

**MODELADO DE PROCESOS PRODUCTIVOS DERIVADOS DE LA CAÑA
PANELERA UTILIZANDO LA METODOLOGÍA IDEFØ**

**JUAN MANUEL BECARÍA MORALES
JHON JAIRO TAPIAS ACEVEDO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2007**

**MODELADO DE PROCESOS PRODUCTIVOS DERIVADOS DE LA CAÑA
PANELERA UTILIZANDO LA METODOLOGÍA IDEFØ**

**JUAN MANUEL BECARÍA MORALES
JHON JAIRO TAPIAS ACEVEDO**

**Trabajo de grado para optar el título de
Ingeniero Electrónico**

**Director:
DR. GILBERTO CARRILLO CAICEDO**

**Codirector:
DR. EDGAR FERNANDO CASTILLO
Director CEIAM**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2007**

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

1	METODOLOGÍA IDEFØ	3
1.1	CONCEPTO DE MODELO	3
1.2	SINTAXIS Y SEMÁNTICA	4
1.2.1	Sintaxis	4
1.2.2	Semántica	5
1.3	DIAGRAMAS IDEFØ	9
1.3.1	Tipos de Diagramas	9
1.3.2	Características de los diagramas	13
1.3.3	Reglas de sintaxis de los diagramas	23
2	PROCESO DEL CULTIVO DE LA CAÑA PANELERA	26
2.1	AJUSTE	26
2.1.1	Adecuación	26
2.1.2	Preparación	30
2.1.3	Construcción del sistema de riego y drenaje	33
2.2	SIEMBRA Y POBLACIÓN	39
2.2.1	Producción de Semillas	40
2.2.2	Tratamiento Térmico	40
2.2.3	Tratamiento con Fungicida	41
2.2.4	Siembra	41
2.3	MANTENIMIENTO	42
2.3.1	Fertilización	42
2.3.2	Control de Malezas	43
2.3.3	Control de Plagas	45
2.3.4	Riego	47
2.4	CORTE	47
2.5	ALCE Y TRANSPORTE	49
2.6	ACOPIO	49
3	PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PANELA	51
3.1	PANELA EN BLOQUE	51
3.1.1	Extracción	51
3.1.2	Limpieza	52
3.1.3	Evaporación	57
3.1.4	Concentración (Punteo)	57
3.1.5	Preparación Final	61
3.2	PANELA GRANULADA	65
3.2.1	Concentración (Punteo)	65
3.2.2	Batido	65
3.2.3	Preparación Final	66
4	PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ALCOHOL ANHIDRO	68
4.1	TRATAMIENTO	69

4.1.1	Esterilización.....	69
4.1.2	Ajuste pH.....	69
4.1.3	Dilución.....	69
4.1.4	Enfriamiento a 28°C.....	70
4.1.5	Enfriamiento a 32°C.....	70
4.2	REPRODUCCIÓN LEVADURA (AEROBIA).....	70
4.3	FERMENTACIÓN (ANAEROBIA).....	71
4.3.1	Fermentación.....	71
4.3.2	Sedimentación.....	72
4.3.3	Activación.....	73
4.4	DESTILACIÓN.....	73
4.4.1	Separación.....	74
4.4.2	Concentración.....	74
4.4.3	Hidroselección.....	74
4.4.4	Rectificación.....	75
4.5	DESHIDRATACIÓN.....	75
4.5.1	Elevación de Presión.....	75
4.5.2	Elevación de Temperatura.....	75
4.5.3	Pervaporación #1.....	76
4.5.4	Pervaporación #2.....	76
5	PROCESOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS.....	77
5.1	OBTENCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE BAGAZO.....	78
5.1.1	Adecuación.....	79
5.1.2	Hidrolización.....	79
5.1.3	Separación Azúcares.....	80
5.1.4	Fermentación.....	81
5.1.5	Centrifugado.....	82
5.1.6	Purificación.....	82
5.2	OBTENCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE BAGAZO.....	83
5.2.1	Almacenamiento en pacas.....	83
5.2.2	Transporte.....	84
5.2.3	Impregnación.....	84
5.2.4	Digestión.....	85
5.2.5	Selección de Fibras.....	85
5.2.6	Tratamiento de Fibras.....	86
5.3	OBTENCIÓN DE FERTILIZANTE Y BIOGÁS A PARTIR DE LAS VINAZAS.....	89
5.3.1	Almacenamiento.....	91
5.3.2	Tratamiento Anaerobio.....	92
5.3.3	Tratamiento Aeróbio.....	92
5.3.4	Acondicionamiento Lodos.....	93
5.4	OBTENCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE CACHAZA.....	93
5.4.1	Adecuación.....	97
5.4.2	Tratamiento Anaerobio.....	97

5.4.3	Absorción Ácido Sulfhídrico.....	98
5.4.4	Almacenamiento.....	99
5.5	COGENERACIÓN UTILIZANDO BAGAZO Y BIOGÁS	99
5.5.1	Generación Energía Cinética.....	100
5.5.2	Generación Energía Mecánica.....	101
5.5.3	Generación Energía Eléctrica.....	101
6	MODELADO EN IDEFØ	102
6.1	MODELADO DEL CULTIVO DE LA CAÑA PANELERA	102
6.2	MODELADO DE LA PRODUCCIÓN DE PANELA EN BLOQUE	113
6.3	MODELADO DE LA PRODUCCIÓN DE PANELA GRANULADA	118
6.4	MODELADO DE LA PRODUCCIÓN DE ALCOHOL ANHIDRO	123
6.5	MODELADO DE LA OBTENCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE BAGAZO	130
6.6	MODELADO DE LA OBTENCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE BAGAZO	135
6.7	MODELADO DE LA OBTENCIÓN DE FERTILIZANTE Y BIOGÁS A PARTIR DE LAS VINAZAS	146
6.8	MODELADO DE LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE CACHAZA	151
6.9	MODELADO DE LA COGENERACIÓN UTILIZANDO BAGAZO Y BIOGÁS	154
	CONCLUSIONES	157
	BIBLIOGRAFÍA	159
	ANEXOS	163

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Sintaxis de una caja.....	4
Figura 2. Sintaxis de las flechas.....	5
Figura 3. Roles y posiciones de las flechas.....	7
Figura 4. Semántica de las Etiquetas y Nombres.....	8
Figura 5. Ejemplo de un diagrama de nivel superior.....	10
Figura 6. Estructura de descomposición.....	11
Figura 7. Uso del DRE.....	12
Figura 8. Significado de restricción.....	14
Figura 9. Operación Concurrente.....	15
Figura 10. Flecha tubería con bifurcación.....	15
Figura 11. Bifurcación de flechas y unión de estructuras.....	16
Figura 12. Conexiones entre cajas.....	17
Figura 13. Flechas internas y límite.....	18
Figura 14. Correspondencia de la flechas límite.....	19
Figura 15. Códigos ICOMs.....	20
Figura 16. Flechas “tuneliadas” en el final conectado.....	21
Figura 17. Flechas “tuneliadas” en el final desconectado.....	22
Figura 18. Ejemplo de flechas “tuneliadas”.....	22
Figura 19. Control de realimentación.....	24
Figura 20. Entrada de realimentación.....	24
Figura 21. Mecanismo de realimentación.....	24
Figura 22. Unión de flechas con la misma fuente.....	25
Figura 23. Adecuación del terreno.....	27
Figura 24. Control de malezas manual.....	44
Figura 25. Acopio de caña.....	50
Figura 26. Extracción del jugo de caña.....	52
Figura 27. Ubicación adecuada de los prelimpiadores Uno y Dos.....	53
Figura 28. Prelimpiador Uno.....	54
Figura 29. Prelimpiador Dos.....	54
Figura 30. Adición de solución de Balso al jugo sin clarificar.....	55
Figura 31. Separación de la capa de cachaza.....	56
Figura 32. Adición de cal para subir el pH.....	57
Figura 33. Evaporación de los jugos.....	57
Figura 34. Concentración.....	58
Figura 35. Punteo de la panela utilizando termómetro digital.....	59
Figura 36. Batido.....	62
Figura 37. Cuarto de Batido y Moldeo.....	63
Figura 38. Empaque.....	65
Figura 39. Digestor soterrado.....	97
Figura 40. Motocompresor.....	98
Figura 41. Columna de Absorción de H ₂ S.....	98
Figura 42. Dispositivo de almacenamiento.....	99

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Porcentajes de panela obtenidos de acuerdo con el tamaño de grano... 66
Tabla 2. Cantidades de nutrientes utilizados en la fermentación. 71
Tabla 3. Composición química del bagazo..... 78
Tabla 4. Composición elemental de las vinazas de 55% y de 10% de sólidos totales..... 89
Tabla 5. Composición del melote de caña (% base fresca). 94
Tabla 6. Composición básica del biogás. 95
Tabla 7. Composición aproximada de los lodos. 96

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO A. Pasos para establecer índice de madurez con refractómetro.

ANEXO B. Ley 693 de 2001.

RESUMEN

TÍTULO: MODELADO DE PROCESOS PRODUCTIVOS DERIVADOS DE LA CAÑA PANELERA UTILIZANDO LA METODOLOGÍA IDEFØ*.

AUTORES: Juan Manuel Becaríá Morales, Jhon Jairo Tapias Acevedo**.

PALABRAS CLAVES: Caña Panelera, Panela, Etanol, Biogás, Idef0, Bagazo, Cachaza, Vinazas.

DESCRIPCIÓN:

Para facilitar la comprensión y el tratamiento de los procesos productivos procedentes de la caña panelera, se realizó un modelado con la metodología IDEFØ (Integration Definition for Function Modeling), implementado en el software Corel IGrafX IDEFØ 2006 (*versión de prueba*).

IDEFØ proporciona un marco de trabajo para definir como los procesos interactúan, identificando nuevas alternativas que contribuyen al mejoramiento del proceso global.

El eje principal del modelado es el proceso del cultivo de caña. El jugo extraído de la caña es la materia prima para la producción de panela y etanol. En el proceso de obtención de panela se generan residuos como bagazo, que puede ser utilizado para cogenerar, obtener papel y etanol; cachaza, que resulta adecuada para producir biogás. Por otra parte en el proceso de obtención de etanol se obtiene la vinaza como residuo de la etapa de destilación, con la cual se puede obtener fertilizante y biogás.

La realimentación de los procesos alternos incide en el aumento del autosostenimiento, en la reducción de costos, y en la reducción del impacto ambiental.

La ejecución de este trabajo permite vislumbrar las grandes oportunidades que presenta la caña panelera, las cuales se convierten en un enorme potencial de desarrollo a nivel intelectual, económico y social.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Ingeniería Electrónica. Director: Gilberto Carrillo Caicedo.

ABSTRACT

TITLE: MODELING OF PRODUCTIVE PROCESSES DERIVED FROM CANE OF PANELA USING IDEFØ METHODOLOGY*.

AUTHORS: Juan Manuel Becaríá Morales, Jhon Jairo Tapias Acevedo**.

KEYWORDS: Cane of panela, ethanol, biogas, ideo, bagasse, cachaza, vinasse.

DESCRIPTION:

A modeling with IDEFØ (Integration Definition for Function Modeling) methodology was developed in order to facilitate both the comprehension and treatment of productive processes derived from cane of panela. It was also implemented in Corel IGrax IDEFØ 2006 Software (*Demo*).

IDEFØ provides the parameters to define how the processes interact, identifying new alternatives, which contribute to the global process improvement.

The modeling principal basis is the cane of panela plantation. The juice extracted from cane of panela is the raw material for the production of panela and ethanol. During the process obtaining it, some residues such as bagasse are produced, which to used to cogenerate, to obtain paper and ethanol; cachaza, which is used to produce biogas. On the other side, during the process of obtaining ethanol, vinasse, which results from distillation stage is obtained and used to get fertilizer and biogas.

The feedback of alternating processes fall into the increasing of self-supporting, expenses reduction and in the environmental impact reduction.

Great opportunities for cane of panela are possible to the glimpsed by carrying out this work, which becomes and enormous potential for the intellectual, economic and social development.

* Grade Work

** College of Engineering's Physique Mechanics. Electronic Engineering. Director: Gilberto Carrillo Caicedo.

INTRODUCCIÓN

La caña panelera se cultiva en casi todos los departamentos del país, siendo las cuatro mayores regiones productoras, según el documento de trabajo No. 103 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural del 2006, La Hoya del Río Suárez, Cundinamarca, Antioquia y Nariño, que aportan el 70% de la producción nacional equivalente a 1.696.186,4 Tm. El departamento de Santander contribuye con 358.100,3 Tm, que corresponde al 21,1% del total nacional.

La producción de panela es una actividad agropecuaria, donde Colombia es el primer productor en América y el segundo a nivel mundial, después de la India. Además, en el 2004 el país fue considerado el mayor consumidor per cápita en el mundo con 37,30 kg. /Hab.

El propósito de este trabajo es aplicar la metodología IDEFØ a los procesos productivos más relevantes derivados de la caña panelera y a los alternos de aprovechamiento de residuos que generan valor agregado en beneficios económicos y ambientales.

Inicialmente se explica la metodología IDEFØ, técnica ampliamente usada en la industria durante la etapa de análisis en la reingeniería de procesos. Esta permite identificar apropiadamente los procesos y sus interfases, elaborar los documentos que proporcionen su control en cualquiera de sus etapas de desarrollo y analizar sistemáticamente la organización (centrándose en las tareas que se realizan de forma regular), las políticas de control (que se utilizan para asegurar que estas tareas se realicen de forma correcta), los recursos (tanto humanos como materiales), y las materias primas sobre las que la actividad le agrega valor. Al estar basada en un estándar con especificaciones precisas y rigurosas, tiene una

amplia aplicabilidad como medio para comunicar reglas y procesos, obtener una vista estratégica de estos y facilitar el análisis identificando puntos de mejora.

En general el trabajo ofrece una visión global de los procesos involucrados con la caña panelera, y sus relaciones directas entre los mismos. En el segundo capítulo se presenta el cultivo de la caña, proceso primario para el modelado, posteriormente en el tercer y cuarto capítulo, el proceso de producción de panela y etanol proveniente directamente del jugo de caña, y por último, en el quinto capítulo, se encuentran los procesos para el aprovechamiento de residuos provenientes de dicha producción. En lo referente al bagazo se especifican los productos como papel, electricidad y etanol, y en el caso de la cachaza y vinaza, biogás y fertilizante.

Finalmente, en el sexto capítulo, se describe el modelado de los procesos mencionados utilizando la metodología IDEFØ.

El modelado realizado con la metodología IDEFØ, ha proporcionado un conocimiento esencial del funcionamiento de cada proceso, permitiendo identificar cuando, por ejemplo, la salida de una determinada etapa resulta apropiada para la ejecución de otro proceso. Un caso claro se da en la producción de panela y etanol, donde, luego de las etapas de extracción y limpieza, el jugo limpio obtenido es necesario en la elaboración de ambos. Otro caso, es el referente al aprovechamiento de residuos, tanto a gran escala, el bagazo y la vinaza, como en menores proporciones, cachaza, lodos, torta de fermentación y otros, que al observarse en el modelado, estimulan su utilización.

1 METODOLOGÍA IDEFØ

La metodología IDEFØ (Integration Definition for Function Modeling) nace en la década de los sesenta como consecuencia de la investigación de las Fuerzas Aéreas Norteamericanas para mejorar su productividad. Está basada en SADT (*Structured Analysis and Design Technique*) y se usa para la documentación, el análisis y la mejora de todo tipo de procesos. Es útil para representar las funciones que componen un proceso de fabricación y relacionarlas entre sí de forma estructurada y jerarquizada, sin especificar la duración temporal.

1.1 CONCEPTO DE MODELO

Un modelo es una representación de un conjunto de componentes de un sistema. El modelo se desarrolla para entender, analizar, mejorar o reemplazar un sistema. Los sistemas se conforman mediante la interconexión de piezas interdependientes que trabajan juntas para realizar una función útil. El modelo describe lo que hace un sistema, qué controla, en qué trabaja, qué medios utiliza para realizar sus funciones, y qué produce.

Un modelo IDEFØ se compone de una serie jerárquica de diagramas que exhiben gradualmente niveles diferentes de detalle, la descripción de funciones y sus interfases dentro del contexto de un sistema. Hay tres tipos de diagramas: gráfico, texto, y glosario. Los diagramas gráficos definen funciones y relaciones funcionales. Los diagramas de texto y de glosario proporcionan la información adicional para la ayuda de los diagramas gráficos.

1.2 SINTAXIS Y SEMÁNTICA

1.2.1 Sintaxis

La sintaxis describe como se relacionan los componentes estructurales y las características de un lenguaje. Los componentes de la sintaxis de IDEFØ son cajas, flechas, reglas y diagramas. Las cajas representan funciones definidas como actividades, procesos o transformaciones. Las flechas representan datos u objetos que relacionan las funciones. Las reglas definen la forma como los componentes son usados, y los diagramas proveen un formato para representar modelos tanto verbalmente como gráficamente. El formato también provee las bases para manejar la configuración del modelo.

- **Cajas.** Proveen una descripción de lo que pasa en una función específica. Una caja típica es mostrada en la Figura 1. Cada caja tendrá un nombre y un número dentro de los límites de la caja. El nombre será un verbo o una frase verbal que describa la función. Cada caja en el diagrama contendrá un número en la esquina derecha inferior. Los números de la caja se utilizan para identificar la caja.

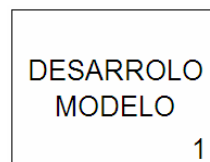


Figura 1. Sintaxis de una caja.

- **Flechas.** Se componen de uno o más segmentos de línea, con una punta de flecha terminada en un extremo. Como se muestra en la Figura 2, los segmentos de flecha pueden ser rectos o curvos (con un ángulo de 90° conectando piezas horizontales y verticales), y pueden tener ramificaciones. Una flecha no representa el flujo o la secuencia como en un diagrama de flujo de un proceso tradicional. Las flechas transportan los datos o los objetos relacionados con las funciones que se realizarán.

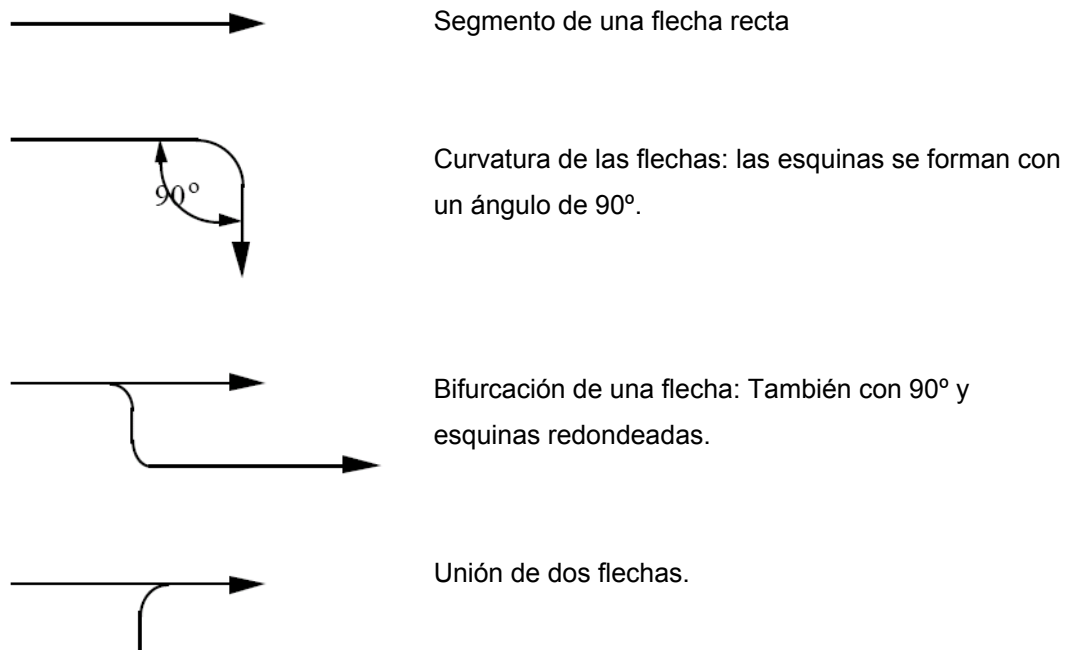


Figura 2. Sintaxis de las flechas.

- **Reglas de Sintaxis**

Cajas: Deben ser lo suficientemente grandes para incluir el nombre, ser rectangulares y de esquinas cuadradas, y estar dibujadas con líneas sólidas.

Flechas: Solo podrán curvarse usando ángulos de 90 grados; se dibujaran en segmentos de línea llena, verticalmente u horizontalmente, no diagonalmente; tocarán el externo de la caja y no se cruzarán en la caja; se unirán a la caja en sus lados, no en las esquinas.

1.2.2 Semántica

La semántica se refiere al significado de los componentes sintácticos de un lenguaje.

- **Semántica de las cajas y las flechas.** Ya que IDEF0 da soporte a las funciones de modelado, el nombre de la caja debe ser un verbo, o una frase

verbal, como "Realizar Inspección", para describir la función que representa. Por ejemplo, la función "Realizar Inspección" transforma las partes que no se han inspeccionado en partes inspeccionadas. El paso definitivo después de la fase de nombramiento de la caja, es la incorporación de las flechas (concordando la orientación de los lados de la caja) que complementa y completa el poder expresivo de la caja IDEFØ.

Debe usarse una terminología estándar para poder asegurar una comunicación precisa. Los significados de las cajas son "nombres-descriptivos" usando verbos o frases verbales, estos están separados y agrupados en un diagrama de descomposición. Los significados de las flechas están agrupados y separados en diagramas, y los segmentos de las flechas etiquetados con nombres o frases nominales para expresar sus significados. Las etiquetas de los segmentos de flecha son preceptivas, las cuales restringen el significado de su segmento para ser aplicado exclusivamente a los datos particulares u objetos que el segmento de flecha representa gráficamente. Los significados de las flechas son expresados posteriormente por medio de sintaxis de bifurcación y ensamble.

Cada lado de la caja función tiene un significado estándar en términos de la relación caja/flecha. El lado de la caja con el cual interfiere una flecha, refleja el papel que ésta desempeña. Las flechas que entran por el lado izquierdo de la caja son las entradas. Las entradas son transformadas o consumidas por la función para producir las salidas (resultados). Las flechas que entran en la caja por la parte superior son los controles. Los controles especifican las condiciones requeridas por la función, para producir las salidas correctas (resultados). Las flechas que salen de la caja por la parte derecha son las salidas (resultados). Las salidas son datos u objetos producidos al ejecutar la función.

Las flechas conectadas a la parte inferior de la caja representan los mecanismos. Las flechas que indican hacia arriba identifican algunos de los recursos que dan soporte a la ejecución de las funciones. Otros recursos pueden ser heredados de la caja “padre”. Las flechas de mecanismos que apuntan hacia abajo son llamadas Flechas de Llamada. Las flechas de llamada permiten compartir los detalles en común entre modelos (ligarlos juntos) o entre las partes de un mismo modelo.

Las posiciones estándar de las flechas se muestran en la Figura 3.

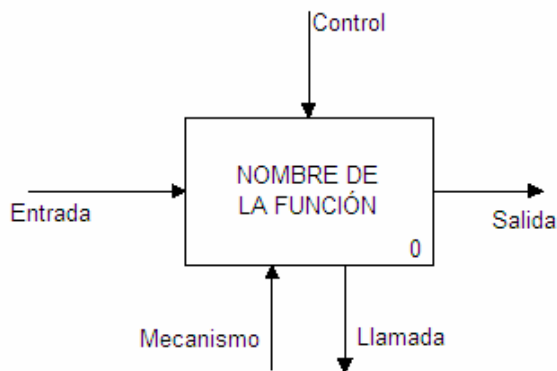


Figura 3. Roles y posiciones de las flechas.

- **Etiquetas y Nombres.** El nombre de la caja será un verbo o una frase verbal descriptiva de la función que representa. Los nombres pueden ser expresiones tales como:

- | | |
|-------------------|---------------------------------|
| - Extracción Jugo | - Construcción Sistema de Riego |
| - Concentración | - Separación Cromatográfica |
| - Destilación | - Tratamiento Anaerobio |

Las etiquetas de las flechas tendrán significado según el lado de la caja en que se encuentren. Cada flecha será etiquetada con un sustantivo o una oración nominal. Las etiquetas pueden utilizar expresiones tales como:

- Jugo Limpio
- Miel
- Leyes
- Cultivo Descepado
- Plano Topográfico
- Molino

Un ejemplo de las etiquetas de las flechas y los nombres de las cajas se muestra en la Figura 4.

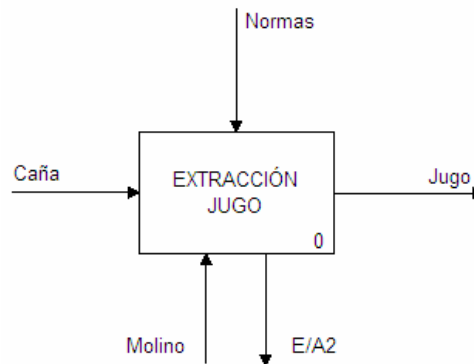


Figura 4. Semántica de las Etiquetas y Nombres.

▪ **Reglas de la semántica de cajas y fechas**

- a) Una caja será nombrada con un verbo activo o una frase verbal.
- b) Cada lado de una caja función tendrá una relación estándar caja/flecha:
 - Las flechas de entrada interactuarán con el lado derecho de la caja.
 - Las flechas de control interactuarán con el lado superior de la caja.
 - Las flechas de mecanismo (excepto flechas llamada) apuntarán hacia arriba y se conectarán al lado inferior de la caja.
 - Las flechas “llamada” apuntarán hacia abajo y se conectarán al lado inferior de la caja, deben etiquetarse con la expresión que se refiera a la caja que se llama.
- c) Los segmentos de flecha, excepto para flechas llamada, deberán etiquetarse con un nombre o frase nominal a menos que la etiqueta de una flecha se emplee claramente de manera general.

d) Un “garabato” (↪) debe ser usado para enlazar una flecha con su etiqueta asociada, a menos que la relación flecha/etiqueta sea obvia.

e) Las etiquetas de las flechas no serán cualquiera de los siguientes términos: función, entrada, control, salida o llamada.

1.3 DIAGRAMAS IDEFØ

1.3.1 Tipos de Diagramas

Los modelos IDEFØ se componen de tres tipos de información: diagramas gráficos, texto, y glosario. Estos tipos de diagrama hacen referencia entre ellos. El diagrama gráfico es el componente principal de un modelo IDEFØ, conteniendo las cajas, las flechas, las interconexiones de caja/flecha y las relaciones asociadas. Estas funciones se analizan o se descomponen en diagramas más detallados, hasta que el tema se describa al nivel necesario para apoyar las metas de un proyecto particular. El diagrama de nivel superior en el modelo proporciona la descripción más general o más abstracta del tema representado por el modelo. Este diagrama es seguido por una serie de diagramas “hijo” que proporcionan más detalle sobre el tema.

Hay que dejar claro que el sistema IDEFØ es un sistema jerárquico en el que se avanza desde un diagrama general y, de forma descendente, a sucesivos diagramas donde se especifica con más detalle la función a realizar.

- **Diagrama de nivel superior.** Cada modelo tendrá un diagrama de contexto de nivel superior, en el cual el tema del modelo se represente por una sola caja con sus flechas. Este se denomina diagrama A-0 (pronunciado A menos cero). Puesto que una sola caja representa el tema entero, el nombre descriptivo escrito en la caja es general. El diagrama A-0 también fija el alcance o el límite y la orientación del modelo. Un ejemplo del diagrama A-0 está mostrado en la Figura 5.

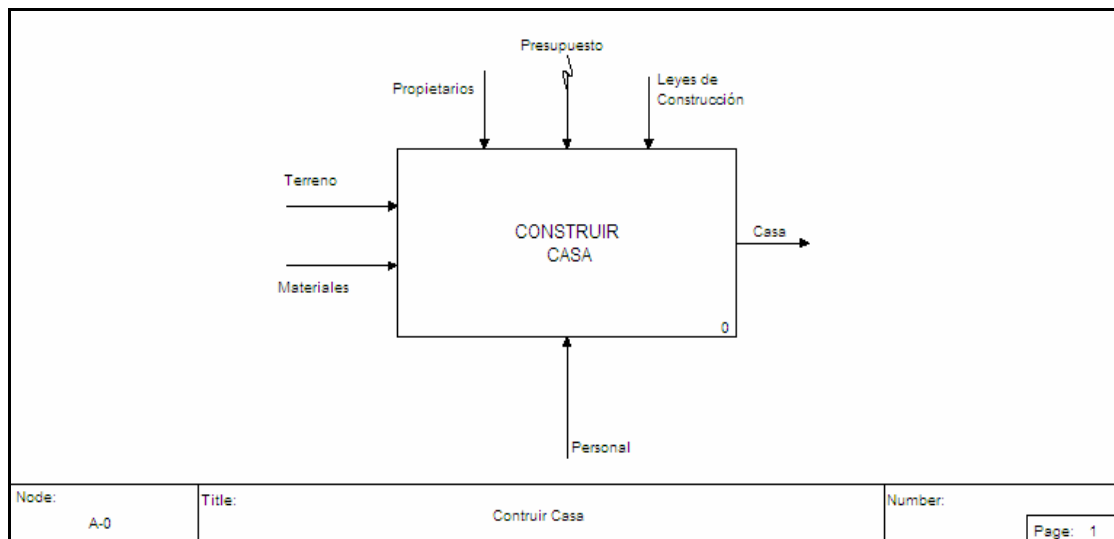


Figura 5. Ejemplo de un diagrama de nivel superior.

- **Diagrama hijo.** Una función representada en un diagrama de contexto de nivel superior se puede descomponer en subfunciones creando un diagrama “hijo”. Alternadamente, cada una de estas subfunciones se puede descomponer en otros diagramas de nivel inferior. Cada diagrama “hijo” contiene las flechas y las cajas “hijo” que proveen detalles adicionales de la caja “padre”. Así, un diagrama “hijo” se puede pensar como el “interior” de la caja anterior. Esta estructura está ilustrada en la Figura 6.

- **Diagrama padre.** Es un diagrama que contiene una o más cajas. Un diagrama “padre” puede ser “hijo” a su vez de otro diagrama. También un diagrama “hijo” puede ser “padre” de otros diagramas. La primera relación jerárquica es entre una caja “padre” y el diagrama “hijo” que la detalla.

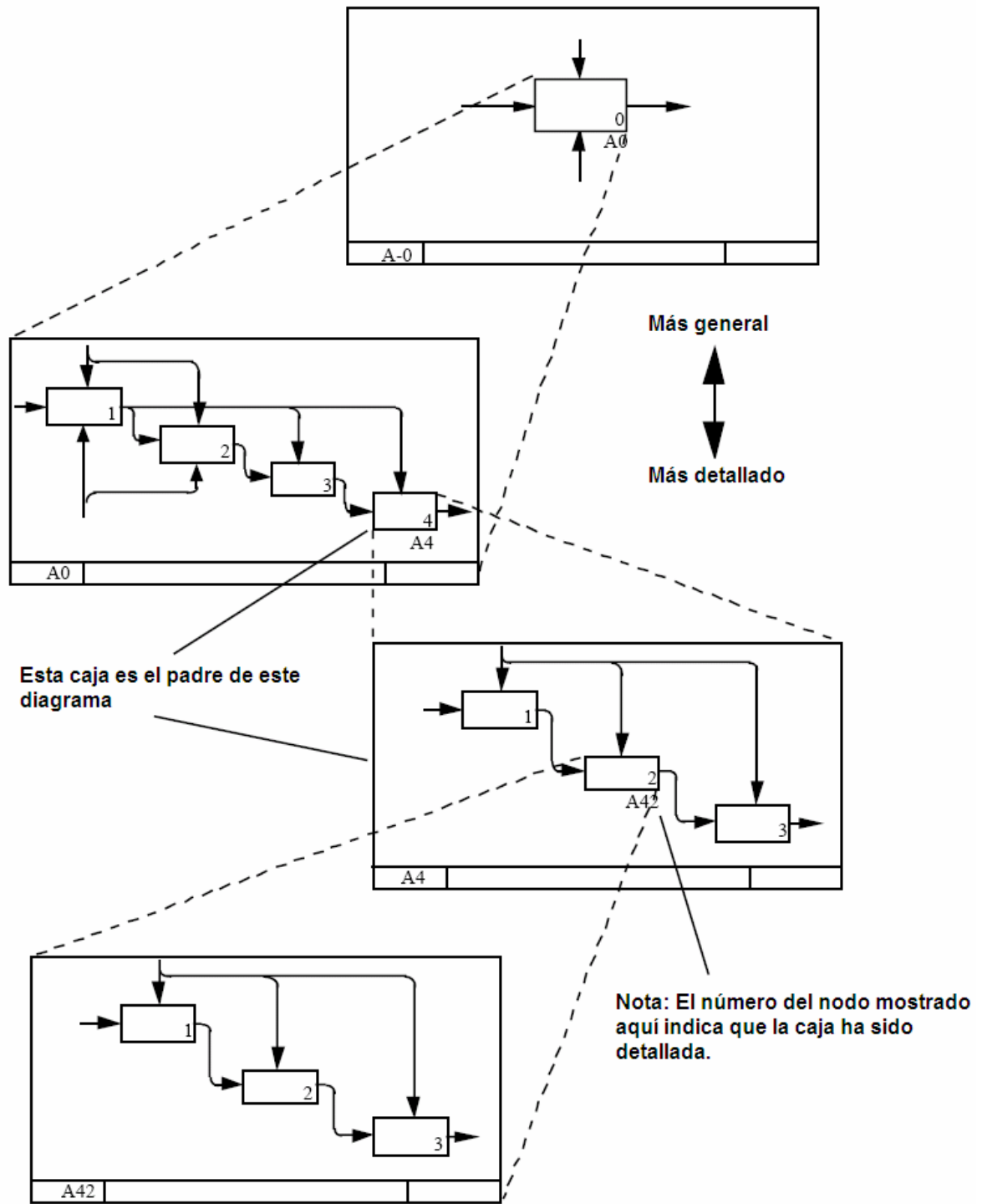


Figura 6. Estructura de descomposición.

El hecho que una caja “hijo” esté detallada, y sea por consiguiente una caja “padre”, es indicada por la presencia de una expresión de referencia de detalle (DRE/ Detail Reference Expression). El DRE es un código corto escrito debajo de la esquina derecha inferior de la caja.

El DRE tomará las formas siguientes:

- Un número de creación cronológico llamado un "C-número" que identificará únicamente una versión particular de un diagrama del “hijo”.
- La página del diagrama “hijo” en el cual el modelo aparece.
- El número del nodo al que se refiere el diagrama “hijo”. Si hay múltiples versiones de un diagrama “hijo”, una versión particular no puede ser especificada.
- Un número nota de un modelo cuyo texto especifica las condiciones de una versión “hijo” particular.

La Figura 7 ilustra el uso de los números de nodo como DREs. La presencia de DREs debajo de las cajas 1, 2 y 3 indica que se han detallado en los diagramas “hijo” correspondientes.

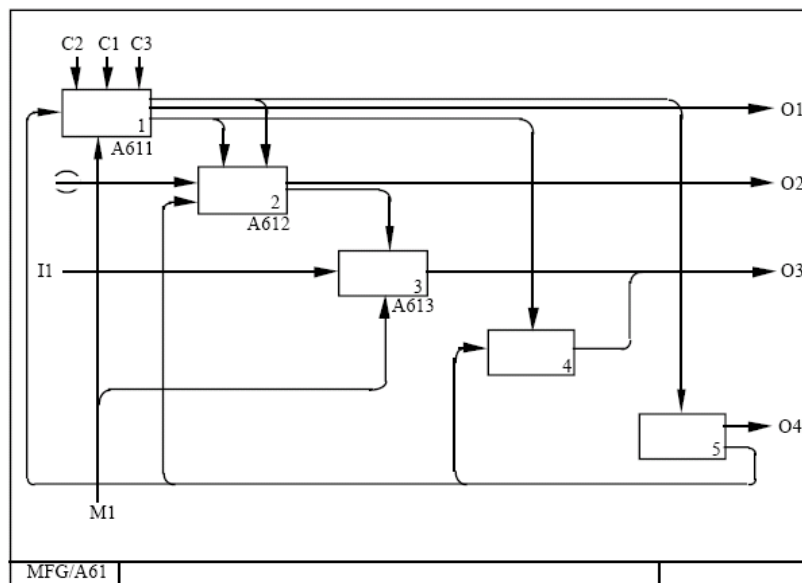


Figura 7. Uso del DRE.

- **Texto y Glosario.** Un diagrama puede tener asociada una estructura de texto, para proveer una visión general concisa del diagrama. El texto se utilizará para destacar características, flujos y conexiones entre las cajas, y para clarificar los objetivos de los ítems y los patrones considerados significativos. El texto no será utilizado simplemente para describir el significado de cajas y flechas.

El glosario será utilizado para definir siglas, palabras claves y frases que se han utilizado conjuntamente con gráficos del diagrama. El glosario define palabras en el modelo que deben transmitir un entendimiento común para interpretar correctamente el contenido del modelo.

- **Diagramas FEO.** Los diagramas que se usan para presentación se denominan FEO (For Exposition Only) y serán utilizados donde se requiera un nivel adicional de conocimiento para entender adecuadamente áreas específicas de un modelo. Un diagrama FEO no necesita obedecer las reglas de sintaxis de IDEFØ.

1.3.2 Características de los diagramas

- **Flechas con restricción.** Las flechas en un diagrama IDEFØ representan datos u objetos con restricción. Solamente en los niveles bajos de detalle las flechas pueden representar un flujo o una secuencia, cuando el tema modelado es suficientemente detallado para tratar cambios específicos en datos u objetos. Conectando la salida de una caja a la entrada, control, o mecanismo de otra caja, muestra que la función modelada requiere estas flechas y está restringida por la correspondiente salida de la caja. Este tipo de restricción se muestra en la Figura 8. Las flechas conectadas a una caja representan todos los datos u objetos para que la función se ejecute completamente.

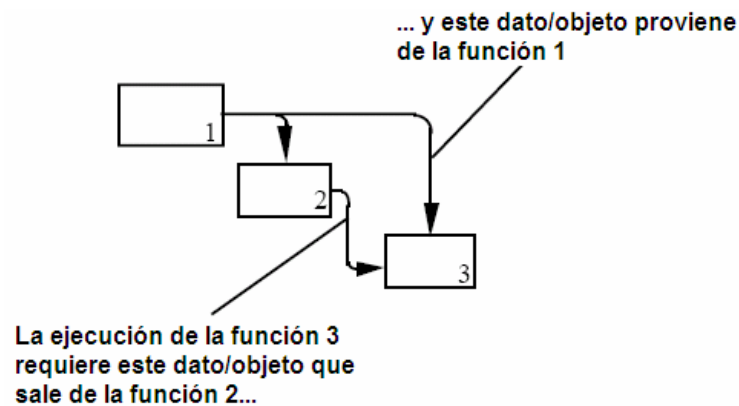


Figura 8. Significado de restricción.

- **Activaciones de una caja.** Una caja puede ejecutar varias partes de su función bajo diferentes circunstancias, usando diferentes combinaciones de sus entradas y controles y produciendo diferentes salidas. Estas diferentes ejecuciones son llamadas las activaciones de la caja.
- **Operaciones concurrentes.** Varias funciones en un modelo pueden ser ejecutadas concurrentemente, si la restricción necesaria ha sido cumplida. Como se ilustra en la Figura 9, una salida de una caja puede proveer algunos o todos los datos y objetos necesarios para las activaciones de una o mas cajas. Cuando una salida de una caja entrega algunas o todas las entradas, controles o mecanismos necesarios para otra caja, la activación de esta caja puede depender de la ejecución secuencial. Sin embargo, activaciones diferentes de la misma caja(s), con requerimientos posiblemente diferentes, pueden operar concurrentemente.

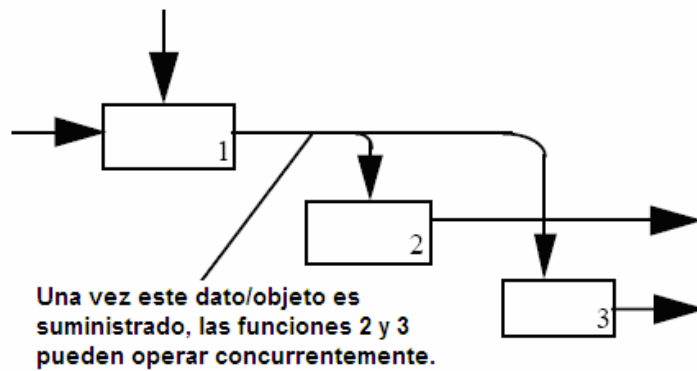
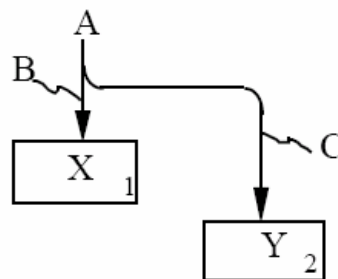


Figura 9. Operación Concurrente.

- **Flechas como tuberías.** Es práctico pensar en las flechas de alto nivel como tuberías o conductos. Las flechas de alto nivel tienen etiquetas generales, mientras que las flechas de nivel bajo tienen etiquetas más específicas. Si una flecha se divide formando dos o más segmentos de flecha, cada uno de estos puede tener una etiqueta específica, como se muestra en la figura 10.



La tubería A se divide en B y C para suministrar los controles a X y Y.

Figura 10. Flecha tubería con bifurcación.

- **Bifurcación de flechas.** Una flecha puede bifurcarse indicando que la misma clase de dato u objeto puede ser necesaria para más de una función. Las ramas pueden representar la misma cosa o porciones de la misma. Puesto que las etiquetas especifican lo que las flechas representan, las etiquetas en los segmentos de flechas ramificados suministran un detalle del contenido de la flecha.

Todo el contenido es proporcionado a través de todas las ramas a menos que se indique lo contrario por medio de una etiqueta especial en cada segmento de la flecha. Estas convenciones son ilustradas en la Figura 11.

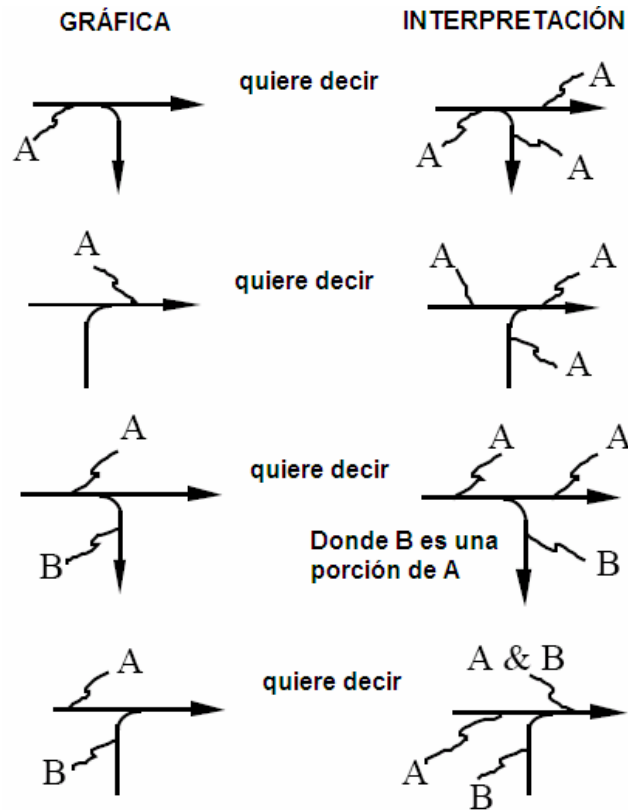


Figura 11. Bifurcación de flechas y unión de estructuras.

- **Interconexión de cajas.** A excepción del diagrama del contexto A-0, un diagrama gráfico contiene un mínimo de tres y un máximo de seis cajas. Las cajas se organizan normalmente en diagonal de la esquina izquierda superior a la derecha inferior, es decir, en una configuración de "escalera".

Cualquier flecha de salida puede proporcionar algunas o todas las entradas, controles o mecanismos de cualquier otra caja. Una flecha de salida puede proporcionar datos u objetos a varias cajas por medio del mecanismo bifurcado, como se muestra en la figura 12.

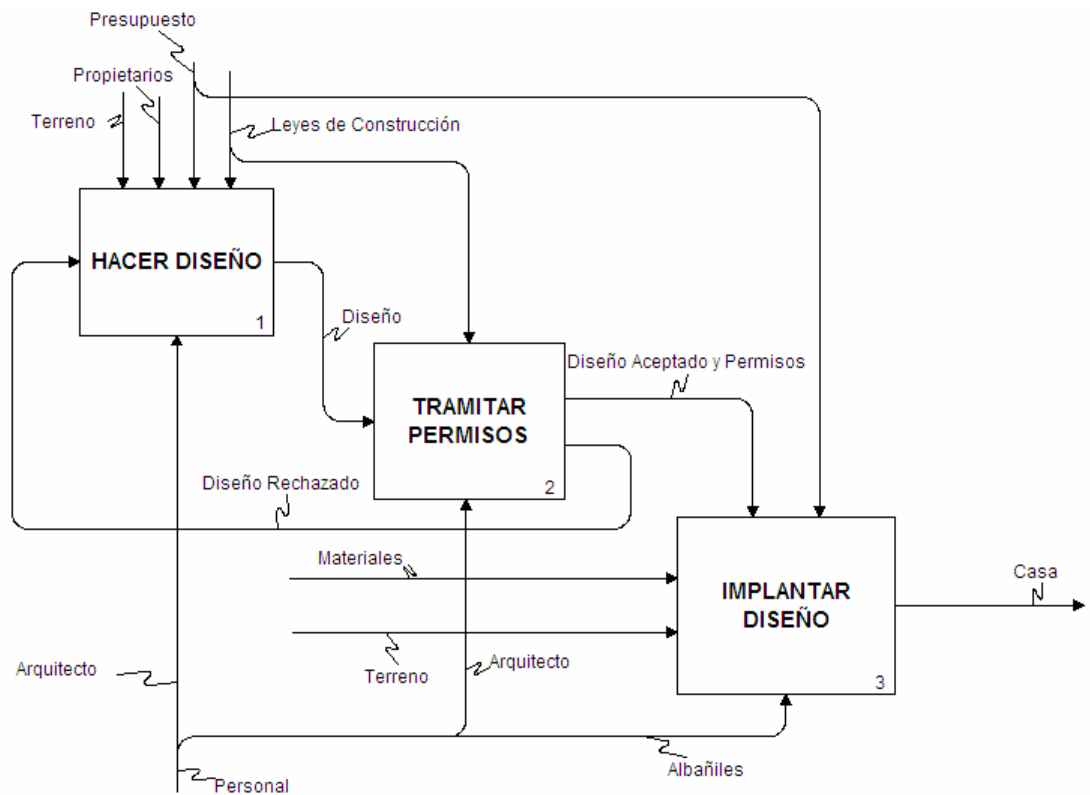


Figura 12. Conexiones entre cajas.

Si una caja en un diagrama es detallada por un diagrama "hijo", cada flecha conectada a la caja "padre" aparecerá en el diagrama "hijo", a menos que la flecha esté hecha "túnel" en la caja "padre".

En un diagrama los datos u objetos pueden ser representados por una flecha interna, con ambos bordes (fuente y fin) conectados a las cajas o por una flecha límite con sólo un extremo conectado (fuente o fin). Las flechas internas y las flecha límite son mostradas en la Figura 13.

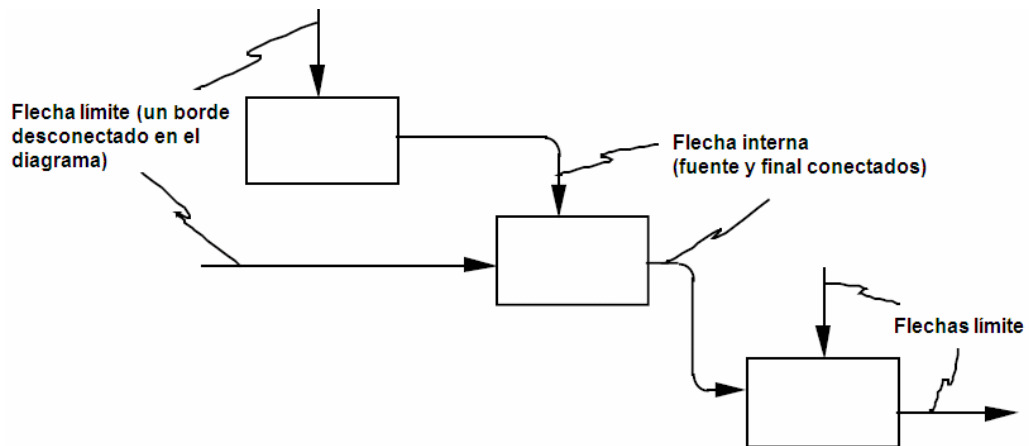


Figura 13. Flechas internas y límite.

- Flechas límite.** Las flecha límite en un diagrama ordinario (no de contexto) representan las entradas, controles o mecanismos de la caja del diagrama “padre”. La fuente o el fin de estas flechas límite pueden ser encontradas solamente examinando el diagrama “padre”. Todas las flechas límite en un diagrama “hijo” (excepto para flechas “túnel”) corresponderán a las flechas que están contenidas en el diagrama “padre”, como se muestra en la Figura 14.

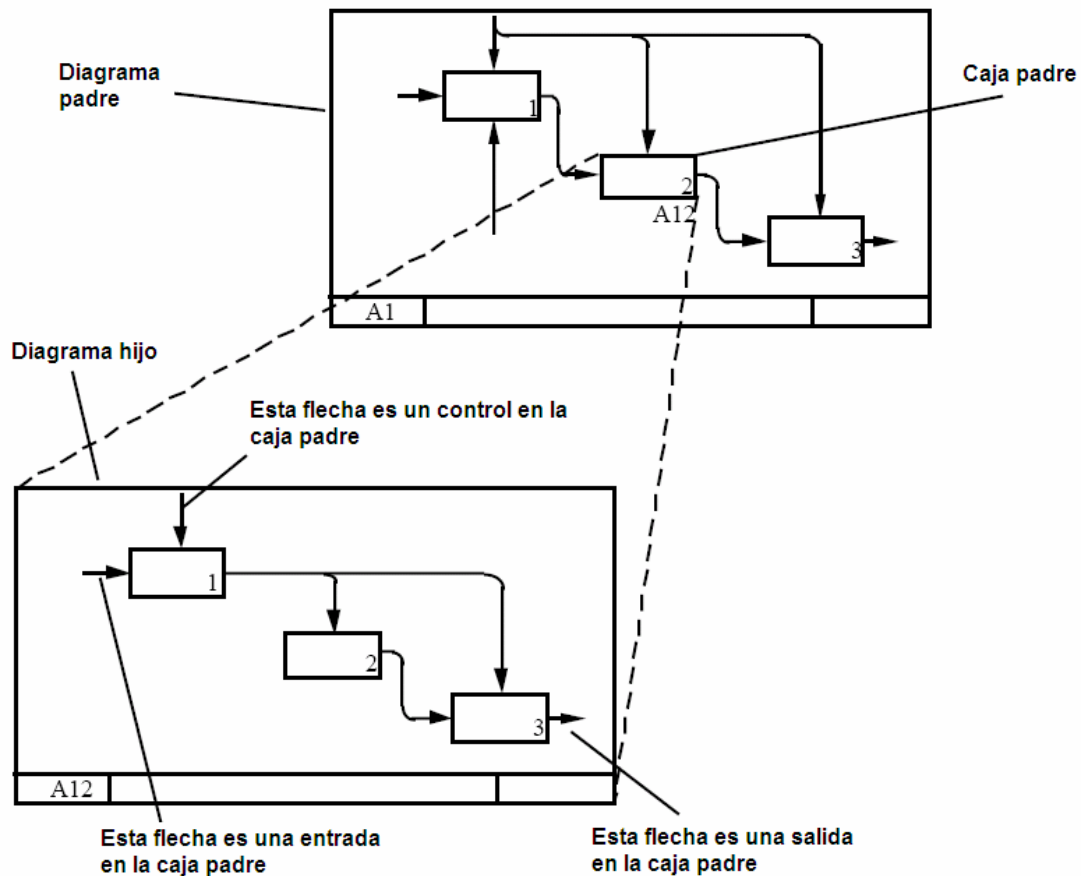


Figura 14. Correspondencia de la flechas límite.

- Codificación ICOM de las flechas límite.** Los códigos ICOM relacionan las flechas límite en un diagrama “hijo” con las flechas conectadas con su caja “padre”. Una notación específica, llamada código ICOM, especifica las conexiones que emparejan. La letra I, C, O ó M (Input, Control, Output, Mechanism) se escribe cerca del extremo no relacionado de cada flecha límite en el diagrama “hijo”. Esta codificación identifica la flecha como una entrada, un control, una salida o mecanismo en la caja “padre”. Esta letra es seguida por un número que da la posición relativa en la cual la flecha se muestra conectada con la caja “padre”, numerando de izquierda a derecha o de arriba hacia abajo. Por ejemplo, "C3" escrito en una flecha límite en un diagrama “hijo” indica que esta flecha corresponde a la tercera flecha de control (de la izquierda) que entra en su caja del “padre”.

Esta codificación relaciona cada diagrama “hijo” con su caja “padre” inmediata. Si las cajas en un diagrama “hijo” son detalladas en subsecuentes diagramas “hijo”, nuevos códigos ICOM se asignan en cada nuevo diagrama “hijo”, relacionando las flechas límite del diagrama con las flechas en su caja “padre”. La figura 15 muestra un ejemplo del uso de los códigos ICOM.

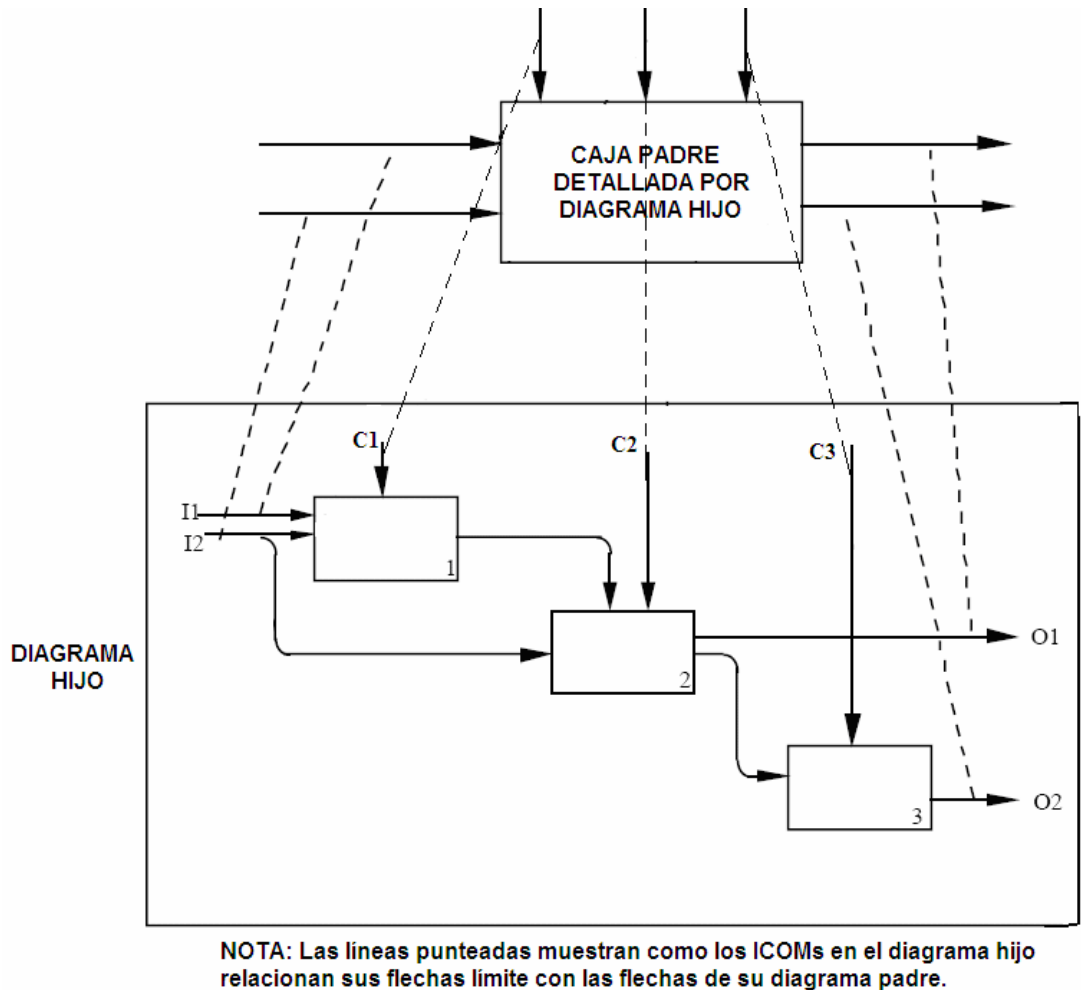


Figura 15. Códigos ICOMs.

- **Flechas túnel.** Las flechas “túnel” se utilizan para proporcionar información a un nivel específico de descomposición que no se requiera para entender otros niveles. Una flecha puede ser “túnel” en cualquier nivel elegido.

Usando la notación de paréntesis ilustrada en la Figura 16, una flecha “túnel” conectada a un lado de la caja significa que los datos o los objetos expresados por dicha flecha no son necesarios para entender el nivel siguiente de la descomposición, y no será mostrada así en su diagrama “hijo”. Sin embargo, debido a que esta flecha corresponde a una flecha en sus diagrama “padre”, esta flecha tiene un código ICOM. Una flecha “tuneliada” en su conexión final se puede omitir de unos o más niveles de descomposición y entonces reaparecer en otro nivel, en uno o más lugares, “tuneliando” el final desconectado.

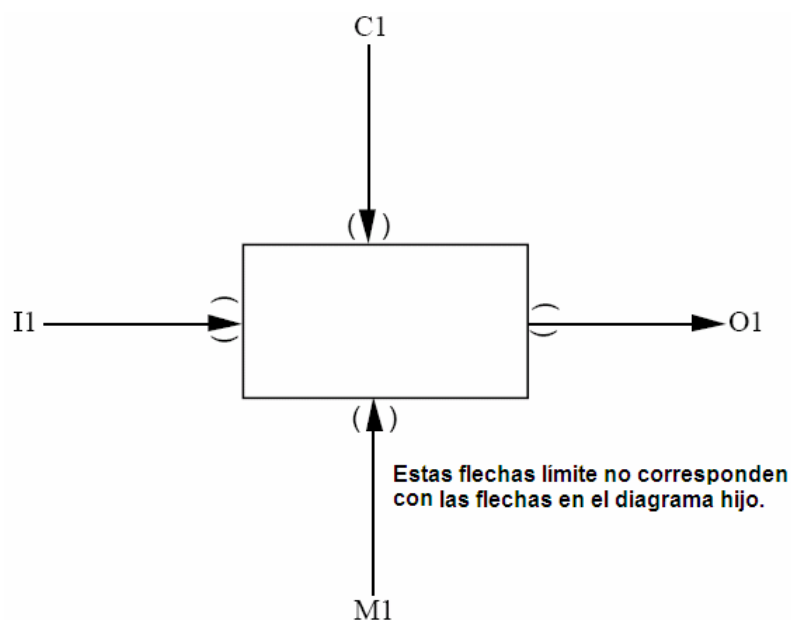


Figura 16. Flechas “tuneliadas” en el final conectado.

Ponerle “túnel” a una flecha en el final desconectado quiere decir que los datos u objetos no son necesarios en el siguiente nivel superior (padre) y por lo tanto no será mostrada la conexión en la caja “padre”. Esto se muestra en la figura 17. Debido a que estas flechas no corresponden a ninguna en el diagrama “padre”, estas no tienen código ICOM. La flecha puede tener una nota adherida al modelo conteniendo el nodo de referencia y el código ICOM que localiza el

“otro fin” del “túnel”. El código ICOM para la flecha se resume para cualquier diagrama “hijo” subsecuente.

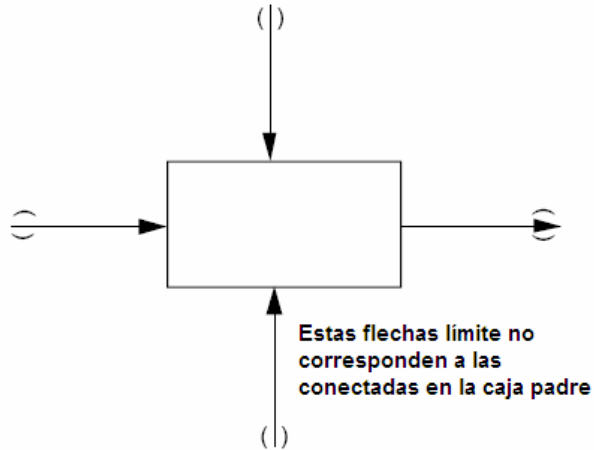


Figura 17. Flechas “tuneladas” en el final desconectado.

La Figura 18 muestra un ejemplo de las flechas “tuneladas” en el diagrama “padre” y en el diagrama “hijo”.

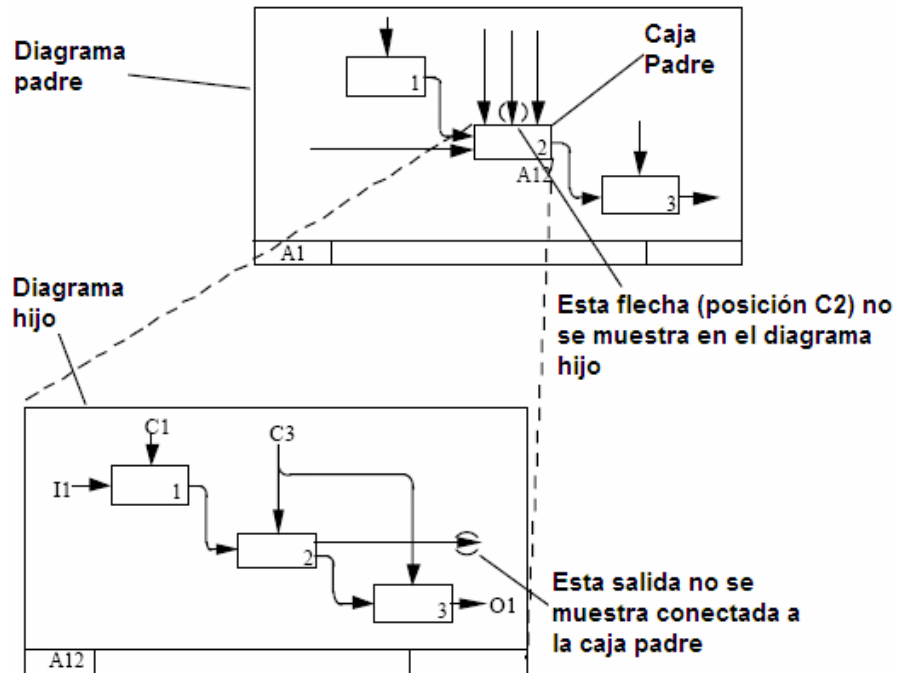


Figura 18. Ejemplo de flechas “tuneladas”.

- **Flechas llamada.** Una flecha “llamada” es un caso especial de flecha de mecanismo. Esto significa que la caja llamadora no tiene su propio diagrama “hijo” que la detalle, pero en cambio es detallada completamente por otra caja (y sus descendientes) en el mismo o en otro modelo. Múltiples cajas llamadoras pueden llamar a la misma caja.

Las flechas “llamada” deben etiquetarse con nodo de referencia del diagrama que contiene a la caja llamada, junto con el número de la caja llamada. Una caja llamadora puede llamar solamente una caja en una activación dada. Sin embargo, dependiendo de las condiciones especificadas en la nota adherida a la flecha “llamada” en un modelo, la caja llamadora puede seleccionar una de varias posibles cajas llamadas. En este caso, la etiqueta de la flecha llamada deberá incluir una lista de los nodos de referencia de todas las posibles cajas llamadas.

Las flechas de la caja llamada pueden no corresponder exactamente con las flechas de la caja llamadora, en el número o en el significado. En estos casos las notas adheridas a las flechas “llamada” en el modelo, especificarán la relación que hay para la correcta interpretación que pueden tener los datos y objetos compartidos.

1.3.3 Reglas de sintaxis de los diagramas

- Los diagramas contexto tendrán números nodo A-n, donde n es mayor o igual a cero.
- El modelo contendrá un diagrama contexto A-0, el cual contiene solamente una caja.
- El número de la caja en el diagrama contexto A-0 será 0.
- El diagrama no contexto A tendrá al menos tres cajas y no más de seis.
- Cada caja en un diagrama no contexto será numerada en su esquina derecha inferior, en orden (de izquierda a derecha) de uno a máximo seis.

- Cada caja que ha sido detallada tendrá una expresión de detalle de referencia (DRE, por ejemplo número de nodo, número C o número de la página) de su diagrama “hijo” escrito debajo de la caja en la esquina inferior derecha.
- Las flechas tendrán que ser dibujadas en segmentos de línea recta horizontales y verticales. Las líneas diagonales no podrán ser usadas.
- Cada caja tendrá al menos una flecha de control y una flecha de salida.
- Una caja podrá no tener flechas de entrada.
- Una caja podrá no tener flechas “llamada”.
- Una caja podrá no tener flechas de mecanismo.
- El control de realimentación será mostrado como “up and over”, como se muestra en la Figura 19.

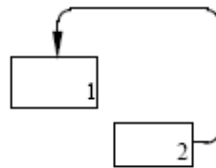


Figura 19. Control de realimentación.

- La entrada de realimentación será mostrada como “down and under”, como se muestra en la Figura 20.

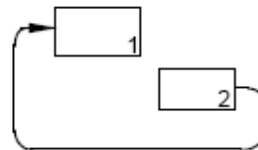


Figura 20. Entrada de realimentación.

- El mecanismo de realimentación será mostrado también como “down and under”, como se ilustra en la Figura 21.

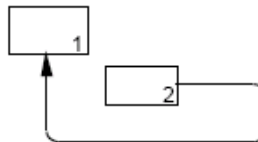


Figura 21. Mecanismo de realimentación.

- El final desconectado de una flecha límite tendrá su propio código ICOM especificando la conexión a su caja “padre”, o será “tuneliada”.
- Las flechas límite abiertas al final que representan los mismos datos u objetos, serán conectadas a través de una bifurcación para mostrar todos los lugares afectados, a menos que éste resulte en un diagrama ilegible. Las múltiples fuentes que representan los mismos datos u objetos serán unidas para formar una única flecha límite (ver Figura 22).

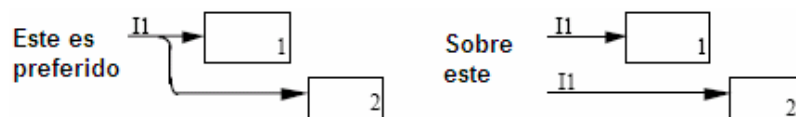


Figura 22. Unión de flechas con la misma fuente.

- Los nombres de las cajas y las etiquetas de las flechas no tendrán las siguientes palabras: función, actividad, proceso, entrada, salida, control o mecanismo.

2 PROCESO DEL CULTIVO DE LA CAÑA PANELERA

La caña es una planta correspondiente al género *Saccharum* de la familia de las gramíneas, propia de los climas tropicales y subtropicales. Es una especie originaria de Nueva Guinea, de allí pasó a Borneo, Sumatra y a la India. Las variedades de caña comercialmente más conocidas en Colombia son: POJ 2878, POJ 2714, PR 61632, MAYAGÜEZ 74275 y MEX 641487.

Un buen manejo del cultivo de la caña contribuye al incremento de la producción por unidad de área mediante el mejoramiento o incorporación de áreas marginadas para la producción.

El cultivo de una variedad determinada en las condiciones óptimas de adaptación no es suficiente para obtener altos rendimientos; son necesarias prácticas adecuadas como aquellas que se presentan a continuación.

2.1 AJUSTE

2.1.1 Adecuación

El término “adecuación” se refiere a los métodos tecnificados en áreas planas, en zonas tradicionales y en ladera. Aunque ésta es una práctica poco conocida en la producción de caña panelera, es importante resaltarla pues contribuye al incremento de la productividad, mediante el mejoramiento del sistema de producción del cultivo. La adecuación de la tierra comprende, principalmente labores de planificación de los lotes de caña, definición de sus dimensiones y construcción de acequias y caminos para movilizar la caña cortada¹. La

¹ MANRIQUE ESTUPIÑÁN, Roberto y INSUASTY BURBANO, Orlando. Aspectos Agronómicos del Cultivo de la Caña Panelera. En: MORA PADILLA, Christian José *et al.* Manual de Caña de Azúcar para la Producción de Panela. CORPOICA (Regional Siete) y SENA (Regional Santander), 2000.

adecuación incluye descepada, levantamiento topográfico, diseño de campo y nivelación.



Figura 23. Adecuación del terreno.

- **Descepada.** Consiste en eliminar los desechos de cultivos diferentes a la caña, o la destrucción de las cepas en caso de una renovación. Para esta labor se utilizan orugas de aplicación especial con una rastra de 10x36", o tractores Rome con una rastra de 20x36". Generalmente se necesitan dos pases, el primero en dirección de siembra y el segundo perpendicular al primero. A continuación se da un pase de rastrillo con tractores llantados e implementos que pueden variar desde un rastrillo 24x24" a un rastrillo 92x24" dependiendo del tipo de máquina que se tenga. El objetivo de la rastrillada es disminuir de tamaño los terrones para lograr una nivelación más perfecta².

- **Levantamiento Topográfico.** El levantamiento topográfico puede realizarse por medio de cualquier método estándar que produzca un mapa topográfico del área que se estudia. Los métodos mas utilizados son el nivel de precisión y rayos láser.

Una vez terminada la parte de campo, se procede a dibujar las curvas de nivel por interpolación visual aproximada y la distancia vertical entre las curvas

² ARANGO, Juan José y BELALCÁZAR, Rodrigo. Preparación y Nivelación de Tierras para Caña de Azúcar: Conferencia 7. En: CURSO SOBRE EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (1986: Cali). Memorias del Curso sobre el Cultivo de la Caña de Azúcar. Cali: Tecnicaña, 1986. p. 105-139.

puede seleccionarse de manera tal que se produzca una representación real de la configuración del terreno, sin comprometer la claridad del dibujo.

El plano topográfico debe incluir las vías internas de la finca, la localización de los cercos existentes y la posición de la fuente de agua³.

▪ **Diseño de Campo**⁴. El objetivo del diseño es el de satisfacer los requisitos de pendiente necesarios produciendo el mínimo movimiento de tierra y de manera tal que los cortes satisfagan los rellenos necesarios y el terreno quede perfectamente nivelado, buscando obtener una mayor eficiencia en el riego, un drenaje interno y superficial adecuado y además facilitar la realización de las labores de cultivo, de cosecha, de supervisión, etc.

Antes de elaborar el diseño, es conveniente dividir el campo en secciones de nivelación separada, cuando el terreno es muy grande y cuando la topografía es irregular, o cuando la clase de nivelación necesaria es diferente. Para proceder a hacer esto hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- Cambios de pendiente indicados por la proximidad o distanciamiento de las curvas. En estos casos la línea divisoria entre los lotes debe trazarse a lo largo de la zona en que ocurre el cambio de pendiente.
- Cambios en la dirección de la pendiente, lo que hará necesario cambiar la dirección de riego.
- Pendientes uniformes muy planas o inclinadas en extensiones grandes, donde será conveniente dividir el área de acuerdo con la máxima longitud de surco.
- Áreas con topografía muy irregular que hacen difícil establecer una separación adecuada para los campos de riego.

³ Ibid.

⁴ Ibid.

▪ **Nivelación**⁵. La principal finalidad que se persigue con la nivelación es la de facilitar la irrigación y los drenajes. Debe pensarse en hacer más fáciles las labores de cosecha, en particular, si trata de mecanizarse. Respecto a la nivelación del terreno hay dos tendencias principales: una procura la máxima explanación con el fin de obtener la uniformidad del relieve superficial. En esta forma los riegos y drenajes se disponen geométricamente, trazando los canales de riego en la parte superior, transversales a la pendiente, y los drenajes en dirección de la pendiente, con colectores inferiores. Este sistema es costoso y a menos que el suelo sea de estructura franca y suficientemente profundo, se corre el riesgo de destapar el subsuelo.

Más racional es la segunda tendencia que prácticamente aprovecha los accidentes del terreno. Para su aplicación, sobre el plano topográfico se diseñan los drenajes, siguiendo los bajos naturales, con la ayuda de las curvas de nivel. Sobre el terreno el trazado es de fácil delimitación, demarcando previamente surcos superficiales transversales a la pendiente cada 20 a 50 m y paralelos cuya separación varía de acuerdo con la pendiente del terreno.

Las explanaciones en esta forma, tratarán de nivelar el terreno, con movimientos menores de tierra circunscritos a los sectores comprendidos entre los drenajes, procurando conformar los sistemas de riego corrido, de manera continua, siempre en dirección de la pendiente. Para estas nivelaciones suelen emplearse diferentes equipos. Los más usuales son los tractores de oruga equipados con hoja topadora, traillas y niveladoras, que varían en potencia y capacidad. Regularmente la nivelación inicial o explanación general requiere el uso de la hoja topadora para emparejar el relieve, casi siempre muy accidentado al terminar la operación de limpieza (descepada).

Posteriormente, diseñada la plantación y de acuerdo con la topografía, es muy útil la trailla con la cual a la vez que se construyen los drenajes con taludes

⁵ AYALDE VARÓN, Guillermo; GÓMEZ PEÑA, Jaime Fernando; SÁNCHEZ EMERS, Orlando; BUENAVENTURA, Carlos Eduardo y RANGEL JIMÉNEZ, Hernando. Caña de Azúcar. Palmira, Colombia: ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 102 p.

desvanecidos, se transporta el material a los lugares que los requieren, bien para rellenar huecos aislados o para empatar los lomos que constituyen el curso de los riegos (en fin para eliminar prominencias). La trailla opera pues en una triple acción; recoge material de donde sobra, lo transporta al lugar que lo requiere y lo riega, extendiéndolo en una nivelación primaria.

Complementa esta labor bien sea el tractor de oruga o las niveladoras, de las cuales hay variados diseños, con diferentes formas, tamaños y capacidades. Se utilizan las de arrastre con control hidráulico y la niveladora de alce hidráulico de tres puntos.

Por lo general, en los últimos pasos de niveladora, conviene seguir el sentido de la pendiente, que corresponde a la misma dirección de la siembra.

2.1.2 Preparación

Dentro de la preparación de suelos se involucran actividades como la subsolada, arada, rastrillada y surcada que buscan proporcionar un ambiente apropiado para la óptima germinación de la semilla y el buen desarrollo del cultivo⁶.

- **Subsolada**⁷. Esta operación puede tener tres finalidades diferentes:
 - Remover el suelo y el subsuelo a profundidades variables, de acuerdo con las condiciones físicas y el espesor del suelo.
 - Lograr un buen drenaje interno.
 - Asegurar un buen almacenamiento de agua.

En esta labor se requieren generalmente subsoladores fuertes, con penetraciones hasta de 80 cm. En general, debe pasarse el subsolador dos veces en direcciones cruzadas y diagonal a la pendiente. En caso de no poder efectuarse en esta forma, el paso del subsolador por una vez debe seguir la dirección de la pendiente.

⁶ LOYO JOACHIN, Roberto. Métodos y Estrategias para el Perfeccionamiento de la Agroindustria Panelera. Guácimo, Costa Rica, 2002, 66 h. Trabajo de Grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad Earth.

⁷ AYALDE VARÓN *et al*, Op. cit., p.100.

Esta labor se logra mejor con tractores de oruga. El número de subsoladores acondicionados a la barra porta-herramientas dependerá de la potencia del tractor, de la compactación del terreno y de la profundidad que se persiga. La distancia entre cada paso fluctúa entre 1,00 y 1,50 m. La subsolada que se aplica para procurar un buen drenaje interno, se practica de diferentes maneras. Esencialmente es indispensable iniciarla en los taludes de los canales abiertos que sirven de colectores y seguirla, bien en dirección de la pendiente, o mejor en diagonal, partiendo de los canales de drenaje hacia los niveles superiores, tipo "espina de pescado". La subsolación para almacenamiento de agua, hay que dirigirla en sentido transversal a la pendiente. Tanto para drenajes internos, como para almacenamiento de agua, suelen emplearse aditamentos instalados al talón del subsolador ("topos"), lo cual facilita la apertura de galerías internas.

- **Arada.** Una vez aplicada la subsolación habrá de completarse con la arada. Existen para el efecto, implementos de vertedera y de discos. Para una buena preparación es preferible el de discos, con diámetro de 32" o por lo menos de 28". De acuerdo con la textura del suelo se harán una o dos aradas. Terrenos de tipo franco sólo necesitan una arada que con la previa subsolación permiten la penetración de los discos a suficiente profundidad. En caso de requerirse un doble paso del arado es indispensable después de la primera arada rastrillar una o dos veces el terreno para desterronar⁸.

- **Rastrillado.** Después de la arada profunda, la preparación es complementada con tantas rastrilladas como sean necesarias. Se utiliza para cortar, desterronar, voltear el suelo, destruir e incorporar al suelo residuos de cosecha, hasta pulir el suelo, es decir preparar la cama o suelo superficial para sembrar cualquier cultivo. Muy útiles son, para las primeras rastrilladas los implementos tipo rome o arados rastras y para las últimas los llamados

⁸ Ibid., p. 101.

rastrillos pulidores. Los rastrillos más utilizados son: Rastrillos de desviación y rastrillos tandem. Pueden ser de alce hidráulico de tres puntos, de auto-transporte (con llantas), o simplemente de tiro^{9 10}.

▪ **Surcado.** Consiste en hacer surcos o camas donde se coloca la semilla o material vegetativo de siembra. Esta labor requiere definir previamente la dirección, la profundidad y el espaciamiento entre los surcos. La calidad de la surcada depende, en gran parte, de la calidad de la preparación del suelo.

Diversos son los equipos empleados para surcar. Los más acostumbrados funcionan a base de tractores de oruga, dotados con equipos hidráulicos y barra porta-herramientas; según la potencia es factible operarlos, acondicionándolos uno a cuatro surcadores. A falta de oruga, puede recurrirse a tractores de rueda neumática, también equipados con hidráulico y barra porta-herramienta, con uno o dos surcadores, de acuerdo con la potencia.

Un recurso adicional a falta de sistemas hidráulicos que accionen barra porta-herramienta, es el de emplear surcadores de arrastre, de alce mecánico accionados con la barra de tiro del tractor.

La surcada, es preferible hacerla simultáneamente con la distribución de la semilla. Se acostumbra a operar en forma paralela los equipos de surcar y los de regar semilla. No obstante en plantaciones de menores recursos mecánicos, hay que aplicar la denominada surcada de presiembra; es decir, primero se surca por completo el lote a sembrar y posteriormente se distribuye la semilla, con el fin de evitar daños en los surcos, debido al tránsito del equipo, se pisan con el transporte dos surcos y se riega la semilla lateralmente para tres surcos. Luego se repasa con los surcadores los surcos pisados para reconstruirlos y la semilla regada en exceso en los surcos laterales, se pasa a los surcos reconstruidos.

⁹ Ibid., p. 102.

¹⁰ ARANGO *et al*, Op. cit., p.124.

Al ejecutar la surcada, la conservación de la distancia establecida puede lograrse de varias maneras: a) instalando "pautas", que marquen en el terreno la trayectoria de la surcada siguiente; b) jalando cada línea de surcadura, previa medición entre la línea surcada y la siguiente; c) aprovechando las huellas dejadas por los tractores en su recorrido¹¹.

2.1.3 Construcción del sistema de riego y drenaje¹²

El cultivo de caña requiere la aplicación de riego primario o suplementario durante las épocas de déficit de agua a fin de suplir las demandas de la planta. De esta forma, los métodos de riego se disponen como medio de aplicación del agua al suelo cuyos objetivos principales son la distribución uniforme, oportuna y eficiente. Los métodos ampliamente establecidos son el riego por surcos y el riego por aspersión.

- **Construcción del sistema de riego por surcos.** Los parámetros principales de diseño para la construcción de un Sistema de Riego por Surcos son:
 - *Tasa de Infiltración:* Determina hasta cierto punto la tasa a la cual puede aplicarse el agua al suelo. Se define como la velocidad a la que penetra el agua al perfil del suelo cuando la superficie está cubierta con una lámina de agua de poca profundidad.
 - *Pendiente:* El grado de pendiente y erodabilidad del suelo determinan la conveniencia del uso del riego por surcos, el cual puede aplicarse a pendientes del 1% o menos y hasta del 3% si el peligro de erosión no es una restricción. La pendiente del surco tiene una relación estrecha con la cantidad de agua que puede ser aplicada y conducida por el surco.

¹¹ AYALDE VARÓN *et al*, Op. cit., p.105.

¹² DAZA M, Oscar H. Métodos de Riego. Conferencia 15. En: CURSO SOBRE EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (1986: Cali). Memorias del Curso sobre el Cultivo de la Caña de Azúcar. Cali: Tecnicaña, 1986. p. 255-281.

- *Caudal*: Constituye un parámetro importante para la operación correcta del sistema, ya que se debe entregar al regador la cantidad de agua que está en condiciones de manejar eficientemente; dicho valor está en relación directa con las facilidades e infraestructura con que se disponga. Normalmente se recomienda la utilización de caudales entre 60-100 l/s-regador, cuando la disponibilidad de agua no es una restricción.

- *Espaciamiento entre surcos*: El espaciamiento entre surcos debe ser tal que el movimiento lateral del agua entre surcos adyacentes moje lo suficiente bien la zona de raíces antes de que se presenten pérdidas por percolación profunda. La práctica ha impuesto una separación o espaciamiento entre surcos de 1,50 m como resultado del proceso de mecanización.

- *Lámina de aplicación del agua*: Cualquiera que sea el método de riego a utilizar, debe tener la capacidad de aplicar eficientemente la lámina de agua requerida en el momento oportuno de riego. Esta es convencionalmente determinada por la capacidad de retención de humedad del suelo, la profundidad radicular del cultivo y el nivel permisible de reducción de humedad sin incurrir en reducciones altas de producción.

- *Longitud del surco*: La determinación de la longitud del surco más conveniente para un diseño eficiente depende del tipo de suelo, tasa de infiltración, lámina de aplicación de agua, pendiente del surco y caudal máximo no erosivo. Las longitudes de surco más usuales oscilan entre 125-150 m.

El sistema de riego por surcos está constituido principalmente por:

- *Acequias de riego*: Conducen y suministran el agua al grupo de surcos que se está regando simultáneamente. Es recomendable que el nivel de agua esté de 0,10 - 0,20 m por encima del nivel del piso con el fin de facilitar una mejor operación de los sifones. Igualmente, siempre que sea posible se deben disponer pendientes del orden del 0,001 a fin de reducir el número de obstrucciones o trinchos. Dichas acequias son normalmente construidas y conservadas con los zanjadores convencionales existentes en el mercado.

- *Trinchos o mantas de riego*: Las restricciones al flujo normal del agua en las acequias de riego se efectúa mediante la construcción o instalación de trinchos de guadua o mantas plásticas con manga. Se recomienda la utilización del segundo medio, toda vez que facilita un mejor manejo y regulación del agua para los sifones, disminuye los costos de conservación del trincho y previene la incidencia en problemas de erosión.

- *Sifones*: Como medio de aplicación de agua al surco, los sifones son quizás el medio más práctico, eficiente y económico para la operación del riego por surcos. Tradicionalmente se aplica el agua mediante reborda abierta, resultando en un control más difícil e ineficiente para la aplicación del agua al surco. La utilización de sifones contruidos con tubería PVC Ø 2"-3" resulta sencillo y económico, permitiendo una aplicación más uniforme del agua al surco, mejor manejo del agua y mayor rendimiento del regador, conduciendo finalmente a una mayor eficiencia de aplicación y uniformidad del riego. El número de surcos que una persona puede regar simultáneamente depende del caudal suministrado, de la carga disponible y del diámetro del sifón. Normalmente resulta adecuado el manejo de 20-30 sifones por regador.

▪ **Construcción del Sistema de Riego por Aspersión.** El riego por aspersión constituye una solución alterna donde la aplicación del riego por surcos no es recomendable. Su operación es relativamente simple aunque costosa, como resultado de la alta inversión inicial, requerimientos de energía y mano de obra, según el caso. Sin embargo, su aplicación requiere la consideración de algunos conceptos básicos de suelo, clima e hidráulica para la obtención de una alta eficiencia de aplicación y uniformidad de distribución del agua.

Características Generales: El riego por aspersión simula la aplicación de agua al suelo, de la misma manera en que actúa la precipitación o lluvia. Hidráulicamente, consiste en la transformación de la energía potencial en

energía cinética a través de un orificio o boquilla, generando un chorro de alta velocidad que se descompone con la fricción del aire dando lugar a la formación de gotas que caen al suelo. De la combinación adecuada de presión y diámetro de orificio se obtienen diferentes descargas e intensidades de precipitación acorde con la capacidad de infiltración del suelo, para, desde el punto de vista de diseño, prevenir la formación de escorrentía.

Parámetros de Diseño:

- *Capacidad del sistema:* La capacidad de descarga del sistema, el área bajo riego, la lámina neta de aplicación, la eficiencia de riego, el número de días permitido para completar el ciclo de riego y el número de horas de operación real por día; determinan la capacidad del sistema:

- *Lámina neta de aplicación:* Es un parámetro que depende de las condiciones de suelo y cultivo, razón por la cual se sostienen los mismos criterios expuestos en el riego por surcos.

- *Lámina bruta:* Es la que se aplica durante el tiempo de operación del aspersor para compensar las pérdidas ocurridas durante la operación del aspersor. Depende de la eficiencia de aplicación y de la lámina neta de aplicación.

- *Tasa de infiltración:* Para definir este parámetro es necesario introducir el concepto de infiltración básica que corresponde a la infiltración instantánea, cuando la tasa de cambio de velocidad de infiltración para un periodo estándar de una hora, es igual o menor que el 10% de su valor. De acuerdo con esto, la tasa de aplicación de agua al suelo no debe superar la tasa de infiltración básica.

- *Espaciamiento:* El cálculo del espaciamiento para la operación del sistema sigue las normas SCS de 1968. Para los tipos de sistema de aspersión portátiles y semipermanentes, debe evitarse al mínimo el manejo excesivo de tubería dentro del cultivo, resultando comúnmente longitudes de surco de 110-125 m. Para el caso de los tipos incorporados, la aplicación del agua se

efectúa totalmente desde los bordes de los lotes o suertes, resultando longitudes de surcos de 90 a 100 m.

- *Tasa de aplicación:* Debe hacerse a una velocidad tal que no supere la velocidad de infiltración básica, previniendo así la pérdida de agua por escorrentía. Es importante notar que la aplicación de agua puede efectuarse a una tasa superior a la infiltración básica para tiempos de aplicación inferiores al tiempo en cual se produce la infiltración básica.

- *Tiempo y área de riego:* El sistema de aspersión debe estar en capacidad de cubrir el área bajo riego, dentro de un tiempo máximo de equivalente al periodo de riego. Se establece que el periodo de riego es el número de días estimado para que el cultivo aproveche la lámina neta, sin que se presente síntoma de deficiencia de humedad; el consumo de agua por la planta se estima en términos de evapotranspiración para las condiciones de máximo crecimiento vegetativo.

- *Requerimientos de potencia:* Los requerimientos de potencia varían de acuerdo con el tipo de sistema de aspersión utilizado y con las condiciones locales impuestas para el diseño.

▪ **Construcción de Drenajes**¹³. El drenaje se define como la remoción del exceso de agua tanto en la superficie del suelo (drenaje superficial) como dentro del suelo (drenaje Interno), con el objeto de crear condiciones favorables para el crecimiento de la planta.

Cuando la caña se encuentra en germinación, un exceso de agua en el suelo hace que la germinación sea pobre o nula, especialmente cuando el agua procede de la lluvia o de un nivel freático excesivamente alto.

Por el contrario, cuando la caña se encuentra completamente desarrollada, la presencia de un nivel freático relativamente alto, sin penetrar a las zonas de raíces, no causa ningún efecto detrimental en la planta, sino que ésta

¹³ AYALDE VARÓN *et al*, Op. cit., p.152.

aprovecha toda la humedad que sube por capilaridad a las capas superiores, trayendo como consecuencia un gran desarrollo vegetativo de la planta.

El drenaje activa la vida microbiana, aumenta el área de influencia del sistema radicular y da mayor aireación al suelo permitiendo un desarrollo vigoroso del sistema radicular y vida a la planta.

- *Drenaje Superficial.* En la mayoría de los cultivos de caña el drenaje superficial es bastante bueno a causa de la cantidad de canales internos de riego en las suertes, que sirven para evacuar excesos de agua lluvia.

Otras veces debido a características físicas desfavorables en el perfil del suelo como capas endurecidas o suelos muy pesados, el agua no infiltra o lo hace muy lentamente. Para resolver estos problemas se ha recurrido con mucho éxito al drenaje topo el cual se hace a tres metros de distancia y 60 cm. de profundidad, en el sentido de la pendiente.

- *Drenaje Interno.* Se emplea para la remoción del exceso de agua en la zona radicular de la caña, para ello es conveniente determinar el origen del agua, lo que a su vez controla la selección del método del drenaje. El drenaje interno se puede hacer por dos métodos:

Por intersección del flujo entrante, procedente de infiltraciones laterales desde ríos, canales, embalses o zonas más altas. Se colocan perpendiculares a la dirección del flujo.

Por drenajes paralelos. Se emplean con el fin de eliminar los excesos de agua en el subsuelo a causa de lluvia o riego excesivo (lavados por ejemplo), o agua sometida a presión artésiana. Se colocan paralelos a la dirección del flujo. En ambos métodos de drenajes se emplean canales abiertos o cerrados.

- *Profundidad Adecuada del Drenaje.* En el caso específico de la caña, hay varios factores que influyen sobre la profundidad. Los más importantes son los siguientes:

La Planta. Más allá de un cierto período, las raíces no deben estar en suelos saturados. La profundidad del drenaje comprueba la profundidad del nivel freático entre dos drenes paralelos, y la profundidad del nivel freático está controlada por la profundidad radicular de la caña, previendo además los aportes por capilaridad. Se estima que para la caña en suelos pesados se debe mantener libre de agua los primeros 1,20 m si se riega por gravedad.

Estratificación del Suelo. Cuanto más permeable es la capa en la cual se instala el drenaje, tanto mayor es el efecto del mismo.

Presión de Agua en el Suelo. En presencia de presiones artesianas, los drenajes deben ser más profundos que en el caso de agua que fluye sin presión.

Fuente de Agua en el Suelo. Si existe una posibilidad de encontrar vetas o capas que transporten agua, es preciso tratar de drenarlas, independientemente de su profundidad.

Salinidad del Suelo y el Agua. Si el agua del suelo es salina, normalmente es necesario drenar a mayor profundidad. En general al hacer los drenajes no se puede recomendar una profundidad específica, sino que es necesario tener en cuenta todos estos factores en un caso determinado.

2.2 SIEMBRA Y POBLACIÓN

La caña es una planta heterocigota que no reproduce las características de sus padres cuando se siembra la semilla verdadera (semilla sexual) que dan las espigas; por lo tanto, debe propagarse por trozos de tallos (estacas), cuyo tamaño varía de dos a cinco yemas. Dichas estacas reciben el nombre de "semilla"¹⁴.

¹⁴ AYALDE VARÓN *et al*, Op. cit., p.108.

2.2.1 Producción de Semillas

La siembra de semilla de caña, de alta calidad es probablemente el paso más simple e importante que los cultivadores pueden tener en cuenta para mejorar la producción. La producción de semilla debe ser vista como una parte integral en la planeación de las siembras.

La producción rentable de una plantación de caña depende de varios factores: Adecuación del suelo, calidad de la semilla, riego oportuno, fertilización y control de malezas. La calidad de la semilla, está determinada por la ausencia de enfermedades, pureza varietal y capacidad de germinación¹⁵.

La caña se propaga por medio de estacas o esquejes, entonces se denomina semilla a los trozos utilizados en la siembra. Hay tres clases de semillas que son las más usadas por los cañicultores. El trozo de cogollo, el uso de semillas de plantillas y socas de unos ocho meses de edad y el uso de semillas procedentes de semilleros, especialmente destinados para tal fin¹⁶.

2.2.2 Tratamiento Térmico

El tratamiento con calor es la parte esencial de cualquier esquema de producción de semilla de caña para asegurar que los tallos estén libres del raquitismo de las socas. Existen varios métodos de tratamiento con calor: agua caliente, aire caliente y vapor aireado.

El tratamiento con agua caliente es el más efectivo para controlar el raquitismo de las socas. Es el más rápido de los métodos, pero puede afectar la germinación de algunas variedades. Este tratamiento a 50°C por un tiempo de una hora más el fungicida Bayletón en una concentración de 500 ppm, es efectivo para el control del raquitismo de las socas y la roya clorótica, y tiende a disminuir la enfermedad del carbón¹⁷.

¹⁵ GÓMEZ P, Jaime F. Semilleros y Siembra de Caña de Azúcar. Conferencia 8. En: CURSO SOBRE EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (1986: Cali). Memorias del Curso sobre el Cultivo de la Caña de Azúcar. Cali: Tecnicaña, 1986. p. 141-153.

¹⁶ AYALDE VARÓN *et al*, Op. cit., p.93.

¹⁷ GÓMEZ P, Op. cit., p.143.

El tratamiento más efectivo para controlar la acción del virus causante de la enfermedad “raquitismo de las socas” y de la enfermedad “raya clorótica”, es el de aire caliente a 54°C, durante ocho horas¹⁸.

2.2.3 Tratamiento con Fungicida

Este tratamiento se hace sumergiendo las semillas (estacas) de caña para la siembra en solución de un fungicida orgánico de mercurio, el cual las protege contra el ataque de microorganismos del suelo que en algunos casos, pueden destruir la semilla. Este tratamiento es de primordial importancia tratándose de estacas suculentas o sembradas en condiciones adversas de baja temperatura del suelo, exceso de humedad o sequía.

Los fungicidas más recomendados son a base de sales de mercurio, tales como: el Agallol al 0,5 % sumergiendo todo el trozo de la semilla por 20 segundos y el Brassicol al 1,0 %¹⁹.

2.2.4 Siembra

Existen dos sistemas de siembra, por chorrillo y mateado. Para la región de la Hoya del Río Suárez, el sistema “por chorrillo” ofrece los mejores resultados.

Siembra por Chorrillo: En este sistema la semilla se coloca acostada en el fondo del surco, un esqueje seguido del otro. Es el método más adecuado ya que permite mayor cantidad de tallos por hectárea con distancias de 0,80 a 1,20 m. entre surcos. También ejerce un mejor control sobre las malezas.

De acuerdo con la calidad de la semilla, se sembrará empleando el sistema de chorrillo sencillo, chorro medio o chorro doble.

El chorro sencillo y el medio se utilizan para producir semilla de muy buena calidad, la cual da densidades de 7 a 10 yemas por metro lineal. El chorro doble se utiliza cuando la semilla no proviene de semilleros o es de mala calidad,

¹⁸ AYALDE VARÓN *et al*, Op. cit., p.110.

¹⁹ *Ibid.*, p. 109.

correspondiendo una densidad de 10 a 12 yemas por metro lineal. La semilla debe quedar cubierta con una capa de suelo de 2 a 5cm para que no se afecte la germinación²⁰.

2.3 MANTENIMIENTO

La etapa de mantenimiento incluye las labores de fertilización, control de malezas, control de plagas y riego, las cuales permiten un óptimo desarrollo del cultivo.

2.3.1 Fertilización²¹

La fertilización es la labor que adiciona al terreno los nutrientes necesarios para el crecimiento saludable de la planta, existe una amplia gama de procedimientos para ejecutar esta labor pero el más común, es mediante un implemento abonador que posee brazos roturadores que a su vez van incorporando abono granulado al suelo. La caña, es un cultivo permanente que anualmente remueve grandes cantidades de elementos nutritivos del suelo, los cuales deben devolverse mediante fertilizaciones minerales con Nitrógeno, Fósforo y Potasio.

El Nitrógeno: La aplicación de nitrógeno varía de acuerdo con los suelos, cantidad de materia orgánica, el número de cortes y la variedad utilizada. La caña se abona con diferentes fuentes de nitrógeno: úrea con un 46% de ingrediente activo; sulfato de amonio que se aplica en suelos alcalinos; fosfato diamónico al 18% de nitrógeno y 20% de fósforo para suelos deficientes en fósforo.

En la plantilla o primer corte se recomiendan entre 40 y 140 kg/ha de nitrógeno, en los cortes posteriores (socas) es necesario aplicar mayores cantidades de nitrógeno que en plantilla, en este caso, las dosis varían entre 75 y 200 kg/ha.

²⁰ MANRIQUE ESTUPIÑÁN, Roberto y INSUASTY BURBANO, Orlando. Aspectos Agronómicos para la Producción de Panela de Buena Calidad. Conferencia 16. En: CURSO INTERNACIONAL DE CAÑA PANELERA Y SU AGROINDUSTRIA (3º: 2005: Barbosa). Memorias III Curso Internacional de Caña Panelera y su Agroindustria. Barbosa: Cimpa, 2005. p. 182-192.

²¹ SOCIEDAD DE AGRICULTORES DE COLOMBIA. Guía Ambiental para el Subsector de Caña de Azúcar. Bogotá: Ministerio del Medio Ambiente: Sociedad de Agricultores de Colombia: Asocaña, 2002. p. 30.

El Fósforo: Debido a la poca movilidad del fósforo en el suelo, su aplicación se debe hacer en el área próxima al sistema radical de la planta, por lo general, en la plantilla se aplica en el fondo del surco al momento de la siembra, con el fin de estimular el desarrollo inicial de las raíces. Cuando es necesario, en la soca se aplica en banda e incorporado al suelo junto con el nitrógeno, 30 días después del corte. Las dosis que se recomienda aplicar varían entre 0 y 22 kg/ha (1 kg de P= 2,29 kg de P₂O₅). En términos generales, se considera que en los suelos con contenidos altos de fósforo disponible (>10 mg/kg) no se justifica la aplicación de este nutriente. Las fuentes comerciales de fósforo más utilizadas son el Superfosfato Triple (20% de P y 14% de Ca), el fosfato diamónico o DAP (20% de P y 18% de N) y la roca fosfórica (9,6% de P y 28% de Ca). Esta última se aplica en suelos fuertemente ácidos del norte y del sur del Valle del Río Cauca. También se utilizan la Cachaza y la cenichaza, dos fuentes orgánicas de fósforo, que contienen además otros elementos mayores y menores.

El potasio: En la caña regula las actividades de la invertasa, la amilasa, la peptasa y la catalasa (Tisdale y Nelson 1966). Se considera que la cantidad de potasio necesaria por hectárea varía entre 0 y 83 kg (1kg de potasio = 1,2 kg de K₂O). El Cloruro de potasio (KCl) y el sulfato de potasio (K₂SO₄) son las fuentes comerciales de potasio más conocidas. Se aplica en el fondo del surco justo antes de la siembra. En las socas se aplica 30 días después del corte en bandas incorporado conjuntamente con el nitrógeno.

2.3.2 Control de Malezas²²

Aunque las malezas disminuyen los rendimientos hasta en un 60%, el control que sobre ellas se ejerce en las zonas paneleras es, por lo general, deficiente. Así mismo, se ha determinado que el periodo más crítico de competencia por agua, luz y nutrientes entre las malezas y el cultivo ocurre en la etapa de macollamiento. Después de que la caña cierra, la sombra que produce el follaje es suficiente para

²² MANRIQUE ESTUPIÑÁN *et al*, Op. cit., p.189.

controlarlas. Sin embargo, el control de malezas debe hacerse en forma integrada, combinando métodos culturales, manuales, mecánicos y químicos).

- **Control Cultural.** El control cultural es el ejercido por el mismo cultivo sobre las malezas, debido a la capacidad que tiene de competirles por agua, luz y nutrientes. Todas las prácticas de manejo como: preparación de suelos, sistemas y distancias de siembra, semilla de buena calidad, semilleros, fertilización, riego, control adecuado de plagas y enfermedades, contribuyen a definir lo que es el control cultural.
- **Control Manual.** En el control manual se utilizan la pala o azadón (ver Figura 24) y, por lo general, se requieren dos a cuatro desyerbas. Aunque este método reporta beneficios sociales por la considerable mano de obra que ocupa, ofrece ciertos inconvenientes debidos al hecho de aplicarse cuando las malezas ya están establecidas o pasadas de control, que es cuando más competencia perjudicial le hacen al cultivo; al mismo tiempo, el uso del azadón maltrata los rebrotes, lo cual hace disminuir la producción.



Figura 24. Control de malezas manual.

- **Control Mecánico.** Se utiliza en áreas extensas de cultivo. Se puede hacer con rastrillo de discos o con escardillos (chuzos). El tiempo requerido para la labor es alto. Es más eficiente cuando la planta de caña aún no se ha desarrollado y se presenta una baja humedad, ya que existe el riesgo de compactación del suelo por el uso de la maquinaria y, en muchos casos, las malezas rebrotan de nuevo.

- **Control Químico.** Este sistema de control es el más estudiado de los cuatro y se efectúa mediante la aplicación de herbicidas y surfactantes específicos. Además, es el más aconsejable; sin embargo, el agricultor lo usa en forma restringida, por las siguientes razones:

- Desconocimiento del método y de sus bondades.

- Deficiente preparación del suelo.

- Falta de equipos de aplicación.

- Mezcla de cultivos o cultivos intercalados

- Desconocimiento de los productos más indicados con sus respectivas dosis.

En caña panelera, cultivo cuya preparación del suelo es deficiente, las aplicaciones de mezclas de herbicidas contra malezas en post-emergencia temprana han dado resultados favorables.

2.3.3 Control de Plagas²³

El control de plagas es una práctica de manejo que debe realizarse durante todas las etapas de desarrollo y mantenimiento del cultivo. Una buena preparación del suelo antes de la siembra, tiene el efecto benéfico de destruir los huevos, las pupas y los adultos, además de exponer las larvas de posibles plagas a los rayos solares, lo cual interfiere el ciclo de desarrollo metabólico de los insectos perjudiciales. En Colombia se tienen registradas en el cultivo de la caña cerca de

²³ INSUASTY BURBANO, Orlando. Plagas de la Caña de Azúcar para Panela. Conferencia 9. En: CURSO INTERNACIONAL DE CAÑA PANELERA Y SU AGROINDUSTRIA (3º: 2005: Barbosa). Memorias III Curso Internacional de Caña Panelera y su Agroindustria. Barbosa: Cimpa, 2005. p. 86-117.

unas 50 especies (Posada, 1989), pero no todas son plagas de importancia económica.

Control Biológico: Es uno de los métodos más antiguos y exitosos; con la utilización de enemigos naturales predadores o parasitoides se ha demostrado en muchos países del mundo su beneficio, especialmente por la estabilidad de los resultados y la disminución de riesgos de tipo ecológico. Este control se utiliza para atacar los “barrenadores de tallo”.

Control Físico: Está constituido por trampas de luz negra y de guadua. La trampa de luz negra emplea la energía radiante y se basa en la respuesta que tienen los insectos a la acción de la luz. Esta trampa es utilizada para capturar adultos del barrenador del tallo. La trampa de guadua consiste en un trozo de guadua de dos entrenudos y una longitud aproximada de 50 cm. Este trozo de guadua se raja en forma longitudinal con el propósito de que queden 2 bolsillos o canoas, las cuales están tapadas en sus extremos. Se utiliza para capturar cucachos o picudos.

Control Químico: El cebo tóxico, elaborado mediante carne molida, huevos, gelatina y Dimilín, resulta efectivo para atacar la hormiga loca, sin embargo es conveniente utilizarlos racionalmente con el fin de evitar efectos nocivos contra la fauna silvestre (terrestre o acuática) de la región. La aplicación de los cebos debe realizarse en forma regular y continua en todas las áreas ocupadas por la hormiga loca.

Utilizar control químico para atacar otras plagas como el barrenador gigante resulta inútil, debido a que este insecto permanece la mayor parte de su tiempo dentro de los tallos. En el caso del barrenador de tallo es contraproducente la aplicación de medidas de control a base de productos químicos, dadas las características propias de las larvas de *D. saccharalis* de barrenar los tallos; además de agravarse el problema se acaba con la fauna benéfica y se trastorna en gran forma el medio ecológico.

2.3.4 Riego

A pesar de lo mucho que se habla de la rusticidad de la caña, ésta exige mucha agua y a la vez se debe ser oportuno en la aplicación. El agua juega un papel de vital importancia en el crecimiento, desarrollo y producción de la caña, ya que se ha demostrado que los rendimientos en caña aumentan cuando se suministra riego eficiente y oportuno. Al principio el riego debe ser ligero mientras que después de los tres meses de edad puede ser más fuerte. Una vez que el cultivo cierre se sigue regando oportunamente hasta el momento en el cual se determine controlar el sazonado de la plantación. Luego se realiza la cosecha²⁴.

2.4 CORTE

El parámetro madurez o sazonado indica al cañicultor el momento más adecuado para proceder al corte de la caña; la madurez depende de la variedad sembrada y de la edad del cultivo. La mejor manera de detectar ese momento, consiste en hacer un monitoreo de la concentración de sólidos solubles (expresada en grados Brix, °B), a través de mediciones periódicas. Durante el desarrollo normal de la caña, la concentración de azúcares va aumentando desde la parte basal del tallo hasta la parte terminal. Cuando dicho contenido alcanza un valor máximo, se entiende que el cultivo ha llegado al punto óptimo de maduración. El contenido de sólidos solubles se puede conocer a partir de muestras de jugo tomadas en dos lugares estratégicos de la planta de caña, lo cual sirve para calcular el *índice de madurez*, según el sencillo procedimiento señalado a continuación:

- Determinación del Brix Terminal: comenzando desde la primera hoja superior, se cuentan hacia abajo siete hojas y se toman los grados Brix del jugo extraído en este punto.
- Determinación del Brix Basal: a partir de la parte inferior del tallo, se cuentan cuatro entrenudos hacia arriba y se miden los grados Brix del jugo allí obtenido.
- El índice de madurez se calcula mediante la siguiente relación:

²⁴ AYALDE VARÓN *et al*, Op. cit.,p. 145.

Índice de Madurez = Brix Terminal / Brix Basal

Para mayor detalle del procedimiento anterior revisar el Anexo A.

Las cañas inmaduras y sobremaduras dan rendimientos menores y poseen mayor cantidad de azúcares reductores que, para el caso de la producción de panela, influye negativamente en su dureza y color.

El índice de madurez promedio que se recomienda para proceder al corte de la caña panelera se ubica en valores entre 0,85 y 1°B. Los grados Brix se pueden medir con facilidad en el campo, valiéndose de un *refractómetro* (calibrado en °B), sencillo aparato que informa sobre la concentración de sólidos solubles (principalmente sacarosa) mediante la refracción de la luz en una gotica de jugo de caña. Otra forma de medir dicha concentración es determinando la densidad, mediante el *sacarímetro*, un tipo de densitómetro (calibrado en °B) que se deja flotar en un volumen dado de jugo extraído por el molino. Para ello se debe conformar una muestra representativa de unas 20 cañas tomadas de diversos lugares del cultivo, después de lo cual se cortan los tercios superior e inferior de los tallos formando dos grupos que se muelen por separado²⁵.

Una vez la caña ha llegado al punto de madurez óptimo se procede a realizar el corte. Para el corte se pueden utilizar dos sistemas: por entresaque y por parejo. *Por entresaque o desguíe*, consiste en recolectar las cañas maduras, quedando en el campo las inmaduras para su posterior recolección; este sistema es usado en Cundinamarca, región en la que predomina la topografía quebrada y existen pequeñas unidades finca – trapiche de economía campesina. *Por parejo*, se utiliza en cultivos tecnificados, en los cuales, debido al crecimiento uniforme de los tallos, estos maduran a la misma edad. Para ambos métodos, el corte debe hacerse a

²⁵ GARCÍA B, Hugo; QUIROGA, María; BAQUERO, Wilson y GUERRERO, Camilo. La Panela Biológica: Recomendaciones para su Obtención. 1 ed. Cundinamarca y Boyacá: CORPOICA, 1997. p 19.

ras de tierra porque un corte de caña mal efectuado disminuye la vida de las socas.

Debido a la topografía de la Hoya del Río Suárez el corte de caña se hace manualmente y por parejo²⁶.

2.5 ALCE Y TRANSPORTE

Actualmente en el transporte de caña para la elaboración de panela en la Hoya del Río Suárez, se emplea primordialmente al ganado mular caracterizado por su docilidad, constitución flexible, vigorosidad, rusticidad, no desviarse de los caminos, resistencia para transportar un gran peso por topografías quebradas y a largas distancias.

Un alzador maneja dos mulas, levanta 3 toneladas de caña por jornal y cada animal transporta 1,5 toneladas de caña al día. La distancia promedio del lote de corte al trapiche es de 900 metros, el peso de una carga de caña es de 106,8 a 178,3 kilos dependiendo de donde provengan los alzadores, con un promedio de 143,5 kilos, distancias por encima de los 2000 metros aumentan el número de mulas y alzadores y disminuye el número de corteros, por el contrario en distancias cortas inferiores a un kilómetro es necesario aumentar el número de corteros en relación con la cantidad de mulas y alzadores²⁷.

2.6 ACOPIO

Se realiza en un depósito localizado dentro del trapiche, cerca al molino, con el propósito de agilizar la producción. La caña no debe permanecer en espera por más de cinco días, pues al sobrepasar este tiempo se presentan aún mayores incrementos en los contenidos de azúcares reductores, lo cual afecta la eficacia del proceso de limpieza y la calidad de los productos a obtener (ver Figura 25).

²⁶ KOPP SANABRIA, Eugenio. Manual Virtual de Elaboración de Panela. Barbosa, Colombia: CORPOICA - CIMPA – ISER, 2004. 20 p.

²⁷ Ibid., p. 21.



Figura 25. Acopio de caña.

3 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PANELA

Una vez cosechada la caña, se continúa con su beneficio que incluye el conjunto de operaciones tecnológicas posteriores al acopio de la caña y que se traducen en la obtención del producto final conocido como panela. El proceso de producción de panela es un proceso de transformación física continua, que utiliza como materia prima la caña. Se puede producir panela en bloque y granulada, cuyos procesos se describen a continuación.

3.1 PANELA EN BLOQUE

3.1.1 Extracción

En la etapa conocida como "molienda" o "extracción de jugos", la caña se somete a compresión en los rodillos o mazas del molino, lo cual propicia la salida del contenido líquido de los tallos. Para tener una idea de la eficiencia de este proceso de extracción, se calcula el valor porcentual que resulta de dividir el peso del jugo extraído y el peso de la caña molida. Se consideran satisfactorias aquellas relaciones que están entre 58 a 63%, es decir, cuando se obtienen de 580 a 630 kilogramos de jugo por tonelada de caña.

Los productos finales de esta fase son el "jugo crudo" y el "bagazo"; el primero es la materia prima que se destina a la producción de panela, mientras el segundo, se emplea como material combustible para la hornilla una vez se ha secado.

En esta fase se recomienda de manera especial evitar la mezcla del jugo crudo con el aceite lubricante de los piñones del molino. Se ha observado que las protecciones usuales que trae el molino no bastan para controlar la contaminación de los jugos con sustancias no deseadas²⁸ (ver Figura 26).

²⁸ GARCÍA B *et al*, Op. cit., p. 24.



Figura 26. Extracción del jugo de caña.

3.1.2 Limpieza²⁹

En la operación de limpieza se retiran todas aquellas impurezas gruesas y de carácter no nutricional que se pueden separar de los jugos por medios físicos como la decantación (precipitación) y la flotación, así como por medios térmicos y bioquímicos que buscan obtener un producto de óptima calidad. Esta etapa consta de las operaciones de prelimpieza, clarificación y encalado.

- **Prelimpieza.** El jugo crudo se limpia en frío utilizando un sistema de decantación natural por efecto de la gravedad, desarrollado por el CIMPA y que se ha denominado "prelimpiador". Este dispositivo retiene por precipitación una importante proporción de los sólidos contenidos en el jugo de caña, como son las partículas de tierra, lodo y arena; simultáneamente, por flotación, el prelimpiador puede separar las partículas livianas como el bagacillo, las hojas, los insectos, etc. Estas impurezas flotantes se deben retirar varias veces al día durante la molienda, dependiendo de su saturación, en la superficie de los jugos que pasan por el prelimpiador. Se recomienda retirar periódicamente los tapones de los orificios inferiores para evacuar los lodos acumulados en el fondo del prelimpiador, siempre y cuando el nivel de jugo sea bajo. El prelimpiador se debe asear siempre al final de la molienda, o como mínimo cada 8 horas cuando se trata de moliendas prolongadas, usando para ello

²⁹ Ibid., p. 26.

agua limpia; luego, se añade una lechada de cal concentrada para eliminar aquellos residuos de bacterias que pueden inducir procesos de fermentación en los jugos nuevos que llegan al prelimpiador.

El prelimpiador uno debe estar situado después del "pozuelo" o paila "recibidora", aprovechando la gravedad para la conducción de los jugos. Cuando el volumen de molienda es significativo, es recomendable ubicar un segundo prelimpiador (prelimpiador dos) a continuación del primero, para asegurar una limpieza completa de los jugos (ver Figura 27).

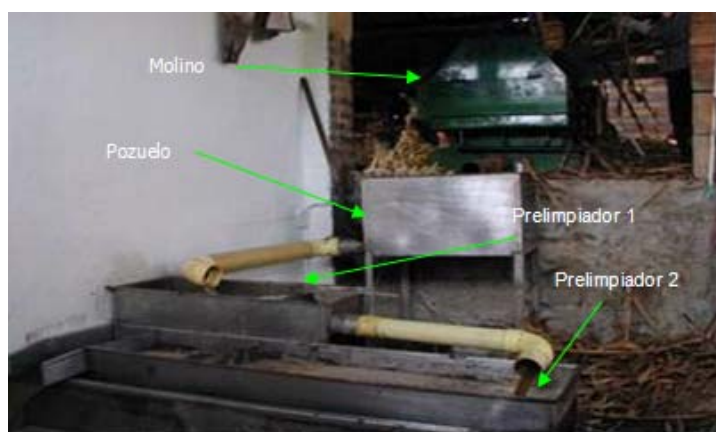


Figura 27. Ubicación adecuada de los prelimpiadores Uno y Dos.

Los prelimpiadores se deben construir preferiblemente de acero inoxidable (ver Figuras 28 y 29), con conducciones del mismo material y sus dimensiones van de acuerdo con el volumen de molienda de cada trapiche. Para lograr el mejor funcionamiento de los prelimpiadores, es preciso seguir las siguientes recomendaciones:

- Colocar una malla en la salida de los jugos del molino, con el fin de atrapar las impurezas de gran tamaño que pueden saturar con rapidez la capacidad del prelimpiador.
- No mover de sus sitios las placas retenedoras de impurezas cuando el prelimpiador se halle en uso.

- Cubrir la parte superior de los prelimpiadores para evitar la caída del bagazo y otros residuos de molienda en los jugos.
- Mientras el prelimpiador se encuentre en uso, con un alto nivel de jugos, los orificios de evacuación de lodos deben estar bien cerrados.



Figura 28. Prelimpiador Uno.



Figura 29. Prelimpiador Dos.

▪ **Clarificación**

En esta segunda fase, que tiene lugar en la paila recibidora o "descachazadora", la limpieza de los jugos ocurre gracias a la acción combinada del calentamiento suministrado por la hornilla y la acción aglutinante de ciertos compuestos naturales.

En efecto, al macerar las cortezas de algunos árboles y arbustos, como el Balso, el Guásimo y el Cadillo -que crecen en casi todos los pisos térmicos cálidos y medios del país en donde se fabrica panela -, se obtiene un mucílago que contiene polímeros celulósicos con propiedades aglutinantes. Los sólidos en suspensión se agregan entre sí y forman una masa homogénea que se

conoce como "cachaza", la cual flota sobre el jugo y permite su eliminación manual. La clarificación mediante cortezas se suele realizar de dos maneras diferentes:

- La corteza clarificante se sumerge directamente en el jugo, operación que debe comenzar cuando se alcanzan temperaturas entre 60° y 70°C.
- Se añade al jugo una solución clarificante, la cual se prepara sumergiendo la corteza en agua hasta obtener un líquido viscoso (ver Figura 30).



Figura 30. Adición de solución de Balso al jugo sin clarificar.

Así, cuando los jugos llegan a temperaturas entre 75° y 82°C, se forma en la superficie la llamada "cachaza negra" -capa inicial de impurezas resultantes-, la cual se retira usando los recipientes llamados "cachaceras" (ver Figura 31). A continuación se forma una segunda capa conocida como "cachaza blanca", más liviana que la anterior, que se debe remover con prontitud, pues si los jugos alcanzan la ebullición, se hace muy difícil remover las impurezas y la panela se torna susceptible al crecimiento de hongos y levaduras, al mismo tiempo que disminuye ostensiblemente su estabilidad y tiempo de almacenamiento. Por tanto, una clarificación adecuada determina, en gran parte, la calidad final de la panela y su color.



Figura 31. Separación de la capa de cachaza

- **Encalado.** En la última fase de la limpieza se adiciona cal con el objeto de regular el pH de los jugos. Un valor de 5,8 previene la formación de azúcares reductores y ayuda a la clarificación de los jugos porque hace flotar la materia orgánica. La cal usada debe ser de grado alimenticio para que no contamine la panela con sustancias indeseables; para facilitar la disolución en los jugos, el diámetro de las partículas de cal (su granulometría) debe ser fino (ver Figura 32).

El sobreencalamiento de los jugos deriva en la formación de panela con colores oscuros de poca aceptación en el mercado. Por el contrario, una deficiente adición de cal favorece el incremento de azúcares invertidos en el producto final, lo que estimula su contaminación por hongos y reduce su vida útil.

Se ha observado que requiere mayor inclusión de cal aquella caña que proviene de suelos recién desmontados y/o ricos en materia orgánica, así como la que viene de cortes inmaduros o pasados de madurez (florecidos), de primer corte, con cuatro o más días de aprontada y, finalmente, de tallos fuertemente afectados por el ataque de barrenadores.



Figura 32. Adición de cal para subir el pH

3.1.3 Evaporación

Es la etapa que sigue a la clarificación y donde se elimina cerca del 90% del agua presente, con lo cual se aumenta el contenido relativo inicial de los sólidos solubles (entre 16 y 21° Brix). En esta fase se adiciona el agente antiespumante para evitar derramamiento del jugo³⁰ (ver figura 33).



Figura 33. Evaporación de los jugos.

3.1.4 Concentración (Punteo)

Esta fase de la fabricación de la panela persigue la obtención del "punto". Mediante paleo manual se incorpora aire a las mieles en presencia de calor, operación que se lleva a cabo en la paila concentradora o punteadora ubicada a

³⁰ KOPP SANABRIA, Op. cit.,p. 59.

continuación de las pailas evaporadoras. En esta parte se adiciona el agente antiadherente, que se describirá mas adelante.

La concentración es la etapa mas crítica desde el punto de vista del “grano” de la panela, pues al registrarse allí las mayores temperaturas del proceso (entre 100 y 125°C.) la inversión de la sacarosa se acelera en forma tal que el porcentaje de azúcares reductores iniciales, cuando menos se duplica durante la concentración. Por lo tanto es aconsejable realizar esta etapa en el menor tiempo posible y asegurarse de que las mieles tengan el pH recomendado.

El “punto” de la panela se obtiene entre 118 y 125°C, con un porcentaje de sólidos solubles entre 88 y 94°Brix determinándose por la consistencia, color y densidad de las mieles. La temperatura final del punteo depende, en orden de importancia, del Brix de las mieles, de la altura sobre el nivel del mar y de la pureza de las mieles. En la Hoya del Río Suárez la panela cuadrada se puntea entre 118 y 120° C (ver Figura 34).



Figura 34. Concentración.

En los trapiches, por falta de instrumentos de control, se recurre a la observación de ciertas características físicas que dependen de una gran experiencia del operario para acertarlas y que varían de acuerdo con la región.

Entre otras se pueden mencionar las siguientes:

- Introducir la muestra de miel caliente en agua o tomarla directamente de las pailas con un dedo humedecido y luego evaluar su fragilidad y limpieza de quebrado.
- Evaluar la viscosidad y adherencia de las mieles, lo cual se valora a “ojo” mediante la velocidad de escurrimiento sobre la falca de la paila o en el mismo remellón o cazo.
- Observar la formación de grandes burbujas o películas muy finas y transparentes denominadas “pañuelo”.

Técnicamente a la panela se le da “punto” por temperatura, para lo cual se puede utilizar un termómetro digital con termocupla para líquidos tipo K (ver Figura 35).



Figura 35. Punteo de la panela utilizando termómetro digital.

Es de anotar que del “punto” que se le da a la panela, depende el grado de humedad final. Panelas con humedad por encima del 6% tienen un período de vida útil más corto que las panelas con menor humedad³¹.

Adición de grasas o ceras

Las grasas cumplen dos funciones en el proceso de elaboración de panela, la primera como antiespumante para evitar que los jugos durante la ebullición

³¹ Ibid., p. 62.

rebosen la altura de la falca de la paila. En este caso su adición se debe realizar en las pailas con Brix bajo y colocadas en sitios de la hornilla con temperatura elevada (primera y segunda generalmente). La segunda función es de antiadherente, en este caso su adición se hace en la paila concentradora o punteadora a temperaturas entre 106 y 108°C, formando una película protectora sobre las paredes de la paila para evitar la adición de la miel a las paredes y su consecuente caramelización y quemado.

En esta etapa se utiliza el aceite de higuera, el cebo animal, la cera de laurel y la manteca vegetal. Ofrecen mejores resultados las grasas con puntos de fusión superiores a 125°C, ya que se evita su deterioro. Se usan dos cucharadas soperas por cada 30 kilos de miel. El exceso de grasa le confiere un sabor desagradable y desmejora la calidad de la panela³².

La Hornilla

La eficiencia térmica de la hornilla, y su efecto sobre los jugos, se cuentan dentro del conjunto de factores que influyen en la calidad de la panela. La evaporación del agua contenida en los jugos por calentamiento a 96°C permite alcanzar la concentración de sólidos apropiada para la consolidación y moldeo de la panela a 120°C, Estas operaciones se llevan a cabo en pailas o fondos dispuestos en línea, que reciben diferentes denominaciones técnicas y regionales. Los jugos se desplazan entre estos recipientes por paleo manual y, al finalizar su tránsito, se denominan "mieles".

El diseño y materiales de construcción de estas pailas, el tiempo de residencia de los jugos allí depositados y la intensidad del calor que reciben, son índices determinantes en las operaciones de evaporación y concentración. Por ejemplo, si se permite un calentamiento prolongado, se propicia la formación de azúcares

³² PRADA FORERO, Luz Esperanza. Manejo de los Jugos para la Elaboración de Panela y Mieles de Buena Calidad. Conferencia 28. En: CURSO INTERNACIONAL DE CAÑA PANELERA Y SU AGROINDUSTRIA (3º: 2005: Barbosa). Memorias III Curso Internacional de Caña Panelera y su Agroindustria. Barbosa: Cimpa, 2005. p. 253-280.

reductores con las consecuencias ya mencionadas sobre la calidad del producto final.

Las investigaciones realizadas por el Centro de Investigación CIMPA permitieron la generación de pailas eficientes y las de mejor aprovechamiento del calor disponible. Dicho proceso condujo a la reducción de los tiempos de residencia (tiempo que duran los jugos en la hornilla hasta transformarse en panela), a la optimización de las características físicas del producto (en cuanto a su color y consistencia), al aumento de los volúmenes de producción y al incremento del ingreso de los cañicultores. Por otra parte, la notable eficiencia térmica de la hornilla va aparejada con su bajo impacto sobre el medio ambiente, objetivo que se logró al reemplazar los combustibles adicionales (leña y llantas) por el uso exclusivo del bagazo. Este beneficio ambiental propicia la conservación del recurso maderable y la reducción de emanaciones de gases de invernadero a la atmósfera, al tiempo que bajan los costos de producción³³.

3.1.5 Preparación Final

- **Batido**³⁴. Una vez se ha obtenido el “punto”, la miel pasa a la batea donde empieza el batido, que consiste en una acción de agitación intensiva e intermitente, que demora entre 10 y 15 minutos. Después de una agitación inicial, de 3 a 4 minutos, las mieles se dejan en reposo y por el aire incorporado comienzan a subir en la batea hasta casi desbordarse, siendo necesario reiniciar la agitación. Este proceso se repite 2 o 3 veces y al final, en la mayor parte de los trapiches del país, se agrega agua a las mieles para acabar de “apagarlas” (enfriarlas) (ver Figura 36).

Enfriar las mieles con agua es una práctica poco recomendable debido a que no se tiene control sobre la calidad de la misma. Esto contribuye al inicio del deterioro de la panela en las etapas posteriores de embalaje y transporte. Además como se mencionaba anteriormente el agregarle agua a la panela

³³ GARCÍA B *et al*, Op. cit., p. 30.

³⁴ KOPP SANABRIA, Op. cit., p. 68.

aumenta su humedad y por consiguiente acorta su vida útil por el desarrollo acelerado de microorganismos.

El tiempo de batido y la altura alcanzada por las mieles depende del grano. Mieles con azúcares reductores altos no suben en la batea y darán panelas blandas y melcochudas, es decir, con poco grano. Este tipo de mieles no permiten la elaboración de panela granulada.

Se aconseja que la batea donde se realiza esta operación sea en lo posible de acero inoxidable ya que este tipo de material no altera las condiciones de la panela y no hay contaminación por presencia de óxido o de pintura, además este material es fácil de limpiar.



Figura 36. Batido.

- **Moldeo y Secado.** Cuando la miel ya se ha batido, pasa a las gaveras o conjunto de moldes, donde se termina de solidificar hasta alcanzar la forma definitiva de panela. Las gaveras se encuentran ubicadas sobre mesas de madera o cemento y ambas se humedecen antes de depositar en ellas las mieles para evitar que la panela se pegue al molde. Con la ayuda de una especie de cuchillo de madera, el gaverero distribuye la panela en cada uno de los moldes de la gavera y el sobrante lo regresa a la batea. Cuando la panela alcanza la dureza necesaria se desarman las gaveras y se llevan a un depósito

con agua para lavarlas y luego de escurridas quedan listas para la próxima cochada³⁵.

*Cuarto de Batido y Moldeo*³⁶

El cuarto de moldeo consta de mesas para las "gaveras" (es decir, los moldes que dan la forma de la panela), bateas y depósito para el lavado y escurrido de las gaveras. Las dimensiones de este conjunto se definen de acuerdo con la capacidad de producción del trapiche y la construcción del mismo.

Entre las condiciones físicas del cuarto de moldeo se recomienda que el piso sea de cemento, lo cual facilita un cuidadoso y frecuente aseo. Así mismo, debe disponer de un suministro regular de agua potable que garantice la limpieza e higiene de los implementos de moldeo; la construcción de claraboyas asegura una ventilación e iluminación apropiadas que permiten disminuir la humedad ambiental. El cuarto debe estar alejado de las bagaceras, depósitos de secado del bagazo en los que proliferan hongos que pueden contaminar la panela. Estas medidas mejoran las condiciones higiénicas de la panela, evitan su contaminación por insectos voladores como abejas, avispas y moscas, y hacen más apropiadas las condiciones de trabajo de los obreros del trapiche (ver Figura 37).



Figura 37. Cuarto de Batido y Moldeo.

³⁵ Ibid., p. 72.

³⁶ GARCÍA B *et al*, Op. cit., p. 32.

▪ **Empaque y Embalaje.** La panela es un producto con cualidades higroscópicas, lo cual significa que absorbe o pierde humedad por su exposición al ambiente; ello depende de las condiciones climáticas del medio y de la composición del producto.

La panela es propensa a sufrir alteraciones cuando presenta concentraciones de azúcares reductores altas, bajos contenidos de sacarosa y alta humedad. A medida que aumenta su absorción de humedad, la panela se ablanda, cambia de color, aumenta los azúcares reductores y disminuye la sacarosa, condiciones aptas para la contaminación por microorganismos.

La velocidad de las reacciones químicas de degradación -microbiológica o enzimática-, que experimentan los productos biológicos, se relaciona siempre con la humedad relativa y la temperatura predominantes en el medio donde se almacena el producto. Si la panela elaborada posee entre 7 y 10% de humedad, es necesario transportarla, distribuirla y consumirla con rapidez, ya que un almacenamiento prolongado deteriora su calidad. A partir del 10% de humedad, la superficie aparece brillante por la aparición de gotitas de melaza; en estas condiciones es imposible almacenarla por el riesgo de invasión microbiológica y de alteración fisicoquímica.

Los materiales más usados para empacar y embalar la panela, son en nuestro medio, el cartón y el plástico termoencogible. Sin embargo, el más adecuado es el cartón, material que cumple con la función de aislar el producto del ambiente externo, previniendo la absorción de humedad, además de ser reciclable (ver Figura 38). Los materiales plásticos termoencogibles y las láminas de aluminio plastificado son ideales para almacenar la panela durante largos períodos sin que se modifiquen sus características organolépticas; adicionalmente, facilitan el diseño de empaques individuales higiénicos que satisfacen las expectativas del consumidor³⁷.

Las bodegas que se utilicen para el embalaje de la panela deben ser cubiertas, con un ambiente seco y con buena ventilación. Las cajas con la panela se

³⁷ GARCÍA B *et al*, Op. cit., p. 33.

deben colocar sobre estibas de madera, separadas de las paredes para protegerlas de la humedad, del derrame de líquidos y de las suciedades.



Figura 38. Empaque.

3.2 PANELA GRANULADA

Hasta la etapa de *Evaporación*, el proceso para la producción de panela granulada es idéntico al de panela en bloque. De aquí en adelante prosiguen las etapas de *Concentración* y *Batido*, con la diferencia que varían ciertas condiciones. De esta manera, el proceso continúa con las fases que se presentan a continuación:

3.2.1 Concentración (Punteo)

De igual modo que con la panela en bloque, esta etapa busca aumentar el grado relativo de sólidos solubles en las mieles para alcanzar el “punto” de la panela, realizándose las labores descritas de paleo manual y adición de grasas o ceras. Ya en el “punteo”, la temperatura requerida está entre 2 y 5 °C por encima de la empleada para la panela en bloque.

3.2.2 Batido

La panela se lleva a la batea, se agita unos instantes y se deja reposar hasta que empiece a alzar, a más contenido de sacarosa más alza, casi hasta salirse de la batea. Una vez ha perdido temperatura deja de alzar.

Después que ha dejado de alzar la panela se debe batir con una pala de madera o de acero inoxidable. Esta labor se debe hacer constantemente hasta que la panela granule en su totalidad. Para batir panela granulada se aconseja una batea (tipo artesa) amplia para facilitar la tarea.

Al finalizar la etapa de batido, la panela se deja en reposo para que se enfríe y poder continuar con la siguiente etapa³⁸.

3.2.3 Preparación Final

- **Triturado.** En la mayoría de los casos, una vez la panela se solidifica, es triturada en forma manual, empleando palas de madera o de acero inoxidable, ejerciendo presión sobre las boronas para destruirlas y obtener granos pequeños (pues el grano fino se comercializa a mejor precio en el mercado).
- **Desecado.** Antes de cernir la panela granulada, es necesario desecar empleando la energía solar (asoleado), con el fin de eliminar la humedad presente en los granos.
- **Cernido.** Permite realizar la clasificación del producto utilizando una malla de acero o bronce fosforado. Debido a que la panela obtenida en el triturado no presenta partículas de tamaño homogéneo, el resultado obtenido de dicha clasificación se muestra en la Tabla 1.

Producto	Porcentaje (%)
Grano Fino (Pulverizada)	54,0
Grano Grueso (Granulada)	23,0
Borona (Residuo)	17,5
Perdidas	5,5

Tabla 1. Porcentajes de panela obtenidos de acuerdo con el tamaño de grano
Fuente: CIMPA, 1999.

³⁸ KOPP SANABRIA, Op. cit., p. 76.

La panela pulverizada y granulada se comercializan para venta al consumidor, y la borona se puede utilizar en la industria alimenticia como panaderías y bocadoerías, otra opción es pulverizar los gránulos más gruesos con un molino de martillos.

- **Empaque y Embalaje.** La panela en general, sea en bloque o granulada, es un producto higroscópico que debe tratarse como se mencionó en la producción de panela en bloque. Para el empaque de la panela granulada, el material recomendado es la película de polipropileno bioorientado (PPBO) coextruido, termosellable por ambas caras, de alto brillo y transparencia. Este material se caracteriza por ser una excelente barrera a la humedad y a vapores (aromas), además de presentar un alto rango de temperaturas para su sellado³⁹.

³⁹ VILLAMIZAR, Ciro. Consultaría para el Diseño del Empaque para Panela Granulada. Barbosa: CIMPA, 1997. 69 p.

4 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ALCOHOL ANHIDRO⁴⁰

El jugo de la caña, por su alto contenido en azúcares, resulta excelente para obtener etanol. El alcohol carburante posee características muy importantes: es producido a partir de materias primas renovables como lo es la biomasa de cultivos agrícolas y subproductos forestales. Si se mezcla el 10% con la gasolina, proyecto de Ley del Gobierno Nacional⁴¹, se disminuyen en 27 por ciento las emisiones de monóxido de carbono en carros nuevos, 45% en carros típicos colombianos de 7-8 años de uso y 20 por ciento de hidrocarburos no quemados a nuestra atmósfera, con las positivas consecuencias para la salud humana y ambiental⁴².

Por otra parte, en Brasil se ha diseñado e implementado recientemente una tecnología llamada Flex-Fuel⁴³, la cual permite que un automóvil opere 100% a alcohol, 100% a gasolina o cualquier mezcla en cualquier proporción de etanol y gasolina, debido a que ajusta rápidamente el motor del vehículo a las características del combustible. El vehículo Flex-Fuel representa una notable evolución tecnológica de la industria automovilística que abre perspectivas ilimitadas para la expansión internacional del mercado del etanol carburante. La decisión de uso de una mezcla es del propietario del vehículo y se realiza en el tanque del vehículo a partir del suministro de la bomba, además es económica y de rendimiento

⁴⁰ GRISALES, Paola Andrea; RÍOS, Leonardo Andrés y TRIANA, Mauricio. Diseño de un Proceso de Producción de Etanol Anhidro a partir de Jugo de Caña. Cali, 2002. Universidad del Valle. Escuela de Ingeniería Química.

⁴¹ La Ley 693 de 2001, establece las normas sobre la utilización de gasolina en los centros urbanos de más de 500.000 habitantes. La gasolina deberá contener componentes oxigenados tales como alcoholes carburantes en un porcentaje de 10% de alcohol y 90% de gasolina.

⁴² FEDERACIÓN NACIONAL DE BIOCOMBUSTIBLES. ABC de los Alcoholes Carburantes [en línea]. <<http://www.minminas.gov.co>> [citado el 20 agosto 2006]

⁴³ El primer modelo Flex-Fuel fue lanzado en Brasil en marzo del 2003 por Volkswagen con una excelente aceptación del público.

A continuación se describe el proceso de obtención de alcohol anhidro a partir del jugo de caña panelera, aprovechando las etapas previas de *Extracción y Limpieza* de la producción de panela.

4.1 TRATAMIENTO

4.1.1 Esterilización

El jugo limpio, que tiene una composición de 14% de sólidos solubles (14°Brix), se somete a un proceso de esterilización en el cual se calienta hasta una temperatura de 121°C con vapor en un intercambiador de tubo y carcaza durante 15 minutos. Este proceso de esterilización contribuye a la destrucción de todos los organismos patógenos, así como de todos los organismos que causen degradación del producto, y de aquellos que compitan posteriormente en la etapa de fermentación con la levadura (*Sacharomices cerevisae*) por el alimento (azúcares reductores).

4.1.2 Ajuste pH

El jugo esterilizado se bombea hacia un tanque, en donde se agrega ácido sulfúrico para ajustar el pH a 4,5 y de esta manera dar unas condiciones de acidez óptimas para la reproducción de la levadura y la fermentación posterior del jugo. Además actúa como agente precipitante de materia inorgánica y mantiene bajas las poblaciones de microorganismos contaminantes. El material sedimentado se retira por el fondo del tanque.

4.1.3 Dilución

El flujo que llega del *Ajuste del pH* se transporta hacia un mezclador estático en donde se diluye con agua deionizada hasta una concentración de 6 a 7% en peso de azúcares reductores (°Brix).

4.1.4 Enfriamiento a 28°C

Una parte del jugo diluido se enfría en un intercambiador de tubo y carcasa hasta una temperatura de 28°C; ésta es la condición térmica óptima a la que debe entrar el jugo que se usa como medio de crecimiento para la levadura *Sacharomices cerevisiae*.

4.1.5 Enfriamiento a 32°C

Otra porción del jugo diluido se enfría hasta una temperatura de 32°C en un intercambiador de calor de tubo y carcasa, utilizando agua de pozo como fluido refrigerante. Esta temperatura y la concentración de 14°Brix, son las condiciones térmicas óptimas para alimentar al fermentador.

4.2 REPRODUCCIÓN LEVADURA (AEROBIA)

Se eligió como microorganismo fermentador la levadura *Saccharomyces diastaticus*, la cual es una variedad de la *Saccharomyces cerevisiae*, que presenta las siguientes características: Es altamente floculante, resistente a la concentración de alcohol, presenta una alta velocidad de crecimiento celular, así como una alta productividad de alcohol formado por gramo de sustrato.

La preparación de levadura para la inoculación de los fermentadores involucra procedimientos tanto en el laboratorio como en la planta. Los cultivos de levadura pura se activan en el laboratorio a una temperatura de 28 a 30°C hasta lograr una población de 190 a 200 millones de células por cm, utilizando como medio de crecimiento el jugo estéril diluido.

Posteriormente se realiza un escalamiento a dos cubas de reproducción, que contienen jugo diluido. En estas cubas se introducen elementos necesarios para el crecimiento y reproducción de la levadura, entre los que se tienen: urea como fuente de nitrógeno, fosfato de amonio como fuente de fósforo, oxígeno (aire estéril), y antiespumante. Las cantidades adicionadas se muestran en la Tabla 2.

Componente	Cantidad (g/g Azúcar fermentable)
Fuente de Fósforo	0,016
Fuente de Nitrógeno	0,008
Antiespumante	0,02
Oxígeno	-

Tabla 2. Cantidades de nutrientes utilizados en la fermentación.

Las cubas deben mantenerse a una temperatura de 28 a 30 °C y un pH de 4,2 a 4,5 para garantizar el óptimo desarrollo de la levadura que se utiliza en la etapa de fermentación.

4.3 FERMENTACIÓN (ANAEROBIA)

4.3.1 Fermentación

La fermentación se realiza en continuo en dos reactores tipo tanque agitado (CSTR) en serie con reciclo porque se logran mayores productividades que en los sistemas “Batch”, se disminuye el volumen de los reactores, permite la obtención de un producto uniforme, y facilita la automatización del proceso. Además, reciclar la levadura permite tener altas concentraciones de levadura en los fermentadores (83g/l), lo cual acelera el proceso de fermentación lográndose un incremento de productividad de hasta diez veces sobre los procesos continuos sin reciclo.

De tal manera, para el proceso de fermentación, se utilizan dos CSTR con recirculación de la levadura. Se alimenta continuamente jugo de caña (14°Brix) al primer fermentador. Así mismo, se alimentan cultivos de *Sacharomices cerevisae* provenientes de las cubas de reproducción y de la recirculación para mantener los niveles de población celular entre 200-300 millones de células por mililitro de solución en el fermentador. Este proceso fermentativo se hace bajo condiciones anaerobias a una temperatura de 32 a 35°C y un pH de 4,2 a 4,5.

Se adiciona antiespumante y ergosterol, este último en una relación de 5-40 mg/l de sustrato para hacer la levadura más resistente a las condiciones de

concentración de etanol y temperatura del medio. También se agregan pequeñas cantidades de la enzima “Invertasa” para ayudar a la levadura a hidrolizar la sacarosa.

Por cada gramo de glucosa consumida se producen 0,51 g de etanol y 0,49 g de CO₂, obteniéndose una fermentación ideal con una conversión del 95%, pero debido a la formación de algunos productos secundarios menores como propanol, butanol, metanol, glicerol y ácido láctico, se obtienen conversiones entre 90 y 93%.

La reacción es exotérmica y genera –16000 Btu/lbmol de azúcar fermentada, es por esto que el fermentador necesita un sistema adecuado de control de temperatura. Para esto se emplea una chaqueta externa de enfriamiento que funciona con agua de la torre de enfriamiento. Las condiciones de temperatura y pH están controladas electrónicamente en los fermentadores, mientras que se realizan muestras periódicas de grado alcohólico y conteo microbiano.

En el primer reactor la productividad de etanol que se logra es aproximadamente de 30 a 51 g/L (6 a 8% v/v), mientras que la productividad global es de 45 a 60 g/L (7.5 a 11% v/v). La concentración de levadura en el primer tanque es aproximadamente 89 g/L (11% v/v).

4.3.2 Sedimentación

El efluente proveniente del segundo reactor, pasa a un decantador donde se separa la torta de fermentación (levaduras y otros en muy pequeñas proporciones), del caldo de fermentación (etanol, agua y otros ácidos y alcoholes). El CO₂ producido en la reacción se remueve del reactor por la parte superior y se envía a otro proceso en el cual se licua para su posterior venta. El caldo de fermentación se bombea hacia un tanque y posteriormente pasa al proceso de recuperación de etanol por destilación.

Para separar la levadura del etanol se utiliza un dispositivo separador de platos inclinados, el cual resulta ser más económico que emplear un método tradicional

como la centrifugación. Además, la naturaleza floculante de la levadura ayuda a que la separación sea mucho más fácil.

4.3.3 Activación

La levadura que se ha recuperado del separador se vuelve a acondicionar suministrándole aire, nutrientes, antibióticos, ácido y azúcares fermentables para reactivarla y que se vuelva a multiplicar y desarrollar, para reenviarla nuevamente a los fermentadores y continuar el proceso de fermentación.

4.4 DESTILACIÓN

Para obtener alcohol anhidro se utiliza un sistema combinado de destilación con recuperación de vapor para volver el alcohol azeotrópico y luego una deshidratación por pervaporación, ya que la destilación por recuperación del vapor es un sistema que muestra tener altos ahorros energéticos, siendo su consumo cercano al de recompresión del vapor pero sin un gasto adicional en los costos de capital (215 a 2450 kJ/l de etanol azeotrópico).

La pervaporación se ha elegido porque permite separaciones económicas, con reducción en los costos de capital y energéticos, así como logra mezclas azeotrópicas efectivas sin la adición de otros componentes.

La destilación es la operación mediante la cual se separan los componentes de una mezcla de varios líquidos; los líquidos se separan suministrando calor a la mezcla, llegando el instante en que la temperatura alcanzada es la temperatura de ebullición del componente más volátil; las moléculas de éste se escapan de la mezcla líquida en un estado de vapor y mediante la refrigeración posterior son condensados.

Generalmente la destilación se realiza para la obtención de alcoholes, un líquido fermentado que contiene, además de alcohol cierto número de distintos productos. Entre estos unos son volátiles, como por ejemplo, los ácidos acéticos, butíricos,

los ésteres de estos ácidos, los alcoholes superiores tales como los alcoholes isopropílico, propílico, isobutílico, butílico, isoamílico, amílico y el aldehído acético. Las corrientes presentes en esta etapa son: como alimento el mosto proveniente de la fermentación y como productos las vinazas recuperadas por la parte inferior de la columna y que salen a temperatura que varía entre 80 a 100°C y las flemas que salen por la parte superior de la columna y que corresponden a la solución de la que se obtendrá directamente el alcohol y que tienen una temperatura aproximada de 55°C.

4.4.1 Separación

Esta operación se realiza utilizando la columna agotadora o destrozadora, la cual trabaja al vacío y a baja presión. De ésta se separan las flemas con impurezas por un lado y las vinazas por el otro.

4.4.2 Concentración

Las flemas pasan a la columna concentradora donde salen con un contenido de alcohol del 90 %.

4.4.3 Hidroselección

Las flemas con 90% de alcohol continúan a una columna Hidroselectora donde se inyecta vapor y se agrega agua para disminuir el contenido de alcohol hasta un 13 % en el fondo y un 24 % en la parte superior.

Por la parte superior, como se mencionó, se recoge una solución con 24°G.L., a una temperatura de 90°C, que contiene, además de alcohol, impurezas como cetonas, aldehídos, ésteres y metanol. Esta corriente se conoce como alcohol impotable o de mal gusto y se comercializa con destino a industrias de cosméticos y como solventes.

La corriente del fondo, a temperatura de 92°C y con un contenido alcohólico del 13%, pasa a una columna rectificadora.

4.4.4 Rectificación

La flema que llega a esta etapa contiene, además de alcohol, cierto número de sustancias volátiles que es necesario separar para obtener el alcohol neutro. Estas impurezas que existen en el alcohol ordinario se clasifican en dos categorías: las impurezas de cabeza, que subsisten en las primeras porciones del líquido destilado, y las impurezas de cola, que se encuentran al final de la destilación.

La rectificación tiene por objeto la separación del alcohol puro de las impurezas que lo acompañan. Se pueden efectuar dos procedimientos: el método discontinuo y el continuo. El primero consiste en rectificar en un aparato apropiado un volumen determinado de flemas, separando sucesivamente los productos de cabeza, el alcohol y los productos de cola; y el segundo en rectificar la flema en un aparato continuo especial donde se extraen regularmente y sin interrupción las impurezas que arrastra la alimentación continua de la flema.

La máxima concentración que se obtiene en la columna de rectificación es del 96,1%, ya que la mezcla binaria alcohol etílico-agua forma un azeótropo cuando la concentración alcohólica está muy cercana a este punto, por lo que a partir de este se hace imposible la separación.

4.5 DESHIDRATACIÓN

4.5.1 Elevación de Presión

La corriente de etanol que sale de la destilación con una concentración de 95% v/v se pasa por una bomba en donde se eleva su presión de 1 a 6 atmósferas.

4.5.2 Elevación de Temperatura

Una vez elevada la presión, esta corriente se introduce a un intercambiador de calor de tubo y carcaza, donde se eleva su temperatura hasta alcanzar los 130 a 150°C.

4.5.3 Pervaporación #1

Elevada la temperatura, el flujo se bombea al módulo de membrana semipermeable del primer pervaporador. Dicha membrana está hecha de microporo de poliacrilonitrilo cubierto con una capa de 5 a 20 μm de poli-vinil-alcohol (PVA). La mezcla líquida entra en contacto con la membrana, la cual selectivamente permite el paso del agua en forma de vapor hacia el otro lado de esta, debido a un gradiente de concentración y presión. Este flujo líquido rico en agua (50-70% v/v) que sale del primer pervaporador como vapor (permeado) se condensa y genera un vacío espontáneo dentro de dicho pervaporador.

4.5.4 Pervaporación #2

La corriente líquida rica en etanol ingresa al segundo pervaporador en donde se pone en contacto con la membrana. La corriente rica en agua (permeado) se condensa y se une a la corriente rica del primer pervaporador. Está se bombea hacia una válvula en donde se lleva a presión atmosférica y se reenvía a la columna de rectificación para recuperar el etanol.

El etanol líquido casi puro (99,9 a 99,8% v/v o 99,5 a 99,7% p/p) se almacena para su posterior venta.

5 PROCESOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS

Dentro de los procesos descritos se generan residuos, los cuales son fuente importante para la generación de productos con valor agregado, resultan muy útiles en su proceso de origen, o para ser aplicados en procesos externos. Entre los productos que se pueden obtener se encuentran: energía eléctrica, energía térmica, etanol, biogás, fertilizantes, papel, vapor, entre otros.

En el proceso de producción de panela se puede obtener agua, condensando el vapor generado en las etapas de clarificación, evaporación y concentración, la cual puede convertirse en vapor al calentarse con la combustión del bagazo para generar energía mecánica y eléctrica. La energía mecánica se genera mediante turbinas de vapor, que puede emplearse para mover el instrumento de molienda o para generar energía eléctrica con un turbogenerador. Esta energía se puede aprovechar en la planta, e inclusive si la cantidad de agua “desechada” es alta y el aprovechamiento es óptimo, podría comercializarse.

Por otra parte, el bagazo también puede usarse como materia prima para la obtención de etanol, constituyendo una buena alternativa si se desea incrementar la producción obtenida con jugo de caña.

Además, el bagazo, por ser un material fibroso con una estructura vegetal celulósica, puede emplearse para obtener papel. Esta opción permite dotar a la industria papelera de nuevas fuentes para extraer celulosa con una propuesta ecológica que evite la deforestación y a su vez mitigue la contaminación.

A partir de las vinazas, residuo de la producción de etanol, y de la cachaza, residuo de la producción de panela, se puede producir biogás por medio de

digestión anaerobia. Estudios realizados por el Dr. Juan Carlos Campos y el MSc. David López de la empresa Energía Eficiente S. A. E.S.P., señalan la combinación de biogás con el bagazo para la combustión de las calderas, con buenos resultados.

Otra alternativa para la vinaza es utilizarla para la producción de fertilizante líquido, o lo que se denomina fertiriego. Este nuevo producto ha sido sometido a varios estudios y ha mostrado ser una buena opción como complemento del fertilizante convencional, por ser rico en N, K, P, nutrientes esenciales para el desarrollo del cultivo de caña. Sin embargo se debe tener precaución a la hora de utilizar este producto, puesto que un exceso afecta la calidad de la caña, debido a que se alteran perjudicialmente las características del suelo.

5.1 OBTENCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE BAGAZO⁴⁴

El bagazo es el remanente de los tallos de la caña panelera, después de extraerse el jugo que ésta contiene. Es un material lignocelulósico compuesto principalmente por celulosa, lignina y hemicelulosa (ver Tabla 3).

Composición	%
Celulosa	46,6
Hemicelulosa	25,2
Lignina	20,7

Tabla 3. Composición química del bagazo

El proceso para la obtención de etanol a partir de bagazo se describe a continuación:

⁴⁴ PARSONS MARTÍNEZ, Carolina; BANQUETH VERBEL, Emmanuel Ramith. Diseño de una Planta Piloto para la Producción de Etanol a Partir del Bagazo de la Caña De Azúcar. Bucaramanga, 2004, 97 h. Trabajo de Grado (Ingeniero Químico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.

5.1.1 Adecuación

La adecuación de la materia prima comprende las etapas de *Lavado*, *Secado*, *Trituración* y *Prehidrólisis*. El Lavado permite remover la suciedad presente en el bagazo por medio de la aplicación directa de agua. El Secado acondiciona el bagazo a la humedad requerida, utilizando energía solar o térmica. La Trituración reduce el tamaño del bagazo hasta 0,075 y 7 mm mediante la utilización de un molino de discos. La Prehidrólisis es la etapa en la cual se transforma la hemicelulosa presente en el bagazo a xilosa (azúcar fermentable de 5 carbonos) por la acción de ácido sulfúrico diluido (7,65%). Las condiciones de operación para esta etapa son: presión de 1 Atm, temperatura de 30°C, agitación de 120 rpm, calor por cochada de 5195 kJ y tiempos de residencia de 20 minutos.

5.1.2 Hidrolización

La hidrólisis puede ser de tipo químico o enzimático. Esta última requiere del empleo de microorganismos capaces de transformar directamente la holocelulosa en etanol. En el país no se encuentran tales microorganismos con absoluta caracterización e identificación, aunque existen algunos estudios que se enfocan hacia este tema⁴⁵. La hidrólisis ácida concentrada, utilizada para el modelado en IDEFØ, presenta en la actualidad los mejores rendimientos hacia los azúcares, sin embargo requiere de un alto nivel de inversión inicial y de operación, como consecuencia de la necesidad de recuperar y recircular el ácido que se emplea. Por otra parte la hidrólisis ácida diluida, opera a concentraciones de ácido que van desde 0.5% hasta 20%, lo cual facilita el desarrollo del proceso en la medida que evita la concentración y recirculación del ácido. No obstante se requiere operar a temperaturas y presiones mayores a las que se emplean en la tecnología de hidrólisis ácida concentrada.

⁴⁵ MONTOYA, D; SPITIA, S; SILVIA, E y SCHWARZ, W. Isolation of Mesophilic Solvent-Producing Strains from Colombia Sources: Physiological Characterization. 2000

La hidrólisis completa de la celulosa consiste en el rompimiento de los enlaces entre las moléculas de glucosa; a cada unidad se añade una molécula de agua, produciéndose la glucosa

La corriente de salida del prehidrolizador entra al hidrolizador que opera a una temperatura de 90 °C y a una presión de 1 Atm, en donde se adiciona más H₂SO₄ y agua. Obteniendo finalmente una corriente con una composición de azúcares mayor a la anterior. Y además glucosa.

5.1.3 Separación Azúcares

- **Filtrado.** La corriente proveniente del hidrolizador es llevada a un filtro prensa en donde se remueve principalmente la lignina, los inertes y todos los sólidos suspendidos que traía. Las condiciones de operación son: 30°C y 0,5 Atm, durante 3,4 minutos.

- **Separación Cromatográfica.** El filtrado obtenido entra a una columna de separación cromatográfica, que está llena de resina de intercambio iónico a base de calcio, soportada en una columna de vidrio.

En este equipo la separación se realiza debido a que la resina que está cargada positivamente retiene los iones SO₄⁻ del ácido sulfúrico, dejando pasar los azúcares (glucosa y xilosa) que abandonan la columna, siendo el ácido retenido en la columna mientras esto ocurre. Luego de un tiempo, cuando ya han pasado todos los azúcares y la columna se encuentre saturada de iones SO₄⁻, se bombea agua destilada y el ácido empieza a salir de esta, recuperando así más del 90% del ácido empleado.

Esta columna debe operar a condiciones de 28°C y 1,2 Atm durante 24 minutos.

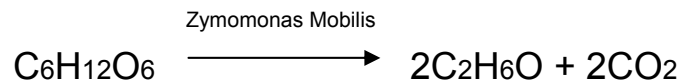
- **Neutralización.** Después de separar el ácido de la solución de azúcares, la solución de éstos últimos se encamina hacia la centrífuga donde se les agrega

agua y cal con el fin de neutralizar el ácido remanente en esta corriente, esto produce una pequeña cantidad de yeso.

- **Reconcentración y Almacenamiento.** El ácido que se recupera de la columna cromatográfica, se transporta hacia un evaporador, donde se eleva nuevamente su concentración para posteriormente ser almacenado y recirculado a las etapas de prehidrólisis e hidrólisis.

5.1.4 Fermentación

En esta etapa los azúcares fermentables (glucosa y xilosa) son transformados a etanol por la acción de la bacteria *Zymomonas Mobilis*. La estequiometría de la reacción de producción de etanol, es una simple descomposición de una molécula de glucosa para generar dos moléculas de dióxido de carbono y dos de alcohol etílico.



En esta operación se emplean las condiciones típicas de 30°C, pH de 5,0 – 5,5, 15% de volumen de inóculo y una velocidad de agitación de 300 rpm, durante 13 horas.

Dado que el bagazo es un material lignocelulósico, donde además de hexosas como la glucosa, también tiene pentosas como la xilosa; la levadura *Saccharomyces cerevisiae* no puede utilizar estos azúcares de cinco carbonos como fuente de carbono. Esto se traduce en una disminución del rendimiento del proceso, ya que una parte de los azúcares presentes en la biomasa lignocelulósica no puede transformarse en etanol. Además, si se quieren transformar las pentosas, es necesario utilizar microorganismos separados para fermentar las pentosas y las hexosas, lo cual requiere de dos tanques de fermentación distintos, aumentando así, el costo del proceso.

Por otra parte la *Zymomonas Mobilis* es una de las pocas bacterias que metaboliza glucosa y fructosa por la vía de Entner – Doudoroff (E-D). Convierte hexosas por la vía 2- ceto-3-deoxy-6-fosfogluconato y a partir del piruvato produce CO₂ y acetaldehído. Posteriormente el acetaldehído se reduce a etanol. Considerándose para este proceso de fermentación la bacteria más adecuada.

Además la *Zymomonas Mobilis* presenta otras importantes ventajas respecto a la levadura, como son:

- Mayor captación de azúcar y mayor producción de etanol, por poseer un transporte de fácil difusión de azúcar, que se acopla con los genes codificantes de las enzimas piruvato decarboxilasa y alcohol deshidrogenasa.
- Menor producción de biomasa. Mientras la levadura produce 2 moles de adenosin trifosfato (ATP) por cada mol de glucosa a través de la vía Embden – Meyherhoff – Parnas, la *Z. Mobilis* a través de la vía Entner – Doudoroff produce solo 1 mol de ATP por cada mol de glucosa.
- Mayor tolerancia al etanol. Esta bacteria puede lograr concentraciones de etanol superiores al 12% p/v en fermentaciones con glucosa.
- Mayor facilidad en la manipulación genética.
- Fermenta azúcares de bajo pH.
- No requiere oxígeno.

5.1.5 Centrifugado

En esta etapa se retiran los microorganismos utilizados en el proceso de fermentación de la corriente que lleva el etanol, para su posterior recirculación; esto se realiza con la utilización de la centrífuga 2.

5.1.6 Purificación

La corriente proveniente del centrifugado se pasa por un intercambiador de calor, que es el encargado de llevar la solución de alcohol-agua hasta la temperatura necesaria para la purificación. Esta purificación se lleva a cabo mediante un

equipo separador flash, que aumenta la concentración del etanol hasta un 25% molar. Las condiciones de operación del separador son las siguientes: 30°C y 0,5 Atm.

Para obtener Alcohol Anhidro, esta corriente debe continuar con las etapas de Destilación y Deshidratación, descritas en el proceso de producción de Etanol Anhidro a partir de Jugo de Caña.

5.2 OBTENCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE BAGAZO

Para el proceso de fabricación del papel a partir de bagazo de caña se ha empleado el método de la sosa, el cual comprende las siguientes etapas:

5.2.1 Almacenamiento en pacas

El almacenamiento del bagazo de caña, es de mucha importancia para la industria papelera, debido a que la zafra no es en forma continua, y con el almacenamiento del bagazo se puede asegurar las operaciones de la planta de celulosa en forma continua, durante el tiempo en que no haya molienda.

El almacenamiento en pacas consiste en acomodar el bagazo que sale de la molienda con una humedad de un 50% en forma de pacas, utilizando para esto una empacadora mecánica, la cual forma las pacas del tamaño promedio de 45x 50x75 cm, y de un peso aproximado de 100kg, en húmedo lo mismo que seco.

Las pacas almacenadas forman estibas de un número variable de pacas que pueden ser de 10000 a 20000 con un peso de 500 a 1000 toneladas de bagazo por estibas. Un factor importante de la constitución de estibas son las reglas de seguridad que deben seguirse para asegurar una buena ventilación y protección contra los incendios.

Debido al proceso de fermentación de la sacarosa residual del bagazo, se presenta en la etapa inicial del almacenamiento un incremento de temperatura del interior de las pacas, los cuales pueden alcanzar valores de 60 a 70° centígrados.

5.2.2 Transporte

El bagazo después de ser almacenado es transportado por medio de carretones desde las estibas hasta la planta de celulosa.

5.2.3 Impregnación

Antes de realizar la operación de impregnación se debe hacer el Desempaque, la Dilución y el Prensado.

- **Desempaque.** Una vez las pacas han llegado a la planta son descargadas sobre una banda transportadora, que las lleva a una máquina rompe pacas; luego este bagazo suelto es transportado a la etapa de Dilución.

- **Dilución.** El transportador de bandas tiene instalada una báscula de medición continua, la cual marca la cantidad de fibras que se alimentan al tanque de retención, para después agregarle cierta cantidad de agua que logre obtener una consistencia del 4%.

- **Prensado.** La mezcla de fibras con agua es bombeada a una prensa de dos cilindros.

La operación del sistema de dilución y prensado tiene como finalidad la homogenización de las fibras antes de la impregnación, ya que las fibras comprimidas por los cilindros de la prensa al momento de expandirse tienen la facultad de absorber la solución de sosa.

- **Impregnación.** En esta etapa se lleva a cabo la absorción de la solución de sosa por las fibras del bagazo, bajo condiciones de operación específicas.

En la primera torre de impregnación a la mezcla se le agrega vapor a baja presión para obtener una temperatura de aproximadamente 90°C. Luego la mezcla se alimenta a la segunda torre por medio de una bomba de alta

consistencia, de 7,5%. El tiempo de retención de las dos torres de impregnación es de aproximadamente 25 minutos.

Durante el paso de esta mezcla por las torres, la consistencia de las fibras y el licor de impregnación permanecen constantes.

5.2.4 Digestión

- **Prensado.** Posteriormente al proceso de impregnación, las fibras pasan por medio de canales, hacia una prensa de dos rodillos, donde se elimina la lejía negra y se obtiene una consistencia del 28%. Esta condición es necesaria para el funcionamiento de la prensa cónica (alimentador del digestor). Esta tiene que alimentar continuamente el bagazo en forma de tapón para mantener la presión del digestor. La formación del tapón exige una consistencia que puede variar entre 30 a 32%.

- **Cocción.** El cocimiento del bagazo que procede de la etapa de prensado se efectúa en fase de vapor y bajo las siguientes condiciones: 7kg/cm de presión del vapor, 160°C de temperatura y un tiempo de retención de 20 minutos, y se lleva a cabo en un digestor (tubo de aproximadamente 0,5 m de diámetro y 10 m de longitud).

El bagazo que todavía esta impregnado de sosa, pasa dentro del tubo y bajo la influencia tanto de la temperatura como de la sosa, se descompone.

- **Dilución.** La masa cocida es descargada en un tanque (Blow Tank). Posteriormente estas fibras son diluidas con lejía negra de las lavadoras y es bombeada a un fraccionador.

5.2.5 Selección de Fibras

- **Fraccionamiento.** Debido a que el bagazo se descompone en tres tipos de fibras, cuyas características físico-mecánicas son diferentes, la función del fraccionador es separarlas adecuadamente.

En este caso se separan las fibras cortas (fibras A), las fibras largas (fibras B) y las fibras mal cocidas.

- **Lavado.** Las fibras largas son lavadas por medio de filtración y difusión para eliminar todos los componentes orgánicos, como también residuos de los procesos de impregnación y cocimiento. Esta labor se efectúa con lavadoras de tambor o también llamados filtros al vacío.

- **Depuración.** En la depuración se eliminan las impurezas (fibras mal cocidas, arena y objetos extraños). Este proceso se lleva a cabo en una serie de Cribas rotatorias o vibratorias.

Las fibras buenas cuyo tamaño corresponden al diámetro de las perforaciones, son aceptadas, mientras que las otras fibras mal cocidas o más grandes se desplazan hacia la canasta perforada para ser rechazadas.

5.2.6 Tratamiento de Fibras

El tratamiento de fibras comprende las etapas de Acondicionamiento, Moldeo y Empaque.

- **Acondicionamiento.** El acondicionamiento de las fibras está constituido por las actividades de Limpieza, Espesamiento y Blanqueo.

- **Limpieza Centrífuga.** La limpieza se realiza por medio de hidrociclones, cuyos parámetros principales son la eficiencia de remoción de contaminantes y la tasa de rechazo de sólidos. Cuanto mayor sea la tasa de rechazo mayor será la eficiencia de remoción, pero también lo será la pérdida de fibras. Por lo tanto ambos parámetros deben ser controlados.

° **Espesamiento.** La fibra limpia o mejor dicho uniformizada pasa a un espesor, donde se elimina agua y la consistencia aumenta a un valor de 12%, para luego pasar al área de blanqueo.

° **Blanqueo.** Para obtener la blancura deseada en el producto final, ya sea papel periódico o papel de escritura e impresión, se necesita blanquear la pulpa. En este caso se utiliza el blanqueo con hipoclorito de calcio, comprendiendo las labores de Mezclado, Blanqueo #1 y Blanqueo #2.

- **Mezclado.** La pulpa de alta consistencia 12%, se mezcla con una solución de hipoclorito de calcio y se calienta a una temperatura de 50°C con vapor directo.

- **Blanqueo #1.** La pulpa del mezclador se bombea por medio de una bomba de alta consistencia a la torre de Blanqueo #1, en la que permanece por un tiempo aproximado de 100 minutos. El pH debe permanecer en un rango de 9,5 y 11. El hipoclorito de calcio ataca los componentes colorantes de la pulpa.

- **Blanqueo #2.** La pulpa con 12% de consistencia pasa a una segunda torre de blanqueo. Este proceso es semejante al primero, únicamente que el tiempo de retención en la torre es mas largo.

▪ **Moldeo.** El moldeo está constituido por las actividades de Laminado, Enrollado y Corte.

° **Laminado.** En el laminado o formación de la hoja tenemos las etapas de Extracción de agua, Prensado, Secado y Calandro, realizadas en la máquina plana de fabricación de papel.

- **Extracción de agua.** La pulpa procedente del blanqueo contiene 98% de humedad y fluye hacia una fina malla de alambre, la cual se encuentra en movimiento y a una cierta velocidad, dependiendo del tipo de papel que se vaya a fabricar. Al llegar a la tela metálica, el agua empieza a caer por efecto de la succión ejercida por los cojines aspirantes, como también por la acción de la gravedad. Esta labor deja una blanda capa de fibras, denominada papel, que es transportada por una malla hasta otra cinta, donde se le absorbe agua por medio de un filtro.

- **Prensado.** Luego la capa de fibras es pasada a una prensa primaria y posteriormente a un juego de tres prensas húmedas que por compresión le extraen mas agua.

- **Secado.** Después del juego de prensas, la capa de fibras pasa a una serie de tambores secadores, dejándola tan solo con una humedad de 5%.

- **Calandro.** Una vez la capa de fibras se ha secado, convirtiéndose en una pasta, es pasada por medio de una calandria, la cual le da una superficie suave y le proporciona más rigidez.

° **Enrollado.** Terminado el calandro, la larga e interminable cinta de papel que emerge de la máquina es pasada por un juego de rodillos divisores y posteriormente es enrollada en grandes bobinas, algunas de las cuales pueden contener hasta 20km de papel.

° **Corte.** Posteriormente los rollos de papel son rebobinados y cortados al tamaño deseado por el cliente. En algunos casos el papel es cortado formando paquetes o resinas.

- **Empaque.** Finalmente, el papel es empacado utilizando generalmente bolsas de plástico, cajas de cartón, entre otros, dependiendo del tipo de papel fabricado.

5.3 OBTENCIÓN DE FERTILIZANTE Y BIOGÁS A PARTIR DE LAS VINAZAS

La vinaza es un material orgánico líquido resultante de la producción de etanol, ya sea por destilación de la melaza fermentada o de la fermentación directa de los jugos de la caña. Su origen es, entonces, la caña por lo que su composición elemental (ver Tabla 4) debe reflejar la del material de procedencia. Puede contener impurezas derivadas del proceso de extracción de los jugos y de la fermentación⁴⁶.

Característica	Unidades	Vinaza 55% s.t.	Vinaza 10% s.t.
N	kg/m ³	4.30	0.63 – 1.14
P	kg/m ³	0.22	0.04 – 0.11
K	kg/m ³	34.03	4.05 – 9.01
Ca	kg/m ³	5.00	0.74 – 2.2
Mg	kg/m ³	5.40	0.80 – 1.36
S	kg/m ³	11.55	1.28
pH	–	4.3 – 4.5	3.5 – 4.3
CE	DS/m ¹	17	11.0

Tabla 4. Composición elemental de las vinazas de 55% y de 10% de sólidos totales.

Una planta de 100.000 litros de alcohol por día exigiría disponer 1.000 m³ de vinaza que contiene 70 toneladas de sólidos (52 orgánicos y 18 inorgánicos). La oxidación de esta carga contaminante, una vez dispuesta en el agua, exige volúmenes grandes de oxígeno. La demanda biológica de oxígeno (DBO) de las

⁴⁶ GARCÍA O, Álvaro y ROJAS C, Carlos A. Posibilidades de Uso de la Vinaza en la Agricultura de Acuerdo con su Modo de Acción en los Suelos. Cali: Tecnicaña, 2006. 11 p. (Nota Técnica)

vinazas es del orden de 25.000 mg/l si se parte de melazas y de 6.000 a 16.500 si se trabaja con mieles vírgenes. Los valores correspondientes para la demanda química de oxígeno (DQO) son 65.000 mg/l y de 15.000 a 33.000 mg/l.

La materia orgánica coloidal de la vinaza se descompone con relativa facilidad; por tal razón si la vinaza se descarga en corrientes de agua, el contenido de oxígeno disuelto disminuye radicalmente, ya que se consume en el proceso de oxidación de la materia orgánica. Esta carga orgánica, que analizada desde el punto de vista anterior produce un efecto contaminante en el agua, puede llegar a convertirse en una ayuda para los suelos. Más aún, incrementando los contenidos de nitrógeno y fósforo puede obtenerse un producto de un real valor fertilizante.

La vinaza aplicada directamente al suelo como riego tiene las siguientes ventajas:

- Mejora las propiedades fisicoquímicas del suelo.
- Incrementa el poder de retención del agua y de sales minerales.
- Aumenta el potasio y otros elementos fertilizantes en el suelo.
- Aumenta la microflora.

Sin embargo y desafortunadamente, la vinaza es un fertilizante desequilibrado con relación a la presencia de macronutrientes. Tiene un contenido elevado de potasio, mediano de nitrógeno y bajo de fósforo, condición que puede afectar considerablemente el suelo.

Se ha encontrado en muchos estudios en el Brasil que esto a su vez genera ciertos problemas en el cultivo de la caña: atraso de maduración, disminución de sacarosa aparente, aumento de cenizas. Por lo tanto el uso de vinaza como riego tiene, por lo tanto, que ser controlado, con el fin de evitar aplicación excesiva principalmente de potasio⁴⁷.

⁴⁷ OCAMPO, Aquiles. Alcohol Carburante: Actualidad Tecnológica. En: Revista EIA. No.1 (Feb., 2004); p. 39-46. ISSN 1794-1237.

Otra alternativa para el tratamiento de las vinazas que reduce su impacto ambiental y puede generar como subproductos biogás y fertilizante, es la digestión anaerobia. Esta tiene la ventaja de reducir los olores producidos por la descomposición y la carga contaminante propia de la materia orgánica. Además por desarrollarse en ausencia de oxígeno, el proceso reduce a niveles seguros en menor tiempo, los microorganismos que pueden causar enfermedades en personas y animales.

CORPODIB (Corporación para el Desarrollo Industrial de la Biotecnología y Producción Limpia) ha desarrollado un reactor anaerobio estricto para la degradación de residuos orgánicos, aplicable a altas concentraciones de carga orgánica, el cual cuenta con un sistema de homogeneización por bombeo que permite un continuo contacto del material biodegradable con la biomasa.

El bioreactor puede manejar flujos desde 5 Ton/día. Es excelente en la degradación de residuos tales como vinazas, residuos agrícolas vegetales, y en general del sector de alimentos. Se han encontrado eficiencias de remoción con el uso de esta tecnología de hasta un 95% de la carga orgánica. Adicionalmente se obtiene biogás con una composición aproximada de: CH₄: 45-60%; CO₂: 28- 34%; H₂S: 14-18%, el cual es purificado en un proceso posterior hasta obtener gas metano de aproximadamente un 98% de pureza⁴⁸.

De esta manera, un posible esquema para el tratamiento de las vinazas de una planta de alcohol a partir de jugo de caña consiste en los siguientes pasos.

5.3.1 Almacenamiento

Las vinazas provenientes de la planta de destilación se recogen en el tanque de homogenización (buffer tank), equipado con un interruptor de nivel que protege por bajo nivel las bombas de alimentación. Estas envían el efluente a los circuitos de

⁴⁸ CORPODIB. Generación de Biogás y Abono Biológico por Degradación Anaerobia de Residuos Orgánicos [en línea]. < <http://www.corpodib.com/estudios3.htm> > [citado el 6 de diciembre de 2006]

recirculación de los digestores pasando por intercambiadores de placas que los enfrían hasta 37°C. El medio enfriante empleado en estos intercambiadores es agua proveniente de la torre de enfriamiento.

5.3.2 Tratamiento Anaerobio

En los bioreactores las vinazas se mezclan con licor reciclado y se produce la digestión anaeróbica de microorganismos (acetogénesis y metanogénesis), con gas y lodos como subproductos.

5.3.3 Tratamiento Aeróbio

El proceso aeróbio consiste en el crecimiento de un cultivo de bacterias que purifica el agua, constituido de las siguientes etapas:

- **Oxidación Sulfuros.** El subproducto obtenido del proceso anaeróbico se une con los efluentes de las demás unidades del proceso (Agua del tamíz molecular, lavado de equipos) y se alimenta al tanque de oxidación de sulfuros, cuyo objeto es oxidar los sulfuros a tio-sulfuros, y evitar inhibir las bacterias de las celdas aeróbicas. El tanque está equipado con aireadores de superficie del tipo fijo que suministran el oxígeno requerido y mezclan la solución de sulfato férrico.
- **Desgasificación.** Después de un tiempo de contacto suficiente, el licor mezclado se envía al tanque de desgasificación, con el objeto de retirar las burbujas de aire.
- **Clarificación.** La corriente anterior pasa a un clarificador, en el cual se separa el efluente clarificado de los lodos. Del fondo del clarificador, salen los lodos que son posteriormente bombeados.

5.3.4 Acondicionamiento Lodos

- **Espesamiento.** Los lodos se envían al espesador junto con algunas cantidades esporádicas de levadura que son descargadas a la unidad de fermentación de la destilería. Lo anterior considerando que la biodegradación de la levadura es muy lenta y la concentración de sólidos en el licor es alta.
- **Deshidratación.** Los lodos espesados son enviados a los filtros prensa. Estos filtros están equipados con un dispositivo de floculación que acondiciona los lodos antes del prensado y facilita la deshidratación.
El agua procedente del lavado y del proceso de filtración de lodos se recoge en un tanque de sumidero y por medio de bombas sumergibles se recircula al tanque de oxidación.
- **Reformulación.** Los lodos deshidratados son reformulados para elaborar un fertilizante que supla los requerimientos nutricionales del cultivo de la caña⁴⁹.

5.4 OBTENCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE CACHAZA

La cachaza es un “residuo” del proceso de producción de panela obtenido de la limpieza del jugo en caliente (clarificación), que aglutina los sólidos en suspensión, algunas sustancias coloidales, colorantes presentes en el jugo original de la caña y los extractos mucilaginosos añadidos para mejorar el proceso de clarificación.

A través de las evaluaciones efectuadas directamente en los trapiches han revelado que, el 3 - 5% en peso del jugo extraído, corresponde a la cachaza,

⁴⁹ CORPODIB. Bioetanol por Fermentación del Jugo de Caña de Azúcar y Melazas como Aditivo Oxigenante de la Gasolina [en línea]. < <http://www.corpodib.com/estudios1.htm> > [citado el 6 de diciembre de 2006]

donde su constitución depende de muchos factores tales como: la variedad de caña, la cantidad de agentes aglutinantes utilizados en la clarificación, entre otros⁵⁰.

Un método de conservación efectivo y práctico es someter la cachaza a deshidratación por calor, produciendo un material más estable y de fácil manejo denominado melote, el cual resulta beneficioso para la alimentación de cerdos (ver Tabla 5)⁵¹.

Componente	Cantidad	Componente	Cantidad
Humedad	51,7 %	Nitrógeno	0,2 %
°Brix	41,0 %	Fósforo	0,31 %
Pol	34,6 %	Potasio	0,32 %
Pureza	35,0 %	Calcio	0,49 %
Azúcares reductores	6,8 %	Magnesio	0,14 %
Sacarosa	30,0 %	Manganeso	65 ppm
Proteína	3,5 %	Zinc	48,8 ppm
Grasa	3,1 %	Hierro	92,5 ppm
Ceniza	2,5 %	Cobre	10,1 ppm
pH	6,3		

Tabla 5. Composición del melote de caña (% base fresca).

A la cachaza se le ha evaluado principalmente sus propiedades como fertilizante, por su alto contenido de nitrógeno, fósforo, calcio y materia orgánica que aporta al suelo. También sus efectos sobre las propiedades físicas del suelo y en la recuperación de suelos afectados por sales.

⁵⁰ CASTILLO LOZADA, Luís Emilio. Diseño de un Sistema de Recolección y Transporte de Cachaza en el Proceso de Elaboración de Mieles y Panela. Bucaramanga, 2004, 79 h. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

⁵¹ SARRIA, Patricia; SOLANO, A y PRESTON, T. Utilización de Jugo de Caña y Cachaza Panelera en la Alimentación de Cerdos. En: Livestock Research for Rural Development, Cipav. No. 2 (Jul., 1990).

En estudios realizados sobre distintos suelos, se determinó que los efectos fertilizantes de la cachaza se pueden esperar desde los 3 meses después de su aplicación, y su acción residual se puede prolongar hasta 3 años para algunos nutrientes. Para esperar los efectos como fertilizante es necesario aplicar altas dosis de este residuo, lo cual oscila entre 50 y 240 ton/ha de cachaza fresca⁵².

Otra alternativa es la utilización de la cachaza para generar biogás, mezcla gaseosa producida por la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas y cuyos principales componentes son el metano y el bióxido de carbono (CO₂) que se producen como resultado de la fermentación de la materia orgánica en ausencia de aire por la acción de un microorganismo.

Los procesos de producción de biogás dependen de varios parámetros, entre los cuales se encuentran los cambios en la temperatura del medio ambiente que tienen un efecto negativo en la actividad bacteriana. El biogás es una mezcla de gases, cuya composición básica se muestra en la Tabla 6.

Componente	% Vol
Metano (CH ₄)	40 - 70
Dióxido de Carbono (CO ₂)	30 - 60
Otros gases	1 - 5
Hidrógeno (H ₂)	0 - 1
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	0 - 3

Tabla 6. Composición básica del biogás.

Así como cualquier gas puro las propiedades características del biogás dependen de la presión y la temperatura. El valor calorífico del biogás es de aproximadamente 6 kWh/m³ que corresponde a la mitad de un litro de combustible diesel; el valor calorífico neto depende de la eficiencia de los quemadores o de su aplicación.

1m³ de biogás sustituye a:

⁵² ZÉREGA M, Luís. Manejo y Uso Agronómico de la Cachaza en Suelos Cañameleros. En: Revista Caña en Azúcar. Vol. 11, No. 2 (1993).

- 0,61 Litros de gasolina.
- 0,55 Litros de ACPM.
- 0,58 Litros de Kerosene.
- 0,5 - 1.5 Kg de Leña.
- 0,74 Kg de Carbón Vegetal.
- 1,43 Kw/h de Energía Eléctrica

Otros usos del biogás son las estufas de gas, en iluminación con lámparas de gas, en la nevera de gas y como combustible en motores de explosión.

Además de generar biogás combustible, la fermentación anaeróbica de la materia orgánica produce un residuo (lodo) de excelentes propiedades fertilizantes. Un análisis del promedio aproximado de la composición de estos lodos se muestra en la Tabla 7.

Parámetro	Valor
PH	7,5
Materia orgánica	85%
Nitrógeno	2,6%
Fósforo	1,5%
Potasio	1,0%

Tabla 7. Composición aproximada de los lodos.

La aplicación del efluente al suelo trae beneficios similares a los que se alcanzan con cualquier materia orgánica. Es decir, que actúa como mejorador de las características físicas, facilitando la aireación, aumentando la capacidad de retención de humedad, de infiltración del agua y de intercambio catiónico.

También actúa como fuente de energía y nutrientes para el desarrollo de núcleos microbianos que mejoran la solubilidad de los compuestos minerales del suelo.

Esta situación hace que el abono biológico sea más efectivo que muchos de los abonos orgánicos químicos utilizados normalmente⁵³.

A continuación se describe el proceso de producción de biogás a partir de cachaza, realizado por el Ing. Conrado Ramírez Cutido para el asentamiento cañero Minaz de Cuba:

5.4.1 Adecuación

Permite lograr una mezcla homogénea de agua y cachaza o sea que quede totalmente diluida en las proporciones adecuadas. El tanque utilizado para esta labor debe estar aforado para dosificar la carga (Volumen 3,97 m³) y su fondo tener una inclinación para ayudar a tragar la mezcla.

5.4.2 Tratamiento Anaerobio

El digester utilizado es del tipo flujo pistón o de émbolo y trabaja de forma continua (se carga diariamente), además está provisto de dispositivos para la agitación de los lodos en digestión activa. Este depósito posee un sello de agua para impedir la entrada de oxígeno atmosférico (proceso anaeróbico) y la salida del gas metano (CH₄). Este tipo de digester se encuentra soterrado.



Figura 39. Digester soterrado.

La entrada de la carga por gravedad va hasta el fondo del digester provocando la salida de un volumen equivalente de lodos digeridos. El gas producido pasa a la parte superior, y es extraído por un motocompresor hacia el depósito de

⁵³ CORPODIB, Op. cit.

almacenamiento de gas. El motor es de combustión interna diésel acoplado a un compresor de amoníaco.



Figura 40. Motocompresor.

5.4.3 Absorción Ácido Sulhídrico

Antes de llegar al depósito, el gas pasa por un filtro de limallas y virutas de hierro para purificarlo y eliminarle el ácido sulhídrico.



Figura 41. Columna de Absorción de H₂S.

5.4.4 Almacenamiento

El gas se almacena en un domo de caldera de vapor de tubos rectos (en desuso), cuyas características y condiciones de trabajo son:

- Largo: 7,25 m.
- Diámetro: 1,25 m.
- Volumen: 8,90 m³
- Presión de trabajo: 10 Atm.
- Volumen del gas 89,0 m³



Figura 42. Dispositivo de almacenamiento.

5.5 COGENERACIÓN UTILIZANDO BAGAZO Y BIOGÁS

La cogeneración es la producción combinada de energía eléctrica y energía térmica a partir de un mismo recurso, que hace parte integrante de una actividad productiva.

Una de las ventajas para las industrias que se abastecen por medio de la cogeneración consiste en la mayor eficiencia en el aprovechamiento energético disponible, tanto en calor como en electricidad, incluyendo la posibilidad de

obtener una mayor confiabilidad en el suministro energético y la reducción de costos.

La cogeneración como fuente alternativa para la generación de energía contribuye a la reducción de gases de efecto invernadero y emisión de partículas a la atmósfera (CO₂, SO₂, NO_x y partículas), debido a su ahorro en el consumo de combustibles fósiles.

La cogeneración contribuye al ahorro energético, puesto que por una parte explota la energía proveniente del calor residual (vapor, gases de combustión, etc.) que las centrales convencionales desaprovechan, y de otra forma fomenta la producción distribuida de electricidad, lo que favorece la reducción de las pérdidas de transporte y distribución del sistema eléctrico, y la disminución de las inversiones en estas instalaciones.

El ahorro energético se refleja en una disminución de la energía primaria utilizada (petróleo, gas natural, carbón mineral y biomasa), al hacer un uso más eficiente de los energéticos⁵⁴.

El proceso de cogeneración utilizando bagazo y biogás se describe a continuación

5.5.1 Generación Energía Cinética

La combustión del bagazo con pequeñas cantidades de gas produce energía térmica que aplicada a una caldera genera energía cinética, expresada en el vapor. Los estudios realizados por el Dr. Juan Carlos Campos y el MSc. David López de la empresa Energía Eficiente S. A. E.S.P, profundizan en la utilización combinada de bagazo y biogás en la combustión, con el fin de suplir las demandas

⁵⁴ ISAGEN S.A. E.S.P. Fuentes no Renovables de Generación de Electricidad. Medellín: Sergio Botero Botero *et al*, 2005. p 100. ISBN 958-97714-1-6.

de vapor de la planta y generar energía eléctrica. Las ventajas de esta nueva implementación son las siguientes: aumento de capacidad de generación de la caldera, incremento de la eficiencia de la quema del bagazo combustible, de la velocidad de respuesta a las fluctuaciones de demanda de vapor de proceso, de la presión de trabajo de la caldera a sus parámetros nominales, de la capacidad de generación del turbogenerador a sus parámetros nominales, y eliminación de tiempos perdidos por mala calidad de vapor a proceso.

5.5.2 Generación Energía Mecánica

El vapor se hace circular por una tubería hasta una turbina de vapor encargada de convertir esta energía cinética en energía mecánica.

Las turbinas de vapor se dividen en dos tipos:

- *Turbina de contrapresión.* Su principal característica es que el vapor, cuando sale de la turbina, se envía directamente al proceso, sin necesidad de contar con un condensador y equipo periférico, como torres de enfriamiento.
- *Turbina de extracción/condensación.* En esta turbina una parte del vapor puede extraerse en uno o varios puntos de la turbina antes de la salida al condensador, obteniendo así vapor a varias presiones, mientras que el resto del vapor se expande hasta la salida al condensador.

5.5.3 Generación Energía Eléctrica

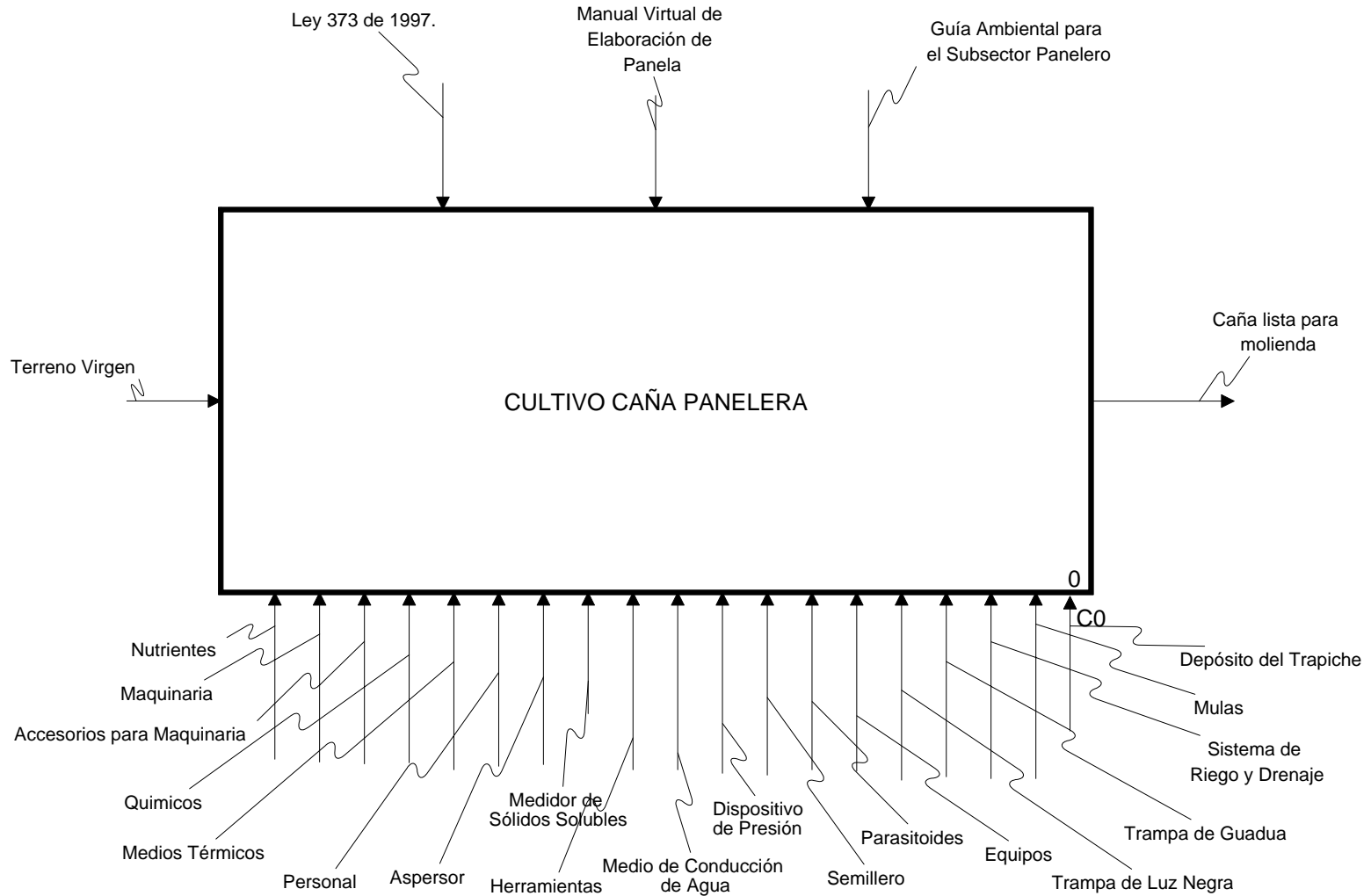
La energía mecánica producida por la turbina es aplicada a un generador para finalmente obtener electricidad.

Actualmente en nuestro país los ingenios azucareros son los que aprovechan el bagazo para cogenerar, pero algunos de estos ingenios, utilizan calderas que suministran vapor a media presión, que no es suficiente para satisfacer sus necesidades y deben comprar energía a la red nacional. Por consiguiente para la eficiencia en la cogeneración se debe utilizar calderas que suministren vapor a alta presión junto con turbinas de extracción-condensación.

6 MODELADO EN IDEFØ

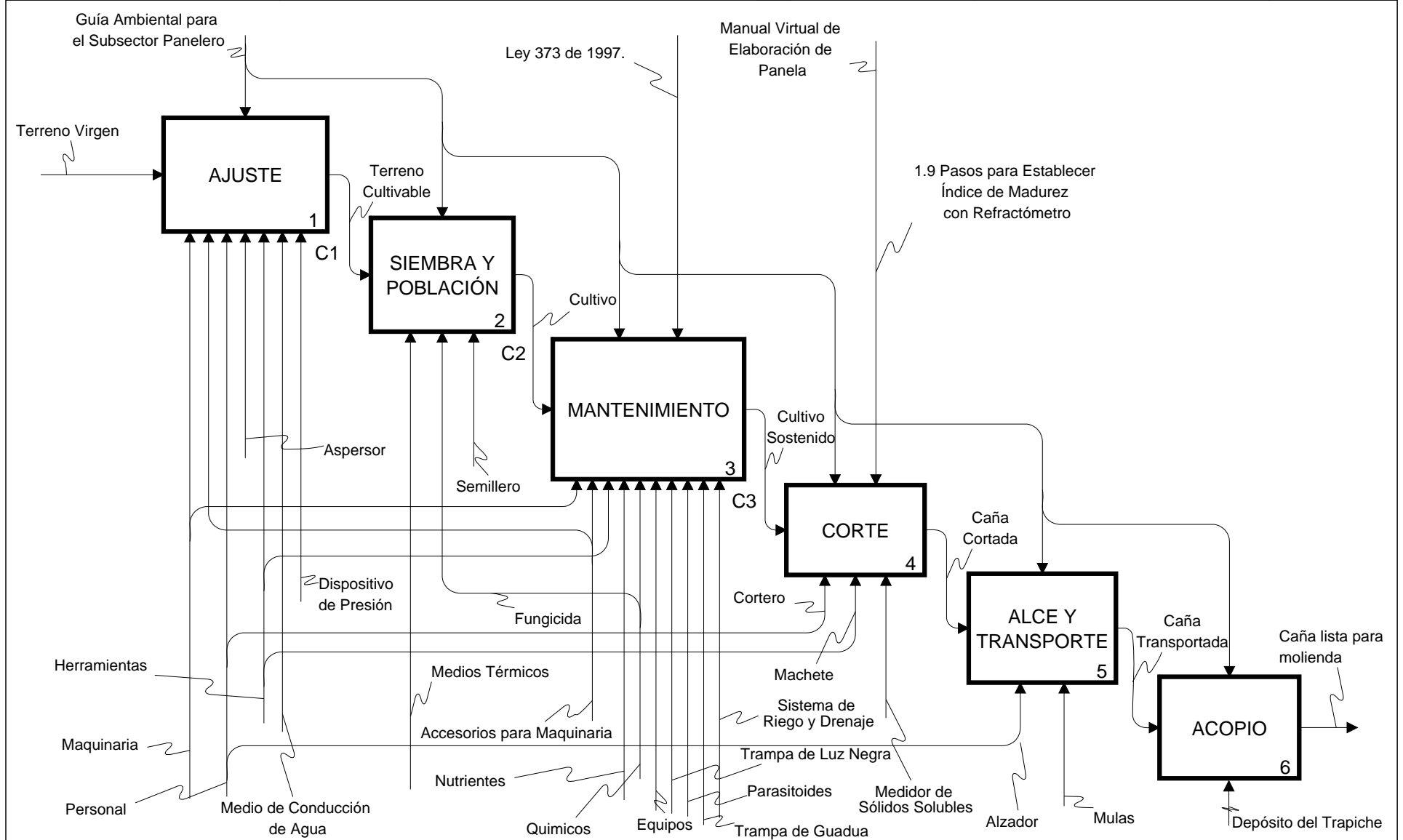
6.1 MODELADO DEL CULTIVO DE LA CAÑA PANELERA

Used At:	Author: Juan Becarías Jhon Tapias	Date: 16/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: TOP
	Project: CAÑA PANELERA	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



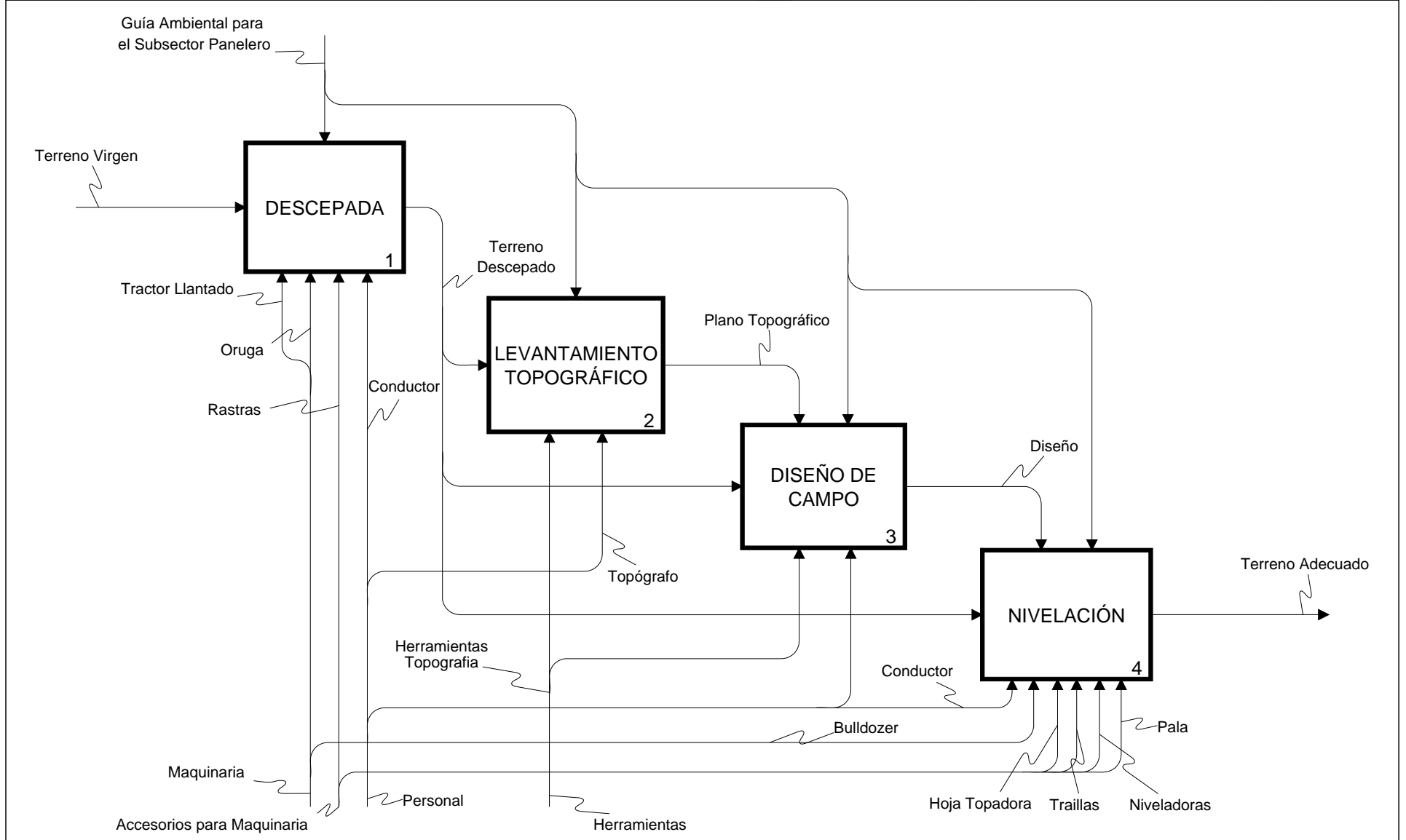
Node: C-0	Title: CULTIVO CAÑA PANELERA	Number:	Page: 2
--------------	---------------------------------	---------	---------

Used At:	Author: Juan Becarí Jhon Tapias	Date: 16/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: ■ C-0
	Project: CAÑA PANELERA	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



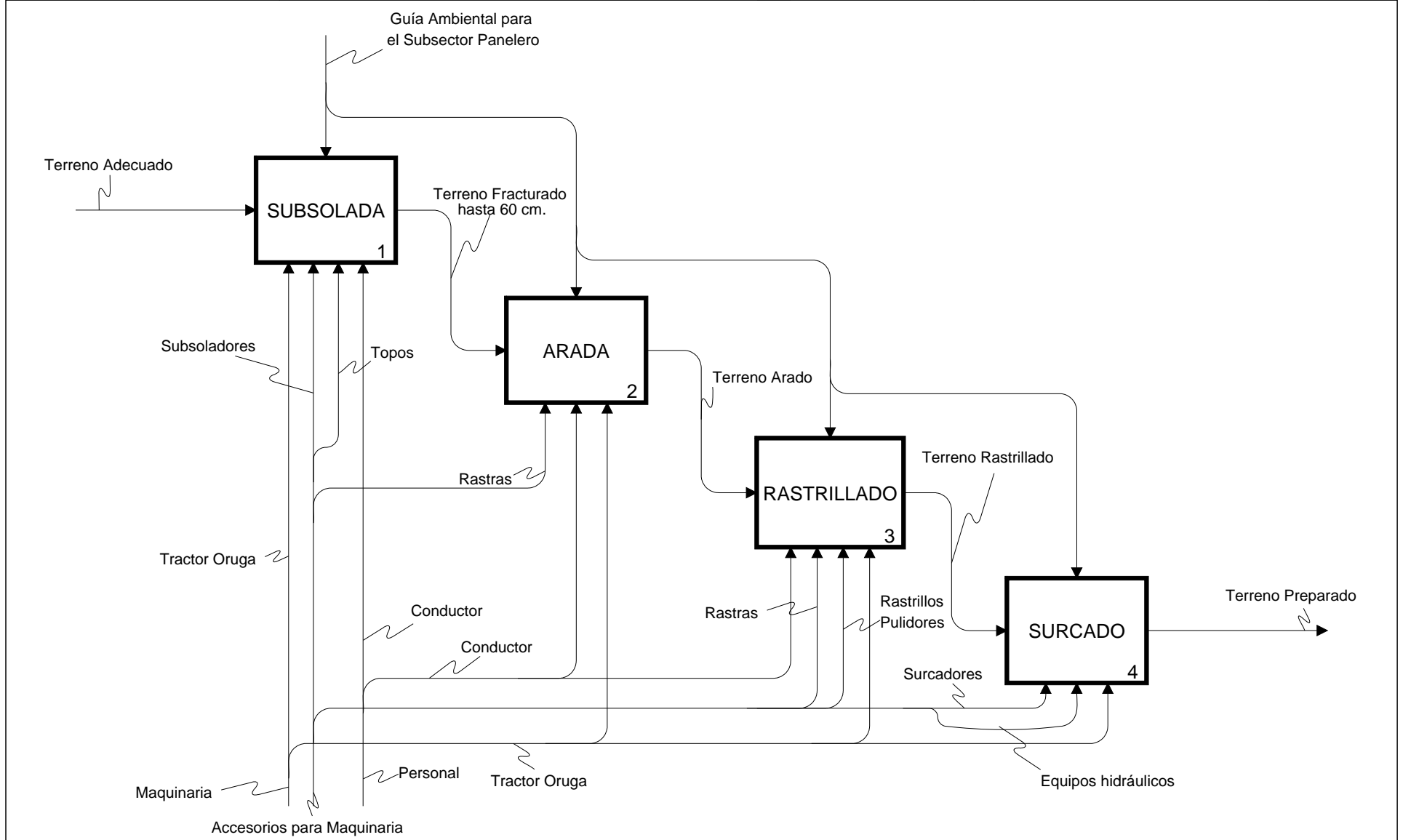
Node: C0	Title: CULTIVO CAÑA PANELERA	Number:
		Page: 3

Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 21/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: <input type="checkbox"/>	
	Project: CAÑA PANELERA	Rev:	DRAFT				<input checked="" type="checkbox"/>
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10			RECOMMENDED			<input type="checkbox"/>
				PUBLICATION			C1



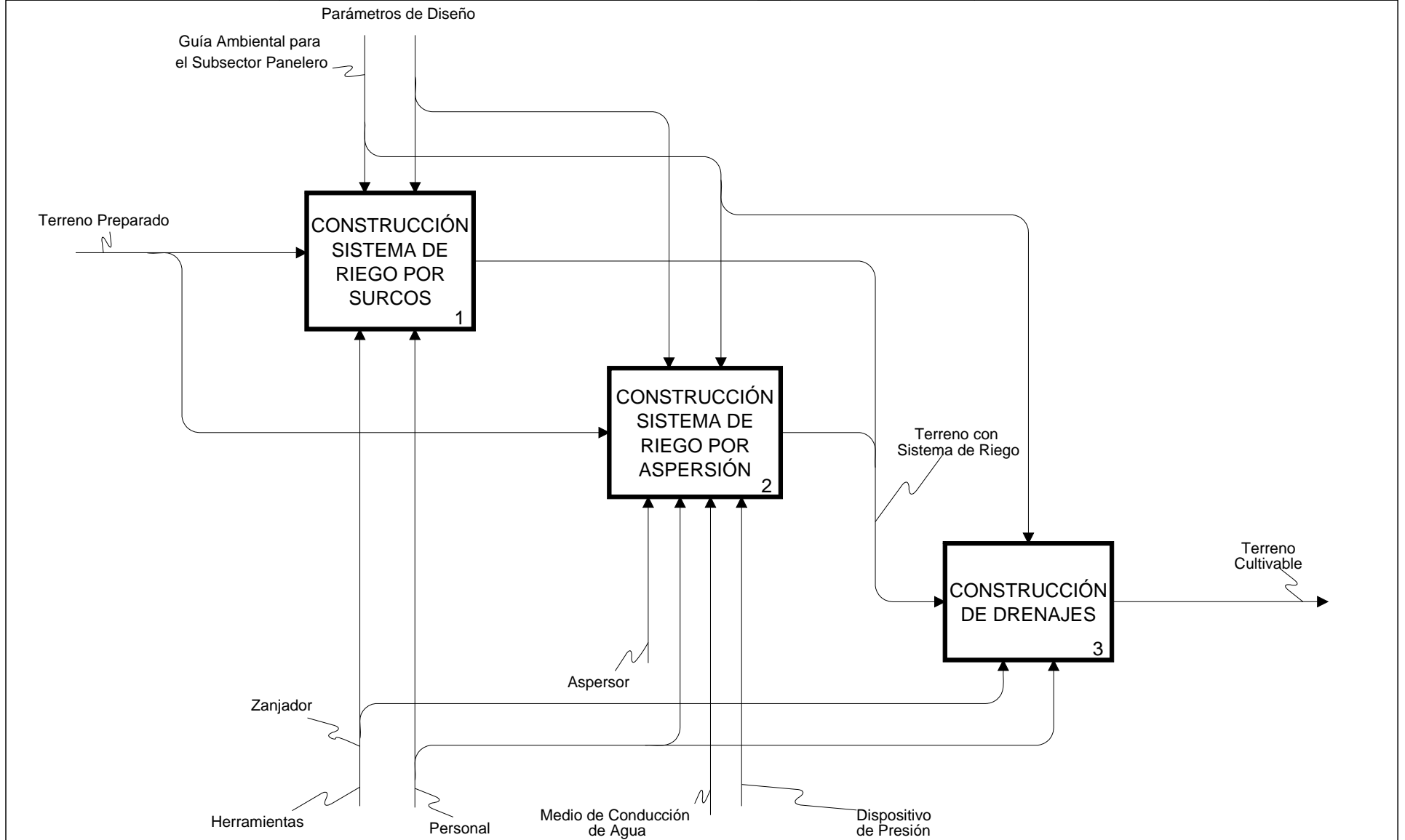
Node: C11	Title: ADECUACIÓN	Number: Page: 5
--------------	----------------------	--------------------

Used At:	Author: Juan Becarí Jhon Tapias	Date: 21/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> C1
	Project: CAÑA PANELERA	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



Node: C12	Title: PREPARACIÓN	Number:
		Page: 6

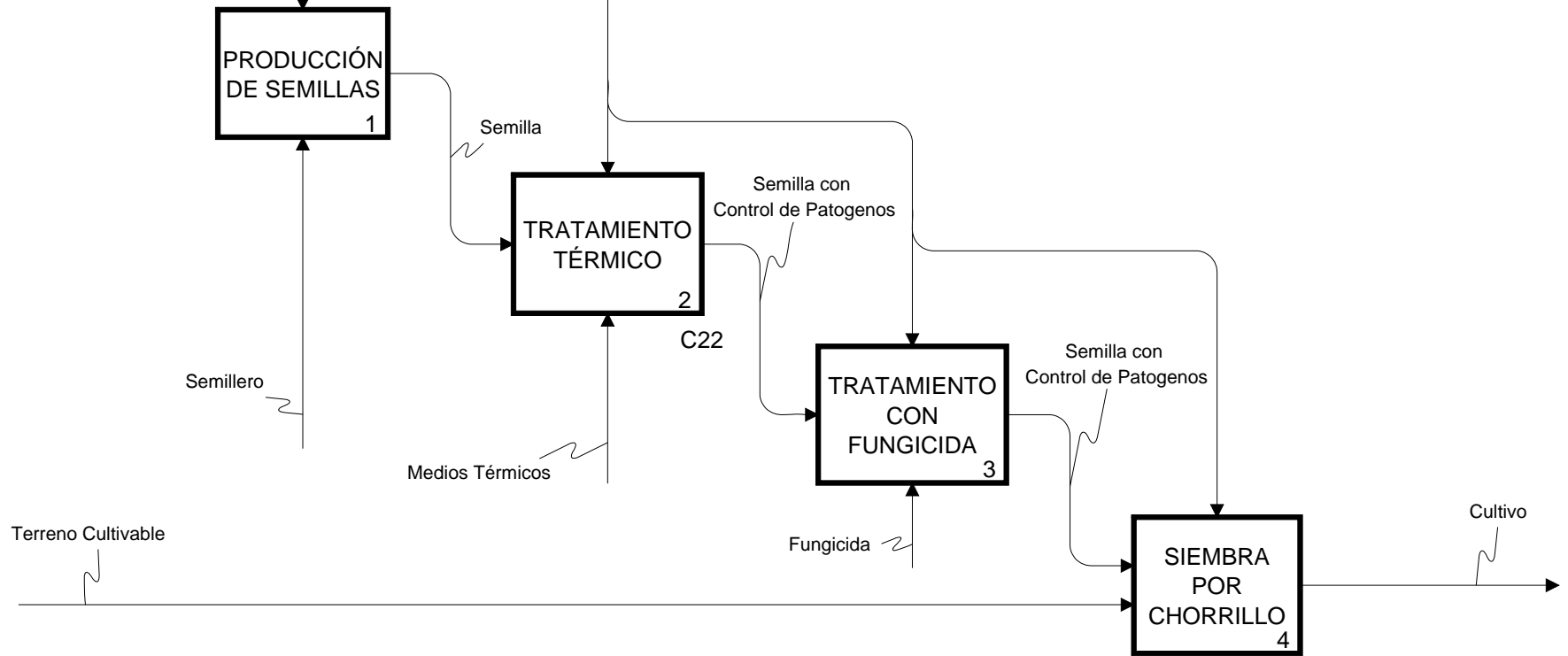
Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 18/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> C1
	Project: CAÑA PANELERA	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



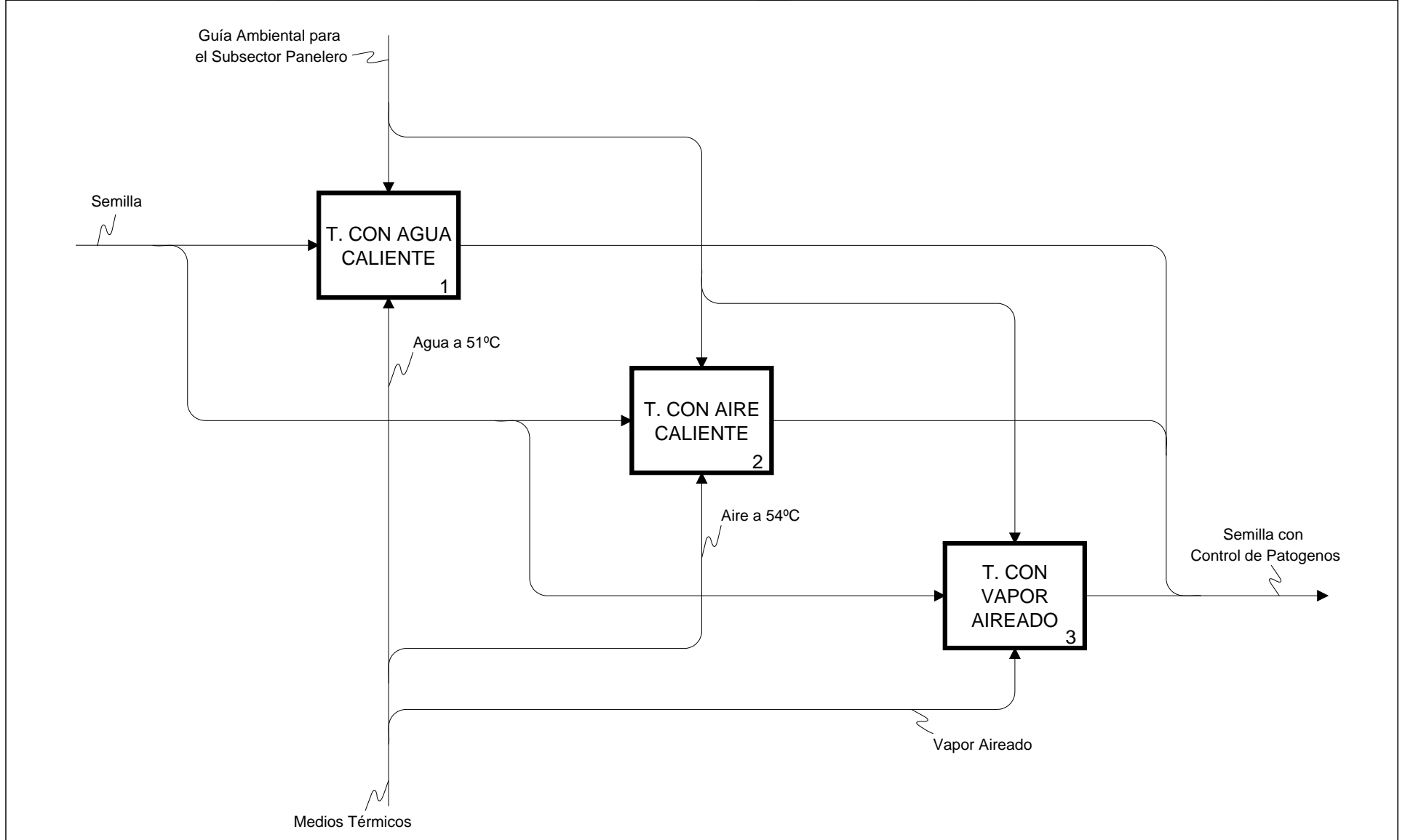
Node: C13	Title: CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE RIEGO Y DRENAJE	Number:	Page: 7
--------------	---	---------	---------

Used At:	Author: Juan Becarí Jhon Tapias	Date: 17/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: C0
	Project: CAÑA PANELERA	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			

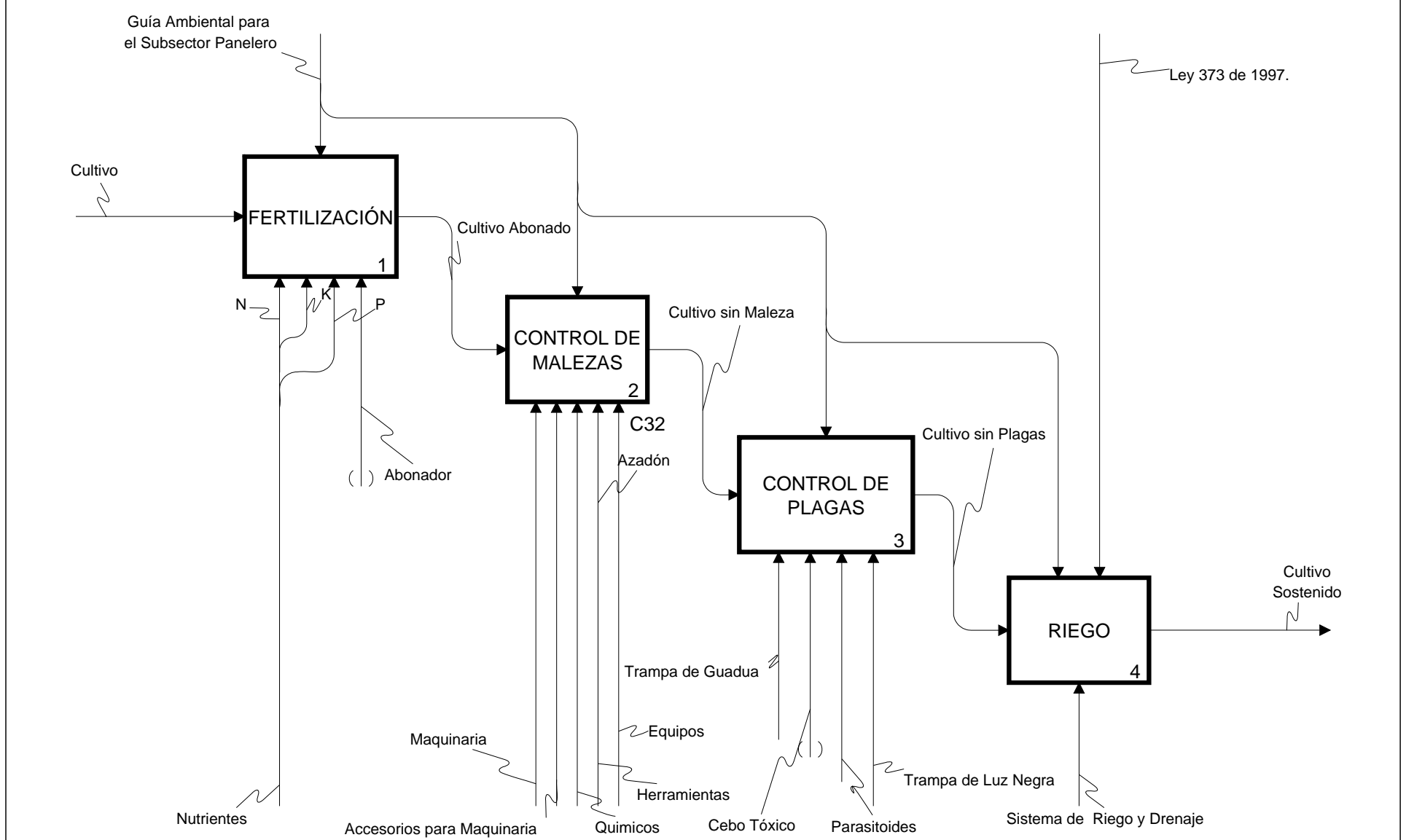
Guía Ambiental para el Subsector Panelero



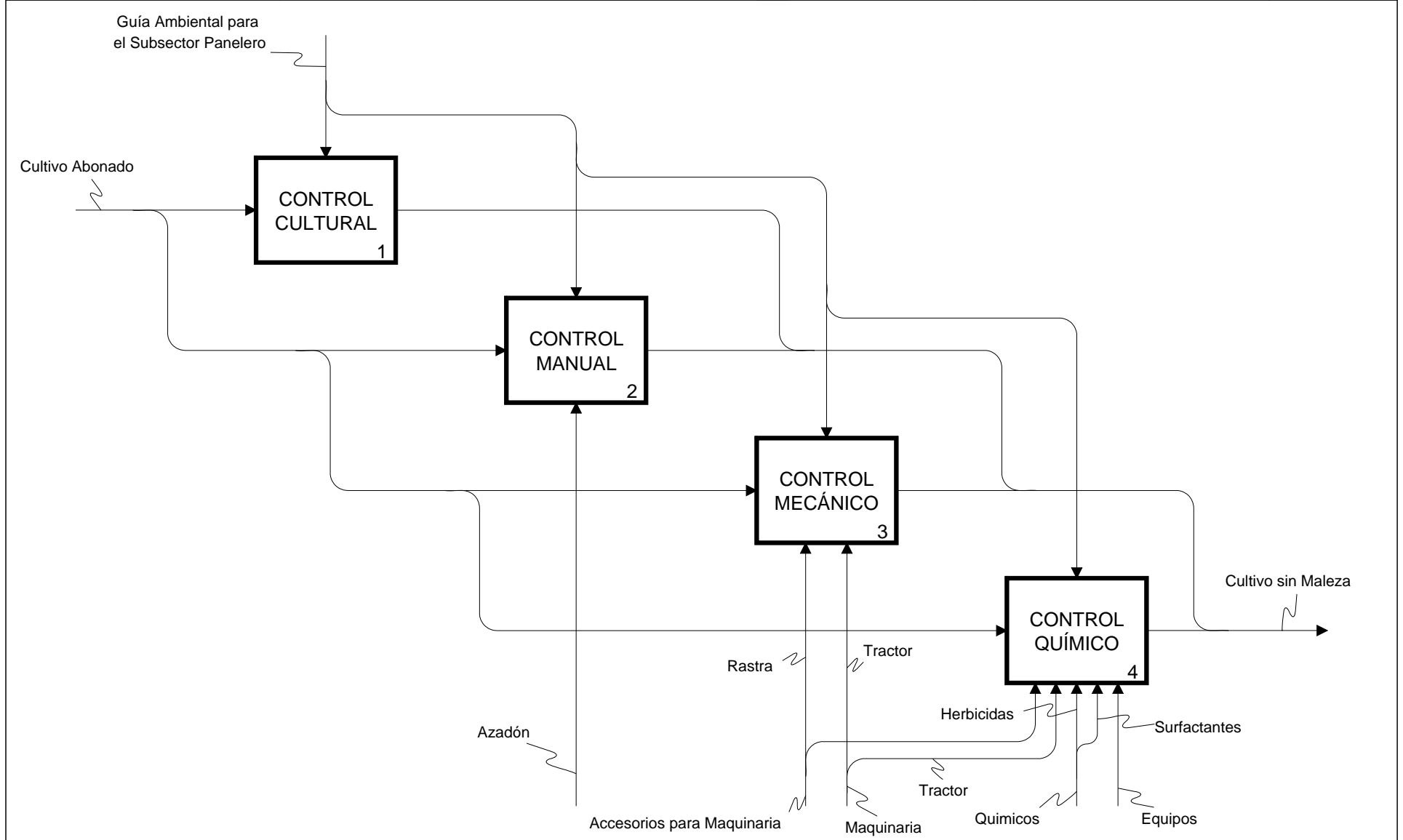
Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 10/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> C2
	Project: CAÑA PANELERA	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



Used At:	Author: Juan Becarías Jhon Tapias	Date: 21/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: □ □ ■ □ □ □ □
	Project: CAÑA PANELERA	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			C0
			PUBLICATION			



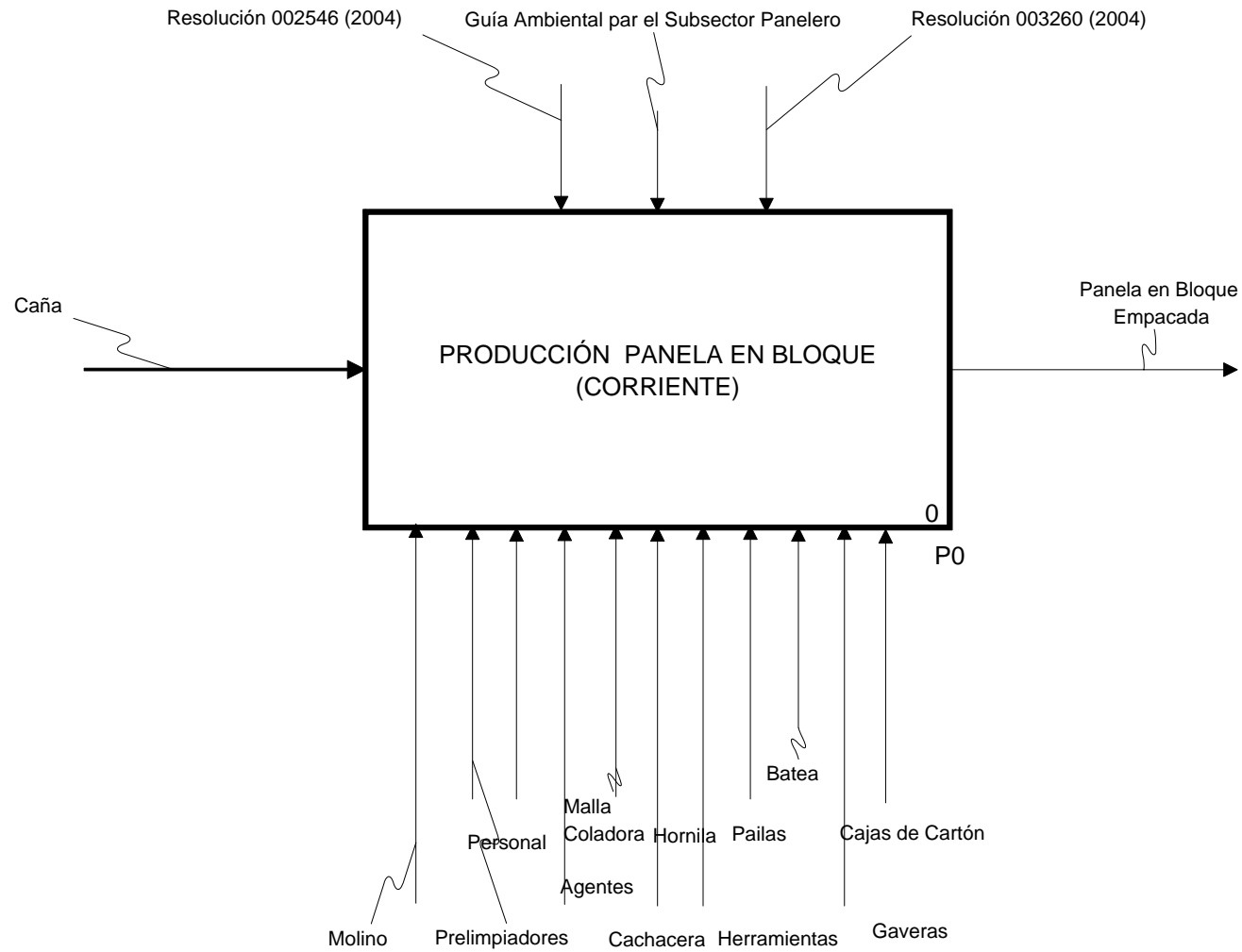
Used At:	Author: Juan Becarías Jhon Tapias	Date: 21/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> C3
	Project: CAÑA PANELERA	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



Node: C32	Title: CONTROL DE MALEZAS	Number:
		Page: 11

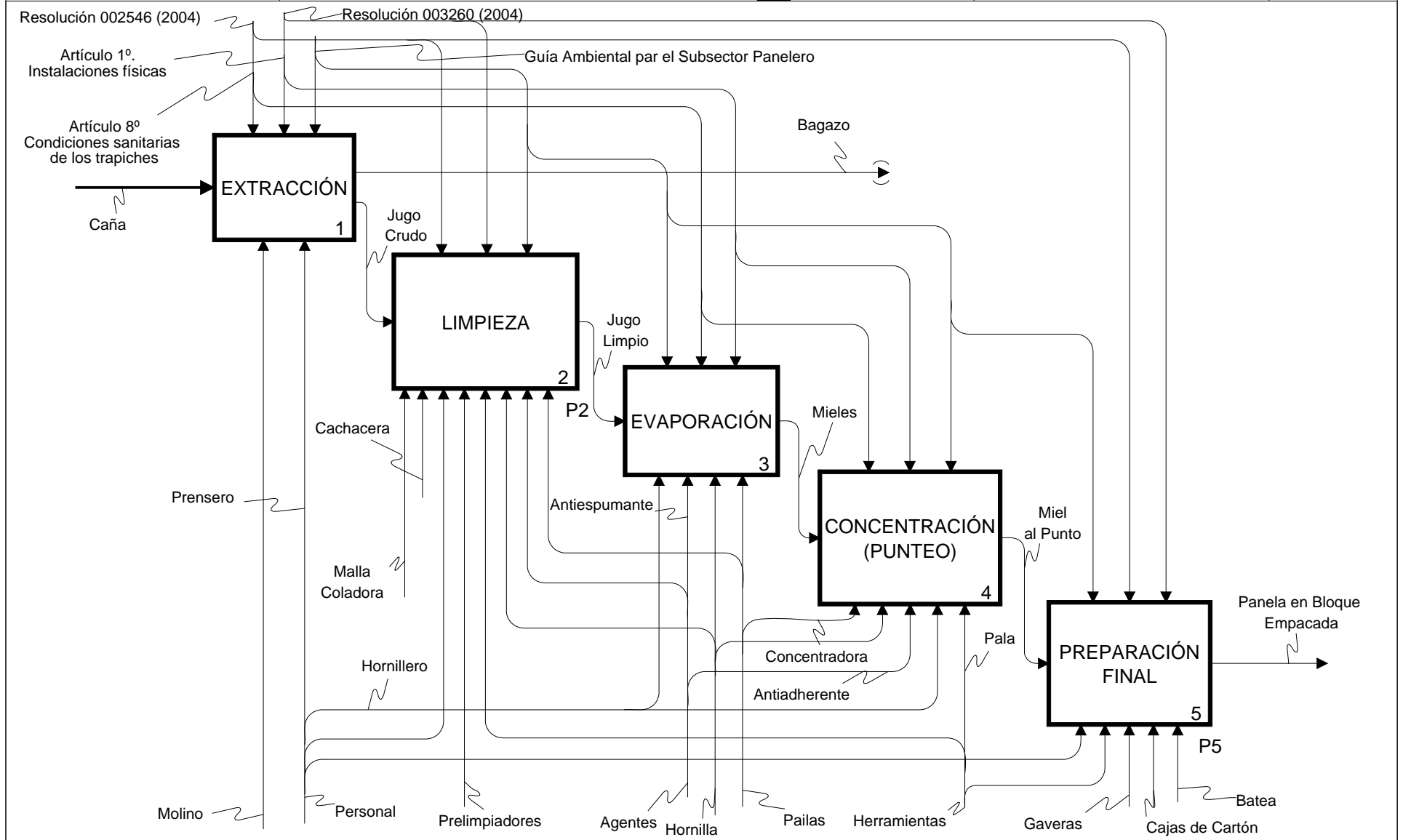
6.2 MODELADO DE LA PRODUCCIÓN DE PANELA EN BLOQUE

Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 23/08/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: TOP
	Project: PANELA SÓLIDA	Rev: 23/08/2006	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



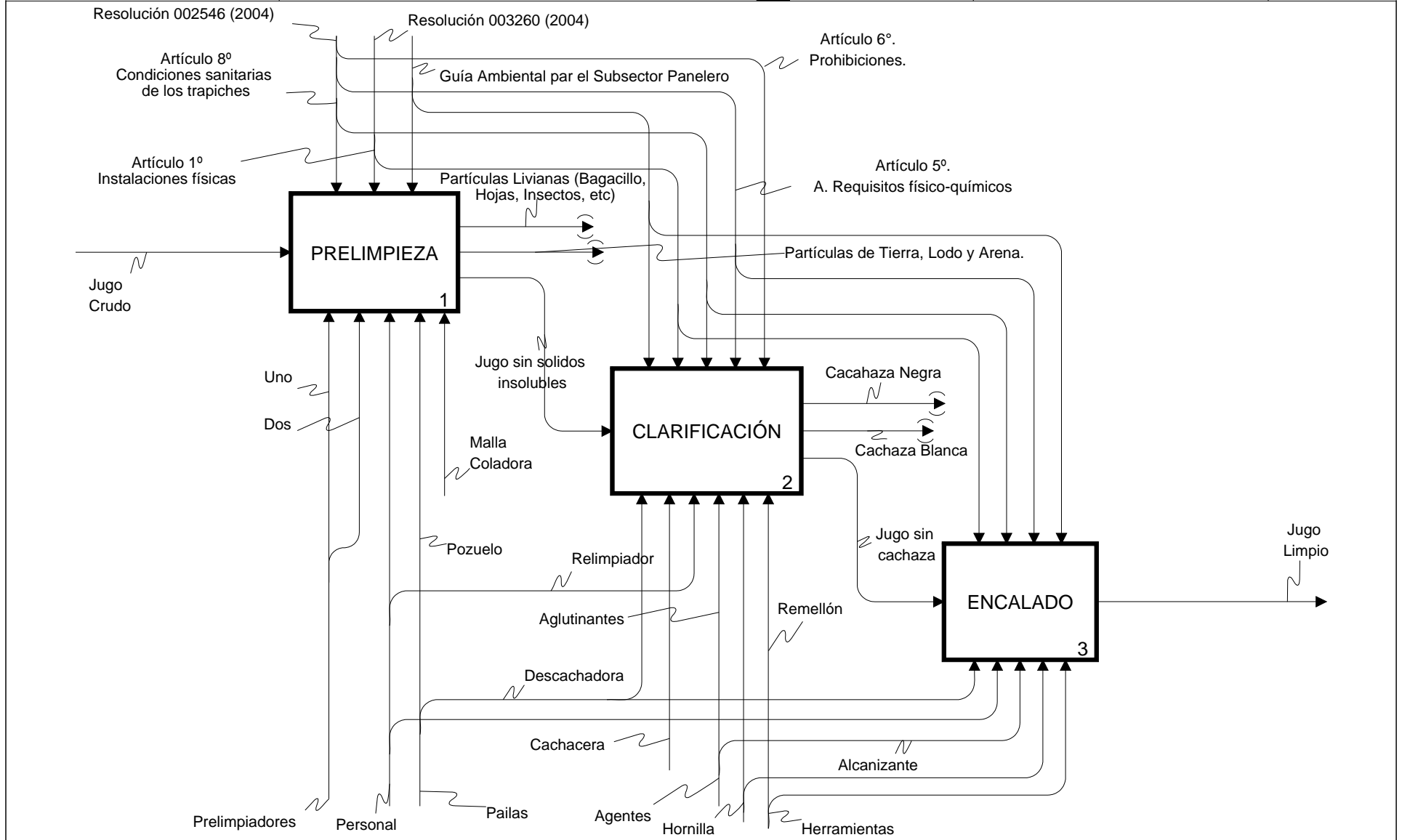
Node: P-0	Title: PANELA	Number:	Page: 1
--------------	------------------	---------	---------

Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 23/08/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: ■ P-0
	Project: PANELA SÓLIDA	Rev: 23/08/2006	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



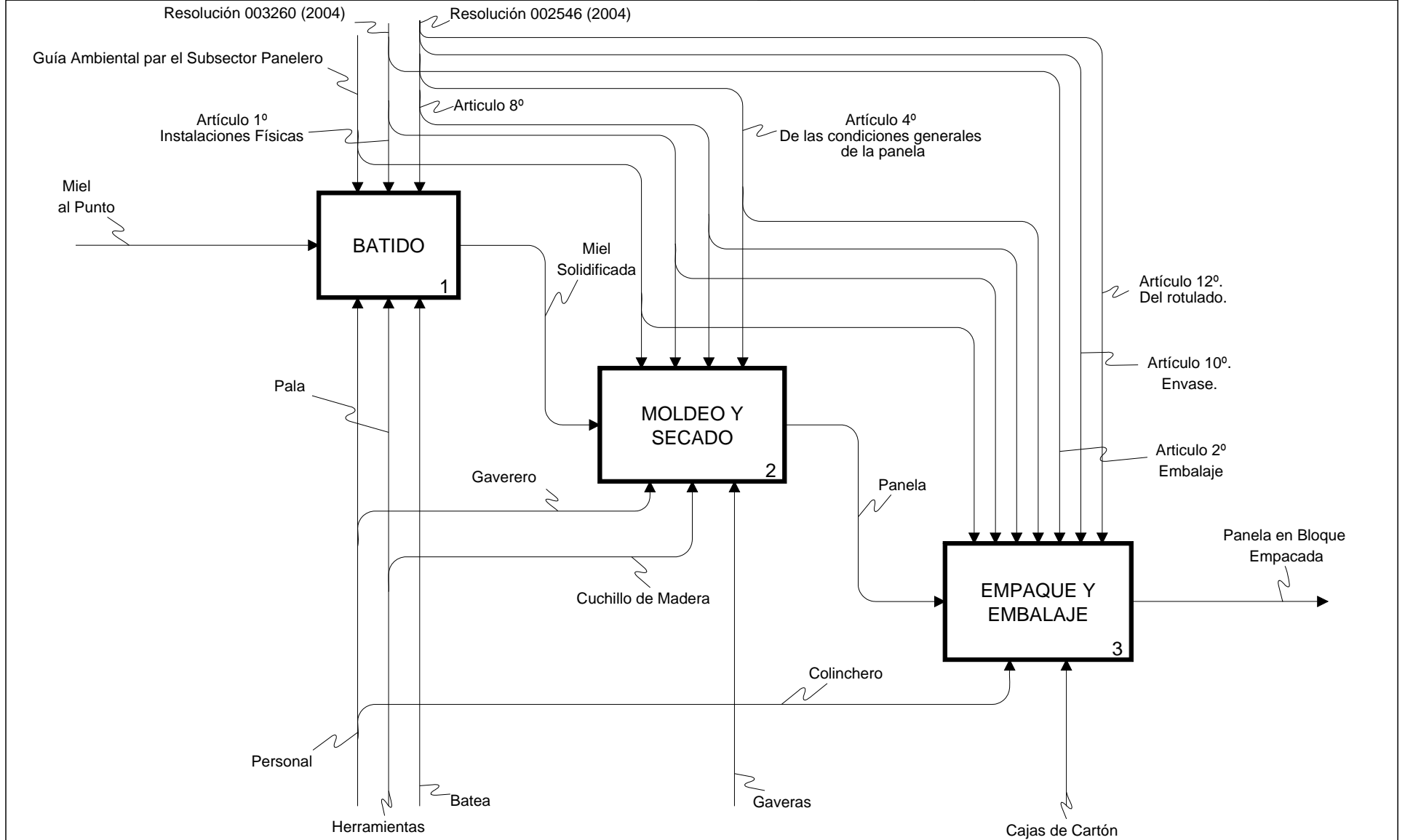
Node: P0	Title: PRODUCCIÓN PANELA EN BLOQUE (CORRIENTE)	Number:
-------------	---	---------

Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 25/08/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	Project: PANELA SÓLIDA	Rev: 25/08/2006	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



Node: P2	Title: LIMPIEZA	Number: Page: 4
-------------	--------------------	--------------------

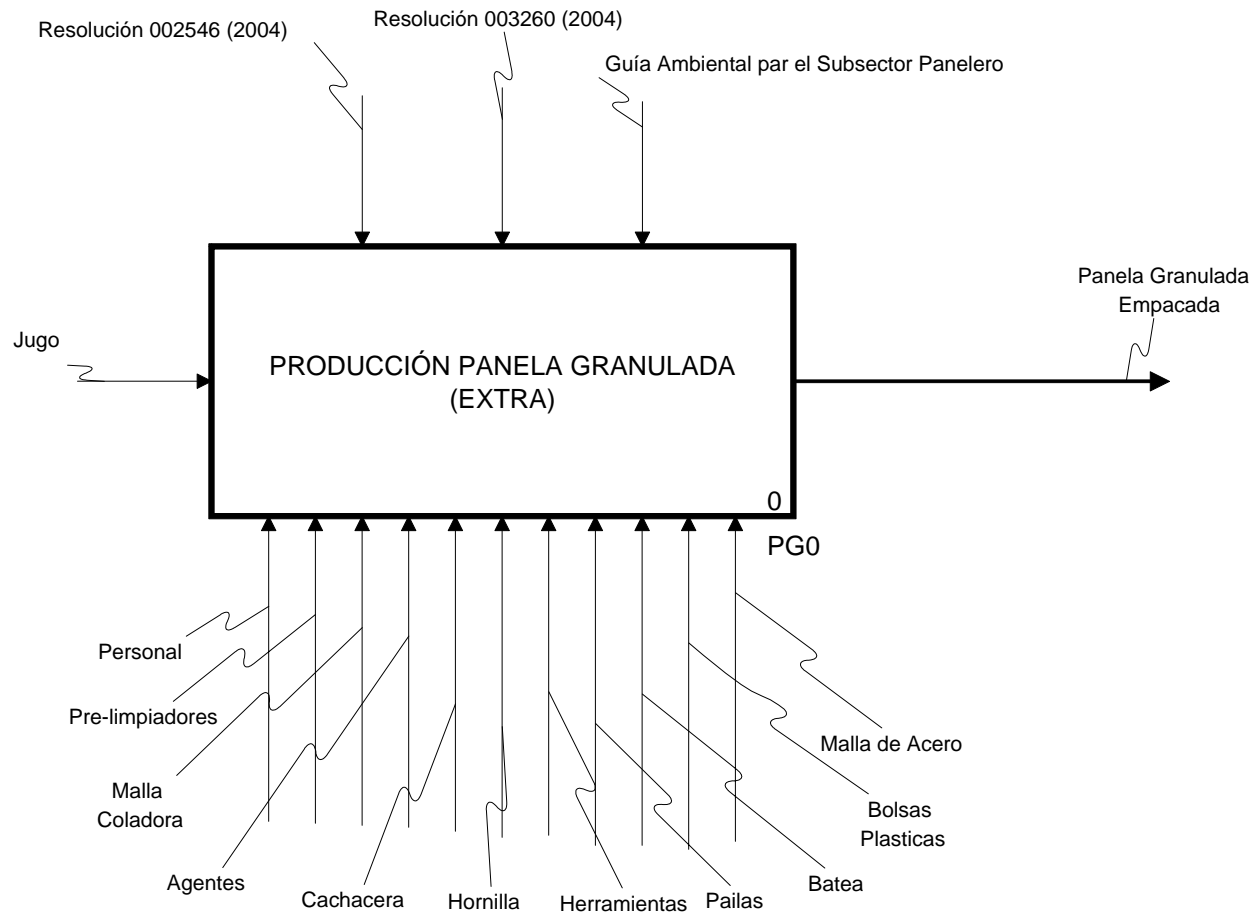
Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 25/08/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> P0
	Project: PANELA SÓLIDA	Rev: 25/08/2006	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



Node: P5	Title: PREPARACIÓN FINAL	Number:
		Page: 5

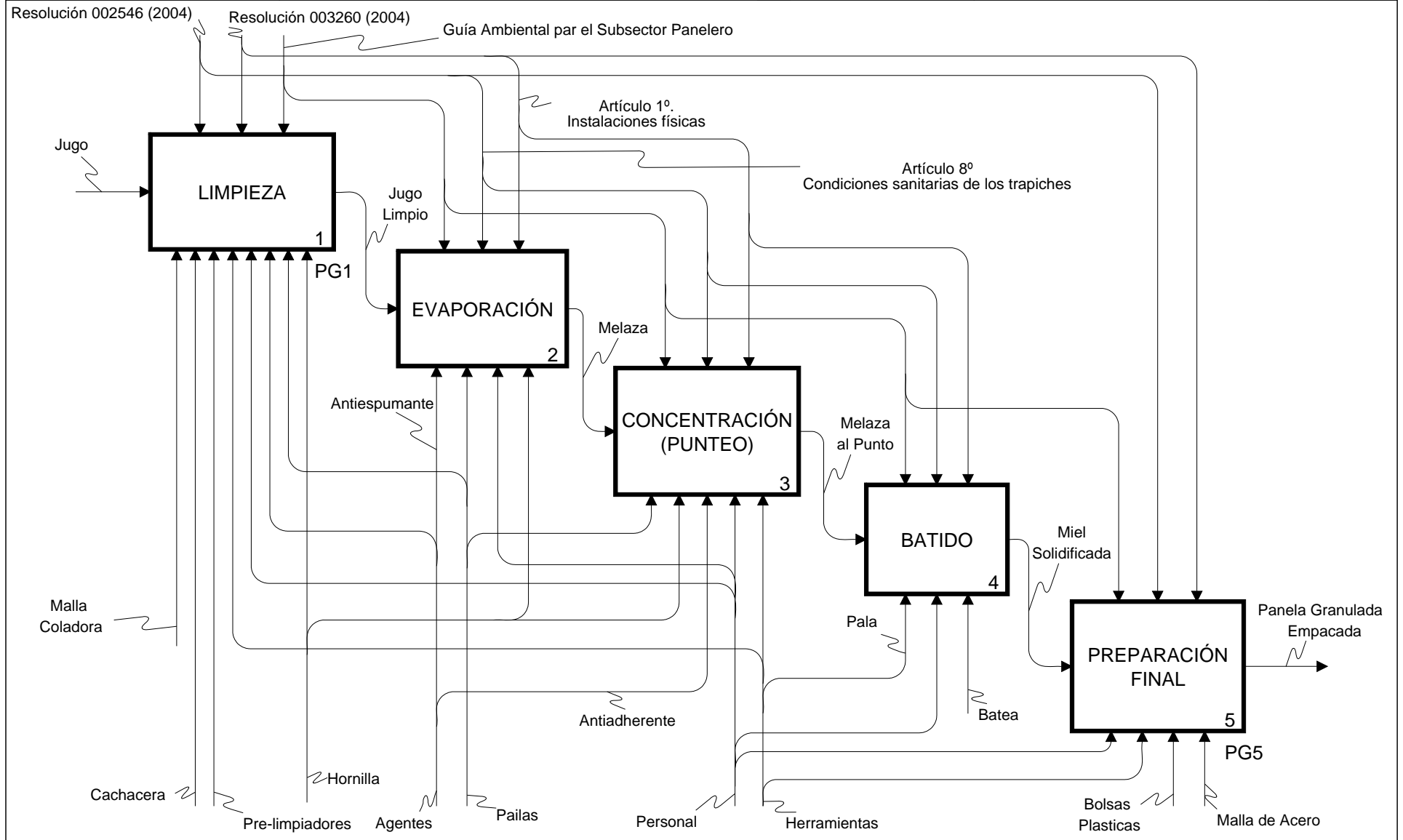
6.3 MODELADO DE LA PRODUCCIÓN DE PANELA GRANULADA

Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 24/08/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: TOP
	Project: PANELA GRANULADA Rev: 24/08/2006		DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



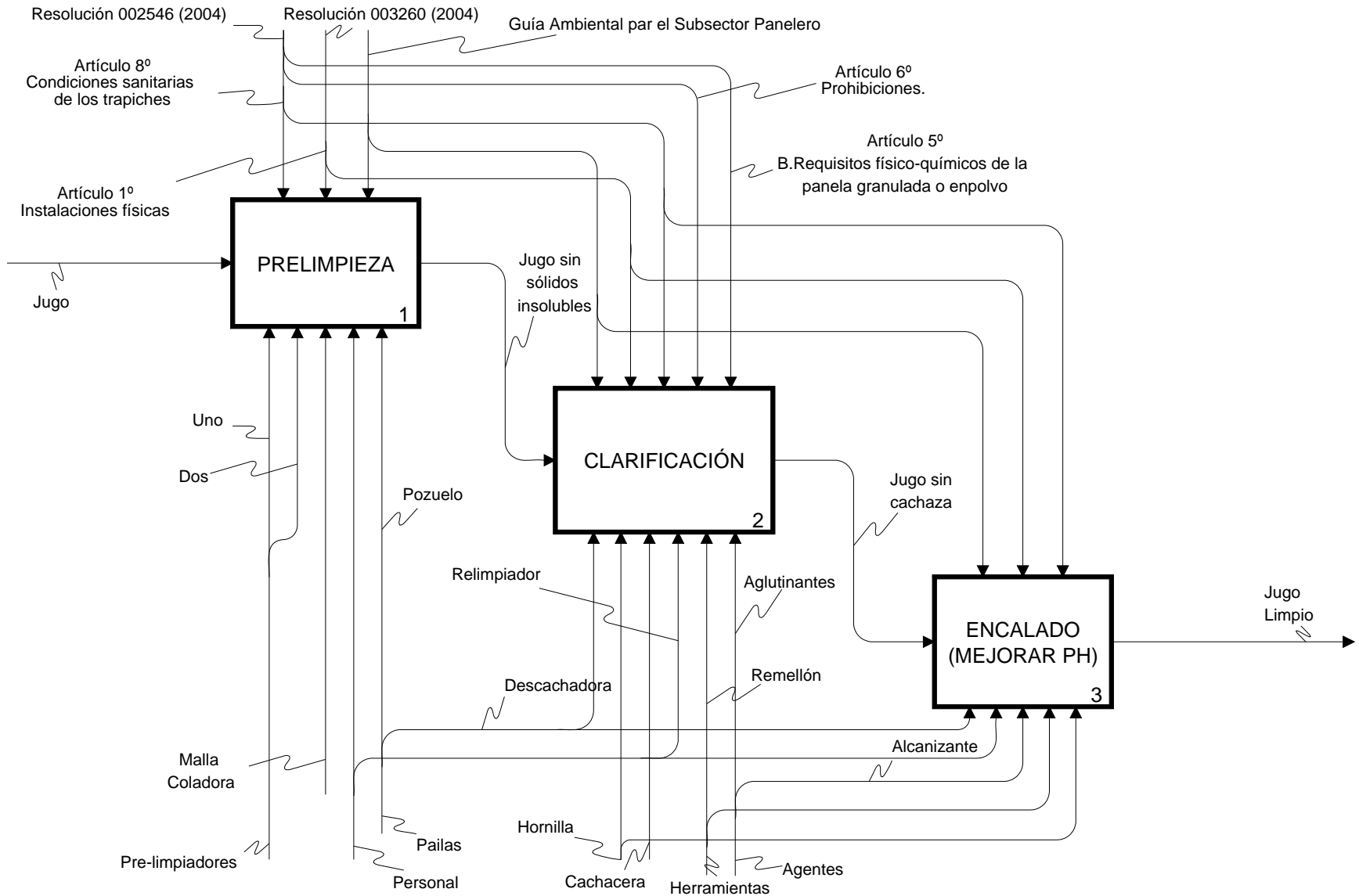
Node: PG-0	Title: PANELA GRANULADA	Number:	Page: 2
---------------	----------------------------	---------	---------

Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 06/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: ■ PG-0
	Project: PANELA GRANULADA Rev: 06/09/2006		DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			

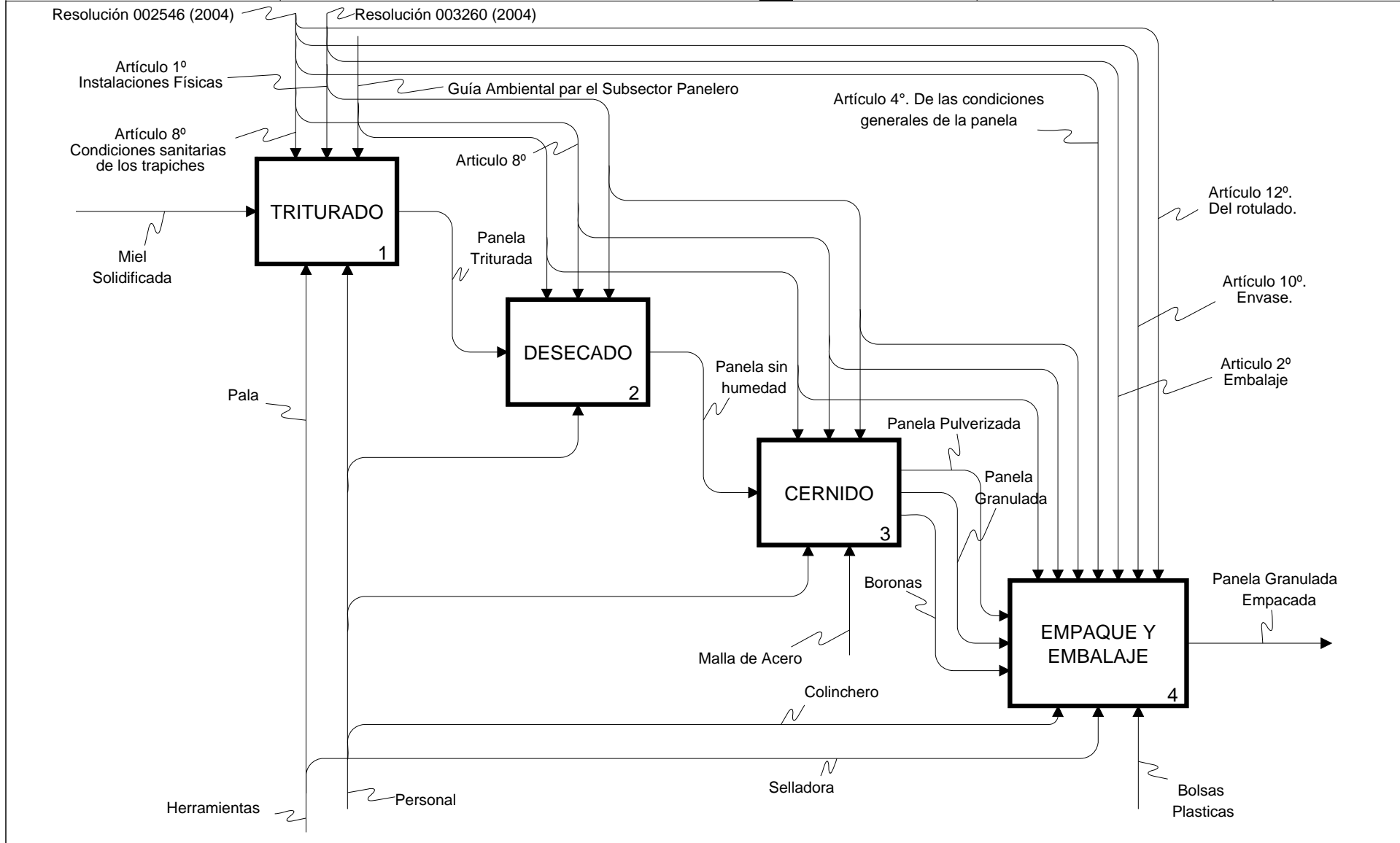


Node: PG0	Title: PRODUCCIÓN PANELA GRANULADA (EXTRA)	Number: Page: 3
--------------	---	--------------------

Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 06/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: PG0
	Project: PANELA GRANULADA Rev:		DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			

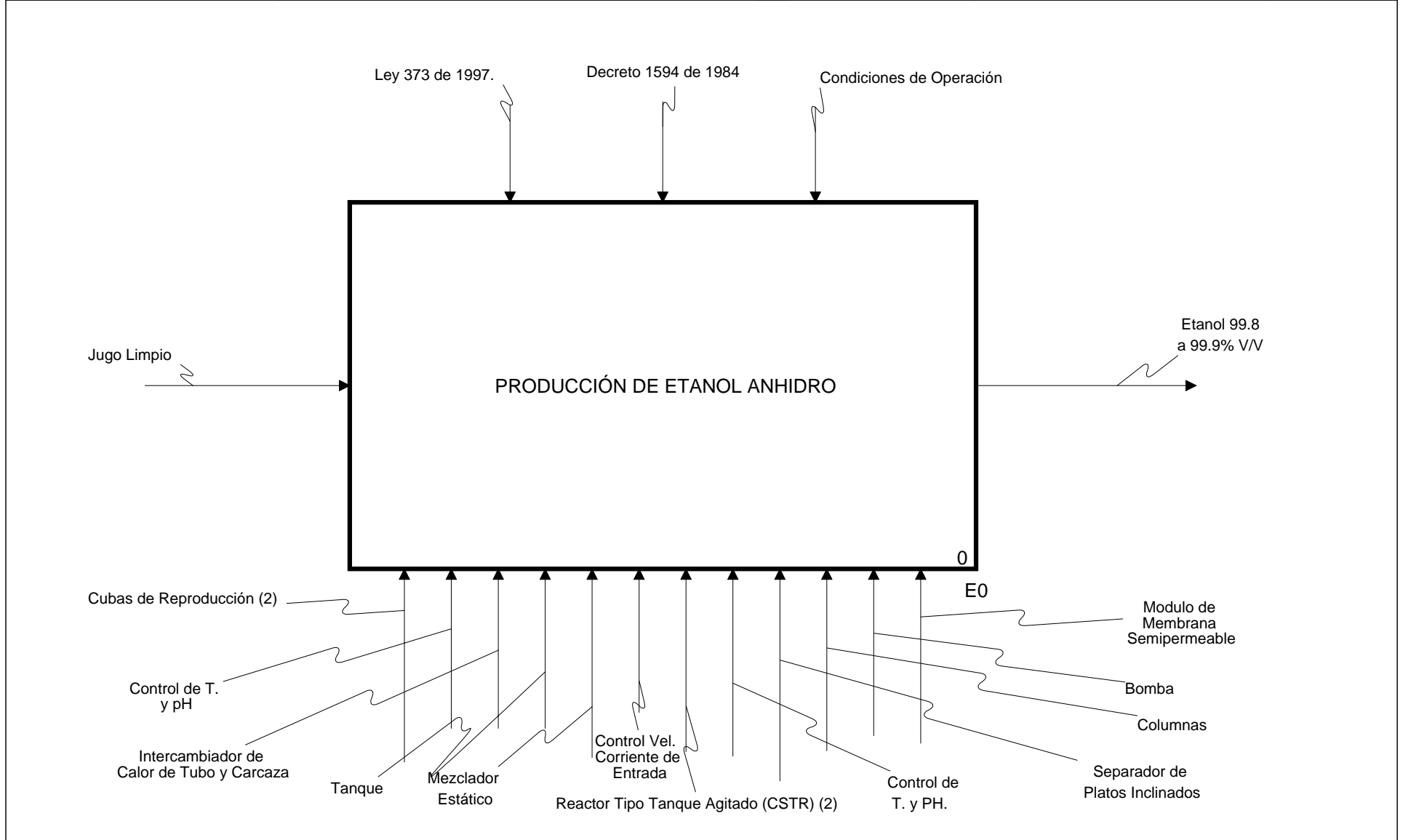


Node: PG1	Title: LIMPIEZA	Number:
		Page: 4



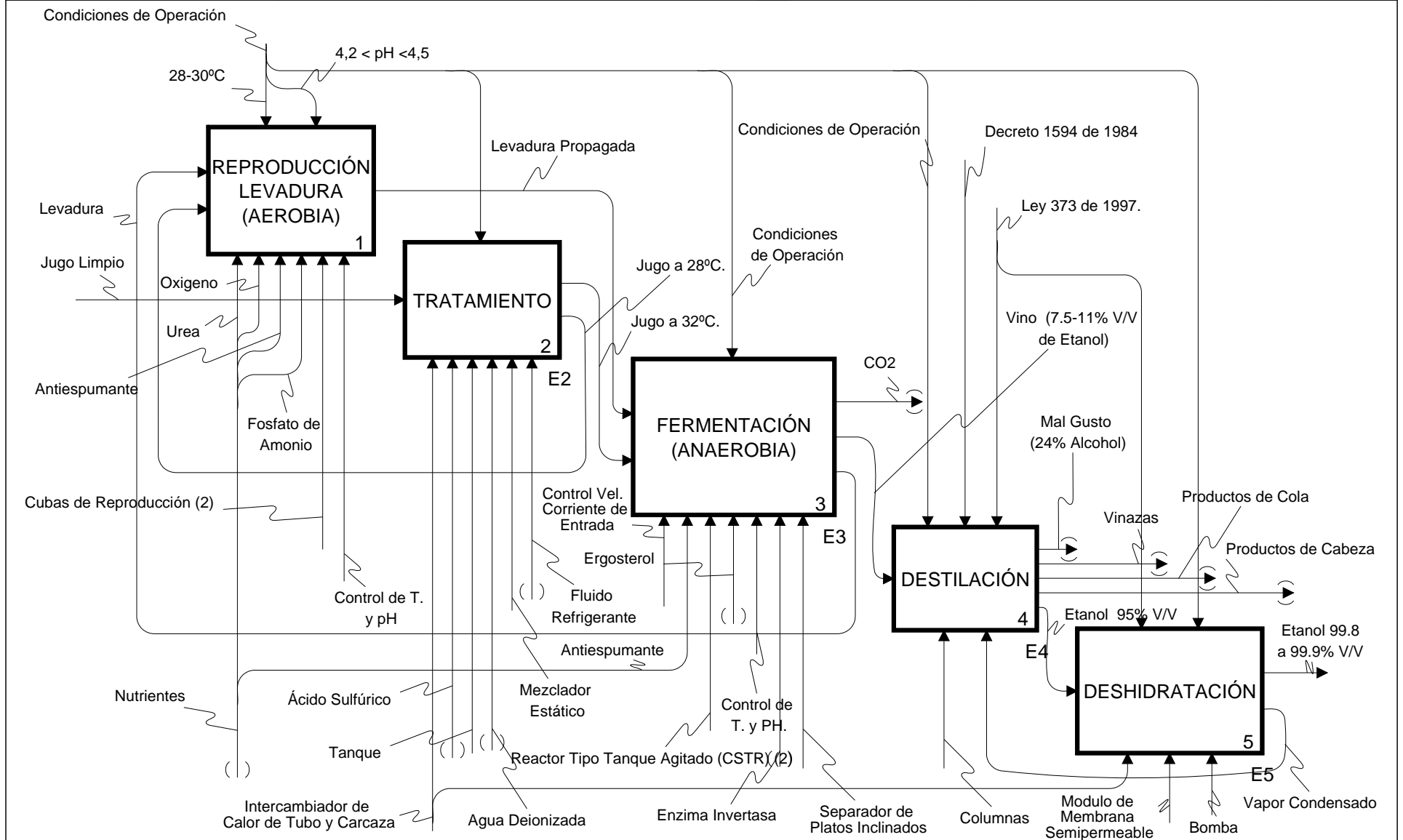
6.4 MODELADO DE LA PRODUCCIÓN DE ALCOHOL ANHIDRO

Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 09/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: TOP
	Project: ETANOL	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



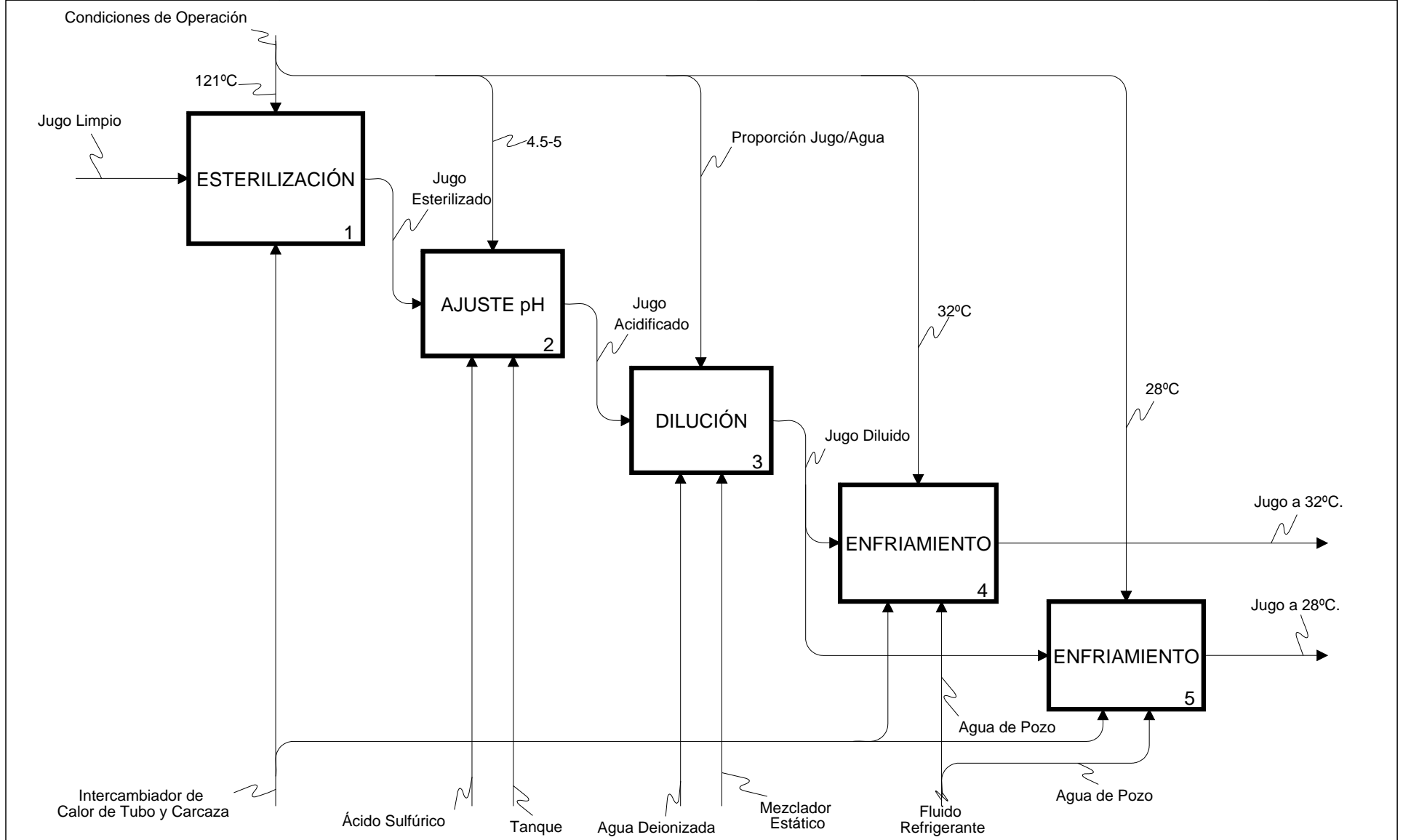
Node: E-0	Title: ETANOL	Number:	Page: 2
--------------	------------------	---------	---------

Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 17/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: ■ E-0
	Project: ETANOL	Rev: 17/09/2006	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



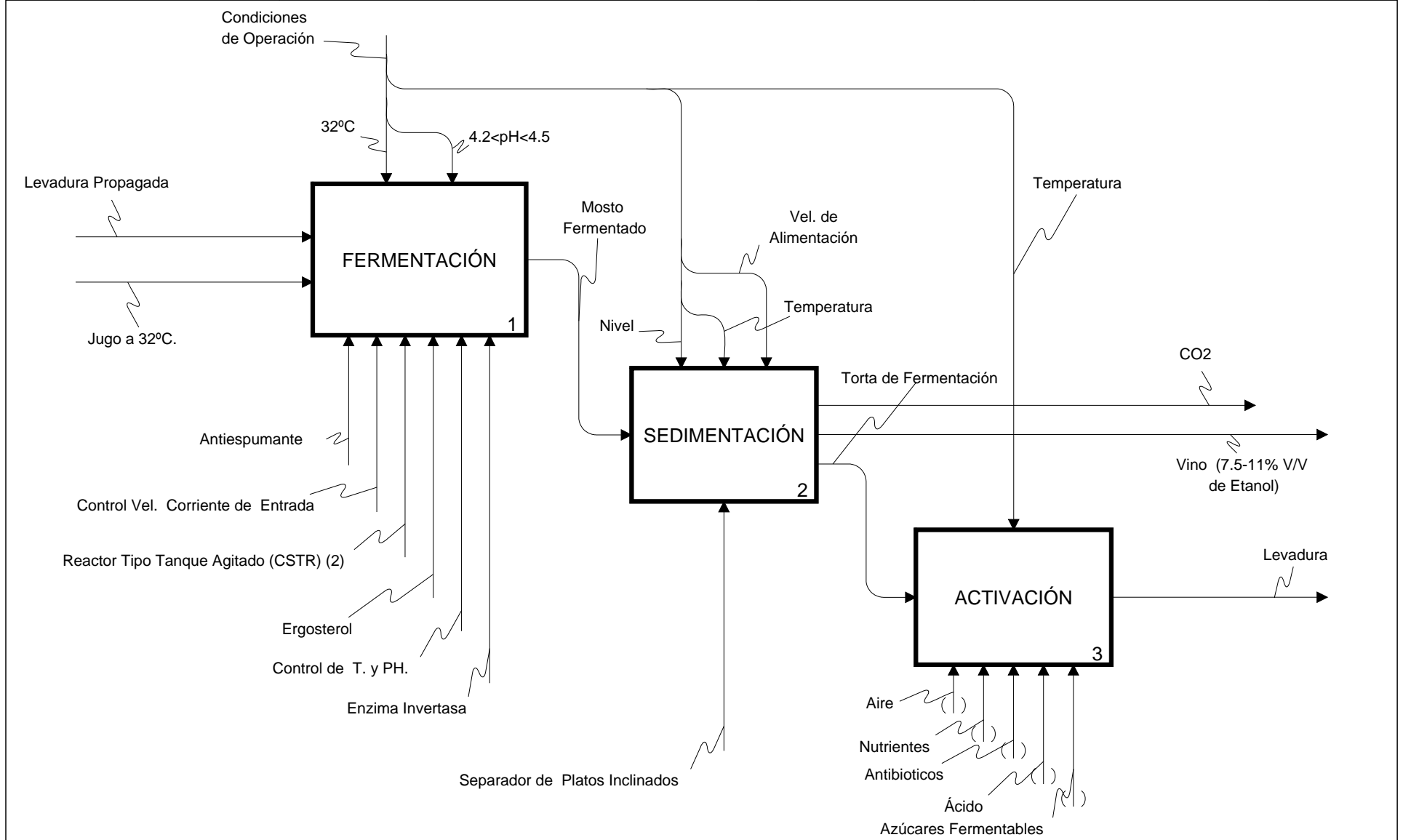
Node: E0	Title: PRODUCCIÓN DE ETANOL ANHIDRO	Number: Page: 3
-------------	--	--------------------

Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 17/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> E0
	Project: ETANOL	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



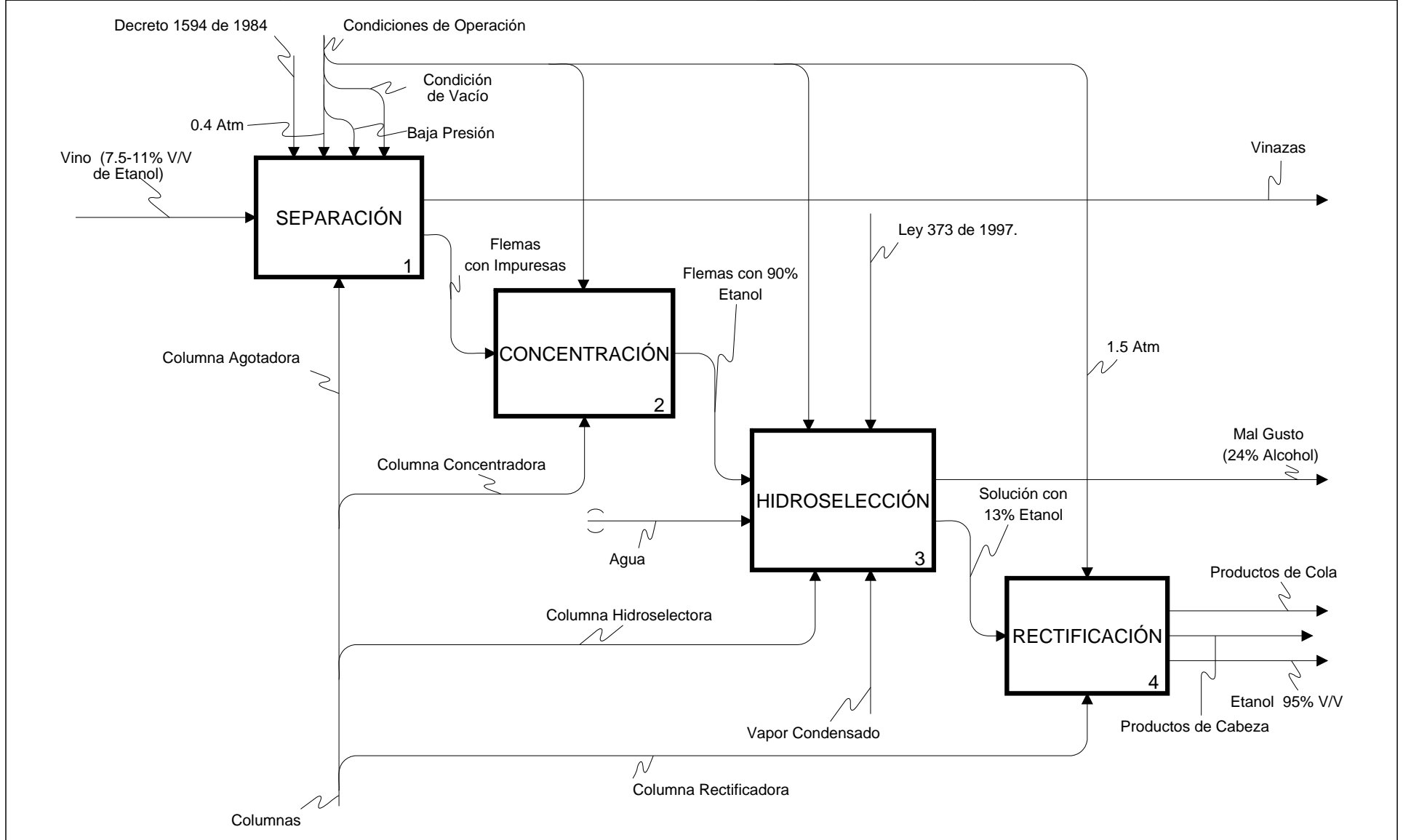
Node: E2	Title: TRATAMIENTO	Number:
		Page: 4

Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 13/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: E0
	Project: ETANOL	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



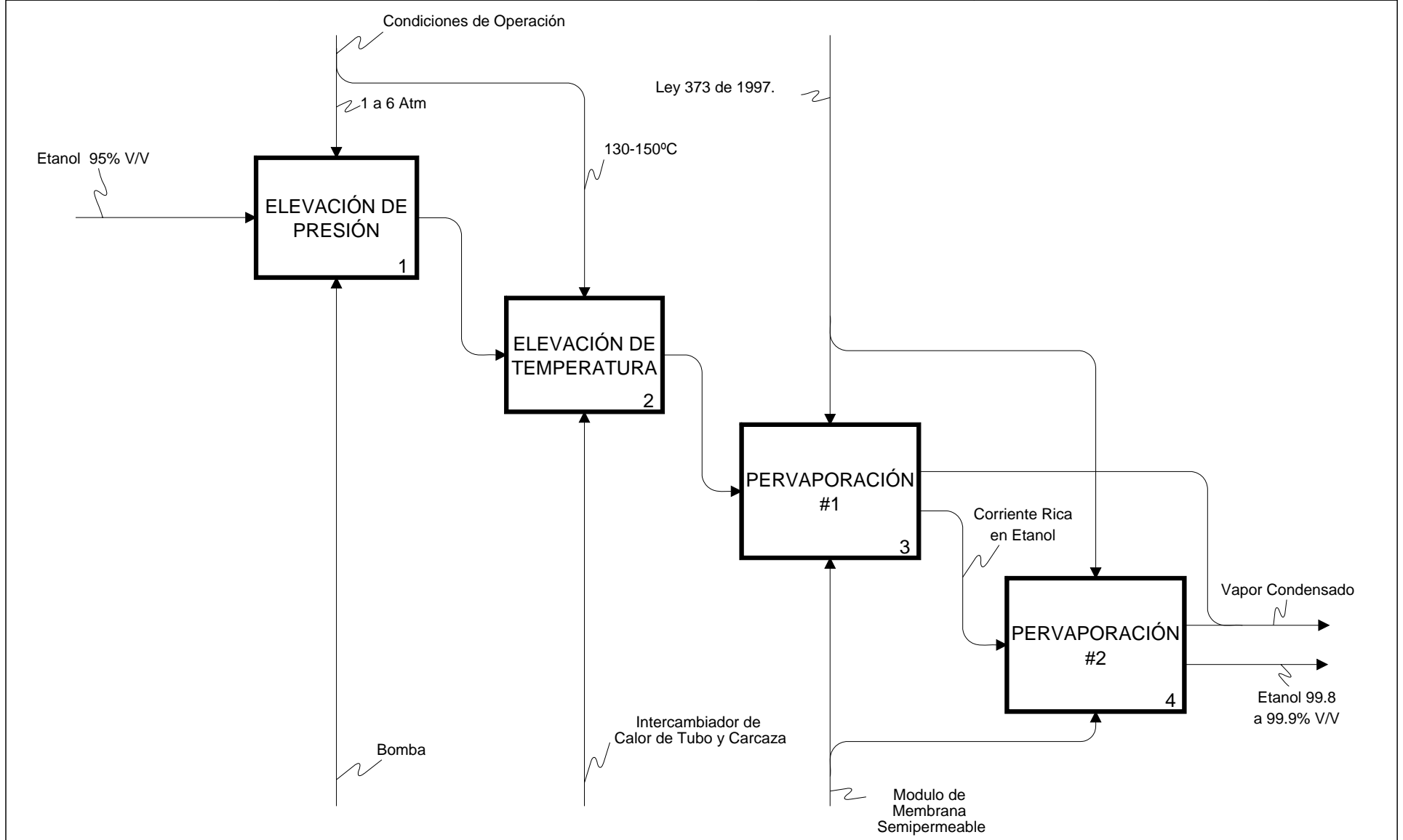
Node: E3	Title: FERMENTACIÓN (ANAEROBIA)	Number: Page: 5
-------------	------------------------------------	--------------------

Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 19/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: □ □ □ □ ■ □ E0
	Project: ETANOL	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



Node: E4	Title: DESTILACIÓN	Number:
		Page: 6

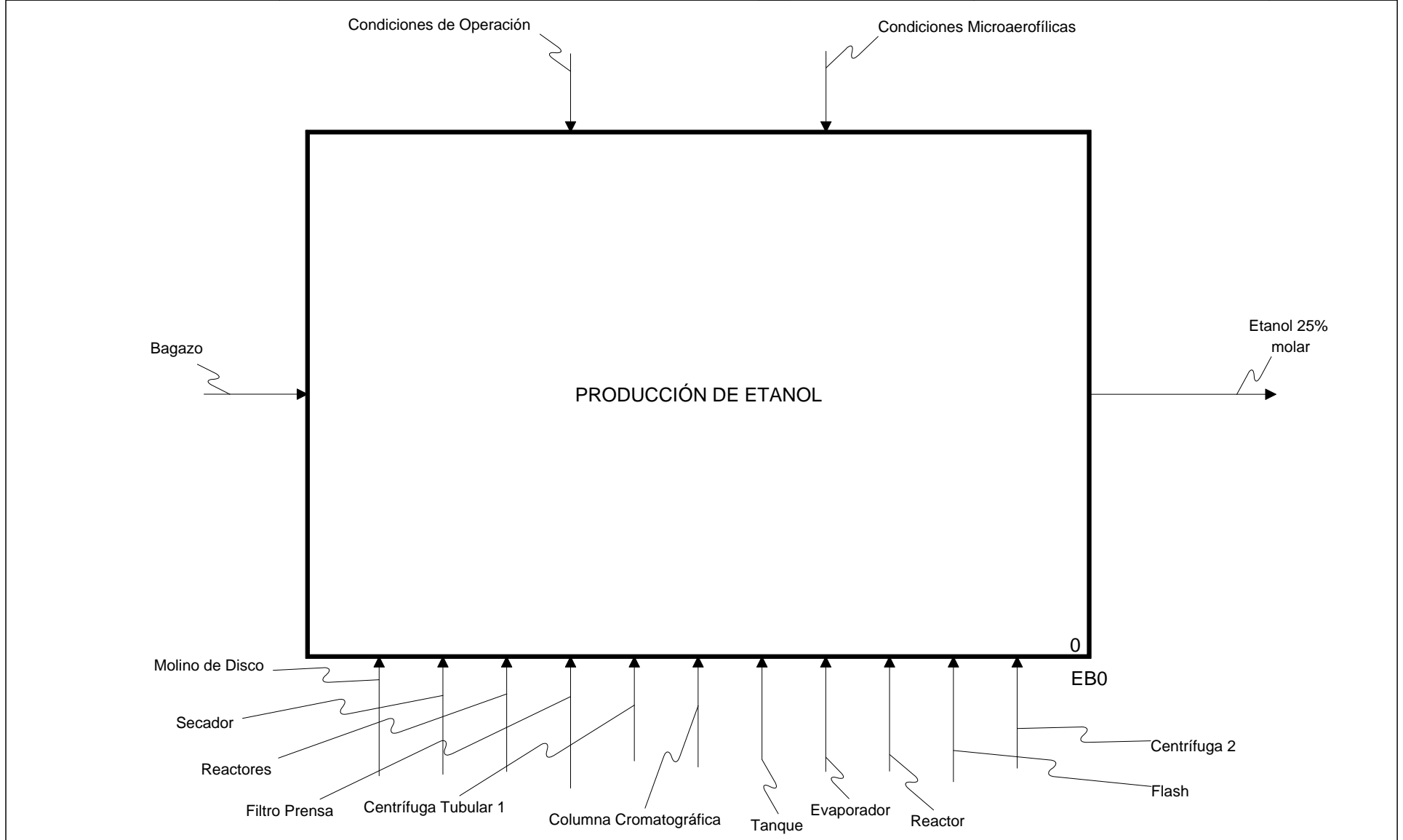
Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 17/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: □ □ □ □ □ ■ E0
	Project: ETANOL	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



Node: E5	Title: DESHIDRATACIÓN	Number:	Page: 7
-------------	--------------------------	---------	---------

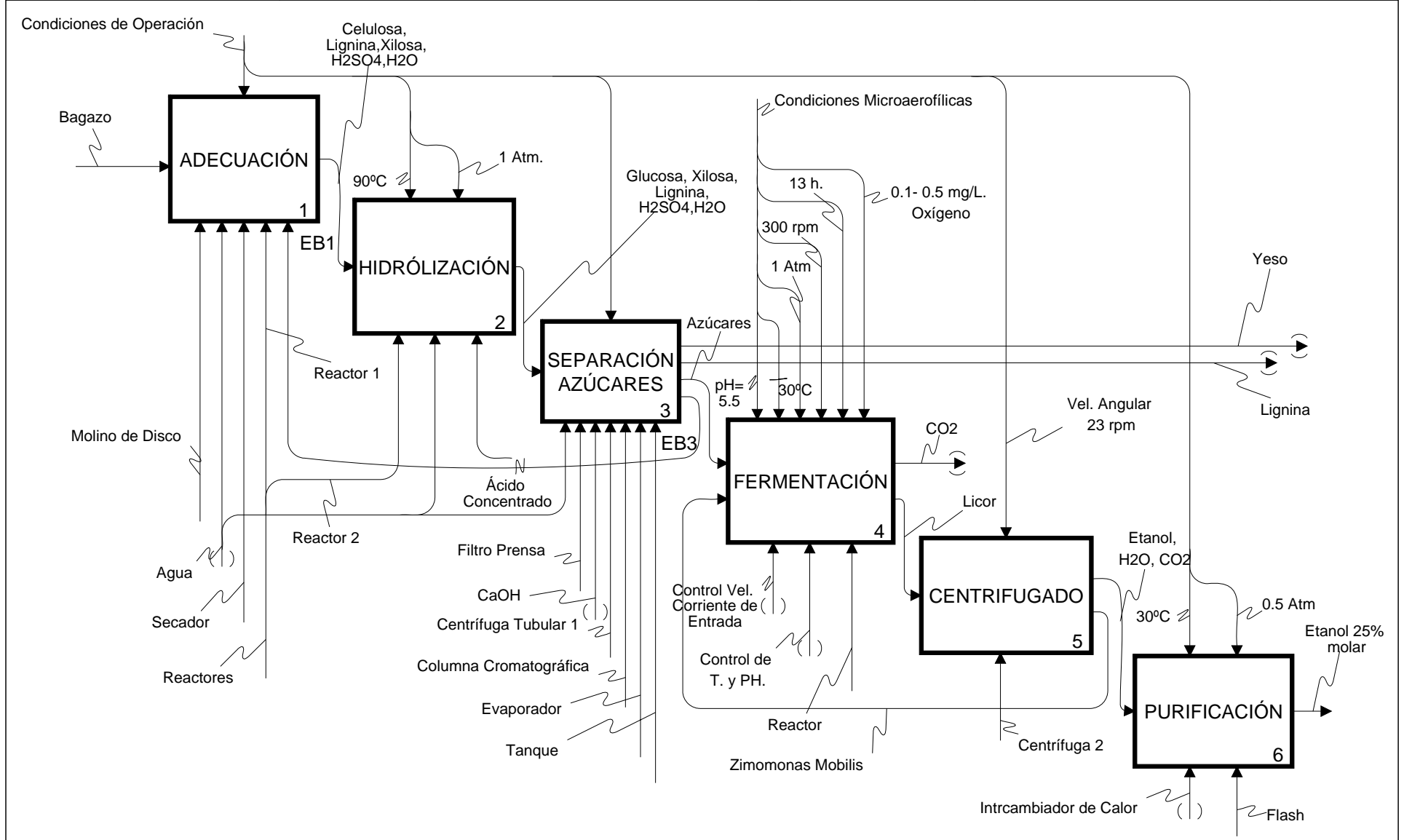
6.5 MODELADO DE LA OBTENCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE BAGAZO

Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 13/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: TOP
	Project: ETANOL-BAGAZO	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			

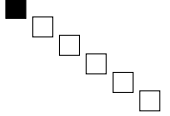


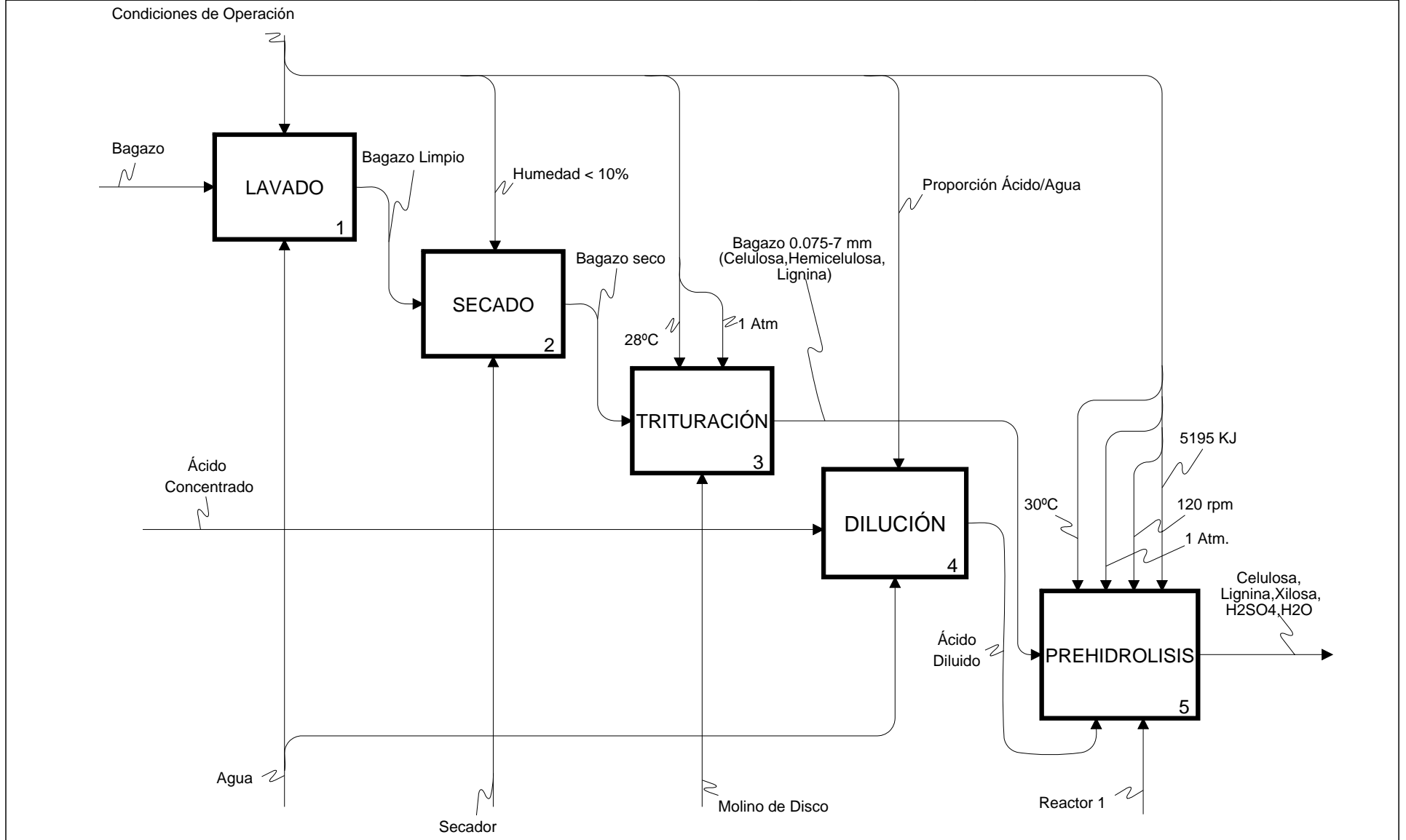
Node: EB-0	Title: PRODUCCIÓN DE ETANOL	Number:	Page: 2
---------------	--------------------------------	---------	---------

Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 13/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: ■ EB-0
	Project: ETANOL-BAGAZO	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



Node: EB0	Title: PRODUCCIÓN DE ETANOL	Number: Page: 3
--------------	--------------------------------	--------------------

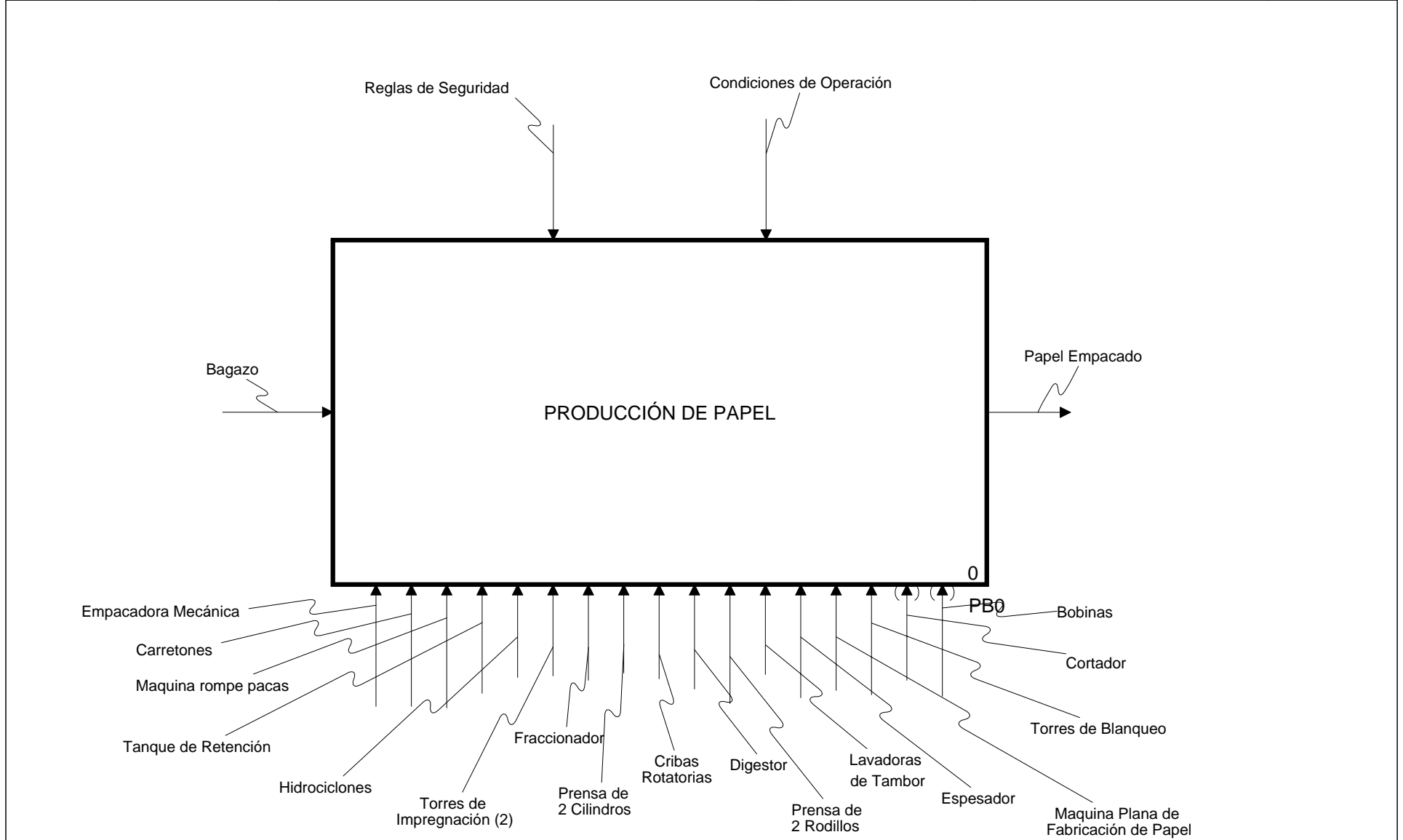
Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 13/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: 
	Project: ETANOL-BAGAZO	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



Node: EB1	Title: ADECUACIÓN	Number:	Page: 4
--------------	----------------------	---------	---------

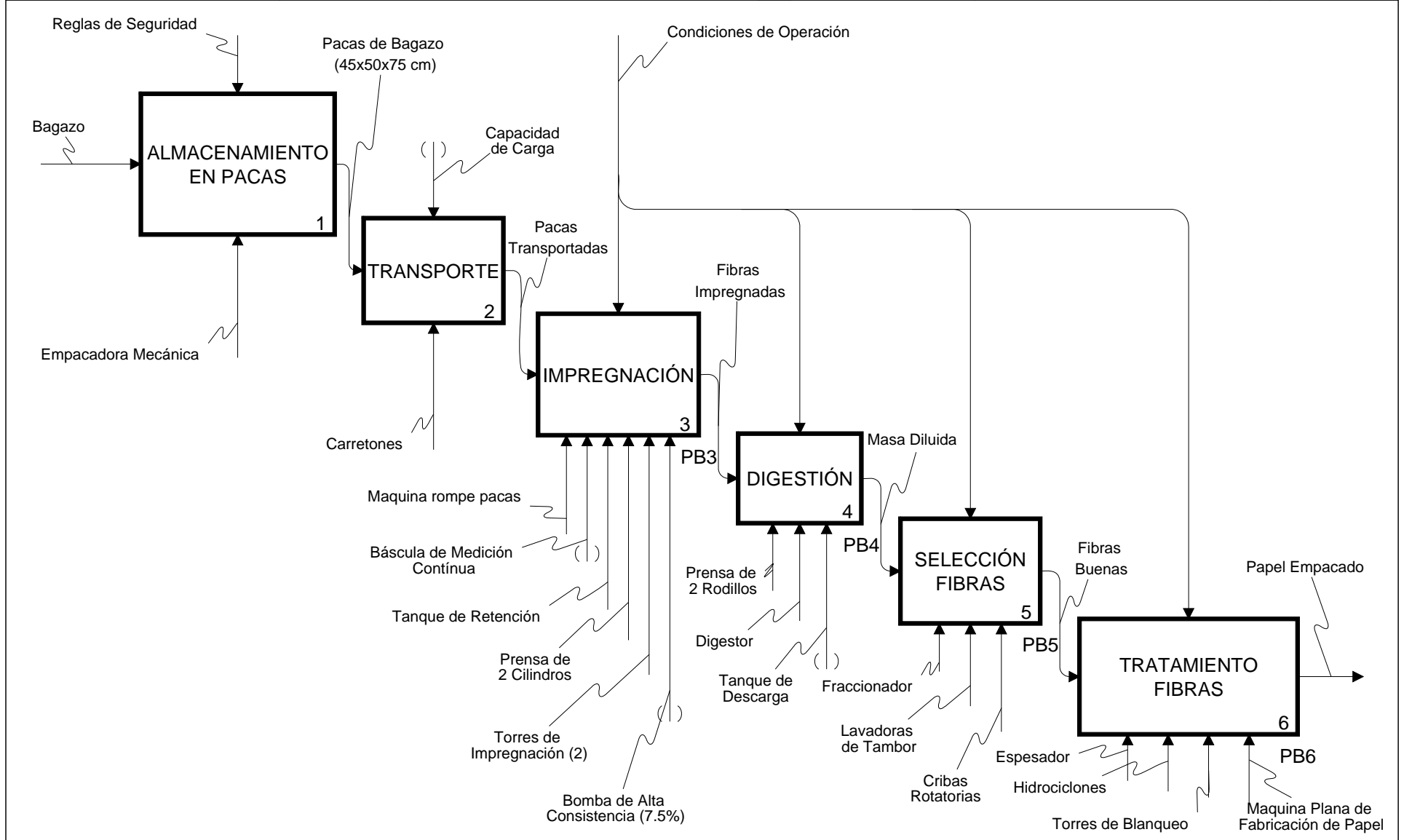
6.6 MODELADO DE LA OBTENCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE BAGAZO

Used At:	Author: Juan Becarías Jhon Tapias	Date: 20/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: TOP
	Project: PAPEL-BAGAZO	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



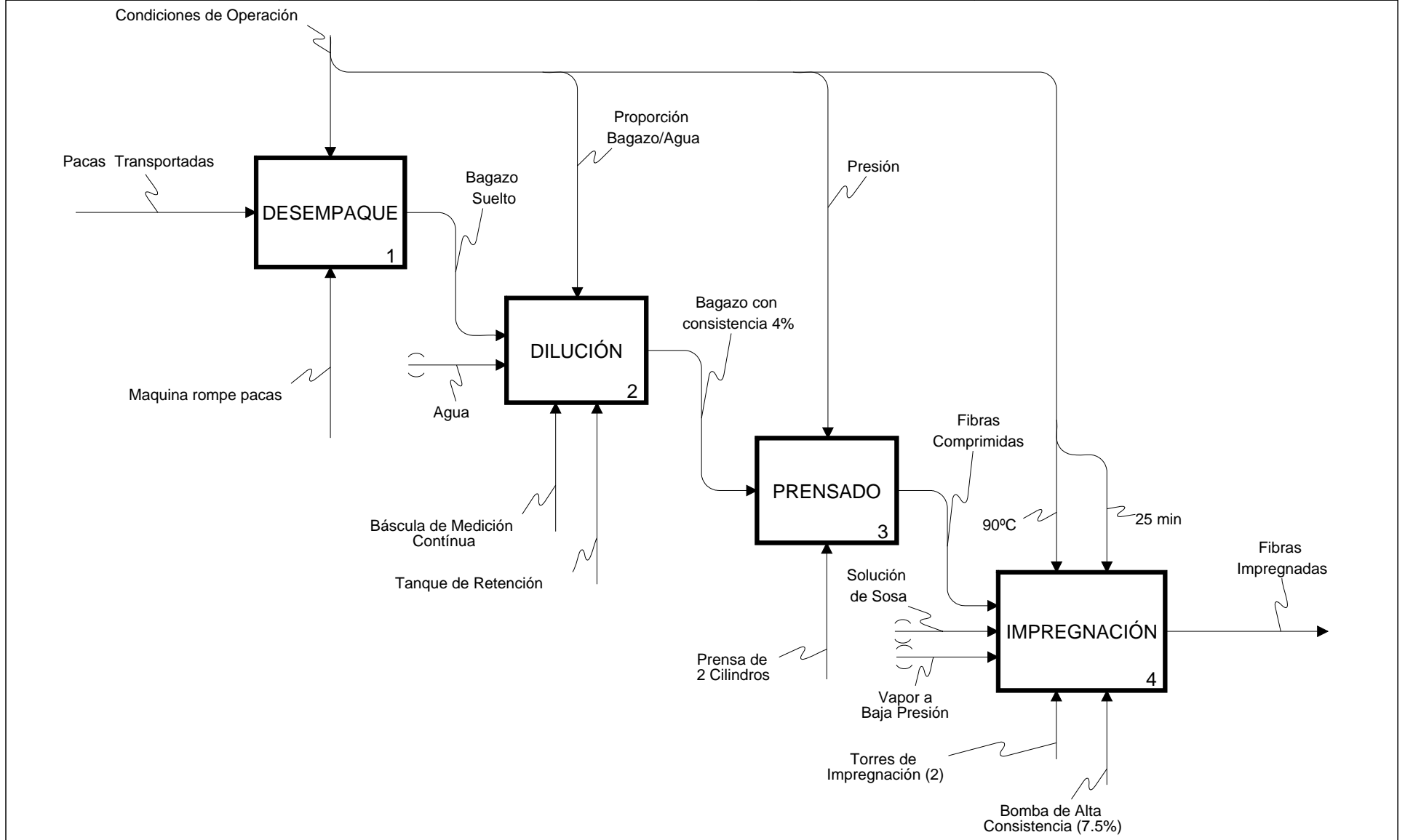
Node: PB-0	Title: PAPEL-BAGAZO	Number:	Page: 2
---------------	------------------------	---------	---------

Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 14/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: ■ PB-0
	Project: PAPEL-BAGAZO	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



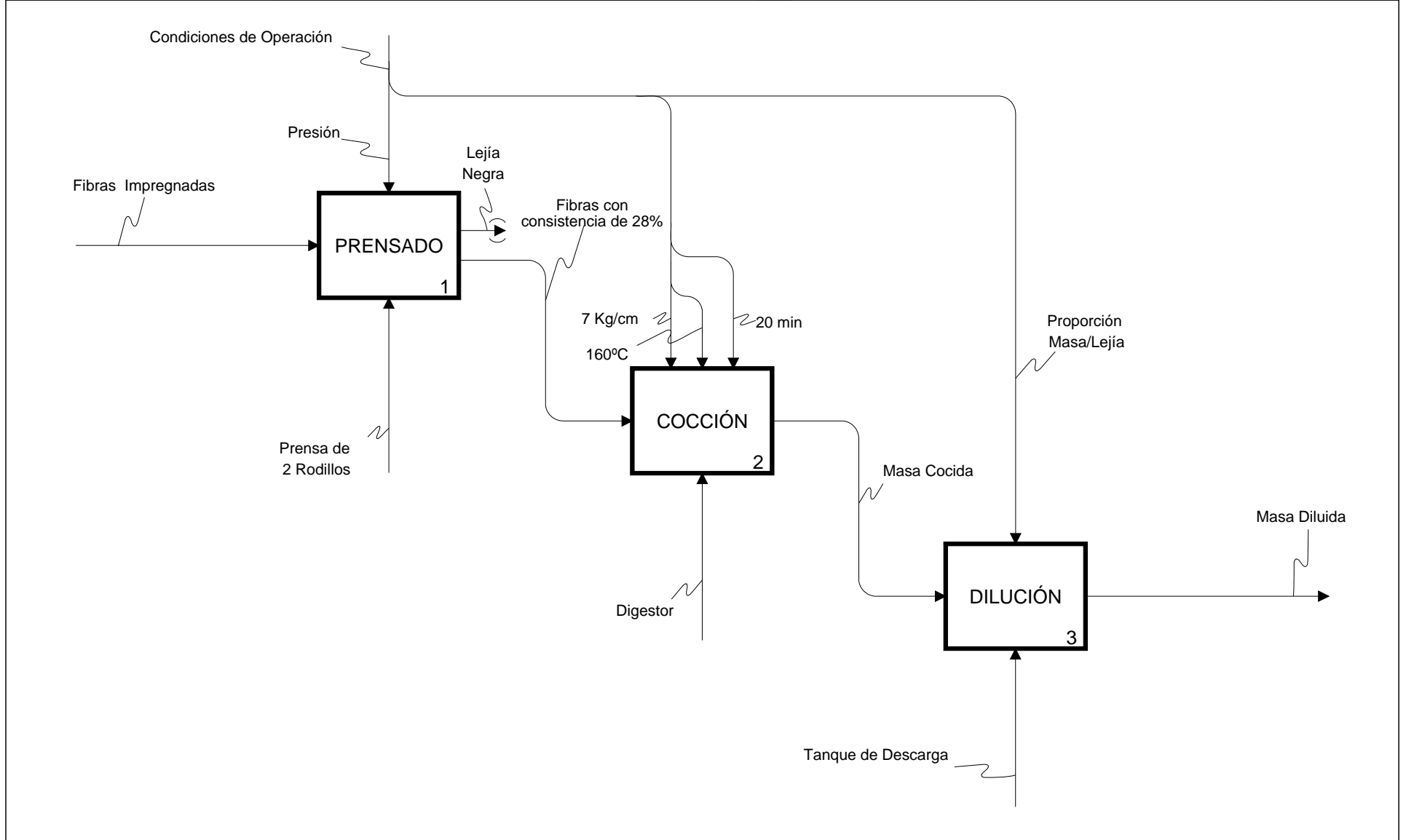
Node: PB0	Title: PRODUCCIÓN DE PAPEL	Number:
		Page: 3

Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 14/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	Project: PAPEL-BAGAZO	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			

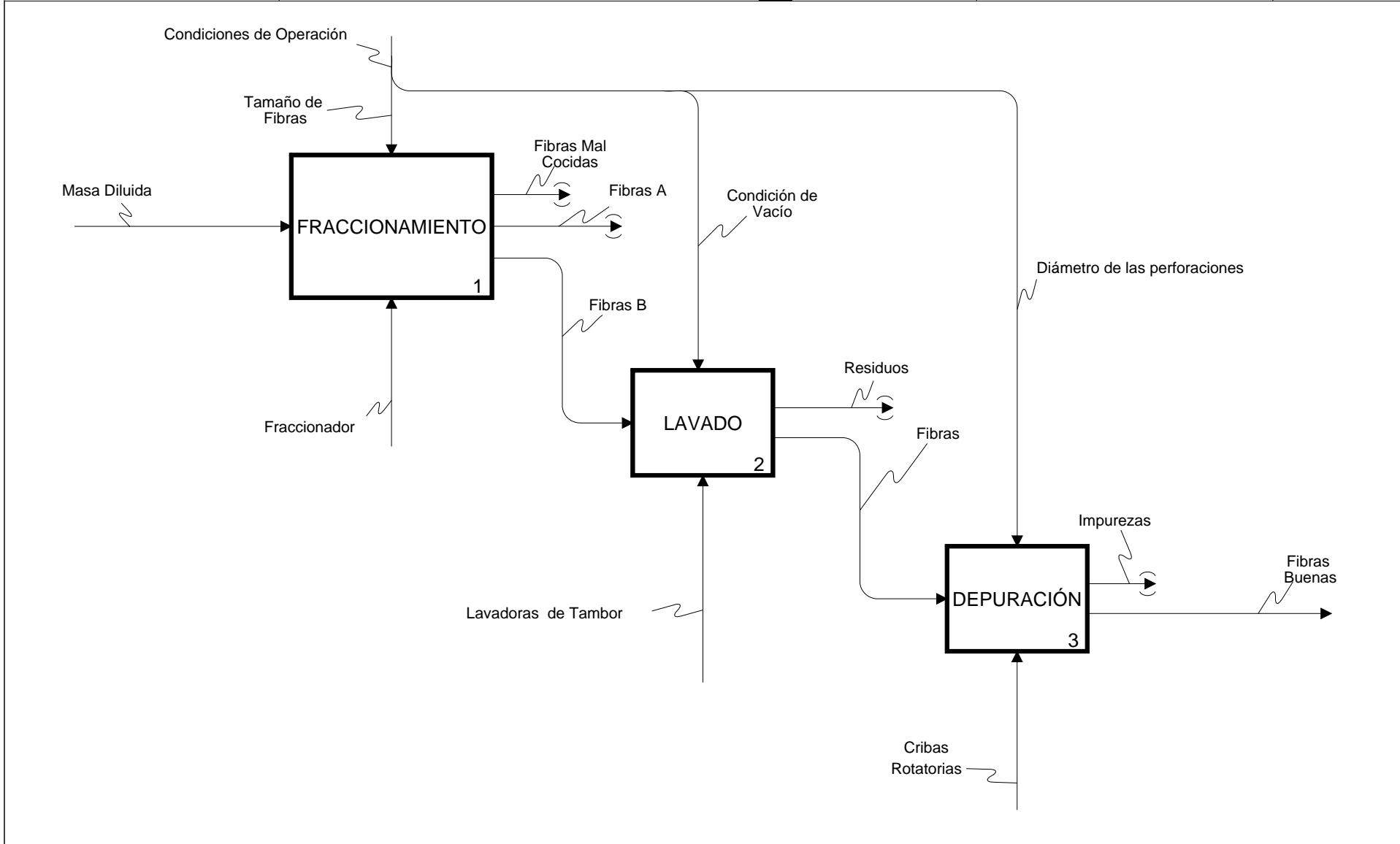


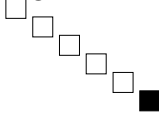
Node: PB3	Title: IMPREGNACIÓN	Number:
		Page: 4

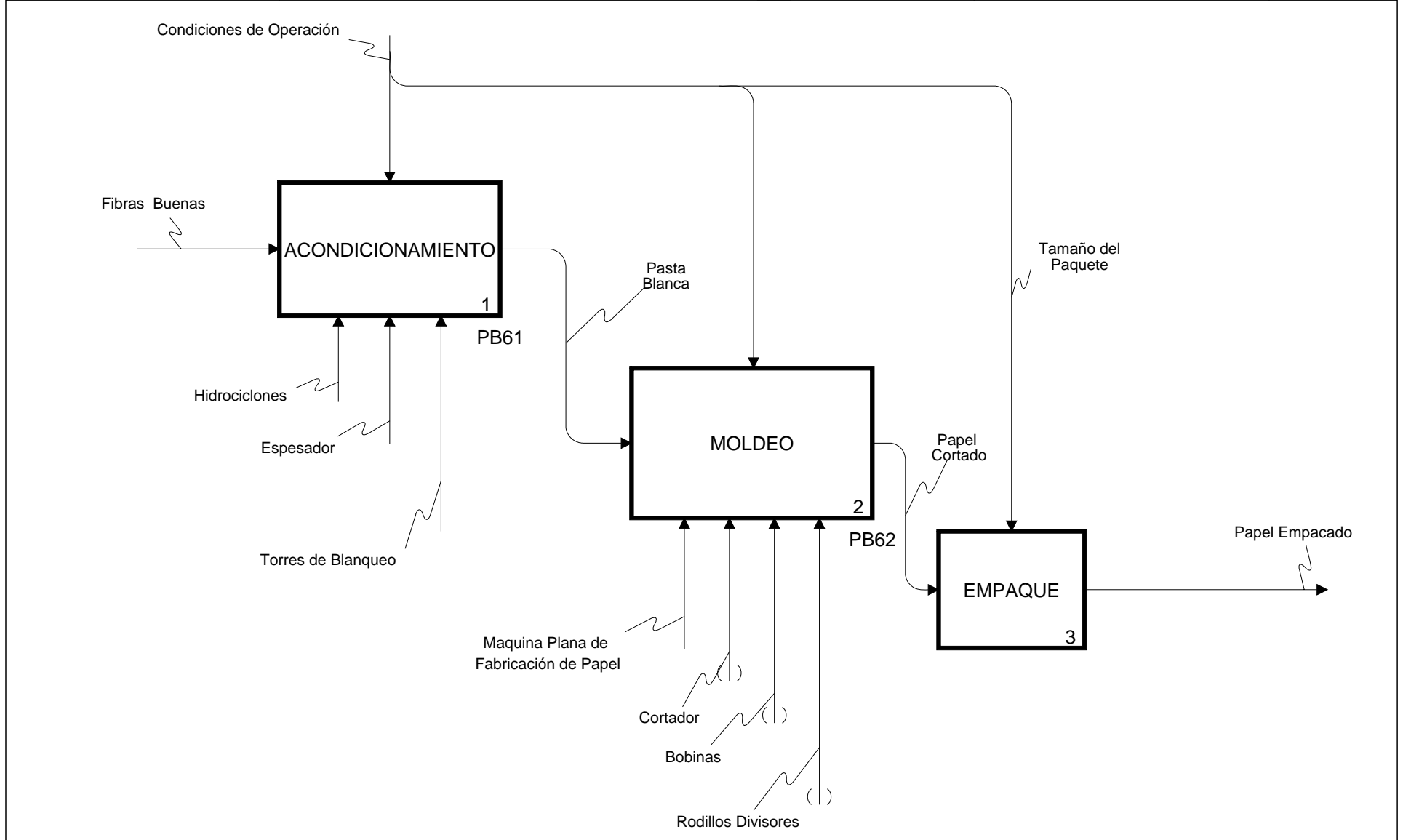
Used At:	Author: Juan Becarí Jhon Tapias	Date: 14/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	Project: PAPEL-BAGAZO	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



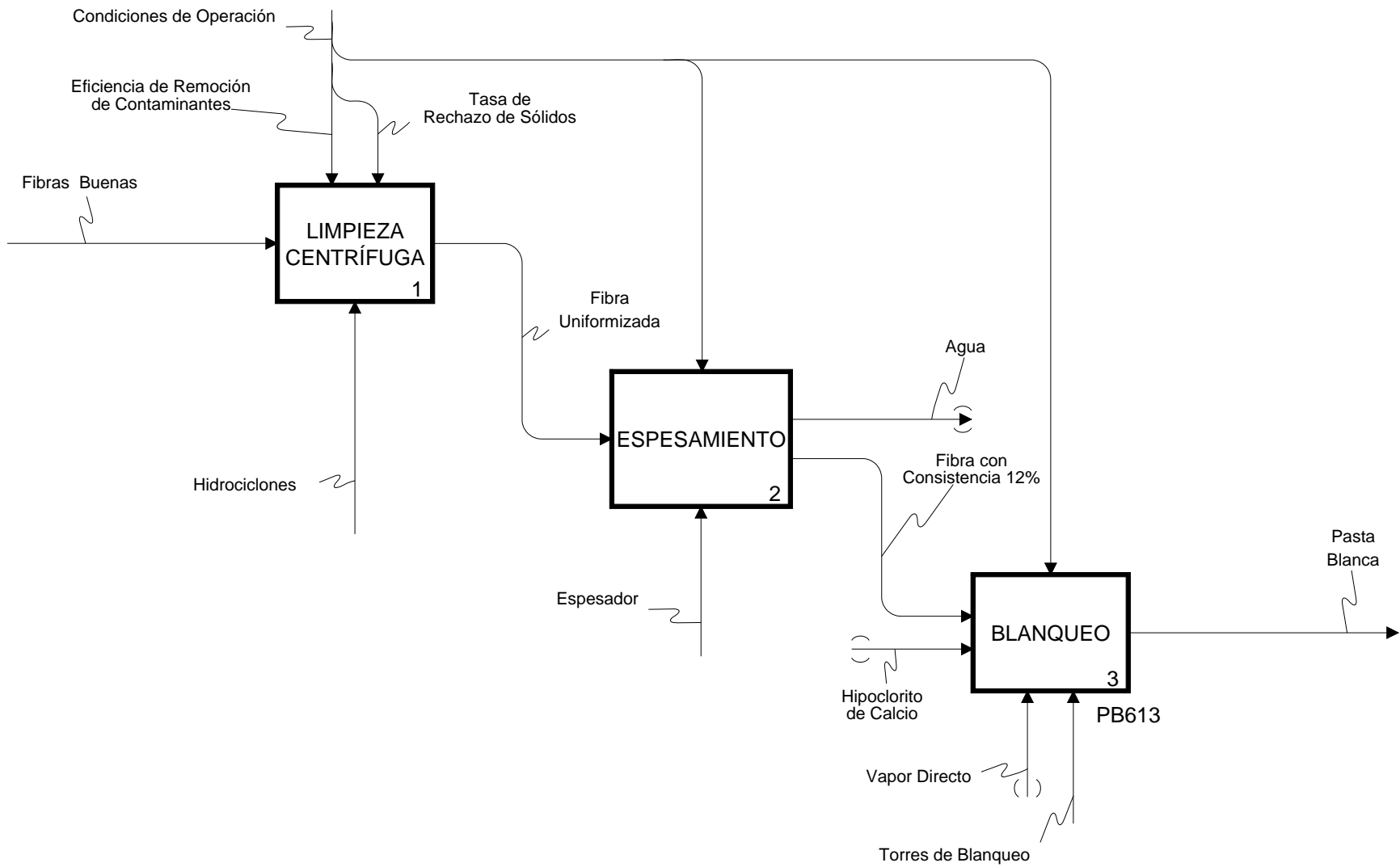
Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 14/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	Project: PAPEL-BAGAZO	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



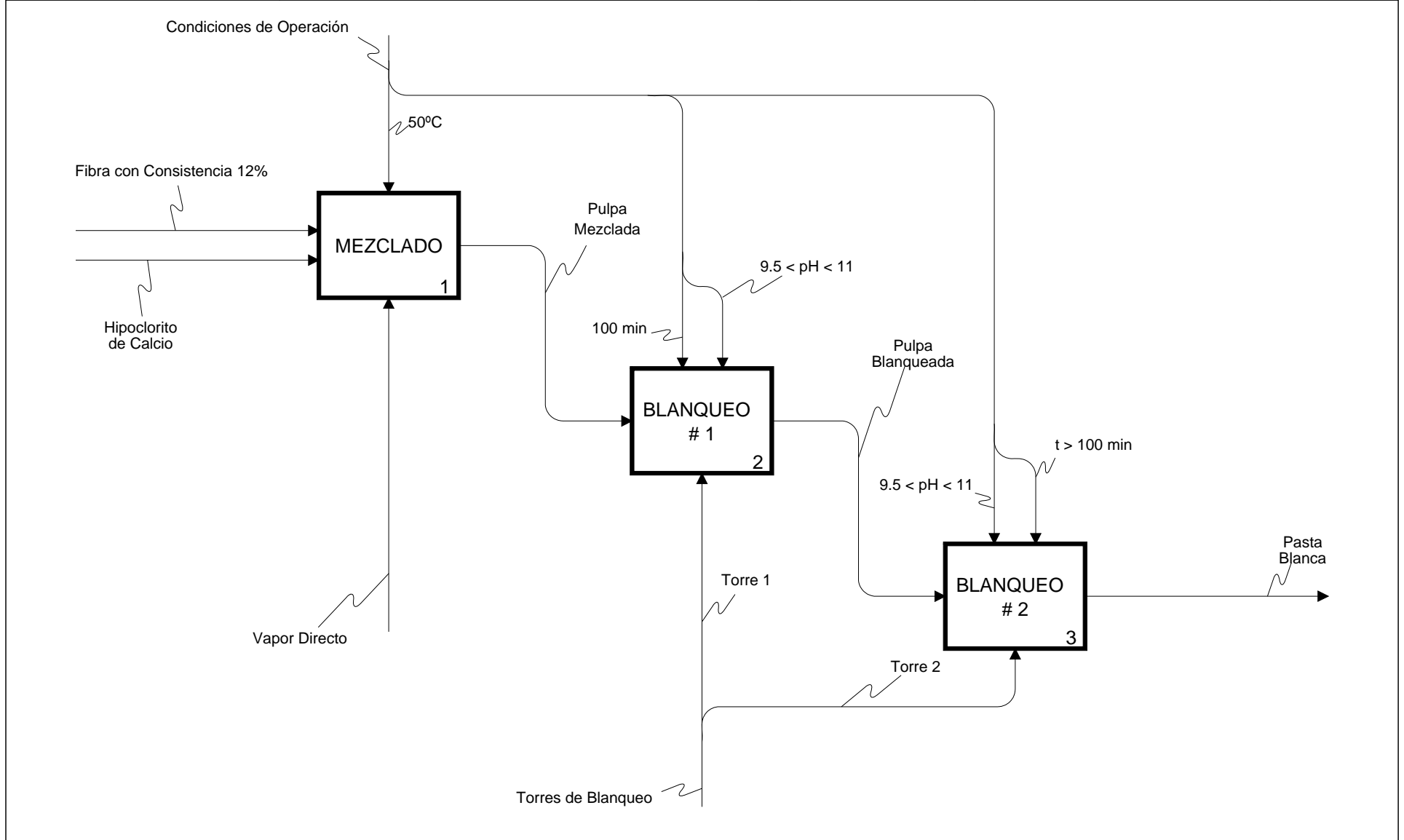
Used At:	Author: Juan Becarí Jhon Tapias	Date: 14/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: 
	Project: PAPEL-BAGAZO	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



Used At:	Author: Juan Becarí Jhon Tapias	Date: 14/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> PB6
	Project: PAPEL-BAGAZO	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			

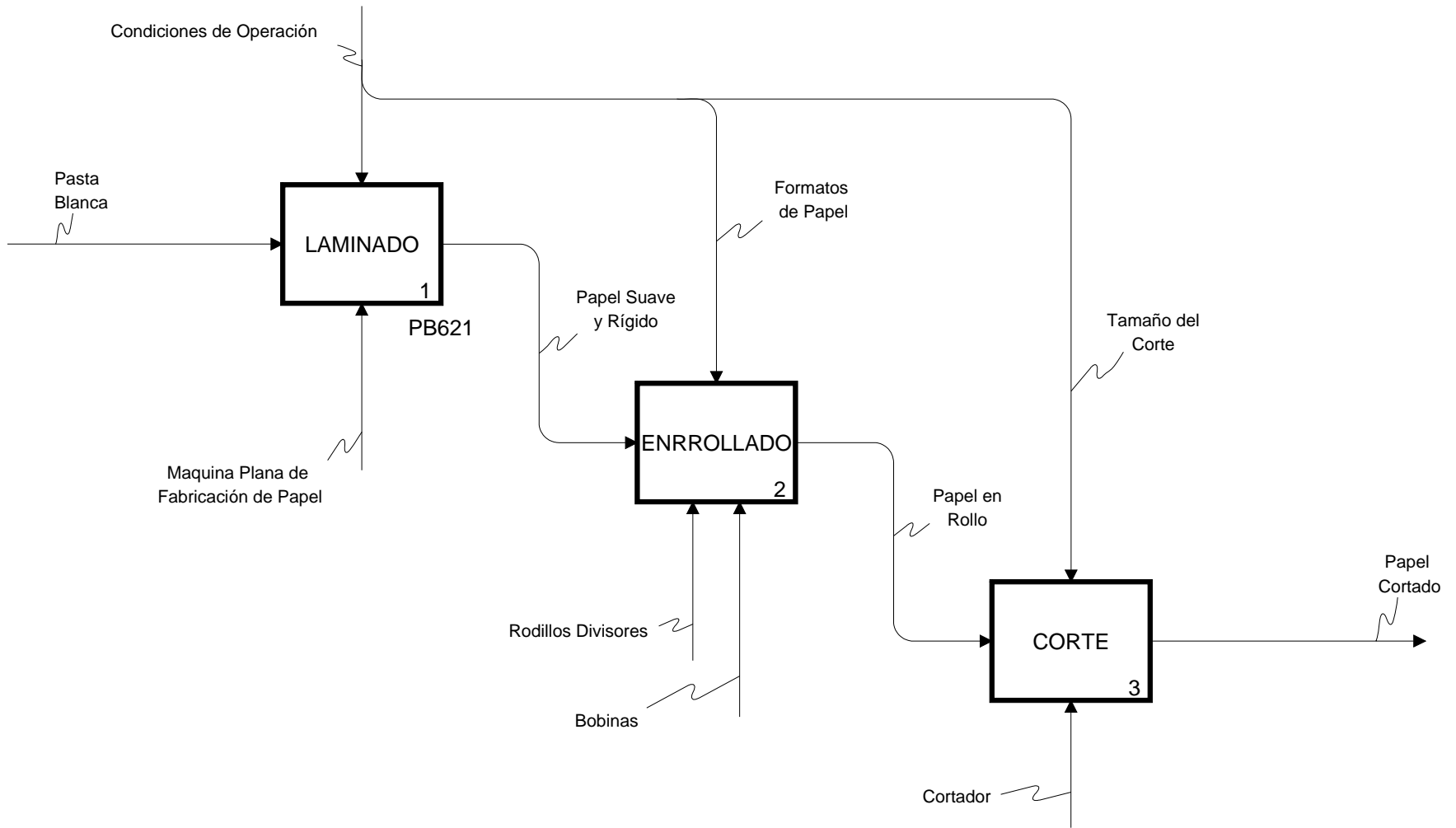


Used At:	Author: Juan Becarí Jhon Tapias	Date: 14/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> PB61
	Project: PAPEL-BAGAZO	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			

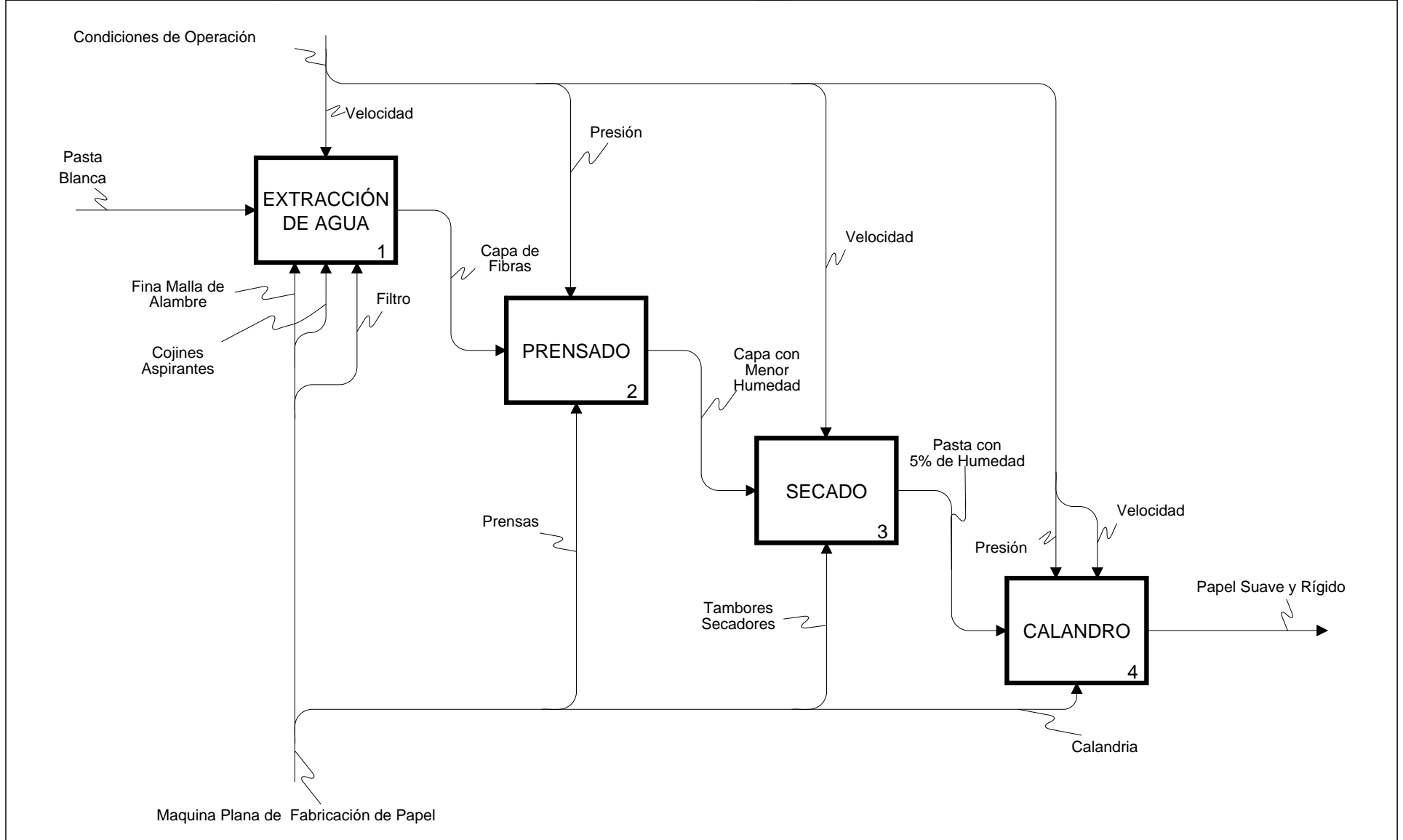


Node: PB613	Title: BLANQUEO	Number:	Page: 9
----------------	--------------------	---------	---------

Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 14/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: <input type="checkbox"/>	
	Project: PAPEL-BAGAZO	Rev:	DRAFT				<input checked="" type="checkbox"/>
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10			RECOMMENDED			<input type="checkbox"/>
				PUBLICATION			PB6



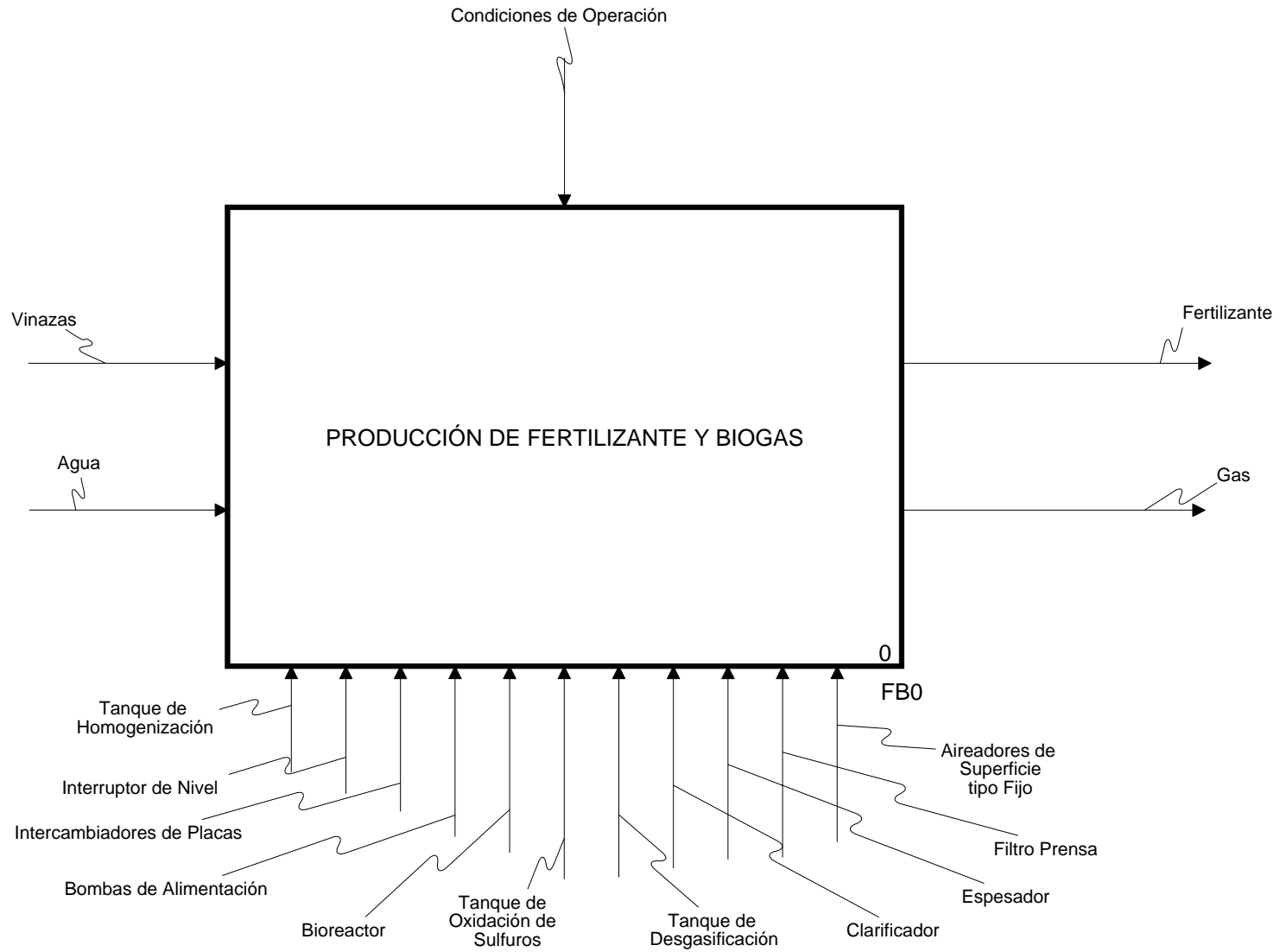
Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 14/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: ■	
	Project: PAPEL-BAGAZO	Rev:	DRAFT				□
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10			RECOMMENDED			□
				PUBLICATION			PB62



Node: PB621	Title: LAMINADO	Number: Page: 11
----------------	--------------------	---------------------

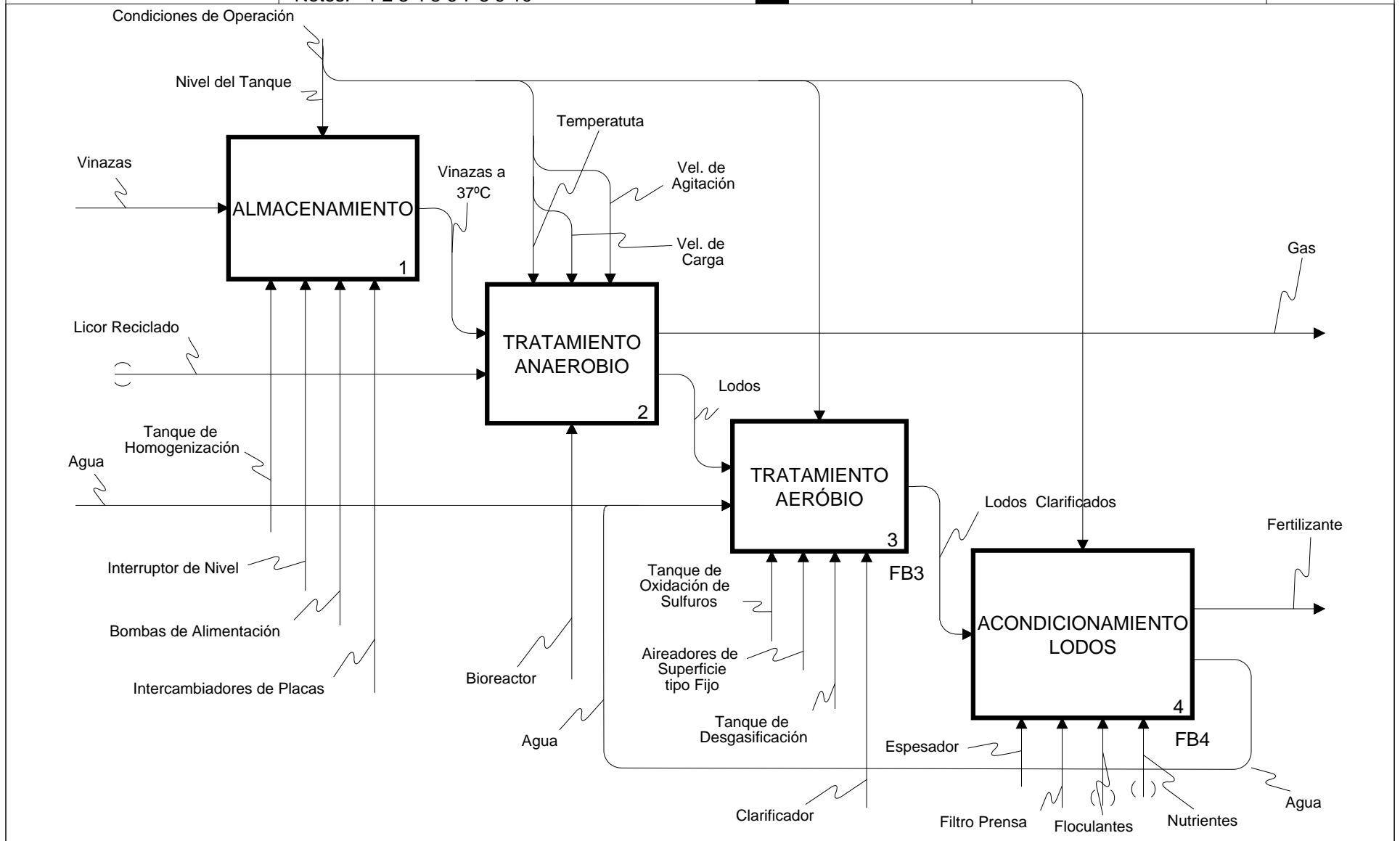
6.7 MODELADO DE LA OBTENCIÓN DE FERTILIZANTE Y BIOGÁS A PARTIR DE LAS VINAZAS

Used At:	Author: Juan Becarí Jhon Tapias	Date: 14/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: TOP
	Project: FERTILIZANTE y BIOGAS-VINAZAS	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



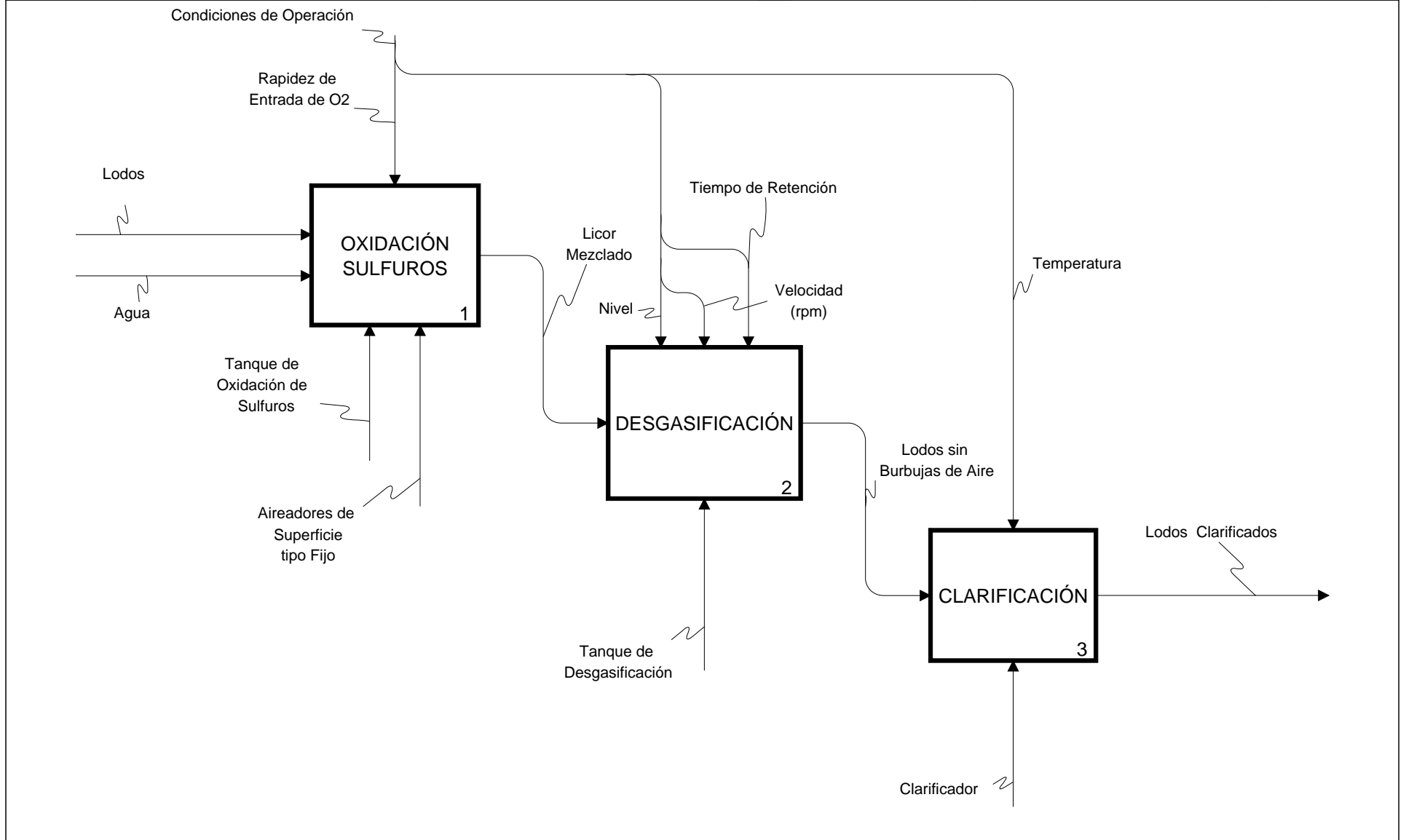
Node: FB-0	Title: OBTENCIÓN DE FERTILIZANTE	Number:	Page: 2
---------------	-------------------------------------	---------	---------

Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 14/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: ■
	Project: FERTILIZANTE y BIOGAS-VINAZAS	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			FB-0

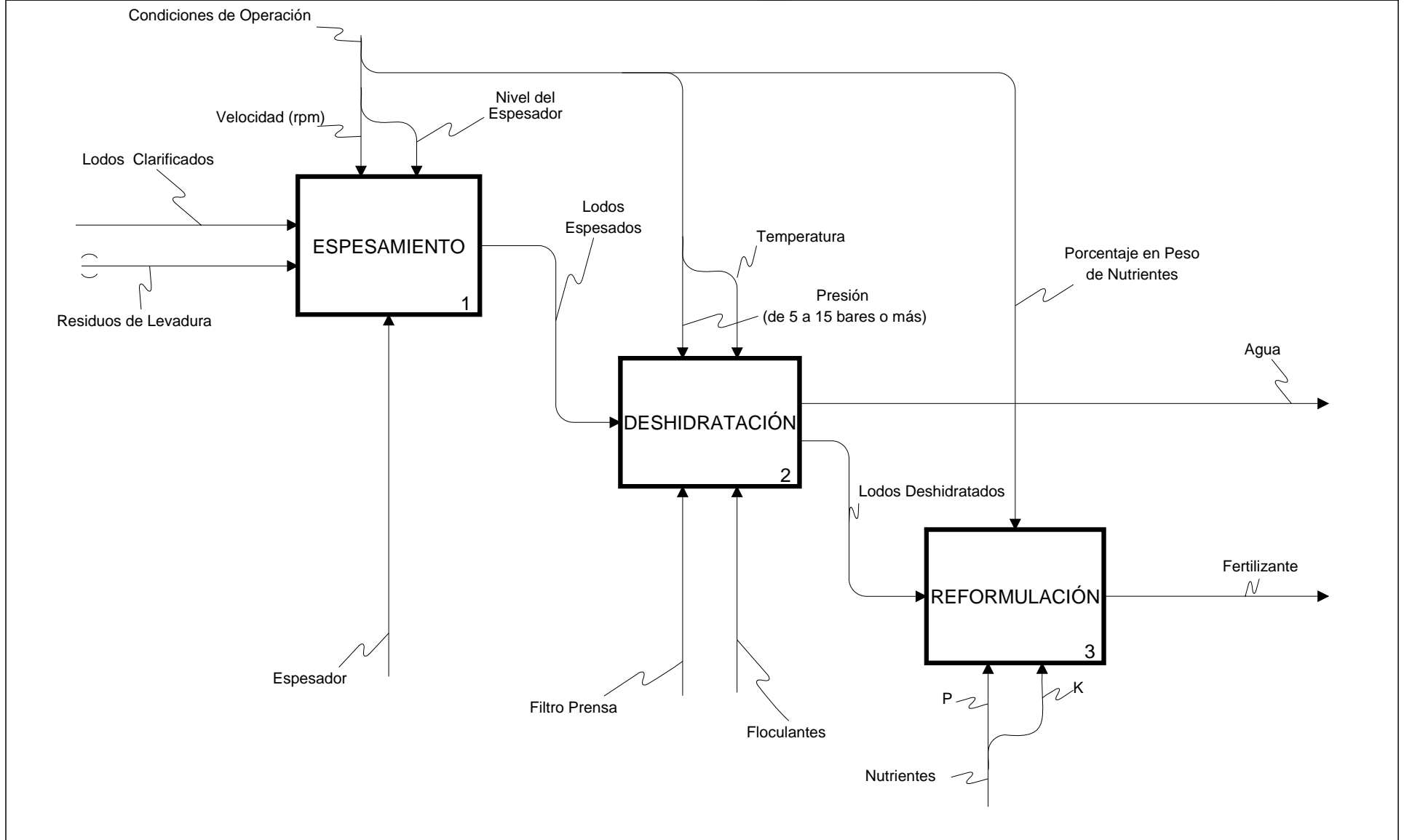


Node: FB0	Title: PRODUCCIÓN DE FERTILIZANTE Y BIOGAS	Number: Page: 3
--------------	---	--------------------

Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 14/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> FB0
	Project: FERTILIZANTE y BIOGAS-VINAZAS	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			

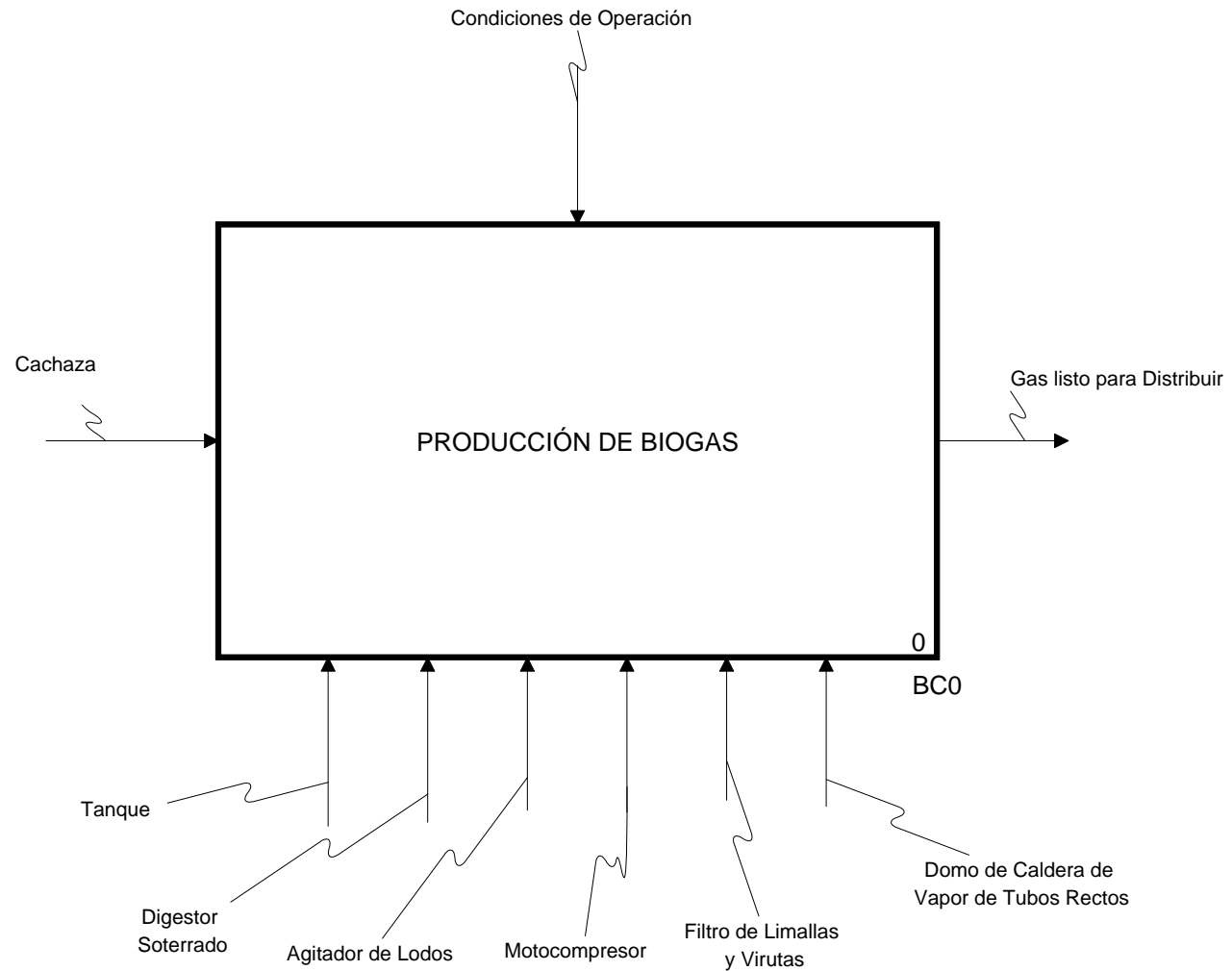


Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 14/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
	Project: FERTILIZANTE y BIOGAS-VINAZAS	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



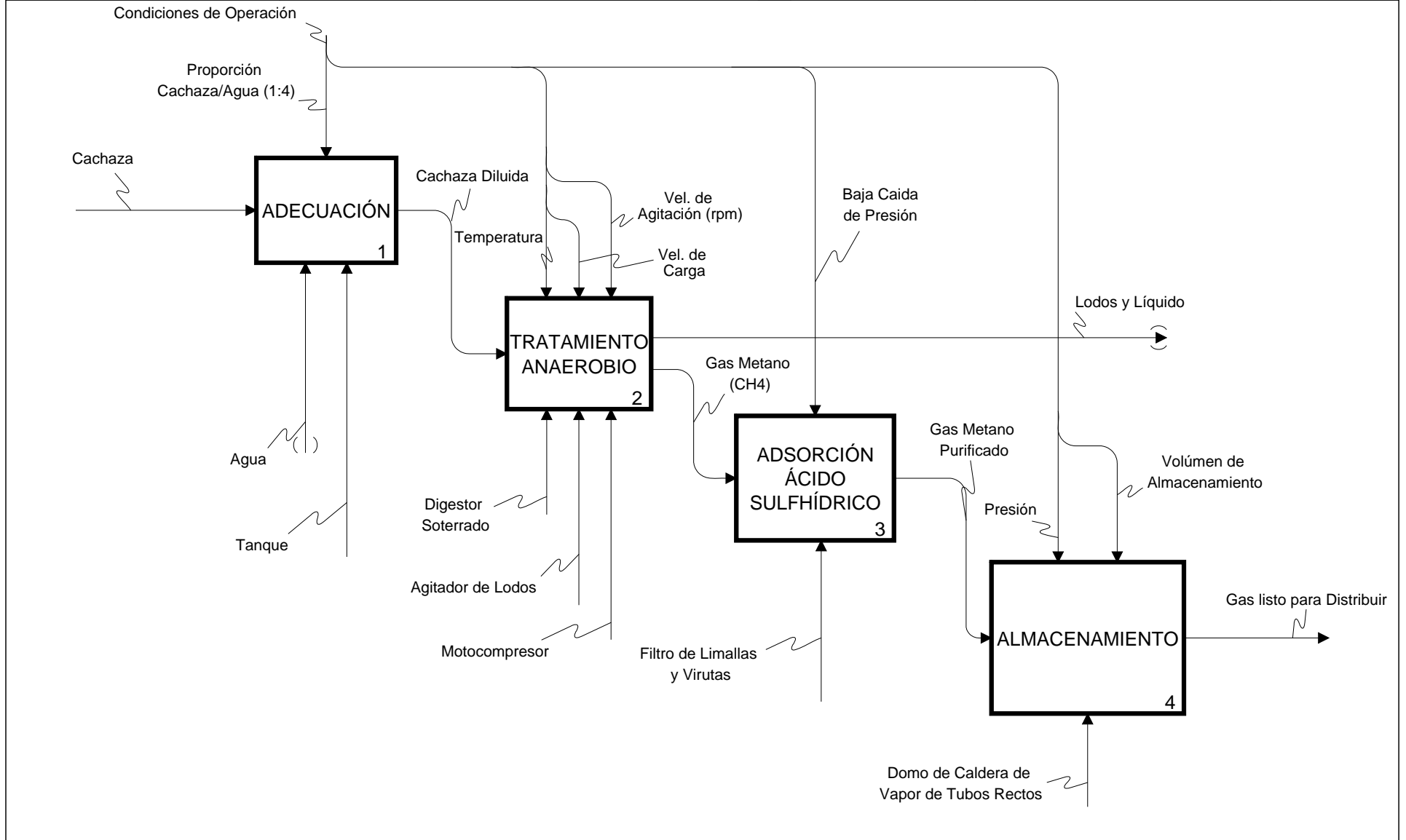
6.8 MODELADO DE LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE CACHAZA

Used At:	Author: Juan Becarí Jhon Tapias	Date: 15/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: TOP
	Project: BIOGAS-CACHAZA	Rev:	DRAFT			
			RECOMMENDED			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		PUBLICATION			



Node: BC-0	Title: PRODUCCIÓN DE BIOGAS	Number:	Page: 1
---------------	--------------------------------	---------	---------

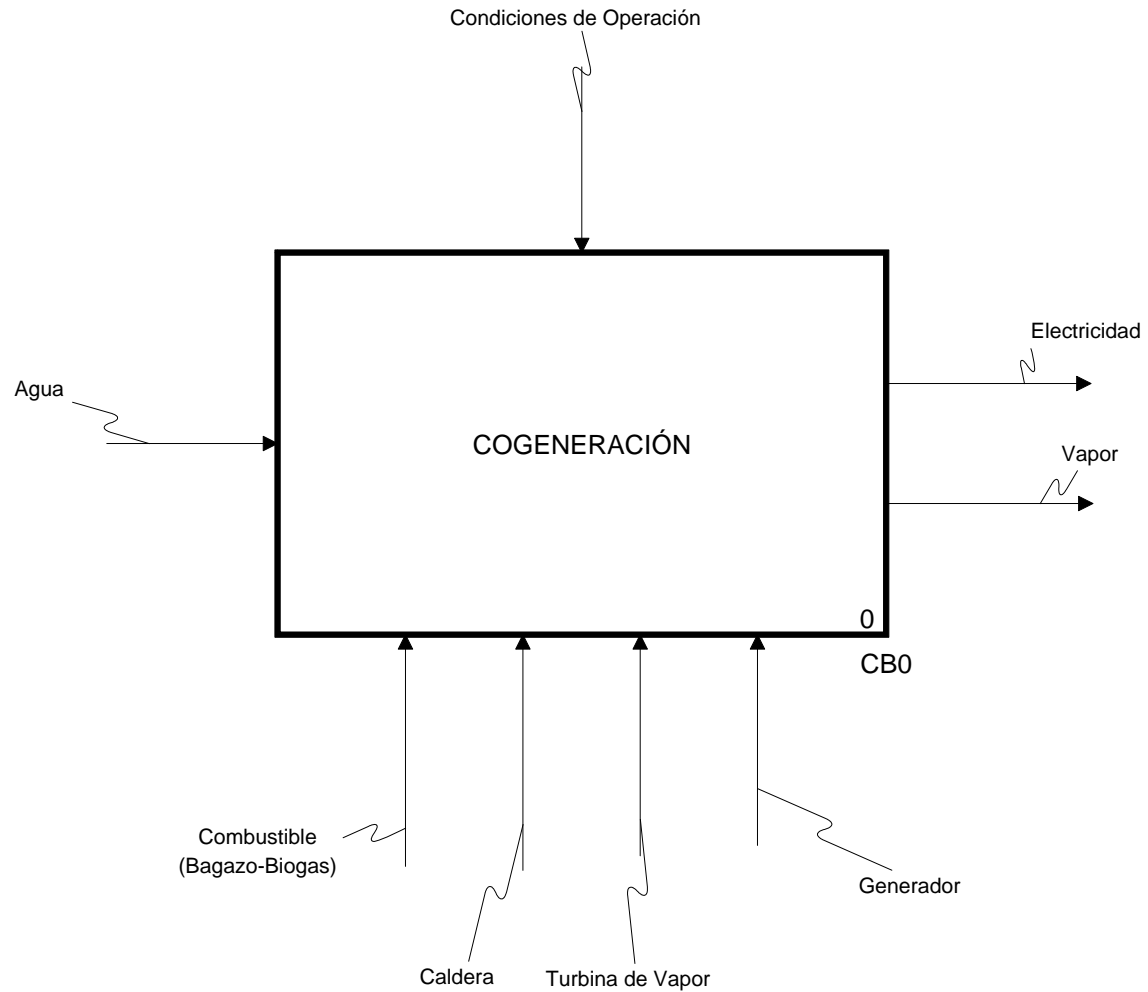
Used At:	Author: Juan Becarías Jhon Tapias	Date: 15/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: ■ BC-0
	Project: BIOGAS-CACHAZA	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



Node: BC0	Title: PRODUCCIÓN DE BIOGAS	Number:
		Page: 2

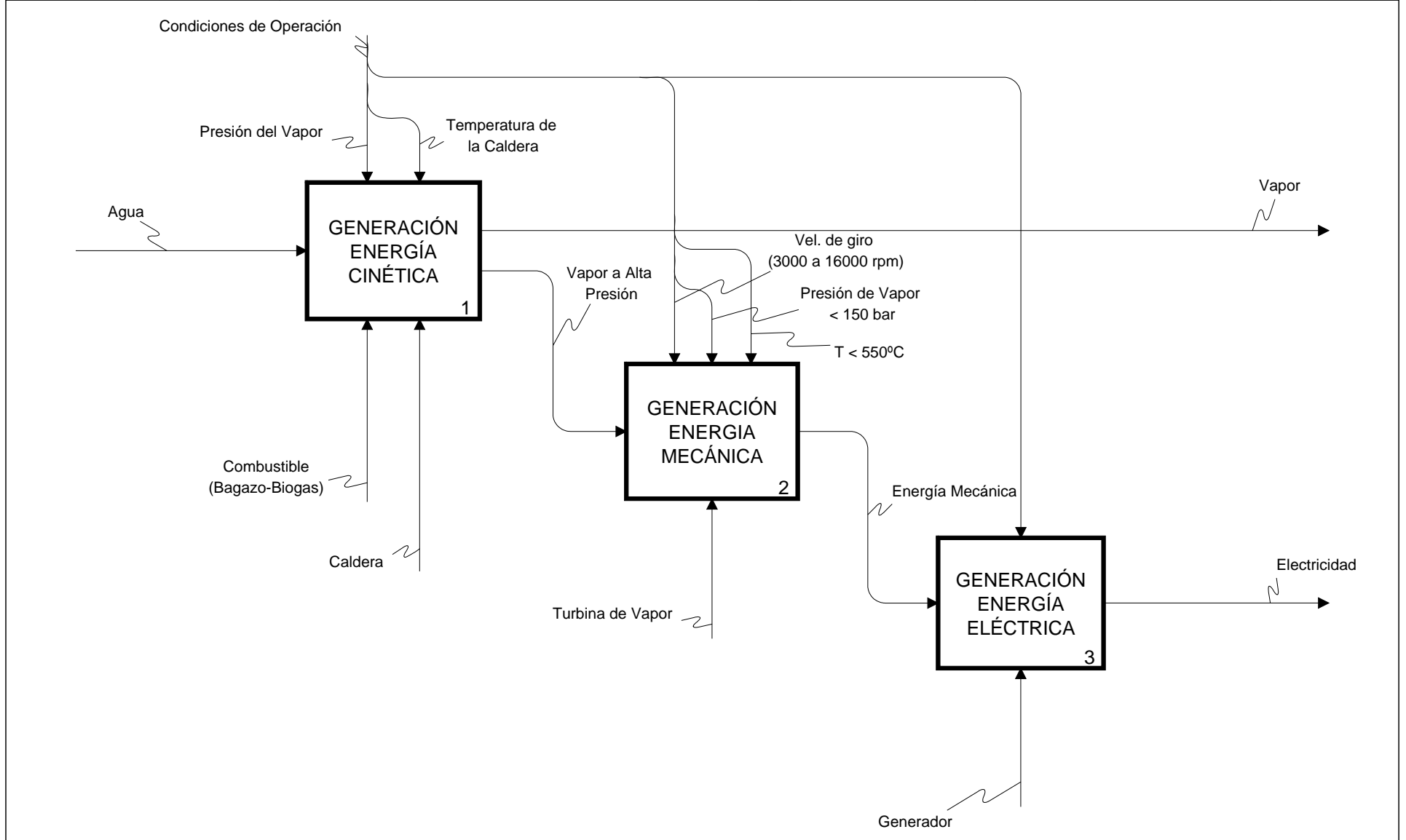
6.9 MODELADO DE LA COGENERACIÓN UTILIZANDO BAGAZO Y BIOGÁS

Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 16/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: TOP
	Project: COGENERACIÓN-BAGAZO	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



Node: CB-0	Title: COGENERACIÓN UTILIZANDO BAGAZO	Number:	Page: 1
---------------	--	---------	---------

Used At:	Author: Juan Becaría Jhon Tapias	Date: 16/09/2006	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: ■ CB-0
	Project: COGENERACIÓN- BAGAZO	Rev:	DRAFT			
	Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



CONCLUSIONES

El modelado utilizando la metodología IDEFØ permitió conocer el desarrollo tanto general como detallado de cada uno de los procesos productivos derivados de la caña panelera, identificando claramente todas sus entradas, controles, salidas y mecanismos.

Además la metodología IDEFØ implementada en el software Corel IGrafX 2006 logró presentar en una sola plataforma todos los procesos, identificando la forma como interactúan, es decir, como las salidas de unos procesos se pueden convertir en entradas, controles o mecanismos de otros, permitiendo una mayor eficiencia y dejando ver grandes oportunidades de mejora que pueden ser aprovechadas por el sector productivo. Un caso, es en la producción de panela y etanol, donde, luego de las etapas de extracción y limpieza, el jugo limpio obtenido es necesario en la elaboración de ambos. Otro caso, es lo referente al aprovechamiento de residuos, los cuales son comunes en estos procesos, tanto a gran escala, como el bagazo y la vinaza y en menores proporciones como cachaza, lodos, torta de fermentación y otros, que al observarse en el modelado, estimulan su utilización.

La ejecución de este trabajo permitió conocer las grandes oportunidades que presenta la caña panelera en la producción de etanol y en el aprovechamiento de residuos, convirtiéndose en un enorme potencial de desarrollo a nivel intelectual, económico y social.

El aprovechamiento de residuos, a pesar de los grandes beneficios ambientales y económicos que presenta en el sector productivo, ha sido poco implementado,

debido en gran parte a la desinformación, además de las deficientes condiciones económicas y conflictos sociales del país, que inciden negativamente.

Este proyecto facilita el análisis posterior de los procesos asociados a la caña panelera, pues permite luego estudiar detalladamente el uso de energía y masa, realizar el análisis tecnoeconómico y aplicar técnicas de ciclo de vida que permitan aprovechar ambiental, técnica y eficientemente todos los subproductos de la caña.

BIBLIOGRAFÍA

ARANGO, Juan José y BELALCÁZAR, Rodrigo. Preparación y Nivelación de Tierras para Caña de Azúcar: Conferencia 7. En: CURSO SOBRE EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (1986: Cali). Memorias del Curso sobre el Cultivo de la Caña de Azúcar. Cali: Tecnicaña, 1986. p. 105-139.

AYALDE VARÓN, Guillermo; GÓMEZ PEÑA, Jaime Fernando; SÁNCHEZ EMERS, Orlando; BUENAVENTURA, Carlos Eduardo y RANGEL JIMÉNEZ, Hernando. Caña de Azúcar. Palmira, Colombia: ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 102 p.

CASTILLO LOZADA, Luís Emilio. Diseño de un Sistema de Recolección y Transporte de Cachaza en el Proceso de Elaboración de Mielles y Panela. Bucaramanga, 2004, 79 h. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico- Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

CORPODIB. Bioetanol por Fermentación del Jugo de Caña de Azúcar y Melazas como Aditivo Oxigenante de la Gasolina [en línea]. <<http://www.corpodib.com/estudios1.htm>> [citado el 6 de diciembre de 2006]

CORPODIB. Generación de Biogás y Abono Biológico por Degradación Anaerobia de Residuos Orgánicos [en línea]. <<http://www.corpodib.com/estudios3.htm>> [citado el 6 de diciembre de 2006]

DAZA M, Oscar H. Métodos de Riego. Conferencia 15. En: CURSO SOBRE EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (1986: Cali). Memorias del Curso sobre el Cultivo de la Caña de Azúcar. Cali: Tecnicaña, 1986. p. 255-281.

DIAZ LIZARAZO, Claudia Johanna; BAEZ ÁLVAREZ, Giovanni. Diseño y Construcción de un Sistema para la Producción de Panela Granulada. Bucaramanga, 2000, 93 h. Trabajo de Grado (Diseñador Industrial). Universidad Industrial de Santander. Escuela de Diseño Industrial.

FEDERACIÓN NACIONAL DE BIOCOMBUSTIBLES. ABC de los Alcoholes Carburantes [en línea]. <<http://www.minminas.gov.co>> [citado el 20 agosto 2006]

GARCÍA B, Hugo; QUIROGA, María; BAQUERO, Wilson y GUERRERO, Camilo. La Panela Biológica: Recomendaciones para su Obtención. 1 ed. Cundinamarca y Boyacá: CORPOICA, 1997. p 19.

GARCÍA CÓRDOBA, Fernando. La Tesis y el Trabajo de Tesis: Recomendaciones Metodológicas para la Elaboración de Trabajos de Tesis. México: Limusa, 2001.

GARCÍA O, Álvaro y ROJAS C, Carlos A. Posibilidades de Uso de la Vinaza en la Agricultura de Acuerdo con su Modo de Acción en los Suelos. Cali: Tecnicaña, 2006. 11 p. (Nota Técnica).

GNECCO MANCHENO, Jose. Situación de la producción de Etanol en Colombia [en línea]. <<http://www.ciat.cgiar.org>> [citado el 5 septiembre 2006].

GÓMEZ P, Jaime F. Semilleros y Siembra de Caña de Azúcar. Conferencia 8. En: CURSO SOBRE EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (1986: Cali). Memorias del Curso sobre el Cultivo de la Caña de Azúcar. Cali: Tecnicaña, 1986. p. 141-153.

GRISALES, Paola Andrea; RÍOS, Leonardo Andrés y TRIANA, Mauricio. Diseño de un Proceso de Producción de Etanol Anhidro a partir de Jugo de Caña. Cali, 2002. Universidad del Valle. Escuela de Ingeniería Química.

INSUASTY BURBANO, Orlando. Plagas de la Caña de Azúcar para Panela. Conferencia 9. En: CURSO INTERNACIONAL DE CAÑA PANELERA Y SU AGROINDUSTRIA (3º: 2005: Barbosa). Memorias III Curso Internacional de Caña Panelera y su Agroindustria. Barbosa: Cimpa, 2005. p. 86-117.

ISAGEN S.A. E.S.P. Fuentes no Renovables de Generación de Electricidad. Medellín: Sergio Botero Botero *at el*, 2005. p 100. ISBN 958-97714-1-6.

KOPP SANABRIA, Eugenio. Manual Virtual de Elaboración de Panela. Barbosa, Colombia: CORPOICA - CIMPA – ISER, 2004. 20 p.

La Cadena Agroindustrial de la Panela en Colombia: Una Mirada Global de su Estructura y Dinámica 1991-2005 / Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Observatorio Agrocadenas Colombia. Documento de trabajo No. 103 (Enero, 2006). Bogotá: 2006. 24 p. Anual.

LOYO JOACHIN, Roberto. Métodos y Estrategias para el Perfeccionamiento de la Agroindustria Panelera. Guácimo, Costa Rica, 2002, 66 h. Trabajo de Grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad Earth.

MANRIQUE ESTUPIÑÁN, Roberto y INSUASTY BURBANO, Orlando. Aspectos Agronómicos del Cultivo de la Caña Panelera. En: MORA PADILLA, Christian José *et al*. Manual de Caña de Azúcar para la Producción de Panela. CORPOICA (Regional Siete) y SENA (Regional Santander), 2000.

MANRIQUE ESTUPIÑÁN, Roberto y INSUASTY BURBANO, Orlando. Aspectos Agronómicos para la Producción de Panela de Buena Calidad. Conferencia 16. En: CURSO INTERNACIONAL DE CAÑA PANELERA Y SU AGROINDUSTRIA (3º: 2005: Barbosa). Memorias III Curso Internacional de Caña Panelera y su Agroindustria. Barbosa: Cimpa, 2005. p. 182-192.

MONTOYA, D; SPITIA, S; SILVIA, E y SCHWARZ, W. Isolation of Mesophilic Solvent-Producing Strains from Colombia Sources: Physiological Characterization. 2000.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. Integration Definition for Function Modeling (IDEFØ). En: Federal Information Processing Standards Publications (FIPS PUBS). No.183 (Dec.,1993).

OCAMPO, Aquiles. Alcohol Carburante: Actualidad Tecnológica. En: Revista EIA. No.1 (Feb., 2004); p. 39-46. ISSN 1794-1237.

PARSONS MARTÍNEZ, Carolina; BANQUETH VERBEL, Emmanuel Ramith. Diseño de una Planta Piloto para la Producción de Etanol a Partir del Bagazo de la Caña De Azúcar. Bucaramanga, 2004, 97 h. Trabajo de Grado (Ingeniero Químico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.

PRADA FORERO, Luz Esperanza. Manejo de los Jugos para la Elaboración de Panela y Miel de Buena Calidad. Conferencia 28. En: CURSO INTERNACIONAL DE CAÑA PANELERA Y SU AGROINDUSTRIA (3º: 2005: Barbosa). Memorias III Curso Internacional de Caña Panelera y su Agroindustria. Barbosa: Cimpa, 2005. p. 253-280.

SÁNCHEZ, Óscar Julián y CARDONA, Carlos Ariel. Producción Biotecnológica de Alcohol Carburante I: Obtención a Partir de Diferentes Materias Primas. En: Revista Interciencia. Vol.30, No.11 (2005), ISSN 0378-1844.

SARRIA, Patricia; SOLANO, A y PRESTON, T. Utilización de Jugo de Caña y Cachaza Panelera en la Alimentación de Cerdos. En: Livestock Research for Rural Development, Cipav. No. 2 (Jul., 1990).

SOCIEDAD DE AGRICULTORES DE COLOMBIA. Guía Ambiental para el Subsector de Caña de Azúcar. Bogotá: Ministerio del Medio Ambiente: Sociedad de Agricultores de Colombia: Asocaña, 2002. p. 30.

SOCIEDAD DE AGRICULTORES DE COLOMBIA. Guía Ambiental para el Subsector Panelero. Bogotá: Ministerio del Medio Ambiente: Sociedad de Agricultores de Colombia: Fedepanela, 2002. p. 87.

VELÁSQUEZ ARREDONDO, Héctor Iván; AGUDELO SANTAMARÍA, Andrés Felipe y ÁLVAREZ GONZÁLEZ Jorge Iván. Mejorando la Producción de Panela en Colombia. En: Revista Leisa. Vol.21, No.1 (2005).

VILLAMIZAR, Ciro. Consultaría para el Diseño del Empaque para Panela Granulada. Barbosa: CIMPA, 1997. 69 p.

ZAMBRANO ARROYO, Daniel Enrique. Diagnóstico de Sensibilidad por el Montaje de una Planta Productora de Alcohol Carburante en la Hoya del Río Suárez. Reporte de Investigación. Universidad de Boyacá. Programa Ingeniería Industrial.

ZÉREGA M, Luís. Manejo y Uso Agronómico de la Cachaza en Suelos Cañameleros. En: Revista Caña en Azúcar. Vol. 11, No. 2 (1993).

ANEXOS

ANEXO A.

Pasos para establecer índice de madurez con refractómetro

1. Se toma jugo con la sonda de la parte apical (terminal) de la caña.



Figura A. Toma de jugo apical.

2. Se coloca la gota de jugo sobre el prisma del refractómetro.



Figura B. Colocando el jugo en el refractómetro.

3. Se hace la lectura del Brix apical.



Figura C. Lectura Brix apical

4. Se toma jugo de la parte basal de la caña con la sonda.



Figura D. Toma de jugo basal

5. Se coloca la gota de jugo sobre el prisma del refractómetro.



Figura E. Colocando el jugo en el refractómetro

6. Se hace la lectura del Brix basal.

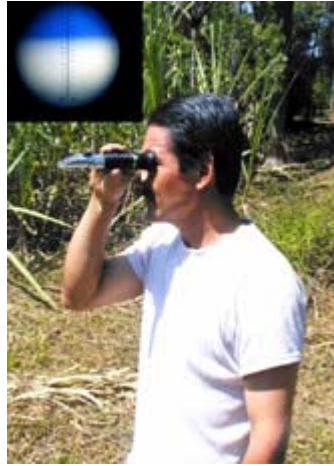


Figura F. Lectura Brix Basal.

7. Se calcula el índice de madurez, dividiendo el Brix Apical sobre el Basal, mediante el cual se puede determinar tres estados: caña madura, sobremadura e inmadura de la siguiente manera:
- Si se encuentra entre 0.95 y 1, la caña está madura.
 - Si es mayor que 1, la caña está sobremadura.
 - Si es menor de 0.95, la caña está inmadura.

ANEXO B.
LEY 693 DE 2001
(septiembre 19)

Diario Oficial No. 44.564, de 27 de septiembre de 2001

Por la cual se dictan normas sobre el uso de alcoholes carburantes, se crean estímulos para su producción, comercialización y consumo, y se dictan otras disposiciones.

<Resumen de Notas de Vigencia>

EL CONGRESO DE COLOMBIA
DECRETA:

ARTÍCULO 1o. A partir de la vigencia de la presente ley, las gasolinas que se utilicen en el país en los centros urbanos de más de 500.000 habitantes tendrán que contener componentes oxigenados tales como alcoholes carburantes, en la cantidad y calidad que establezca el Ministerio de Minas y Energía, de acuerdo con la reglamentación sobre control de emisiones derivadas del uso de estos combustibles y los requerimientos de saneamiento ambiental que establezca el Ministerio del Medio Ambiente para cada región del país. En los centros urbanos de menos de 500.000 habitantes, el Gobierno podrá implementar el uso de estas sustancias. Ello sin perjuicio de las demás obligaciones que sobre el particular deban observarse por parte de quienes produzcan, importen, almacenen, transporten, comercialicen, distribuyan o consuman gasolinas motor y/o combustible diesel en el país. Si el oxigenado a utilizar es Etanol carburante éste podrá ser utilizado como combustible.

PARÁGRAFO 1o. El combustible diesel (o aceite combustible para motores - ACPM), podrá contener como componente oxigenante Etanol carburante en la cantidad y calidad que establezca el Ministerio de Minas y Energía, de acuerdo con la reglamentación sobre control de emisiones derivadas del uso de este

combustible y los requerimientos de saneamiento ambiental que para cada región del país establezca el Ministerio del Medio Ambiente.

PARÁGRAFO 2o. Para la implementación de esta norma, establécense los siguientes plazos:

Seis (6) meses, a partir de la vigencia de la presente ley, para que el Ministerio de Medio Ambiente establezca la regulación ambiental respectiva.

Seis (6) meses, a partir de la presente ley, para que el Ministerio de Minas y Energía establezca la regulación técnica correspondiente, especialmente en lo relacionado con las normas técnicas para la producción, acopio, distribución y puntos de mezcla de los alcoholes carburantes.

Cinco (5) años, a partir de la vigencia de la presente ley, para que, en forma progresiva, se implemente la norma, iniciando por los centros con mayor densidad de población y de mayor contaminación atmosférica. El Ministerio de Minas y Energía hará la correspondiente reglamentación. Este plazo puede ser prorrogable hasta por un año, mediante decreto del Gobierno Nacional, con previo concepto de los Ministerios de Hacienda, Medio Ambiente, Minas y Energía, Agricultura y Comercio Exterior, siempre que medien razones de fuerza mayor o conveniencia nacional.

ARTÍCULO 2o. La producción, distribución y comercialización de los alcoholes no potables estarán sometidas a la libre competencia, y como tal, podrán participar en ellas las personas naturales y jurídicas de carácter público o privado, en igualdad de condiciones, quedando derogada la autorización conferida por el artículo 11 de la Ley 83 de 1925.

PARÁGRAFO 1o. Exceptúanse la producción, distribución y comercialización del alcohol etílico potable con destino a la fabricación de licores , actividades éstas que constituyen el monopolio rentístico de los entes departamentales.

<Jurisprudencia Vigencia>

PARÁGRAFO 2o. La mezcla de etanol carburante con el combustible base, será responsabilidad de los distribuidores mayoristas de combustibles para lo cual el Gobierno establecerá la reglamentación respectiva.

PARÁGRAFO 3o. No se deberá transportar Etanol carburante ni mezclas que lo contengan, a través de poliductos que transporten otros productos derivados del petróleo cuya calidad pueda ser deteriorada por la presencia del alcohol carburante.

ARTÍCULO 3o. Considérase el uso de Etanol carburante en las Gasolinas y en el combustible Diesel, factor coadyuvante para el saneamiento ambiental de las áreas en donde no se cumplen los estándares de calidad, en la autosuficiencia energética del país y como dinamizador de la producción agropecuaria y del empleo productivo, tanto agrícola como industrial.

Como tal recibirá tratamiento especial en las políticas sectoriales respectivas.

ARTÍCULO 4o. La presente ley rige a partir de su promulgación y deroga las disposiciones que le sean contrarias.

El Presidente del honorable Senado de la República,

CARLOS GARCÍA ORJUELA.

El Secretario General del honorable Senado de la República,

MANUEL ENRÍQUEZ ROSERO.

El Presidente de la honorable Cámara de Representantes,

GUILLERMO GAVIRIA ZAPATA.

El Secretario General de la honorable Cámara de Representantes,

ANGELINO LIZCANO RIVERA.

REPUBLICA DE COLOMBIA - GOBIERNO NACIONAL

PUBLÍQUESE Y CÚMPLASE.

Dada en Bogotá, D. C., a 19 de septiembre de 2001.

ANDRES PASTRANA ARANGO

El Ministro de Minas y Energía,

RAMIRO VALENCIA COSSIO.

El Ministro del Medio Ambiente,

JUAN MAYR MALDONADO.