuación en la figura 2.3.

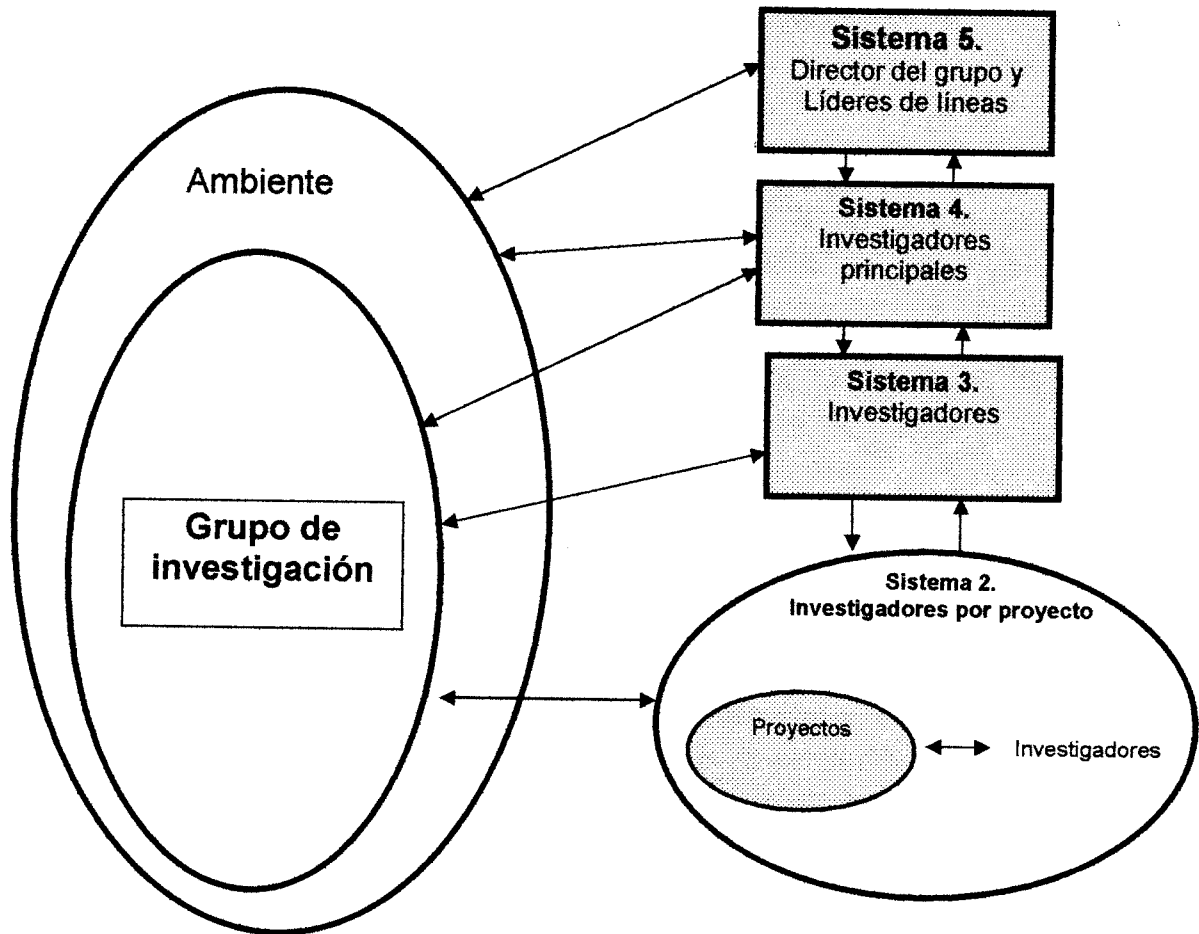


Figura 2.3. Esquema de modelo de sistema viable.

## **2.2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO**

Iniciamos con una descripción de las actividades realizadas para la extracción de celulosa a partir del procedimiento establecido por Zuluaga (2008) que es el que seguimos en este proyecto.

- **Recolección de materia prima.** La materia prima empleada específicamente es raquis de banano. Actualmente el producto se recoge en las centrales mayoristas de la ciudad de Medellín. La materia prima empleada en el proceso es considerada un desecho. Aún no hay un empleo industrial del mismo. Las principales desventajas sobre la obtención actual de la materia prima es el control de sus condiciones de oxidación y la contaminación que pueda afectar el producto al ser tratado como desperdicio en las centrales de abasto.

Este procedimiento puede tardar alrededor de 6 h, incluye el desplazamiento y una fuerte dependencia de la necesidad de producción que tenga el laboratorio. En este punto, es necesario recordar que el porcentaje en peso de fibra requerido para la obtención de celulosa es el 8% del peso total del vástago.

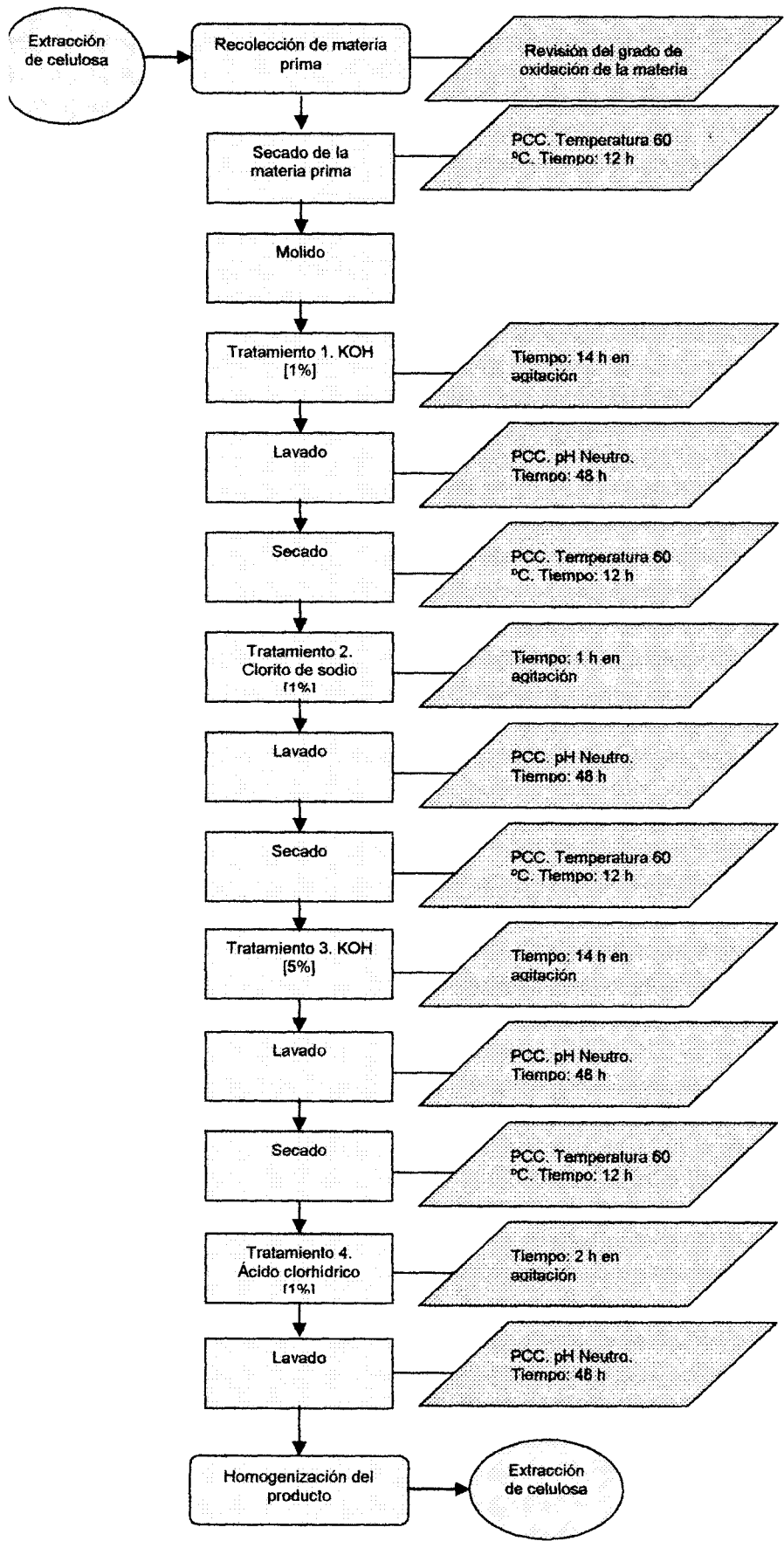
- **Secado de la materia prima.** Este proceso se realiza en un horno de circulación forzada a una temperatura de 60 °C por 12 h.
- **Molido de materia prima.** Después de pasar por el proceso de secado, la materia prima se somete a un proceso de molido en un molino de cuchillas. Este equipo se emplea actualmente a nivel de laboratorio con una capacidad diaria de 4 kg por día.
- **El proceso continúa con la agitación de la materia prima en una solución de KOH por un periodo de 14 h.**

El proceso se realiza con el empleo de recipientes plásticos de una capacidad de 5 l. Adicionalmente, se emplea un agitador metálico de poleas con una capacidad para 3 vasijas. Lo que se traduce en que por producción se procesan 15 l de la solución de materia prima.



- Lavado. Esta operación se realiza después de cada tratamiento químico. El proceso consta de lavar con agua destilada el producto hasta alcanzar un pH neutro, tiene una duración aproximada de 48 h.
- Secado. Se repite el proceso de secado bajo las condiciones establecidas.
- En esta parte del proceso, el producto se incluye en clorito de sodio al 1% por 1 h, manteniendo agitación constante.
- Después de terminado el tiempo, el producto es sometido a las operaciones de lavado y secado, con las mismas condiciones que se describieron anteriormente.
- El producto pasa de nuevo a un tratamiento con KOH al 1% por un periodo de 14 h con agitación constante
- Se repiten los procesos de lavado y secado bajo las condiciones especificadas.
- El producto se somete a un tratamiento con ácido clorhídrico, empleando el sistema de agitación. Este proceso tiene un tiempo aproximado de 2 horas.
- Se realiza el proceso de lavado según las condiciones especificadas anteriormente.
- Finalmente se procede a realizar una homogenización del producto. Este proceso tiene una duración aproximada de 2 horas y se realiza con la aplicación de una licuadora industrial.

Con las descripciones establecidas en los procedimientos para la extracción de celulosa, el proceso puede tardar 12 horas para la obtención del producto final. Un esquema completo se representan en la figura 2.4, en la cual se muestra el diagrama de flujo del proceso.



Siglas:

PCC: Punto crítico de control

Figura 2.4. Diagrama de flujo para la obtención de celulosa

## **CAPÍTULO III. SISTEMA DE PRODUCTIVIDAD PARA LA EXTRACCIÓN DE CELULOSA**

El sistema de productividad para la extracción de celulosa está establecido a partir de tres factores, los cuales son regularidad en el diámetro de las microfibrillas, balance de masa y homogeneidad en el volumen de agua destinado.

Cada uno de los factores tiene unos componentes específicos que enmarcan el cálculo de la productividad para cada uno de ellos.

En este punto, iniciaremos con una descripción de los factores y el cálculo de la productividad en cada uno de ellos.

### **3.1 FACTOR REGULARIDAD EN EL DIÁMETRO DE LAS MICROFIBRILLAS**

De ahora en adelante este factor estará denominado por la letra D.

El factor diámetro de las microfibrillas estará compuesto de las siguientes variables:

D<sub>1</sub>: Homogenización. Esta variable estará indicada por el tiempo que se somete el producto al proceso de homogenización.

D<sub>2</sub>: Caracterización bromatológica del material. Esta variable estará representada por el contenido de lignina y hemicelulosa que presenta la materia prima que será empleada en el proceso de extracción de celulosa.

D<sub>3</sub>: Promedio de pH de la solución. En todo el proceso de extracción de microfibrillas de celulosa se realizan cuatro procedimientos de lavado que van después de cada tratamiento químico, tal como se indicó en el apartado anterior. Por tanto para este factor se realizará el promedio del pH final con el cual cuenta la solución para darle medida a esta variable.

La ecuación para el cálculo de la variable D quedará determinada así:

$$D = (D_1 + D_2 + D_3) / 3 \quad [2]$$

Donde:

$$D_1 = D_1(t) / D_1(t-1) \quad [3]$$

$$D_2 = D_2(t) / D_2(t-1) \quad [4]$$

$$D_3 = D_3(t) / D_3(t-1) \quad [5]$$

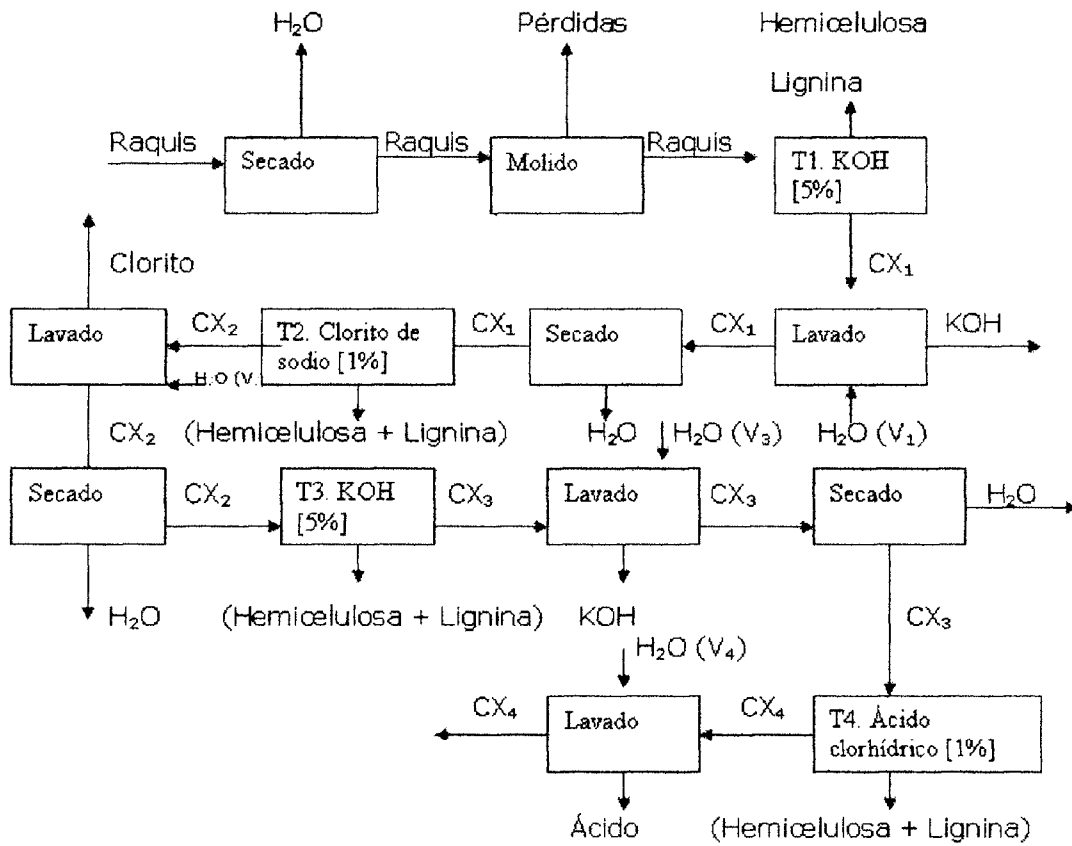
t, corresponde al tiempo en el cual se esta evaluando la variable

### **3.2 FACTOR BALANCE DE MASA**

El factor balance de masa esta determinado por el resultado del balance de masa del proceso.

Llamaremos P al factor, C será la concentración de celulosa y  $X_n$  al porcentaje extraído de este producto en cada subproceso.

En la figura 3.1 se ilustra este proceso



T: corresponde a cada uno de los tratamientos presentados en el diagrama de flujo del proceso

Figura 3.1 Balance de masa del proceso de extracción de celulosa a partir de raquis de banana.

De aquí para calcular a P, se emplea la ecuación [6]

$$P = \frac{CX_4(t)}{CX_4(t-1)} \quad [6]$$

### 3.3 FACTOR HOMOGENEIDAD EN EL VOLUMEN DE AGUA DESTINADO

De acuerdo al balance de masa esquematizado en la figura 3.1, el lavado es un proceso que se realiza cuatro veces, y el volumen de agua destinado esta relacionado con  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  y  $V_4$ .

Denominaremos  $V$  al factor.

$$V = (V_1 + V_2 + V_3 + V_4) / 4 \quad [7]$$

De donde:

$$V_1 = V_1(t) / V_1(t-1) \quad [8]$$

$$V_2 = V_2(t) / V_2(t-1) \quad [9]$$

$$V_3 = V_3(t) / V_3(t-1) \quad [10]$$

$$V_4 = V_4(t) / V_4(t-1) \quad [11]$$

## **CAPÍTULO IV: ANÁLISIS NO PARAMÉTRICO DE EFICIENCIA PARA EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE CELULOSA**

La eficiencia, incluye dos componentes: Eficiencia técnica, que refleja la habilidad de obtener el máximo output para un determinado nivel de inputs, y eficiencia asignativa, que refleja la habilidad de una empresa para utilizar los inputs en una proporción óptima, considerando los precios de los inputs. Estos dos conceptos combinados constituirían la eficiencia económica. [Grisel y Barrios, 2006]

Para el proyecto en cuestión se evaluará la eficiencia con un análisis no paramétrico empleando el DEA, el cual permite calcular los índices de eficiencia técnica mediante programas de optimización. El objetivo es obtener un escalar que representa la mínima proporción a la que se pueden reducir los consumos de inputs sin que se disminuya la cantidad producida de output

Para el cálculo de la eficiencia relativa de las diferentes unidades se emplea la ecuación que consiste en calcular los cocientes que miden la relación input-output:

$$E_j = \frac{U_1 Y_{1j} + U_2 Y_{2j} + \dots + U_i Y_{ij} + \dots + U_m Y_{mj}}{V_1 Y_{1j} + V_2 Y_{2j} + \dots + V_i Y_{ij} + \dots + V_n Y_{nj}} \quad [13]$$

Donde:

$E_j$  es la eficiencia relativa de la unidad organizativa j-ésima.

$U_i$  es el peso asociado al output genérico i-ésimo.

$V_i$  es el peso asociado al input genérico i-ésimo.

$Y_{ij}$  es la cantidad de output genérico i-ésimo en la unidad organizativa j-ésima.

$X_{ij}$  es la cantidad de input genérico i-ésimo en la unidad organizativa j-ésima.

Lo que se requiere para el cálculo y mejoramiento de la eficiencia es la evaluar las salidas empleando menores recursos en las entradas del sistema. Para ello:

$$\text{Max } E_j = \frac{\sum_{i=1}^m U_i Y_{ij}}{\sum_{i=1}^n V_i X_{ij}} \quad [14]$$

*s.a.*

$$\frac{\sum_{i=1}^m U_i Y_{ij}}{\sum_{i=1}^n V_i X_{ij}} \leq 1, \forall j \quad [15]$$

$$U_i \geq \zeta,$$

$$V_i \geq \zeta,$$

Donde,  $\zeta$  es un pequeño término de perturbación (por ejemplo igual a 0,001).

La solución del modelo anterior proporciona la cuantificación de la eficiencia relativa de la unidad organizativa  $j$ -ésima con respecto a las demás unidades, así como los mejores valores de los pesos que han permitido alcanzar dicha eficiencia.

La eficiencia técnica global es el producto de las dos eficiencias, técnica pura y de escala, y su medición coincide con el modelo de retorno de escalas constantes (CRS), teniendo en cuenta esto se hará esta medición para la eficiencia de extracción de celulosa.

Para el proceso de extracción de celulosa se consideran las siguientes variables de entrada y salida para el cálculo respectivo del modelo.

#### Modelo:

- Output: Porcentaje en peso de producto producido
- Inputs: kg de materia prima empleada

Costos de volumen de agua asociado a la actividad. (Para este se tomará un cálculo promedio del valor del  $m^3$  de agua



en cada uno de las unidades productivas que fabrican en forma similar o DMU establecidos por el volumen promedio de agua)

Costos de transporte de la materia prima al lugar de transformación.

Las DMU elegidas para el proceso de medición de la eficiencia están establecidas por los lugares en los cuales se puede llevar a cabo el proceso productivo. Para esto, se ponen a disposición las zonas de Urabá y Medellín.

#### 4.1 RESULTADOS

Cabe resaltar que en cualquiera de las DMU presentadas, el porcentaje de materia prima que ingresa al sistema y el porcentaje en peso del producto terminado de acuerdo al proceso productivo establecido a escala de laboratorio serían iguales en ambos lugares. Las variables de entrada de los costos si dependerán, del lugar en el cual se ejecute el proceso.

De esta forma la tabla 4.1 queda especificado de la siguiente forma:

<b>Laboratorio (CCR)</b>	<b>(I) kg DE RAQUIS</b>	<b>(I) Costos transporte</b>	<b>(I) Costos de agua</b>	<b>(O) kg producto terminado</b>
Urabá	550	50000	160000000	50
Medellín	550	150000	100000000	50

Tabla 4.1 DMU del sistema con las variables de entrada y salida

Los resultados arrojados por el sistema se presentan a continuación.

No. of DMUs = 2

No. Input items = 3

Input(1) = kg DE RAQUIS

Input(2) = Costos transporte

Input(3) = Costos de agua

No. of Output items = 1

Output(1) = kg producto terminado

Returns to Scale = Constant ( $0 \leq \text{Sum of Lambda} < \text{Infinity}$ )

#### Statistics on Input/Output Data

	kg DE RAQUIS	Costos transporte	Costos de agua	kg producto terminado
Max	550	150000	160000000	50
Min	550	50000	100000000	50
Average	550	100000	130000000	50
SD	0	50000	30000000	0

#### Correlation

	kg DE RAQUIS	Costos transporte	Costos de agua	kg producto terminado
kg DE RAQUIS	1	0	0	0
Costos transporte	0	1	-1	0
Costos de agua	0	-1	1	0
kg producto terminado	0	0	0	1

#### DMUs with inappropriate Data with respect to the chosen Model

No.	DMU
-----	-----

None

No. of DMUs 2

Average 1

SD 0

Maximum 1

Minimum 1

#### Frequency in Reference Set

Peer set Frequency to other

Urabá DMUs

0

Medellín 0

No. of DMUs in Data = 2  
No. of DMUs with inappropriate Data = 0  
No. of evaluated DMUs = 2

Average of scores = 1  
No. of efficient DMUs = 2  
No. of inefficient DMUs = 0  
No. of over iteration DMUs = 0

De esta forma queda establecido que para las variables de eficiencia presentadas no existe una DMU más eficiente que otra y radica principalmente en que no hay una variabilidad en la producción de producto terminado, sea cuál sea el lugar, con el sistema que se presenta actualmente los ingresos de materia prima y la producción de producto terminado son iguales en cualquier lugar elegido.

Esto se representa además en la figura 4.1, donde no se evidencia diferencia en los porcentajes de eficiencia en cada una de las DMU vinculadas.

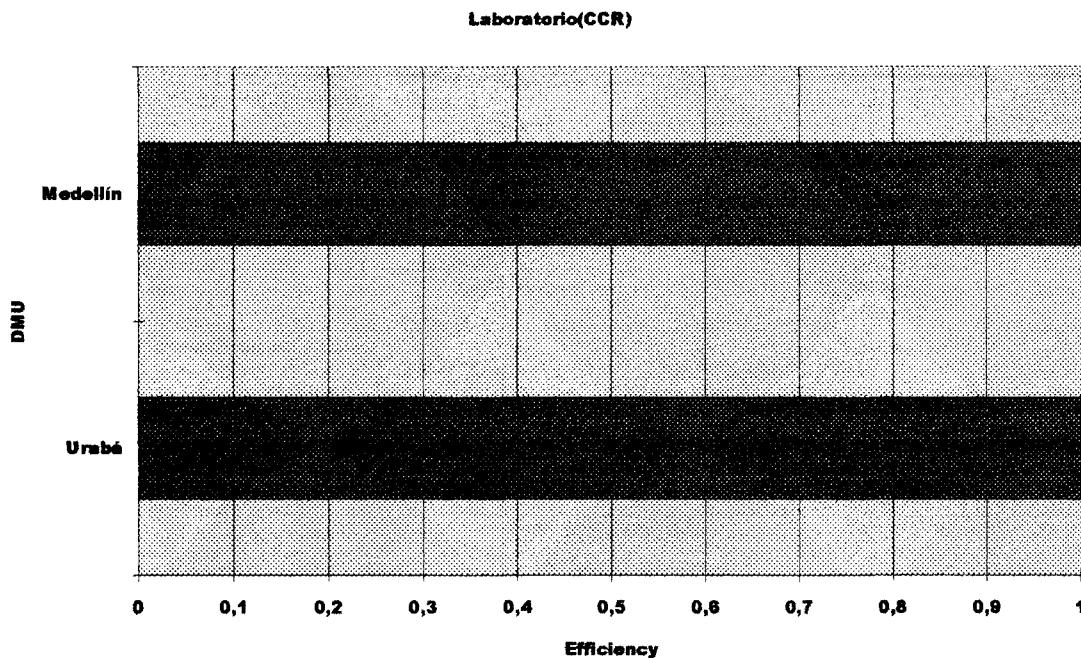


Figura 4.1: Eficiencia del sistema vs DMU

Con los resultados presentados, no se considera una DMU más eficiente que otra. Esto se evidencia específicamente por que no hay una diferencia significativa en las output que radique en el lugar en el cual se desarrollo el proyecto.

## **CAPÍTULO V**

### **5.1 MACROLOCALIZACIÓN DEL PROYECTO**

Este estudio de localización se realiza con el propósito de verificar cuál es la condición más ventajosa para la ubicación del proyecto teniendo en cuenta los requerimientos iniciales para la producción y los productos derivados del proceso.

En general, el término macrolocalización se traduce en el estudio que tiene por objeto determinar la región o territorio en la que el proyecto tendrá influencia con el medio. Describe sus características y establece ventajas y desventajas que se pueden comparar en lugares alternativos para la ubicación de la planta. La región a seleccionar puede abarcar el ámbito internacional, nacional o territorial, sin que cambie la esencia del problema; sólo se requiere analizar los factores de localización de acuerdo a su alcance geográfico [13]

La decisión sobre la localización de una planta industrial tiene particular importancia en la contribución de los objetivos empresariales y para el caso de este proyecto, los objetivos determinados en el establecimiento del sistema viable para el proceso de extracción de celulosa. Atendiendo de igual forma las DMU establecidas en el cálculo de la efectividad de sistema, se tomarán en cuenta las locaciones de Urabá, específicamente Apartadó y Medellín para la macrolocalización de este proceso.

En la figura 5.1 se plantea cuáles son los factores que abarca todo el estudio de un proceso de macrolocalización de un proyecto.

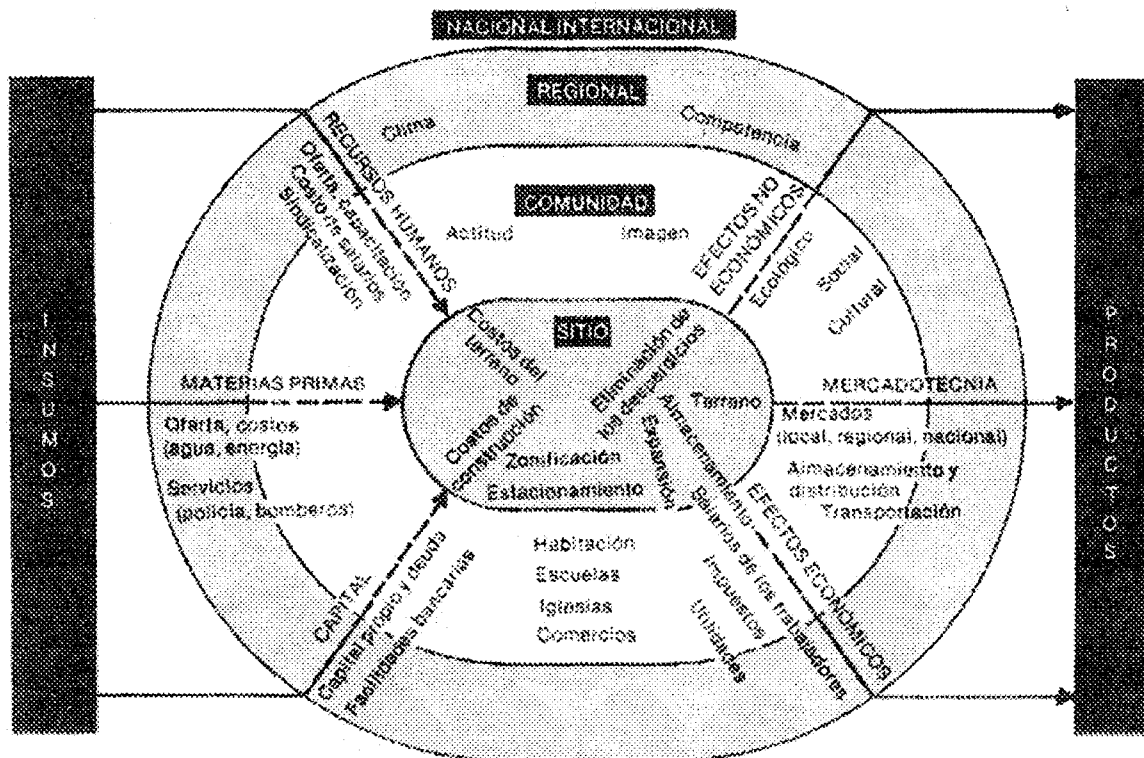


Figura 5.1 Factores de microlocalización del proyecto [13].

En resumen, las razones más importantes por las que la empresa enfrenta el problema de localización son las siguientes:

- creación de una empresa
- cambios significativos en los niveles de demanda
- cambios importantes en la distribución geográfica de la demanda
- cambios en los costos o calidad de los requerimientos de materiales, insumos y servicios
- incrementos en el valor de los bienes raíces en sitios adyacentes para ampliaciones
- necesidad de un cambio como resultado de: incendio, inundación, etc.
- necesidad de un cambio por rechazo de la comunidad o por cuestiones ambientales
- cambio por problemas de seguridad
- necesidad de cambio por tener desventajas comparativas y competitivas con sus similares
- la introducción de nuevos productos o servicios
- el agotamiento de las fuentes de abastecimiento de materiales o insumos
- la obsolescencia de sus procesos de producción
- las fusiones y adquisiciones entre empresas

- n) incrementos en los impuestos
- o) por razones de prestigio o para aprovechar relaciones públicas

Para determinar la macrolocalización del proyecto, debido a que no se tienen datos exactos de lo que implicarían los costos de producción en cada uno de los DMU elegidos, se evaluó este proceso con el método de factores ponderados establecido por Brown y Gibson

El método consiste en confinar factores cuantificables con factores subjetivos que se valoran en términos relativos.

La etapa inicial del estudio debe realizarse seleccionando solo las localizaciones que cumplan requisitos mínimos.

También se debe seleccionar los Factores de localización propios del proyecto.

Posteriormente se cumplen las siguientes etapas:

- a) Asignar un índice de ponderación relativa de cada factor locacional. La suma de los índices debe ser 1.
- b) Calcular un valor relativo a cada factor objetivo de cada localización viable utilizando un método cuantitativo. Su suma debe ser 1.
- c) Estimar un valor relativo a cada factor subjetivo de cada localización viable. Su suma debe ser 1.
- d) Combinar los factores objetivos y subjetivos, asignándoles una ponderación relativa, para obtener una medida de preferencia de localización MPL.
- e) Seleccionar la localización que tenga máxima MPL.

Partiendo de esta definición, procedemos a determinar los factores y valores de ponderación para el proyecto en la tabla 5.1. Los factores que se tienen en cuenta van de la mano con las variables involucradas en el cálculo de la eficiencia y la productividad.

<b>Factores</b>	<b>Índice de ponderación relativa</b>
Cercanía de la materia prima	0.3
Potabilidad del agua	0.4
Mano de obra calificada	0.3
Total	1.0

Tabla 5.1 Factores y valores de ponderación

Los valores relativos para cada factor subjetivo se representan en la tabla 5.2:

<b>Localidad</b>	<b>Urabá</b>	<b>Medellín</b>	<b>Total</b>
Cercanía de materia prima	0,9	0,1	1
Potabilidad del agua	0,3	0,7	1
Mano de obra calificada	0,4	0,6	1

Tabla 5.2: Valores relativos para cada valor subjetivo

La combinación de factores para el cálculo de la medida de preferencia de la localización MPL se representa en la tabla 5.3.

<b>Localidad</b>	<b>Índice de ponderación relativa</b>	<b>Urabá</b>	<b>Medellín</b>	<b>Total</b>
Cercanía de materia prima	0,3	0,9	0,1	1
Potabilidad del agua	0,4	0,3	0,7	1
Mano de obra calificada	0,3	0,4	0,6	1
MPL		0,510	0,480	1

Tabla 5.3: Medida de preferencia de localización



Teniendo en cuenta las variables tomadas, la localidad que mayor se ajusta a los procesos del proyecto es Urabá. La diferencia con respecto a la otra localidad es mínima.

## CAPÍTULO VI

### 6.1 CONCLUSIONES

Es posible establecer un procedimiento de productividad para el aislamiento de microfibrillas de celulosa, a partir de variables sustantivas involucradas en el sistema productivo, sin que la productividad sea confundida con la efectividad. Para el caso de este proyecto se encontró que es necesario tener calculados los factores de regularidad en el diámetro de las microfibrillas, balance de masa y homogeneidad en el volumen de agua destinado, para tener un resultado general de la productividad del sistema. De otro lado, la productividad siempre va estar en función del tiempo de realización del proceso, ya que cada repetición de este tendrá una influencia en el producto terminado y este a su vez se verá afectado a partir del estado de la materia prima empleada.

La efectividad estandarizada del proceso, tiene involucradas variables econometritas y sustantivas en la realización de este. Por tal razón es determinante tener en cuenta variables como del costo del transporte de la materia prima, costo del volumen de agua asociado a la actividad y la materia prima empleada para la obtención del producto terminado. En forma significativa, estas son las variables de mayores cambios en las DMU elegidas para el cálculo de esta condición.

Las DMU elegidas en el cálculo de la efectividad del aislamiento de celulosa a partir de residuos de la agroindustria de *Musáceas* se adoptaron a partir de los lugares más adecuados en los cuales es posible llevar a la práctica y a gran escala este proceso. Sin embargo, dado que el proceso productivo en ambos lugares bajo los estándares que se tienen establecidos y que se pueden visualizar en el diagrama de flujo, no se presentan cambios en los resultados obtenidos, específicamente en el porcentaje en peso del producto terminado. Por tanto, en estas DMU no existen factores determinantes que puedan establecer cuál lugar es más efectivo para la realización del proceso productivo. Lo que significa que para el caso en cuestión es necesario tener diferencias en

el proceso y en los resultados para encontrar cuál es el lugar más efectivo para la implementación a gran escala del proceso.

Para la macrolocalización del proyecto, se tomaron en cuenta factores que son relevantes para la productividad y efectividad del sistema y de esta forma se eligieron la cercanía de la materia prima, potabilidad del agua y mano de obra calificada, como los puntos a tener en cuenta para este cálculo. Igual que en la efectividad, se adoptaron las locaciones de Urabá y Medellín y se determinó que bajo las condiciones establecidas, Urabá es la zona con mejores condiciones en aspectos de macrolocalización para llevar a cabo este proceso a gran escala. El factor que cuenta con mayor irregularidad para esta región es el de potabilidad del agua, por tanto es preciso tener en cuenta para la puesta en marcha de la industrialización de este proceso, un esquema y medios que permitan minimizar el riesgo en pérdidas de producto o variación en el producto terminado a partir de un proceso de tratamiento de aguas en la región.

Bajo las condiciones en las cuales se esta desarrollando el aislamiento de la celulosa a partir de los residuos agroindustriales de *Musáceas*, en el que no se tiene un acercamiento directo entre las empresas bananeras y el grupo de investigación que permita tener un control sobre la materia prima y el producto terminado, este no es viable. Por tanto es necesario que para un acercamiento a gran escala del proceso productivo se tengan establecidas las funciones de implementación, control, coordinación, inteligencia y políticas, que permitan visualizar el norte del proceso y de la institución que implementará este. Teniendo en cuenta esto, se encontró que una opción es que el grupo de investigación al tener internamente todas estas funciones establecidas, proceda a generar un mecanismo de control de la materia prima para la viabilidad del sistema.

El crecimiento de la agroindustria de *Musáceas*, hace que día a día se generen más cantidad de residuos biodegradables que si no son bien tratados, se incorporan al suelo ocasionando daños irreversibles, convirtiéndose en un serio problema de contaminación ambiental.

El proceso de extracción de celulosa a partir de los residuos agroindustriales de la agroindustria de *Musáceas*, es una alternativa económica que permite a las empresas del sector aprovechar sus desechos, contribuyendo a la calidad de vida de los habitantes de la región y la conservación del medio ambiente.

El desarrollo de este proyecto brinda un mayor aprovechamiento de la planta, búsqueda de nuevas alternativas innovadoras, socialmente viables y económicamente sostenibles, mejorando la calidad de vida de las comunidades implicadas.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en el proyecto, es posible la implementación del proceso productivo de extracción de celulosa a partir de los residuos de la agroindustria de *Musáceas* con indicadores de eficiencia y productividad, y de esta forma mejorar la balanza comercial de las cadenas de banano y plátano en Colombia.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

Se recomienda realizar una evaluación de las ecuaciones del sistema de productividad, en la realización del proceso con maquinaria industrial, para determinar si existen variaciones entre la escala de laboratorio y la escala industrial para la determinación del sistema de productividad.

Es necesario evaluar otras variables que impliquen una diferenciación adecuada del sistema de efectividad.

La estandarización de los procesos químicos de extracción de celulosa, será de vital importancia para realizar el escalamiento industrial de este proceso.

## GLOSARIO

**BIOMASA:** cantidad de materia viva producida en un área determinada de la superficie terrestre, o por organismos de un tipo específico.

**BROMATOLÓGICO:** ciencia que estudia las características de materiales vegetales, valor nutritivo, conservación y adulteraciones.

**CELULOSA:** es el componente principal de la pared de todas las células vegetales. La celulosa es insoluble en todos los disolventes comunes y se separa fácilmente de los demás componentes de las plantas.

**CONTENIDO DE HUMEDAD:** cantidad de humedad expresada en porcentaje del peso de la muestra antes de secar.

**FIBRAS:** estructura de origen animal, vegetal, mineral o sintético parecida al pelo. Su diámetro no suele ser pequeño en relación con su longitud.

**FIBRA DETERGENTE ÁCIDA (FDA):** método utilizado para estimar el contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa en alimentos para animales.

**HAZ DE FIBRAS:** conjunto de fibras elementales unidas y atadas lateralmente.

**LIGNINA:** polímero fenólico que impregnan las células, fibras y vasos de la madera haciéndolos impermeables o inextensibles.

**MICROFIBRILLAS:** cilindros rectos que se hallan en muchas células y están constituidos por proteínas. Estos cilindros tienen un diámetro aproximado de 250Å y son bastante largos. Son asimismo tiesos y, por tanto, comunican cierta rigidez a las partes de la célula en las cuales se hallan localizados. Amenudo tienen una segunda función.

**MUSÁCEA:** relativo a la familia de las plantas herbáceas monocotiledones, de flores con cinco estambres y fruto en baya o drupa.

**pH:** medida del acidez o alcalinidad de una sustancia.

**RAQUIS:** nervio medio de las hojas compuestas sobre el que se insertan los folíolos.

**RECUPERACIÓN DE HUMEDAD:** cantidad de humedad expresada en porcentaje del peso del material seco.

**SOLUBILIDAD:** cantidad de soluto que, a una determinada temperatura, puede disolverse en cierta cantidad de disolvente para formar una disolución saturada.

## **BIBLIOGRAFÍA**

[1] Agrocadenas. Cálculos estadísticos de producción. Consultado el 15 de Septiembre de 2008. Disponible en: <http://www.agrocadenas.gov.co/home.htm>

[2] Blackorby, Charles y otro. Aggregation of efficiency indices. 1999. Journal of productivity analysis. 15,5-20

[3] Bera, Anil y otro. Estimating production uncertainty in stochastic frontier production function models. 1999. Journal of productivity analysis. 12,187-210.

[4] Catherine. J Productivity an efficiency measurement in our "new economy": determinants, interactions, and policy relevance. Journal of productivity analysis.

[5] Chad Sparber. A theory of racial diversity, segregation, and productivity. Journal of Development Economics 87 (2008) 210–226

[6] Correa Natalia, Giraldo Isabel. Influencia del proceso de fermentación sobre las características de las fibras de raquis de plátano. UPB. 2005

[7] Grisel Y. Barrios Castillo. Eficiencia. La medición de la eficiencia técnica mediante el Análisis Envolvente de Datos. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

[8] Hubbe, Martin y otros. Cellulosic nanocomposites: a review. 2008. BioResources 3(3), 929-980

[9] Kahya , Emin. The effects of job performance on effectiveness. International Journal of Industrial Ergonomics xxx (2008) 1–9

[10] Koss, Elle y otro. Productivity or efficiency – measuring what we really want. 1993. National productivity review .

[11] Lee, Byungtae y otro. An integrated assessment of productivity and efficiency impacts of information technology investments: old data, new analysis and evidence. 1999. Journal of productivity analysis. 12,21-43



[12] L, Melanie. Productivity Issues. 2002 AACE International Transactions

[13] Macrolocalización. Consultado el 15 de marzo de 2009. Disponible en: [www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r2581.DOC](http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r2581.DOC)

[14] Memo Agrocadenas N° 10. Ministerio de agricultura y desarrollo rural, observatorio agrocadenas Colombia. Comportamiento del empleo generado por las cadenas agroproductivas en Colombia 1990-2004. Septiembre de 2005. Consultado el 9 de noviembre de 2007. disponible en:  
[http://www.agrocadenas.gov.co/novedades/memo\\_agrocadenas10.pdf](http://www.agrocadenas.gov.co/novedades/memo_agrocadenas10.pdf)

[15] Nesta, Lionel. Knowledge and productivity in the world's largest manufacturing corporations. Journal of Economic Behavior & Organization 67 (2008) 886–902

[16] Phillip Garner .P. Garner. Productivity revolutions and science driven growth. Economics Letters 101 (2008) 24–26

[17] Reitzer, Riikka. Technology Roadmap. Applications of Nanotechnology in the Paper Industry. From the Perspectives of the Nanoscience CenterMarket Analysis and Industrial Needs. 2007

[18] Satchi, Mathan. Labor markets and productivity in developing countries. Review of Economic Dynamics. 2008

[19] Simón de Blas. Aplicación de la técnica DEA en la medición de la eficiencia de las bibliotecas de la Universidad Complutense de Madrid. C., REVISTA ESPAÑOLA DE DOCUMENTACIÓN CIENTÍFICA 30, 1, ENERO-MARZO, 9-23, 2007 ISSN 0210-0614

[20] Vicente Coll Serrano. Olga Maria Blasco Blasco. Evaluación de la eficiencia mediante el análisis envolvente de datos. Introducción a los modelos básicos. Universidad de Valencia.

[21] Zuluaga y otros. Cellulose micro.brills from banana rachis: Effect of alkaline treatments on structural and morphological features. doi:10.1016/j.carbpol.2008.09.024. Carbohydrate polymers.



